

# Physique et Alpinisme

## I. Les lois de la mécanique en escalade et alpinisme

- a) Mouvement, équilibre, friction et adhérence
- b) Coinceurs, « friends » et autres dispositifs
- c) Les cordes, les nœuds, assurage, rappel, la corde et les chutes
- d) Systèmes de secours, techniques de mouflage

## II. La neige

- a) Formation et transformation des cristaux de neige
- b) Quelques phénomènes optiques dans l'atmosphère
- c) Physique d'avalanches
- d) Dipôles électromagnétiques et émission et réception d'un ARVA
- e) ~~Physique de Ski~~

## III. L'atmosphère et l'altitude

- a) L'atmosphère : composition pression et altitude
- b) L'acclimatation du corps humain, les oxymètres

## IV. Orientation

- a) Equation de temps, orientation
- b) Champ magnétique terrestre, boussoles, navigation
- c) GPS, fonctionnement

**Ce cours n'est**  
• **Ni une formation en alpinisme**  
• **Ni une formation en sécurité de montagne**

# Escalade

- I. **Rappel des lois fondamentales de la mécanique**
  1. Les lois de Newton
  2. Equilibre
  3. Frottement
- II. **La ligne d'équilibre et de force, les placements**
- III. **La chute**
- IV. **Systèmes de mouflage**

## Equipement et matériel :

1. Les cordes, nœuds,
2. Mousquetons
3. Coinceurs et friends

L.P. Verdier : *"Escalade"*; Edition amphora

J. Rander : *"Assure sec !"* Edition Edisud

J. Coudray et al. *"Alpinisme et escalade"*; Club Alpin Francais

C. Dupuy : *"Actes du Colloque"*, ENSA Chamonix 89

T. Czermin et al. *"Bergsteigen und Klettern – was sagt die Physik dazu?"*

<http://www.solstice.de>



# ***La première loi de Newton***

I. Tout objet conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme en l'absence de forces agissant sur lui!

II. Si aucune force n'agit sur un objet

1. un objet au repos reste au repos

2. un objet en mouvement continue à se mouvoir à vitesse constante

III. La première loi de Newton définit un "référentiel d'inertie"

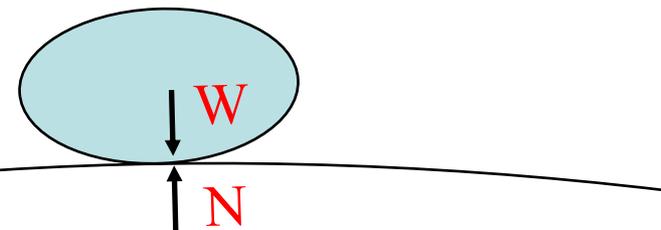
# *La troisième loi de Newton*

- I. Si un objet exerce une force  $F_1$  sur un second objet, le second objet exerce sur le premier une force  $F_2$  égale mais opposée

$$F_2 = -F_1$$

## I. Forces d'action et de réaction

- i. Le poids  $F_1$  (W) par le objet sur la couche inférieure
- ii.  $F_2$  (N) sur l'objet par le fondement



# La deuxième loi de Newton

$$F = m_i \cdot a$$

$m_i$  est une constante de proportionnalité entre la force  $F$  et l'accélération  $a$ ,

"la masse d'inertie"

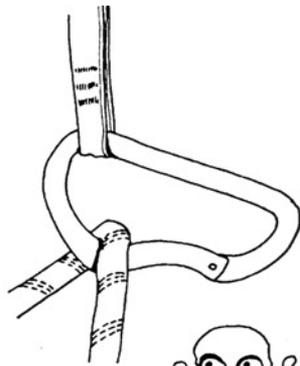
$$[F] = N = \text{Kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Une force  $F = 1\text{N}$  (Newton) donne à une masse  $m = 1\text{Kg}$  l'accélération  $a = 1\text{m/s}^2$

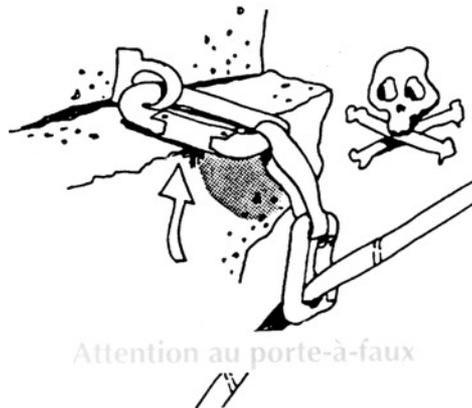
Le poids est une force :

La masse de 1 Kg produit par la gravitation une force, le poids :  $W = mg = 1\text{Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ N}$

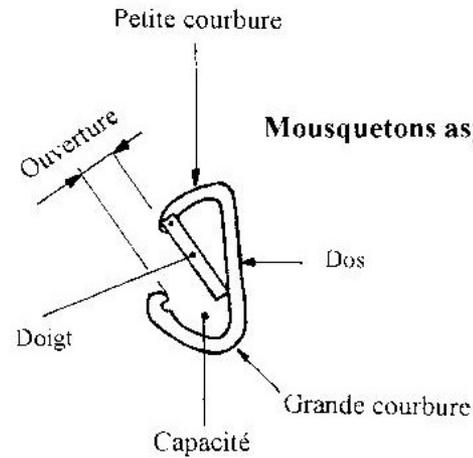
# Les mousquetons



Vérifiez la position de votre mousqueton !

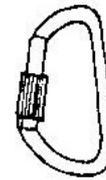


Doigt droit



Mousquetons asymétriques

Doigt courbé



Mousqueton Pyriforme

Mousquetons de sécurité

longitudinal et ouvert : 10kN

Longitudinal et fermé : 25kN

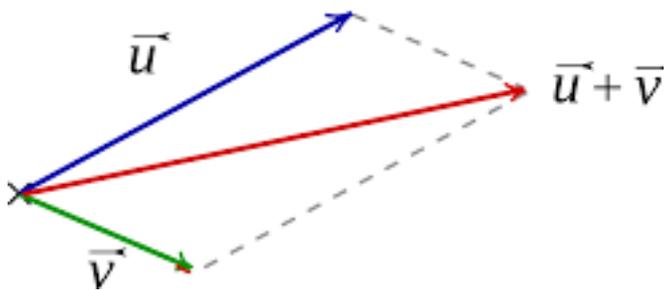
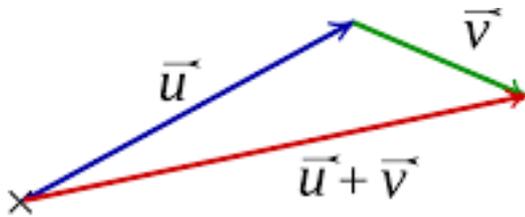


perpendiculaire et fermé : 7kN

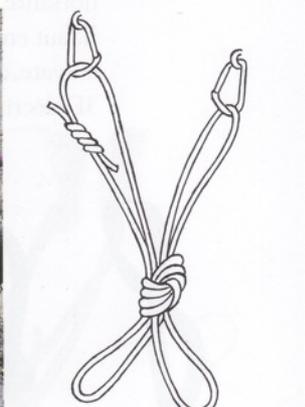
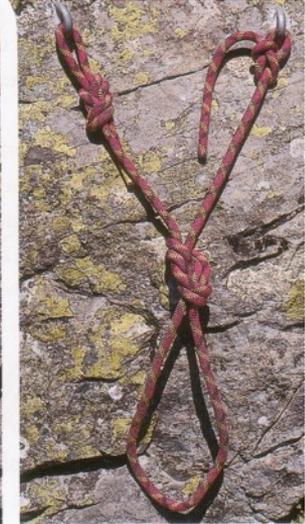
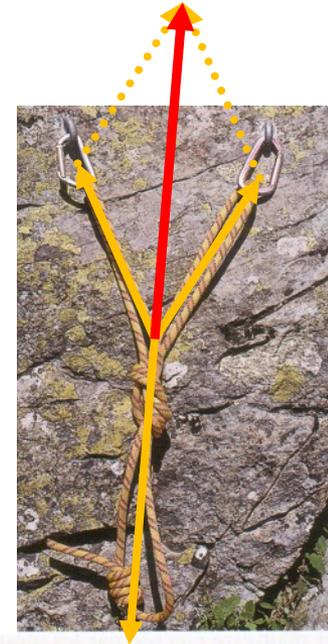
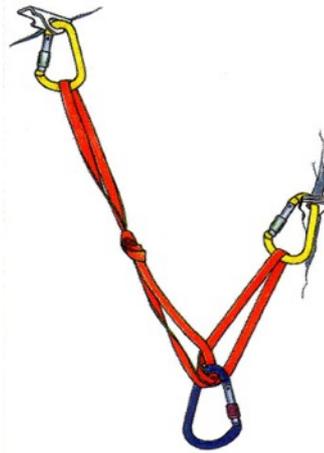
**La force est un vecteur :**  
**Triangle de forces !!!**

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$



## Relais



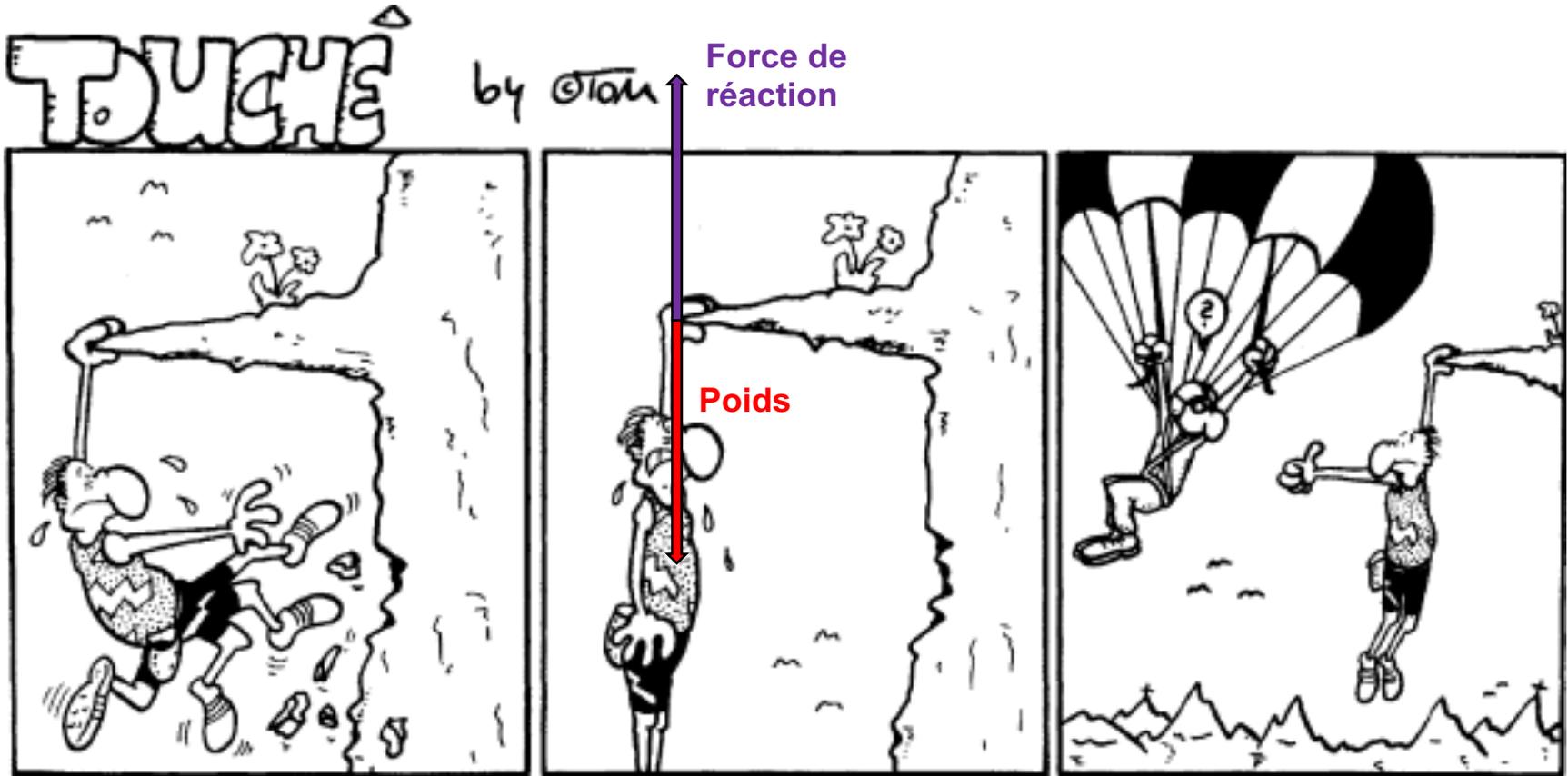
**Il faut ajuster la longueur des deux bouts  
 en direction de la force resultante !**

# Le polygone de force

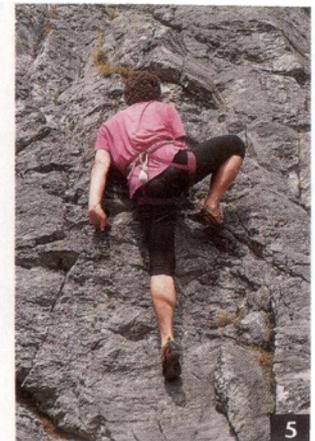
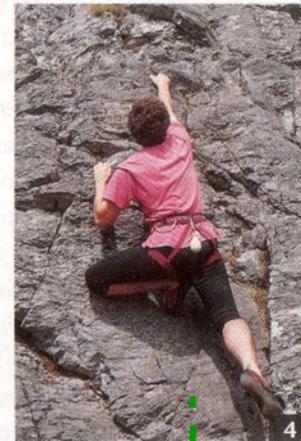
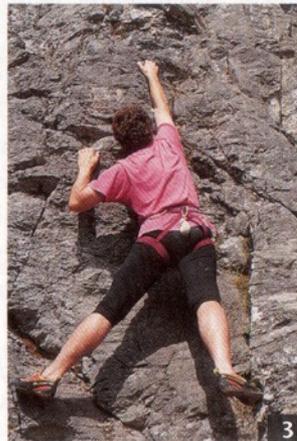
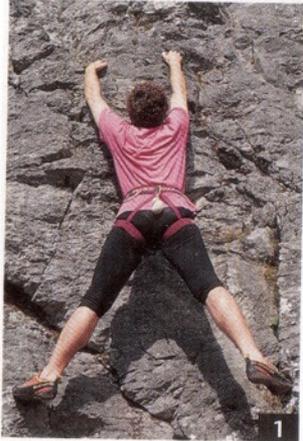
Pour exemple			
P	$\alpha$		R1 et R2 <sup>1</sup>
90 kg	175°		1 035 kg <b><u>Danger</u></b>
"	120°		90 kg Pas rentable
"	60°		52 kg
"	30°		46 kg
"	0°		45kg

# Être en équilibre

$$\sum \vec{F}_i = \vec{Poids} + \vec{reaction} = 0$$



# Equilibre et centre de gravité

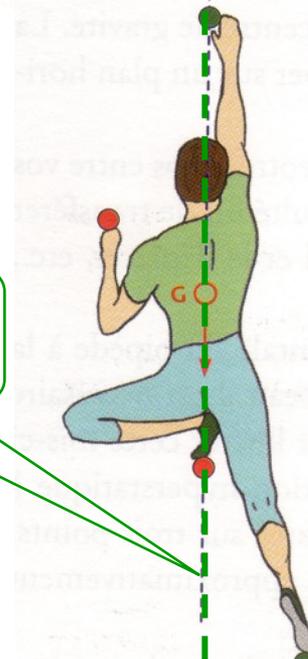


Position hyperstatique



Position ailes de poulet

Ligne de force et d'équilibre



# L'effet charnière

## Moment de force

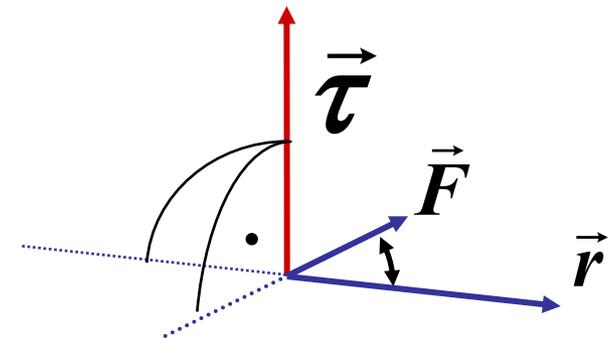
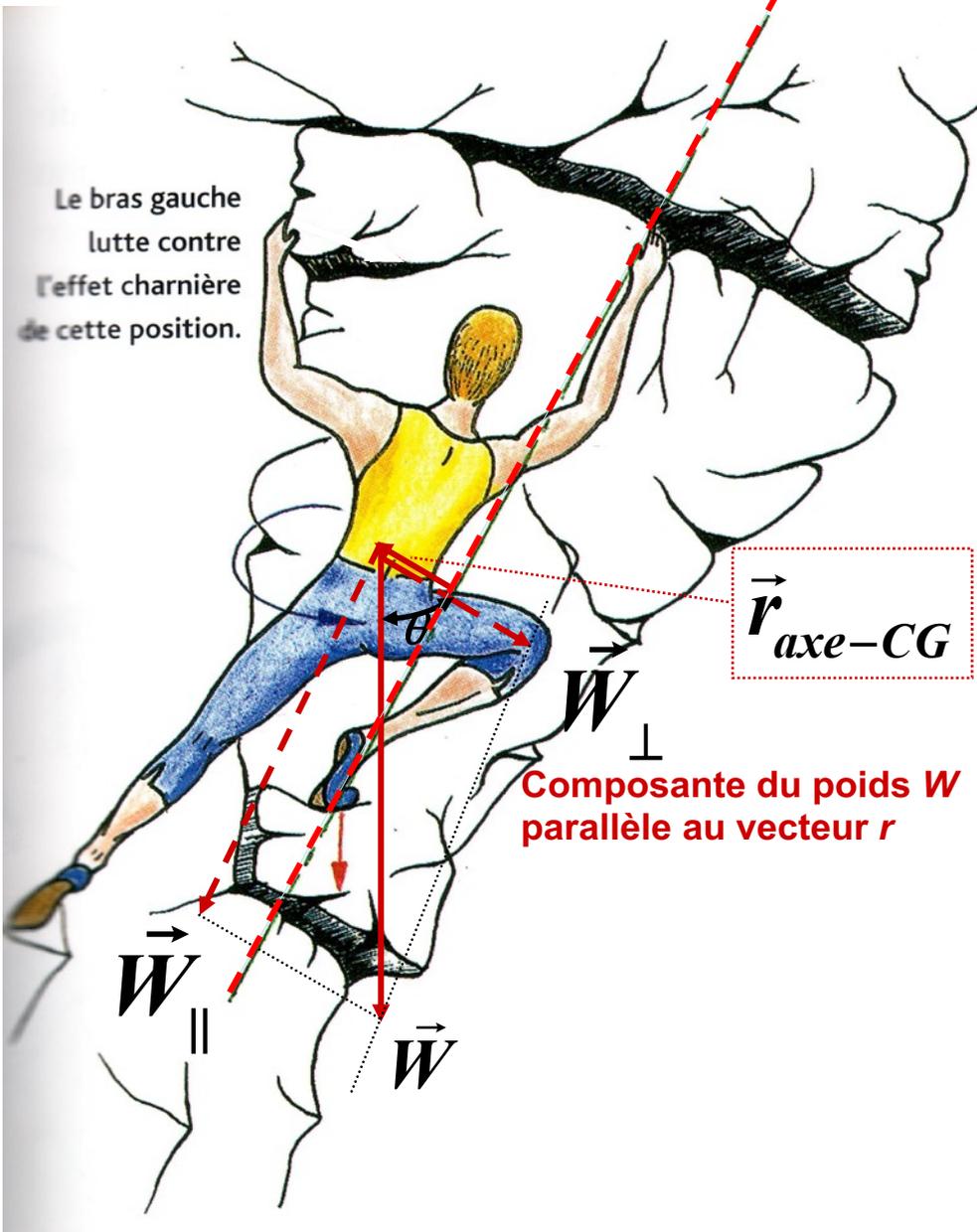
$r$  = vecteur entre l'axe de rotation et le point d'application de la force  $F$

$\theta$  angle entre  $r$  et  $F$

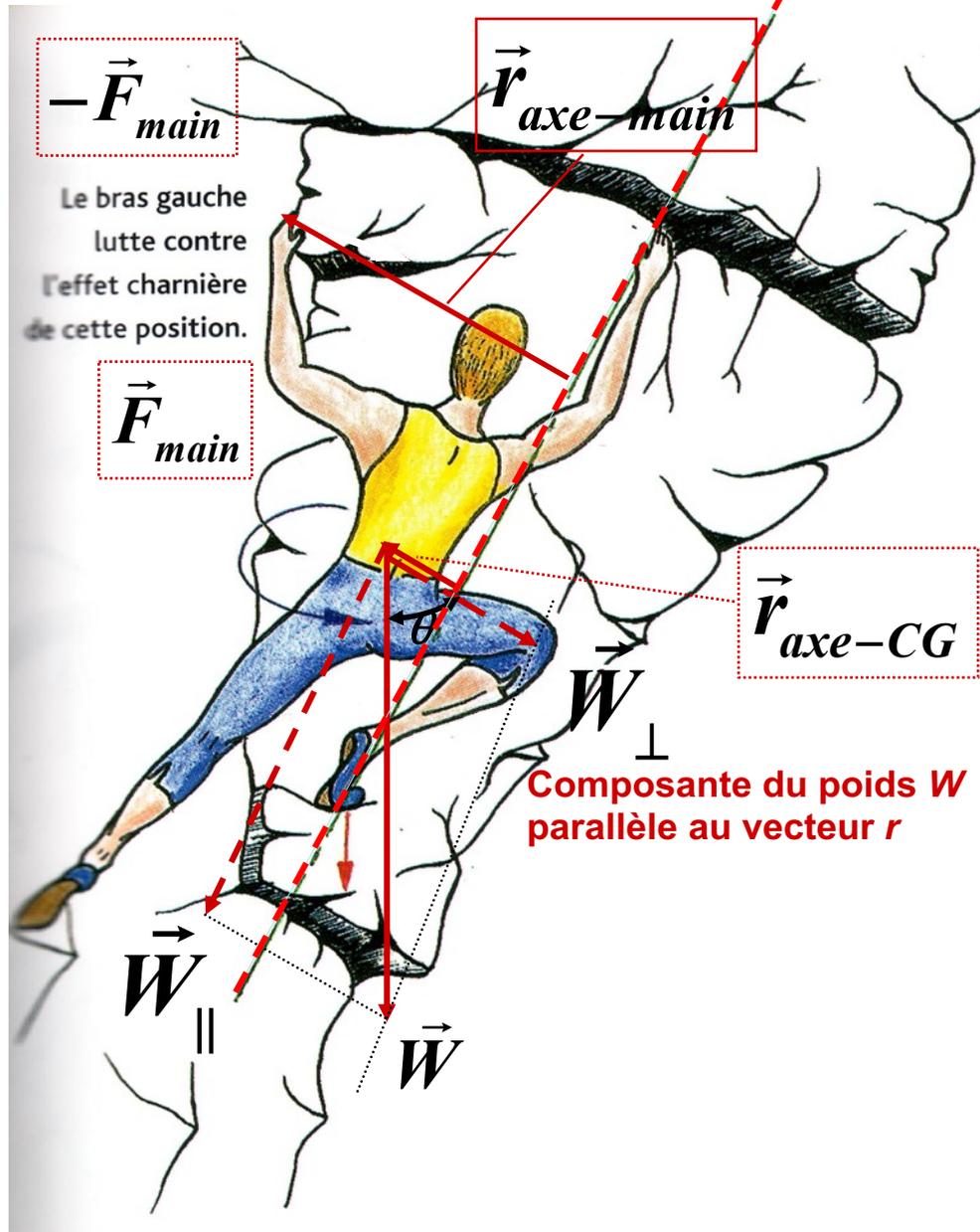
$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} ; \tau = r \cdot F_{\perp}$$

$$\tau = \sin \theta \cdot r \cdot F ;$$

$$\theta = \sphericalangle(\vec{r}, \vec{F})$$



# L'effet charnière



$$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 = \mathbf{0}$$

$$\vec{\tau}_1 = \vec{r}_{axe-CG} \times \vec{W}$$

$$\vec{W} = \vec{W}_{\perp} + \vec{W}_{\parallel}$$

$$\vec{\tau}_1 = \vec{r}_{axe-CG} \times \vec{W}_{\perp}$$

$$\vec{\tau}_2 = \vec{r}_{axe-main} \times (-\vec{F}_{main})$$

$$\vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 = \mathbf{0}$$

# Équilibre

## Équilibre :

I. La résultante des forces appliquées à un objet doit être nulle :

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = \mathbf{0}$$

II. Le moment résultant des forces appliquées doit être nul :

$$\vec{\tau} = \sum_i \vec{\tau}_i = \mathbf{0}$$

# Chandelle

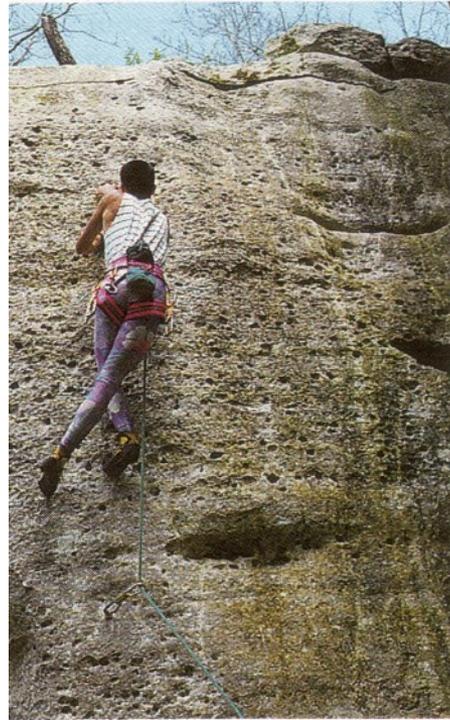
Déplacement du centre de gravité vers la gauche par le contrepoids



Dans un dévers.

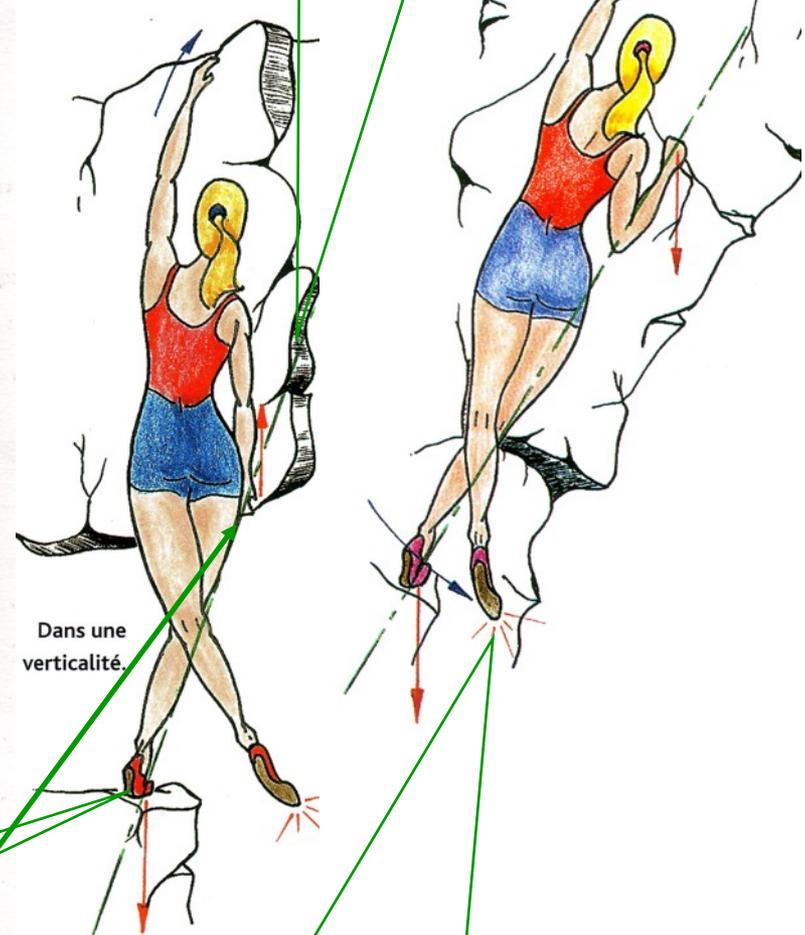
Le drapeau ou la jambe contrepoids

La force sur le pied droite est amplifié par la main droite dans une prise inversée



La chandelle : le pied simplement en appui crée le troisième point qui, bien que fictif, évite au corps de pivoter sur lui-même ou de basculer.

Axe de charnière  
Main et pied droites



Dans une verticalité.

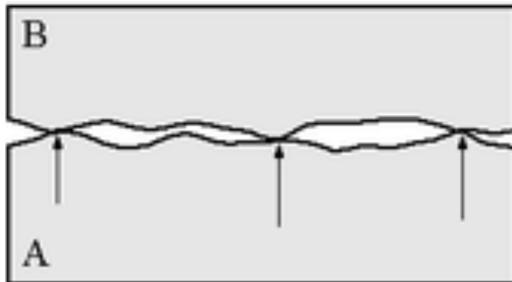
L'effet "charnière" ( $\tau_2$ ) est empêché par le pied gauche en appui contre la paroi, ( $\tau_2$ )

# Le frottement

Contact des deux surfaces de solides

> *frottement*

à l'échelle microscopique:



nombreuses liaisons de faible énergie et de courte durée

La surface de contact → cisaillement

Science : "Tribologie"

Fluides: *"force de viscosité"*;

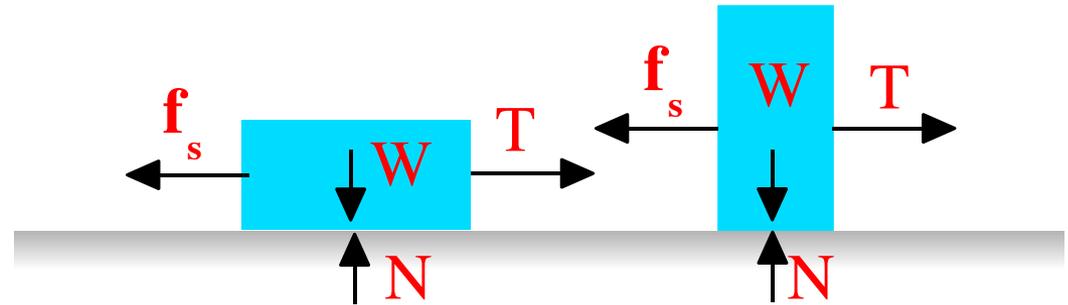
très faibles comparées aux forces de frottement entre deux surfaces solides

Articulations: -> fluide synovial

# Friction statique

$$f_s^{\max} = \mu_s N; \mu_s \leq 1$$

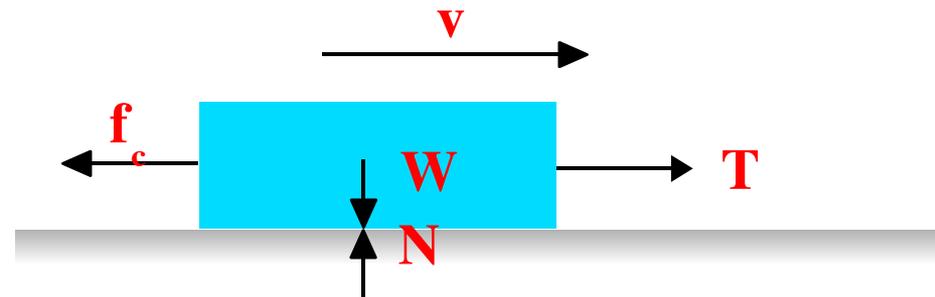
$\mu_s$  coefficient de frottement statique



# Friction dynamique ou cinétique

$$f_c = \mu_c N; \mu_c < 1$$

$\mu_c$  est le coefficient de frottement cinétique



# Coefficient de frottement statique $\mu_s$

Si le bloc reste au repos:

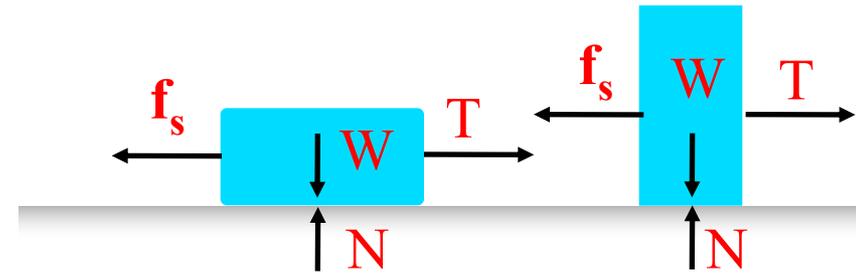
$$T = -f_s \quad (T=0 \Leftrightarrow f_s=0)$$

$f_s$  augmente  $\rightarrow f_s^{max}$

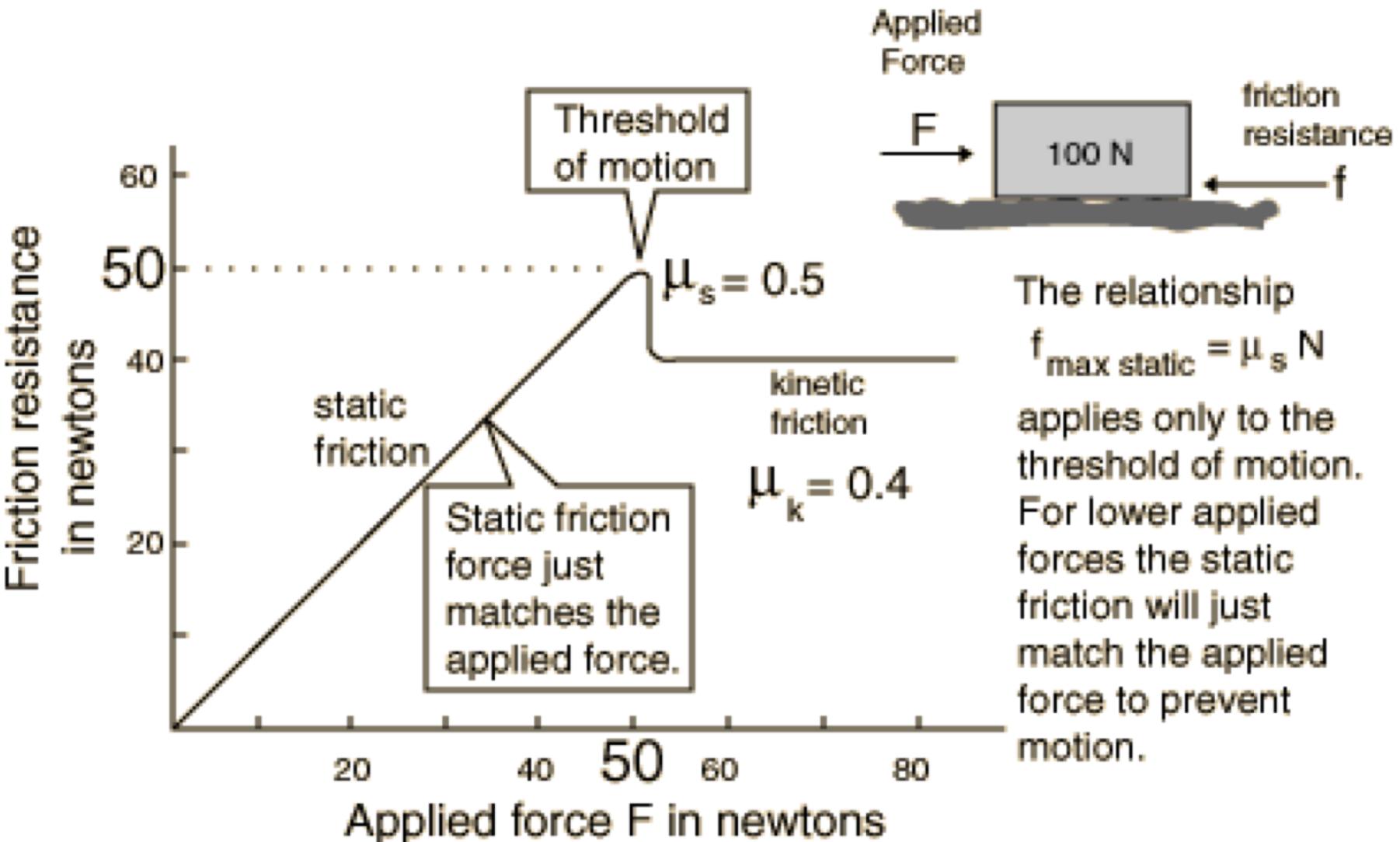
- $f_s^{max}$  est indépendante (!! ) de l'aire de contact!
- $f_s^{max}$  est proportionnelle à la force normale  $N$
- $f_s^{max} = \mu_s N$  ;

$\mu_s$  est le coefficient de frottement statique

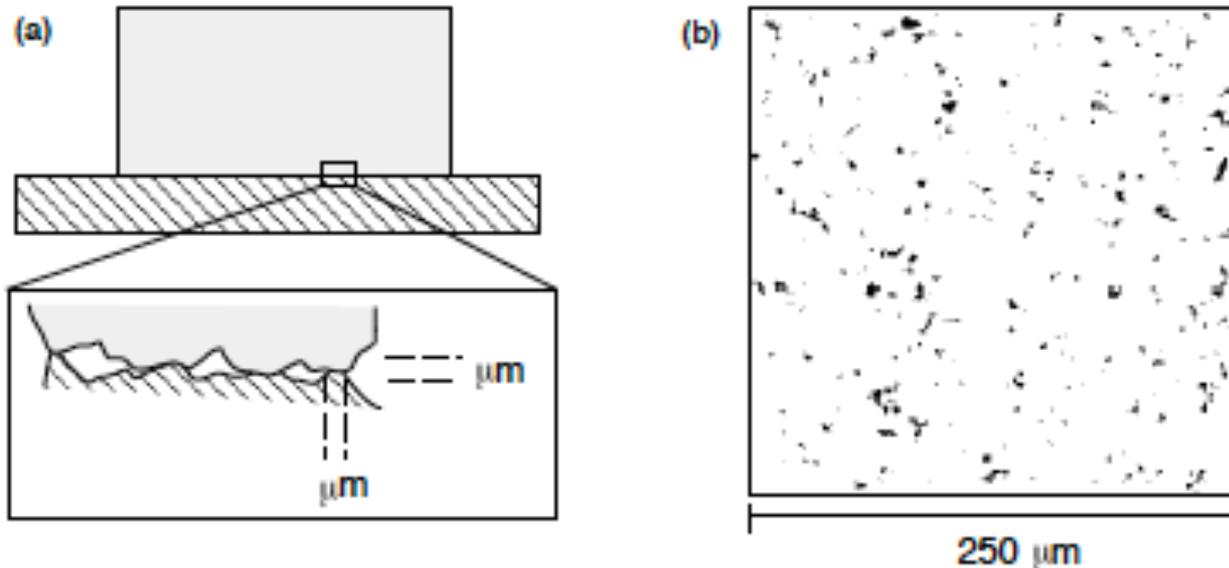
- entre métaux:  $\mu_s = 0.3-1.0$
- dans le corps humain:  $\mu_s \approx 0.003$  (liquide synovial)
- en général:  $\mu_s \leq 1$  , mais il y a plusieurs cas avec  $\mu_s > 1$
- **Chaussures d'escalade  $\mu_s \approx 1.2$**



# Friction statique/cinétique



# Micro-contacts



- Fraction des microcontacts est environ  $10^{-3}$  de la surface, une taille typique de quelques  $\mu\text{m}$  séparés à distances de  $100 \mu\text{m}$
- Déformations des matériaux sur l'action des forces
- Mais la relation  $f_s^{\text{max}} = \mu_s N$ ;  $\mu_s \leq 1$  est une très bonne approximation
- Chaussures d'escalade: compression de la semelle augmentation des microcontacts  $\rightarrow \mu_s \cong 1.2$

**$f_s^{max}$  est indépendante (!! ) de l'aire de contact!**

Contre-intuitif ???

**Exemples :** les freins du vélo de course ont des très petits plaques

**Question :** Pourquoi les voitures de sports ont des pneus plus large pour une meilleure traction et tenue sur la route ?

**Réponse :** Afin d'augmenter  $f_s^{max} = \mu_s N$ , il faut augmenter  $\mu_s$  pour le même  $N$ . On utilise les caoutchoucs doux, qui ont un coefficient plus important. Mais ce matériau va rendre les pneus mécaniquement moins stable sur la route, donc il faut augmenter leur largeur afin de stabiliser le pneu. Aussi le caoutchouc doux a une usure plus importante que le caoutchouc dur, donc il faut plus de surface pour augmenter la durée de vie du pneu.

# Coefficient de frottement statique $\mu_s$

$$W_{\perp} = -W \cos \theta$$

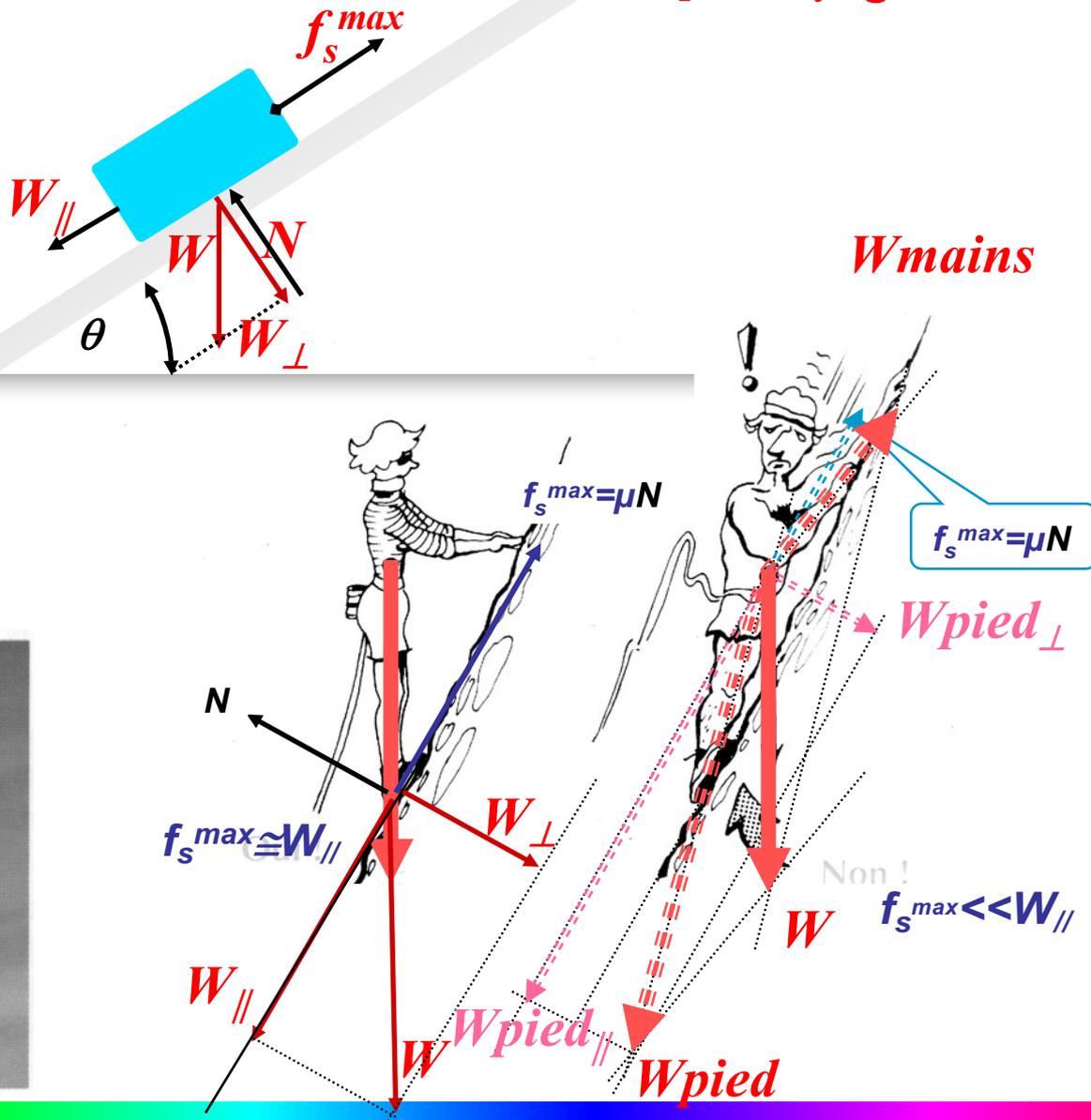
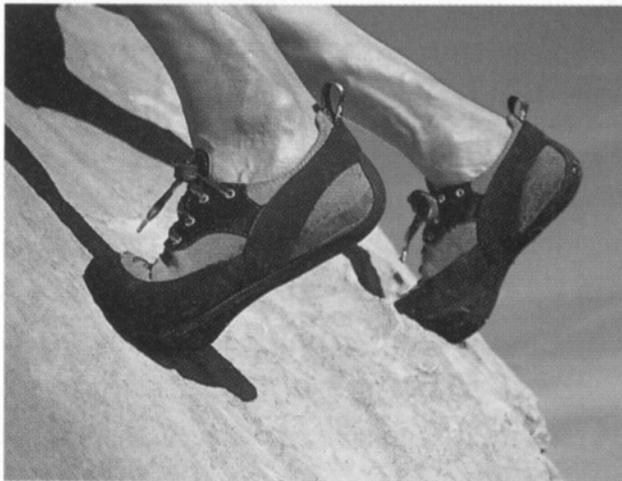
$$W_{\parallel} = -W \sin \theta$$

$$f_s = W \sin \theta$$

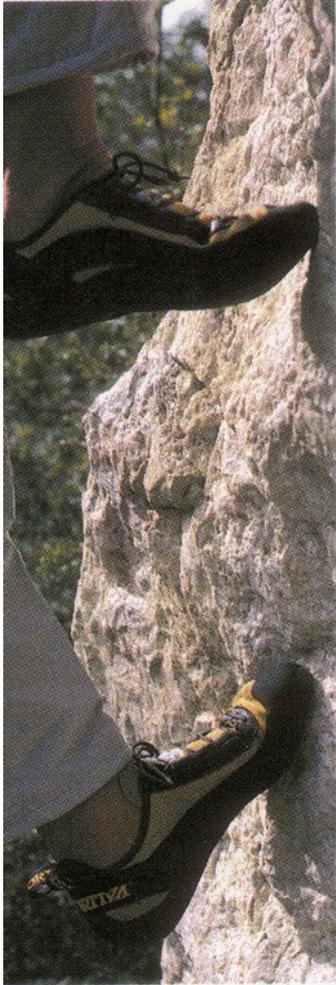
$$N = W \cos \theta$$

$$f_s^{\max} / N = \mu_s = \tan \theta$$

$$\mu_s = 1.2 \Rightarrow \theta = 50.2^\circ$$



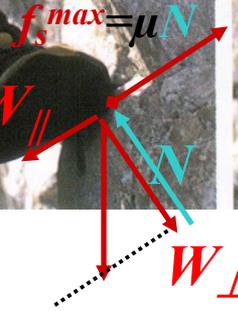
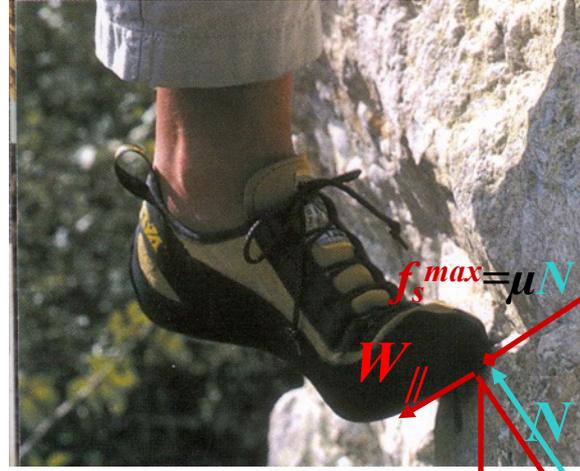
# Pieds et mains



Appui frontal  
ou en pointe

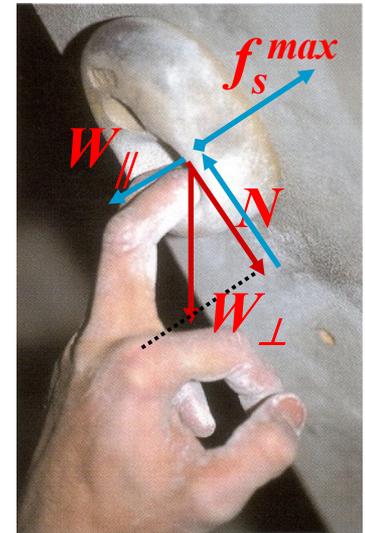


Carre intérieure



Une petite surface de contact suffit !

$$W_{\parallel} < f_s^{\max}$$



# Les bonnes placements

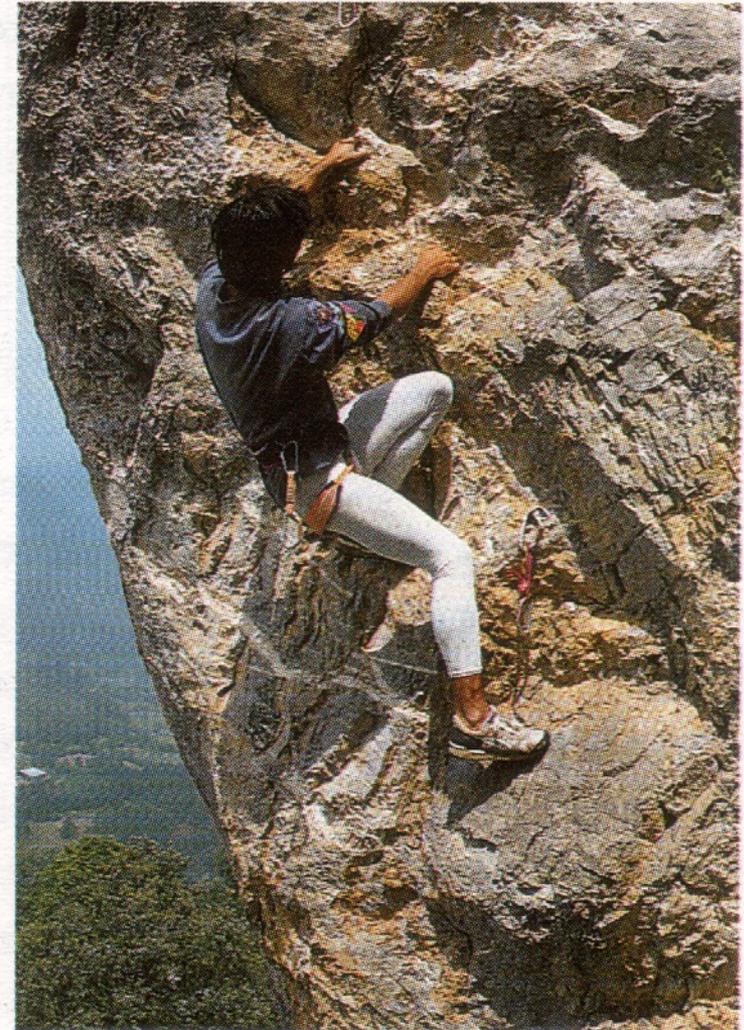


# **Lolotte** (Laurent Jacob )



"La lolotte est adaptée pour s'économiser sur une paroi déversante. C'est une position confortable qui permet de garder le torse (centre de gravité) près du rocher et de porter plus de poids sur les pieds et les jambes que dans une position normale." (Malcom CREASEY, "Le grand livre de l'escalade", Minerva, Genève, 2000, p.76.)

**La lolotte favorise des développés d'envergure en limitant les efforts à produire, surtout dans les dévers. Elle rapproche le corps de la paroi.**



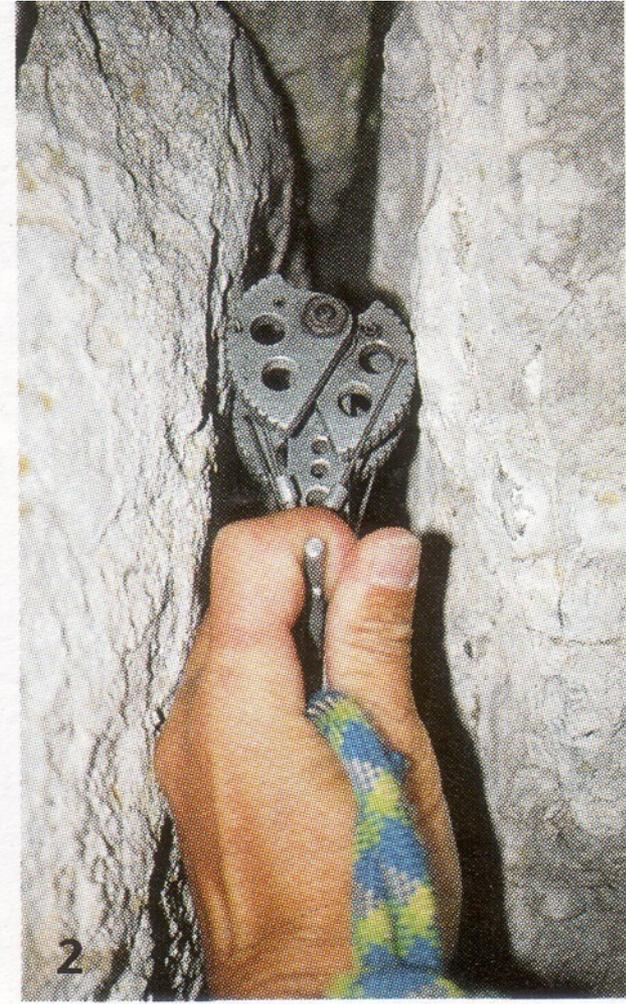
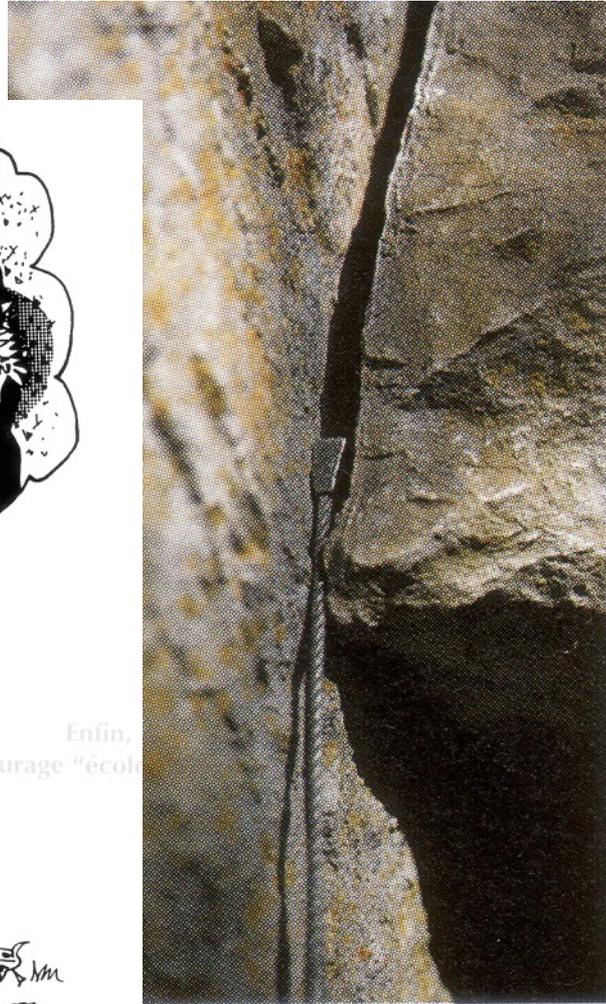
**Position optimale de jambe pour un maximum de force !**

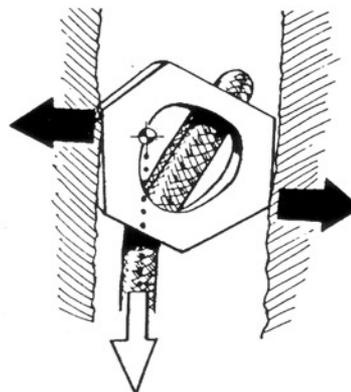
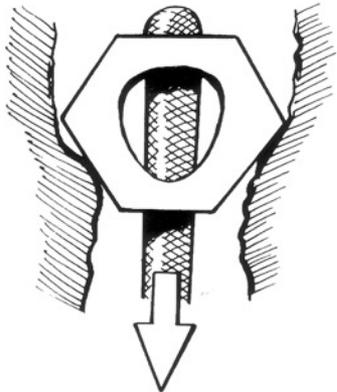


# Coinceurs et friends



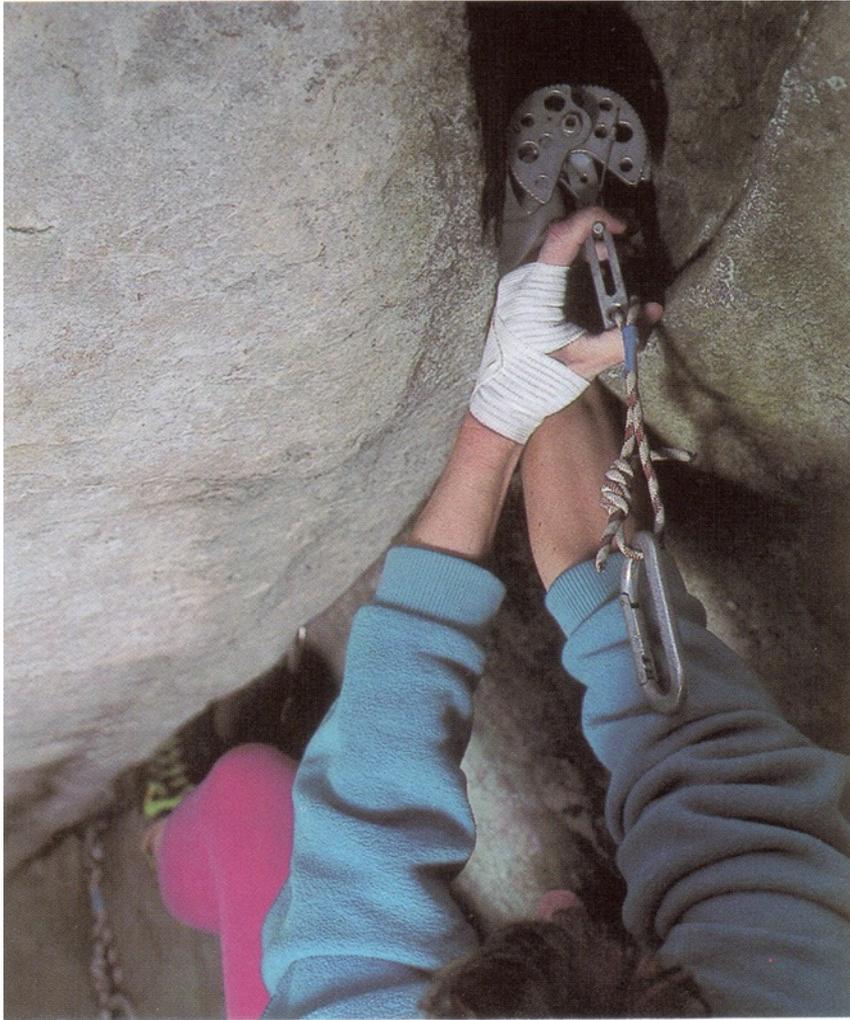
Enfin,  
un assurage "écob





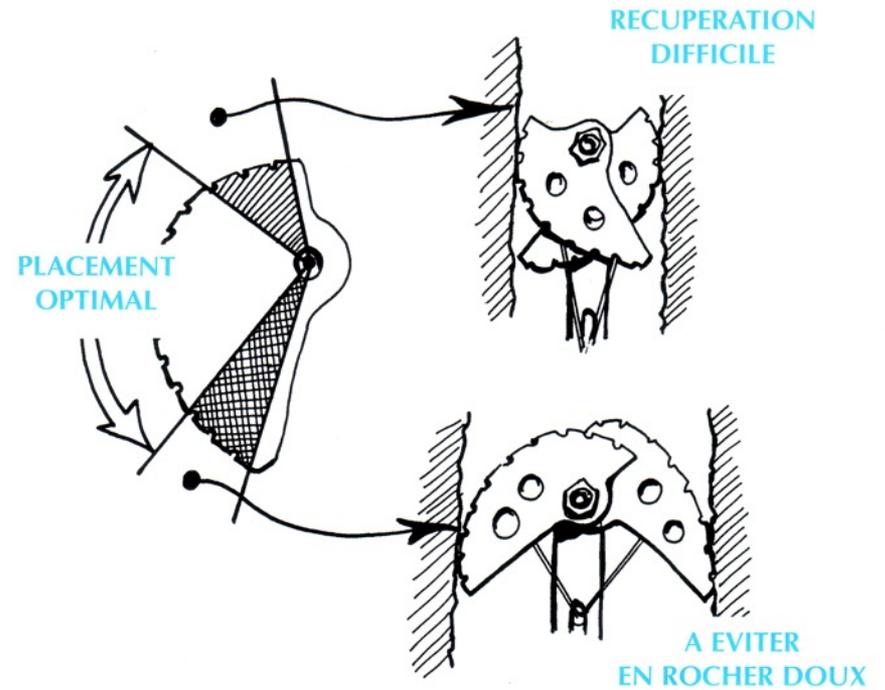
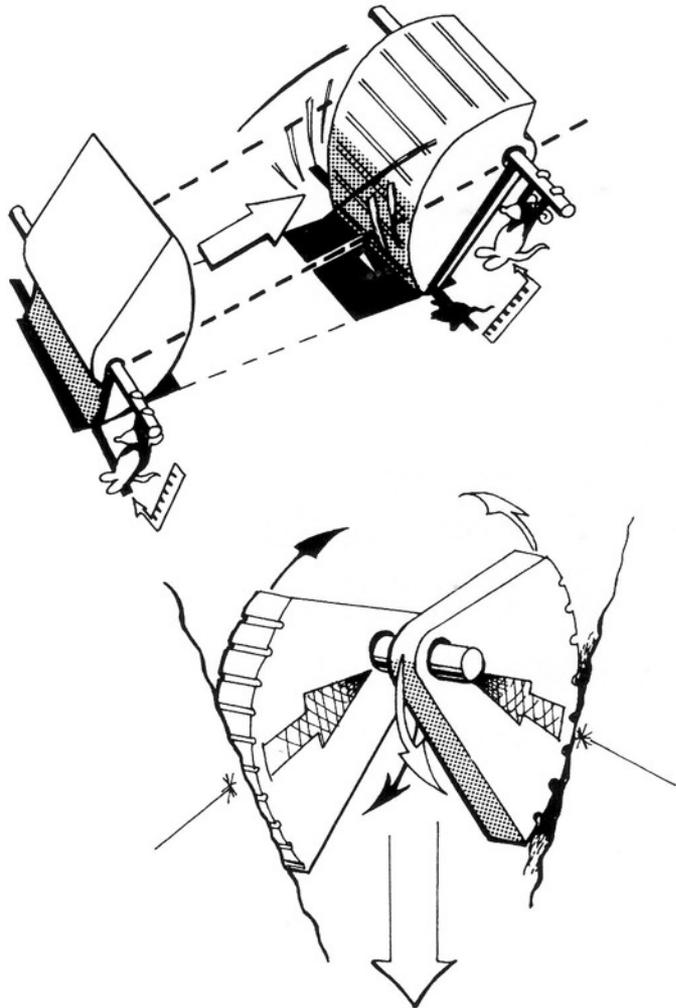
***Coinceurs***

# Les friends



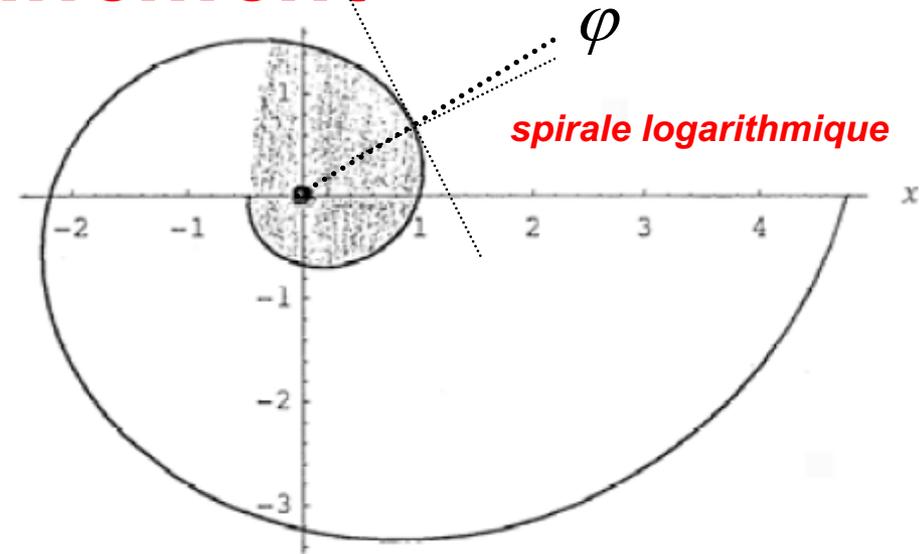
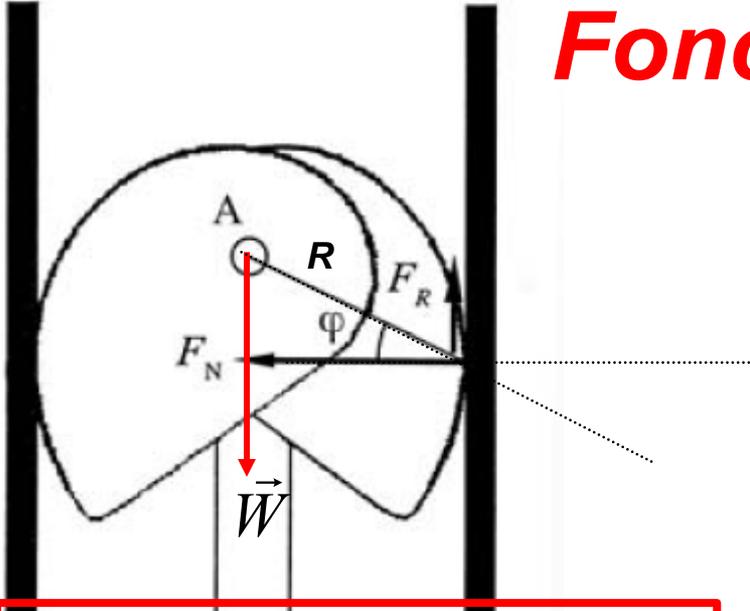
**Ca tient aussi dans la verticale,  
mais pas recommandé !**

# Forces, position optimale



Le coinçeurs mécanique (friend) peut se adapter à des fissure de différentes taille

# Fonctionnement



$$\vec{\tau} = \vec{R} \times (\vec{F}_N + \vec{F}_R) = 0!$$

$$\Rightarrow \vec{R} \parallel (\vec{F}_N + \vec{F}_R)$$

$$\Rightarrow F_N \tan \varphi = F_R$$

$$F_N = \frac{W}{2 \tan \varphi}$$

$$F_R \leq \mu F_N \Rightarrow \tan \varphi \leq \mu$$

$$\mu = 0.3 - 0.4 \Rightarrow \varphi \leq 17^\circ - 22^\circ$$

Stabilité d'acier  $\Rightarrow$  limite inférieure :

$$F_N / A \ll 900 \text{ N} / \text{mm}^2 \quad A = \pi r^2; r \approx 2 \text{ mm}$$

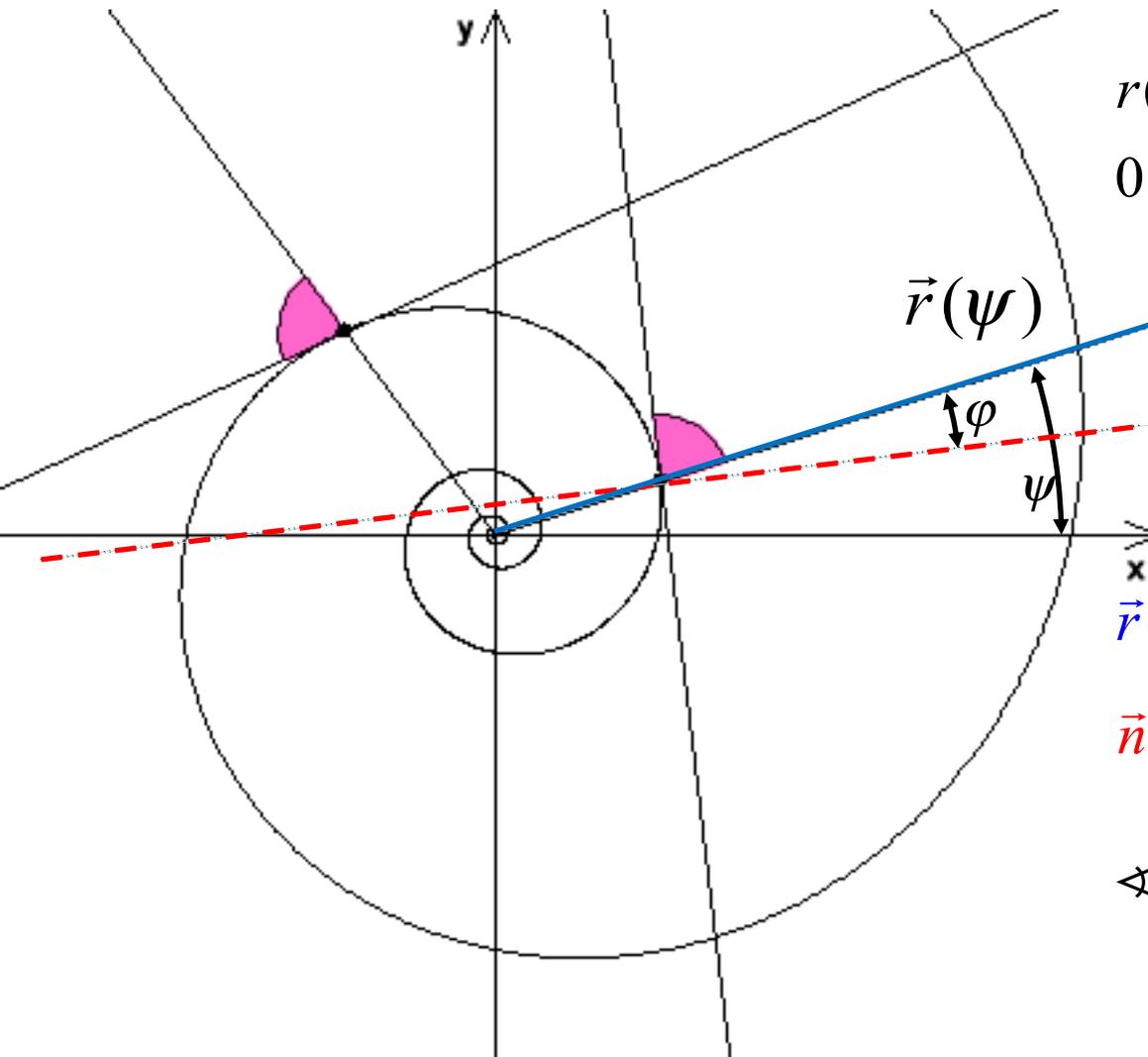
$$\tan \varphi = \frac{F_R}{900 \text{ N} \cdot \pi r^2} \quad F_R \cong W / 4; W \approx 10 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \varphi > 12^\circ$$

$$12^\circ < \varphi < 22^\circ$$

Si l'angle est plus grand  $\rightarrow$  le friend glisse !

# La spirale logarithmique



Coordonnées polaires

$$r(\psi) = e^{\tan(\varphi) \cdot \psi}$$

$$0 \leq \psi \leq 2\pi; \quad \varphi = 14^\circ$$

$\vec{r}(\psi)$

$\vec{n}(\psi)$

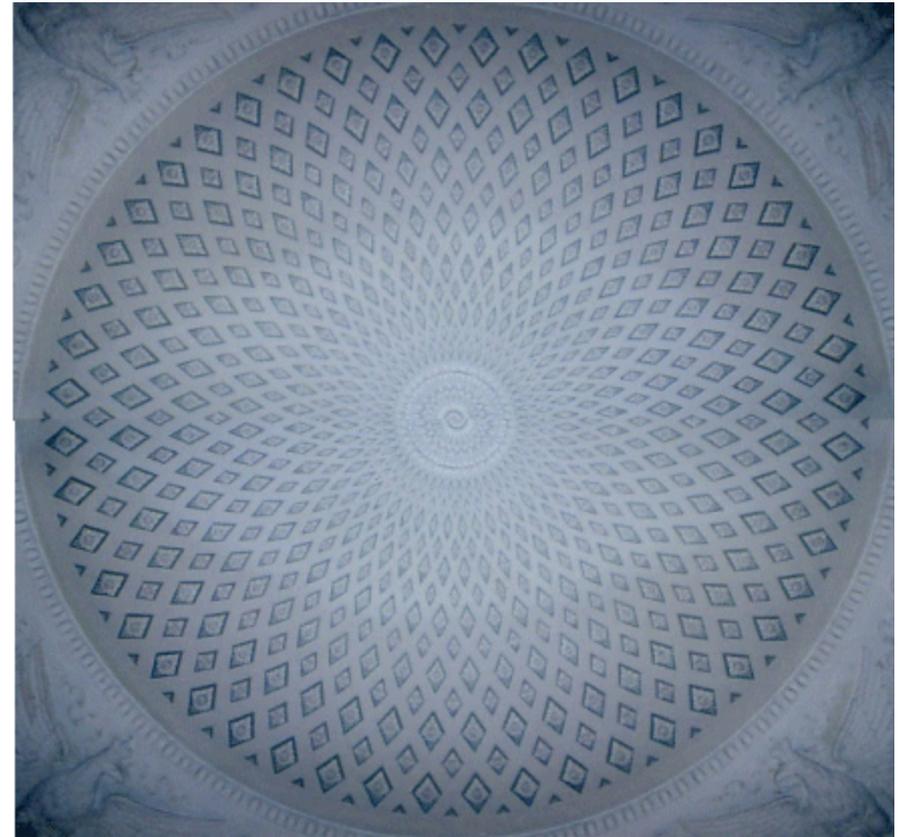
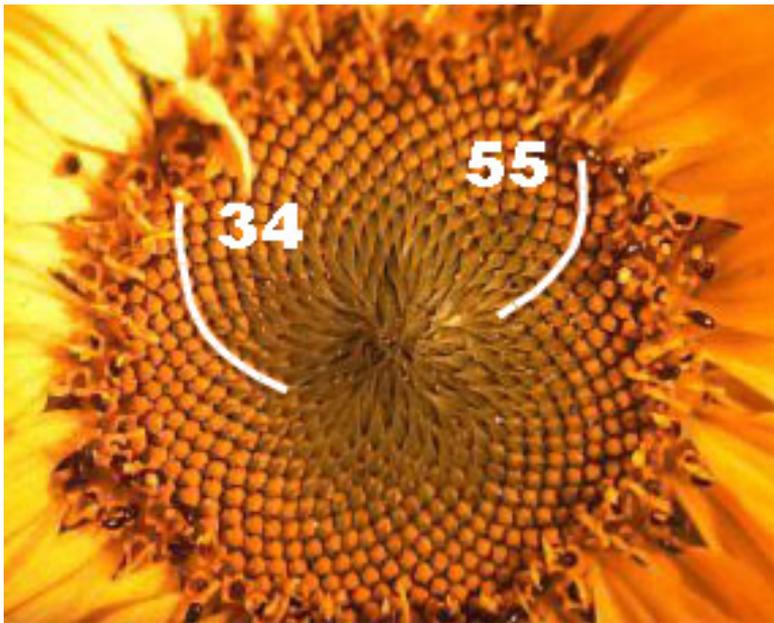
$$\vec{r}(\psi) = e^{\tan(\varphi) \cdot \psi} \cdot \hat{u}_\rho$$

$$\vec{n}(\psi) = e^{\tan(\varphi) \cdot \psi} \left[ -\hat{u}_\rho + \tan(\varphi) \hat{u}_\psi \right]$$

$$\angle(\vec{r}(\psi); -\vec{n}(\psi)) = \frac{-\vec{r}(\psi) \cdot \vec{n}(\psi)}{|\vec{r}(\psi)| |\vec{n}(\psi)|}$$

$$= \cos(\varphi)$$

# *La spirale logarithmique*



## RÉSISTANCE DU ROCHER

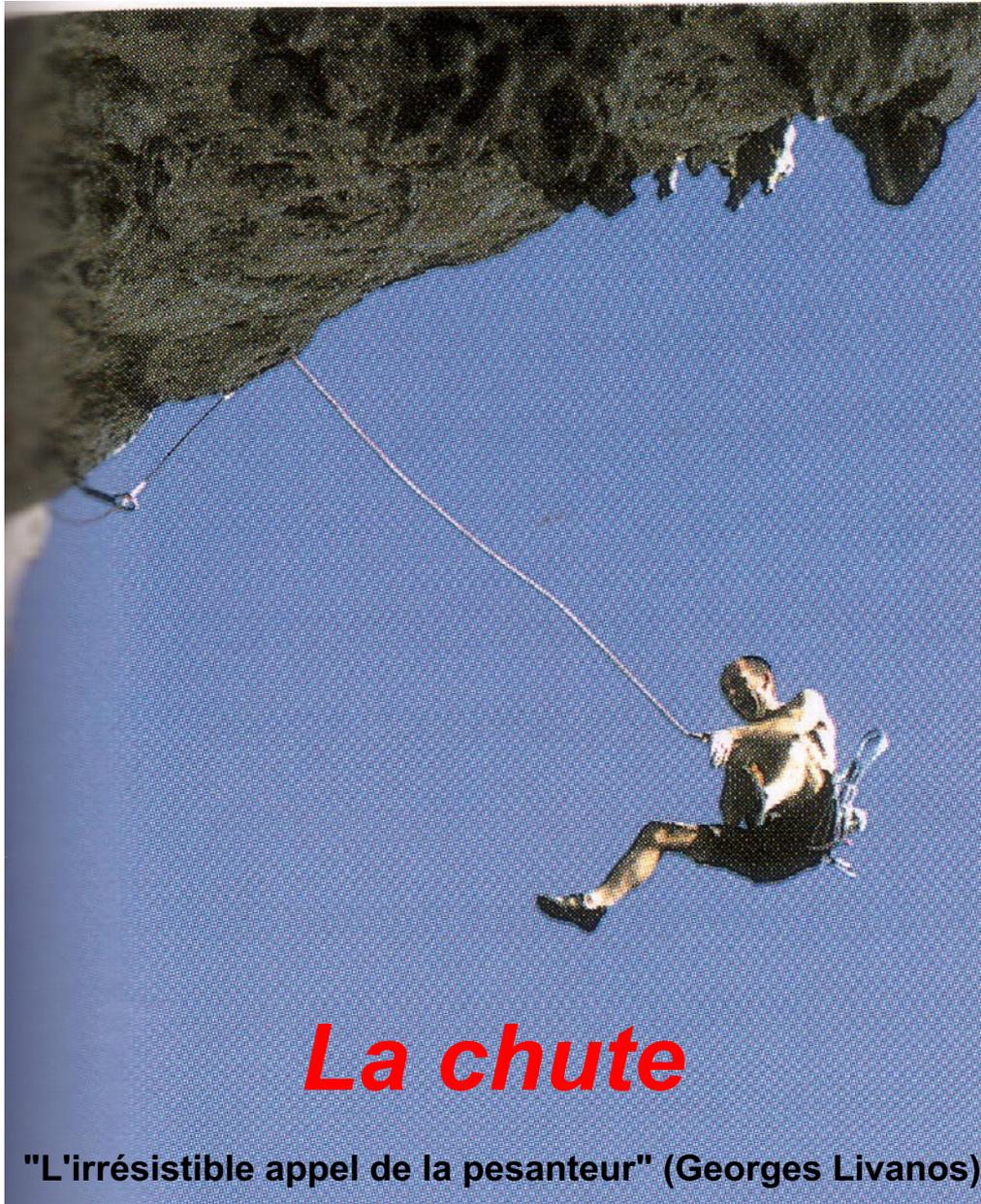
Généralement on parle de dureté (exemple : l'échelle des géologues) ou résistance à l'écrasement. On présente ici une table de valeurs de dureté des rochers d'escalade :

Résistance du rocher	
Type de rocher	Résistance à l'écrasement
Granit	1 600 à 2 400 kg/cm <sup>2</sup>
Diorite (ex. Californie)	1 700 à 3 000 kg/cm <sup>2</sup>
Grès quartzitique	1 200 à 2 000 kg/cm <sup>2</sup>
Grès (autres)	300 à 1 800 kg/cm <sup>2</sup>
Calcaire dolomitique	800 à 1 800 kg/cm <sup>2</sup>
Calcaire (falaises)	200 à 900 kg/cm <sup>2</sup>

# La chute



"Mon Dieu, ne réponds pas si tu es de mauvaise humeur ! "



- I. Facteur de chute
- II. Force de choc
- III. Élasticité de la corde et absorption du choc
- IV. Friction de la corde
- V. Assurage "sec" et "dynamique"

# Facteur de chute

Hauteur de chute divisée par  
la longueur de corde utilisée  
(= distance grimpeur ↔  
assureur

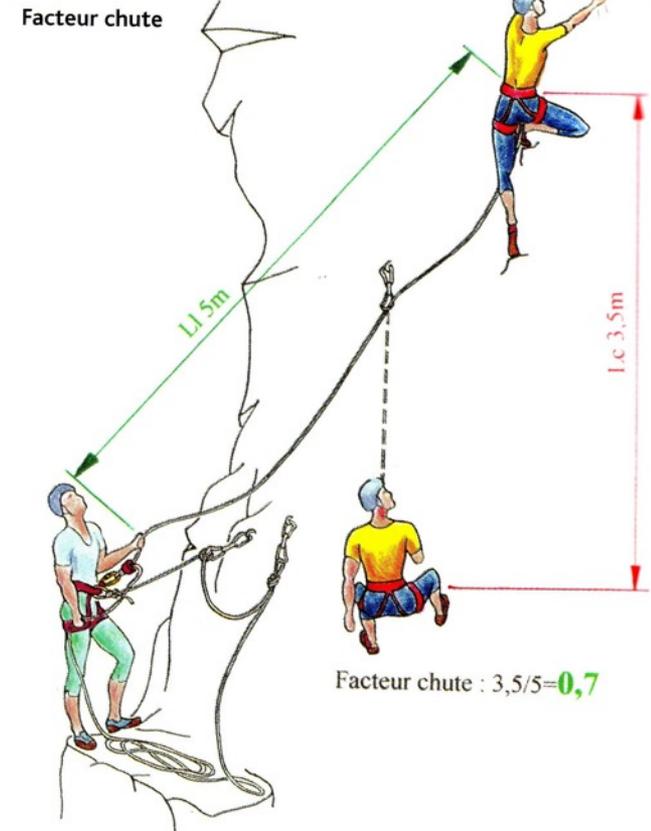
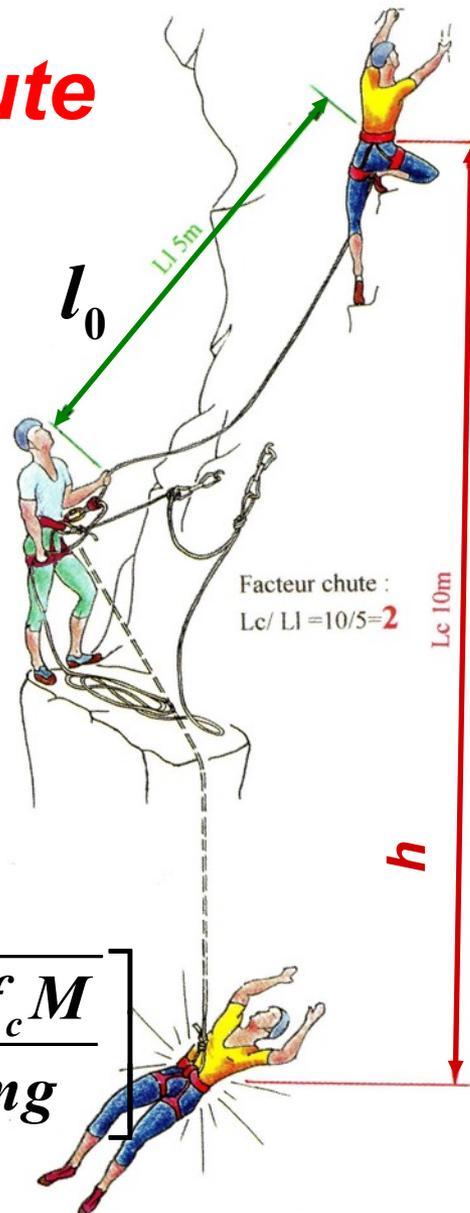
$$f_c = h / l_0 \leq 2$$

# Force de choc

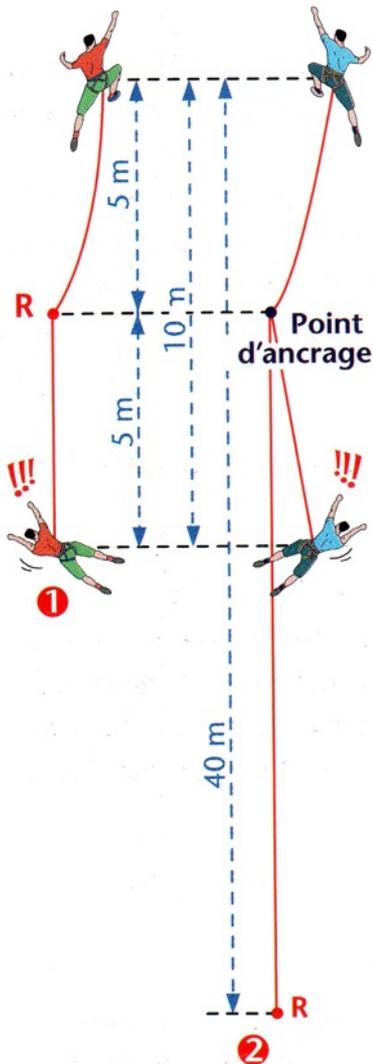
La force restituée par la corde  
au moment de l'arrêt d'une  
chute.

Elle ne depends que du  
facteur de chute !!!

$$F_{\max}^{\text{choc}} = mg \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2 f_c M}{mg}} \right]$$

# Facteur de chute



Une chute de 10 mètres dans deux cas différents :

①  $F_c = \frac{10}{5} = 2$ .

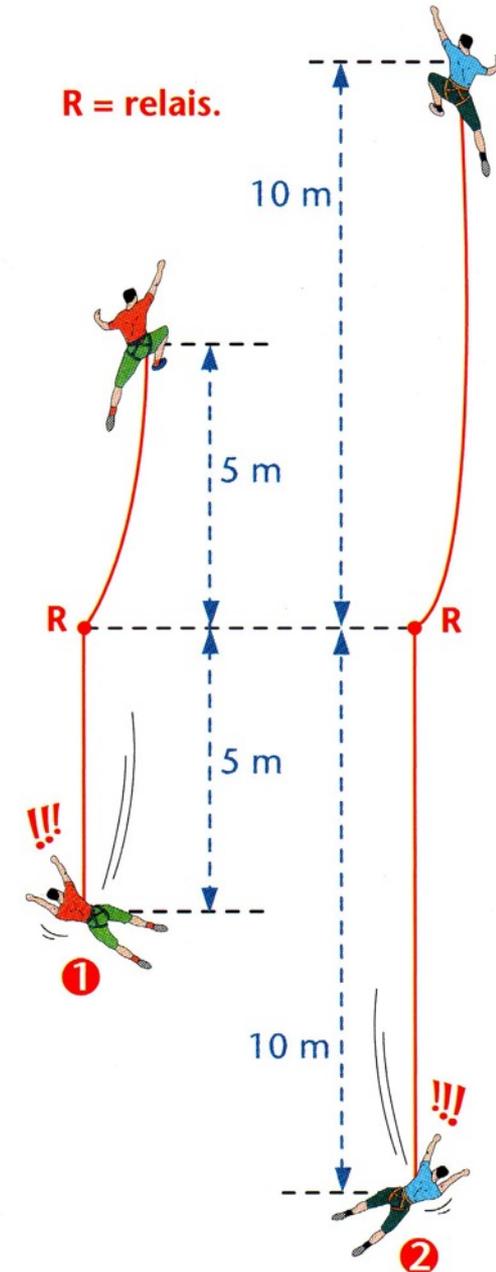
②  $F_c = \frac{10}{40} = 0,25$ .

**R = relais** : lieu où la cordée s'arrête en bout de corde.

Il doit comporter au moins deux points d'ancrage ou d'assurage (pitons, coinçeurs, broches, etc.). Pour une même chute de 5 mètres, en 2, la force choc est d'environ 0,25 au lieu de 2.

① Chute : 10 m.  
Corde utilisée : 5 m.  
Facteur de chute :  $\frac{10}{5} = 2$ .

② Chute : 20 m.  
Corde utilisée : 10 m.  
Facteur de chute :  $\frac{20}{10} = 2$ .



# Calcul de $F_{choc}$

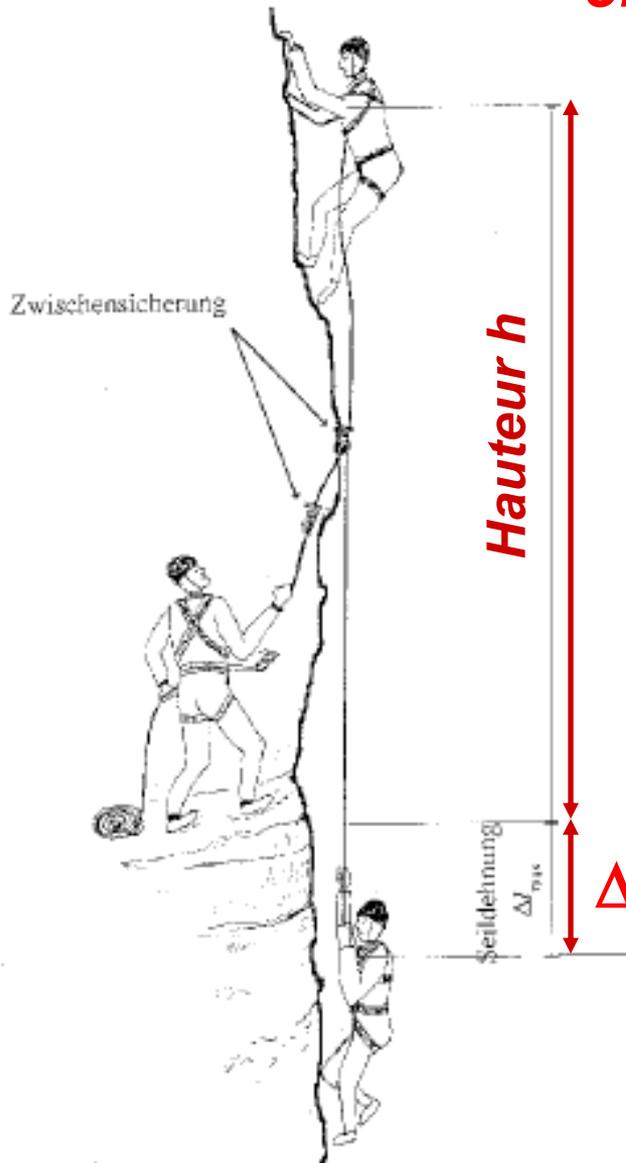
$$F_{Rappel}^{corde} = -k\Delta l = kl_0 \frac{\Delta l}{l_0} = M \cdot \varepsilon$$

$$M = E_{Young} \cdot A$$

$M$  = module de la corde

$E_{Young}$  = Module de Young

$A = \pi \cdot r^2$ ;  $r$  = rayon de la corde



$$E_{grimpeur}^{potentielle} \xrightarrow{\text{chute}} E_{grimpeur}^{cinétique} \xrightarrow{\text{arret}} E_{corde}^{potentielle} \quad (\text{amortissement})$$

$$mg \cdot (h + \Delta l_{\max}) = \frac{1}{2} k (\Delta l_{\max})^2$$

$\Rightarrow$

$$\Delta l_{\max} = \frac{mg}{k} \left[ 1 \pm \sqrt{1 + \frac{2h \cdot k}{mg}} \right]$$

$$\Delta l = \frac{mg}{k} : \text{élongation en équilibre}$$

"+" = élongation maximale

"-" = élongation minimale autour

de la position en équilibre

dans le cas d'une oscillation harmonique

$$F_{choc}^{\max} = M \varepsilon^{\max} = k \cdot \Delta l_{\max} ; \quad hk = \frac{hkl_0}{l_0} = f_c M ; \quad f_c = h/l_0$$

$$F_{choc}^{\max} = mg \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2f_c M}{mg}} \right] ; \quad \frac{\Delta l_{\max}}{l_0} = \frac{mg}{M} \left[ 1 \pm \sqrt{1 + \frac{2f_c M}{mg}} \right]$$

# La chute comme oscillateur amorti en régime critique

$$m = 60 \text{ Kg} ; M = 30 \text{ kN}$$

$$l_0 = 5 \text{ m} ; h = 5 \text{ m} ; f_c = 1$$

$$k = M / l_0 = 6 \text{ kN} / \text{m}$$

$$g = 9.81 \text{ m} / \text{s}^2 \approx 10 \text{ m} / \text{s}^2$$

Chute de 5m, debut à  $z=0$ ,  $t=0$ :

$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$z = -l_0 \Rightarrow t \approx 1 \text{ s}$$

$$v_0(\text{à } 5 \text{ m}) = -gt = -10 \text{ m} / \text{s}$$

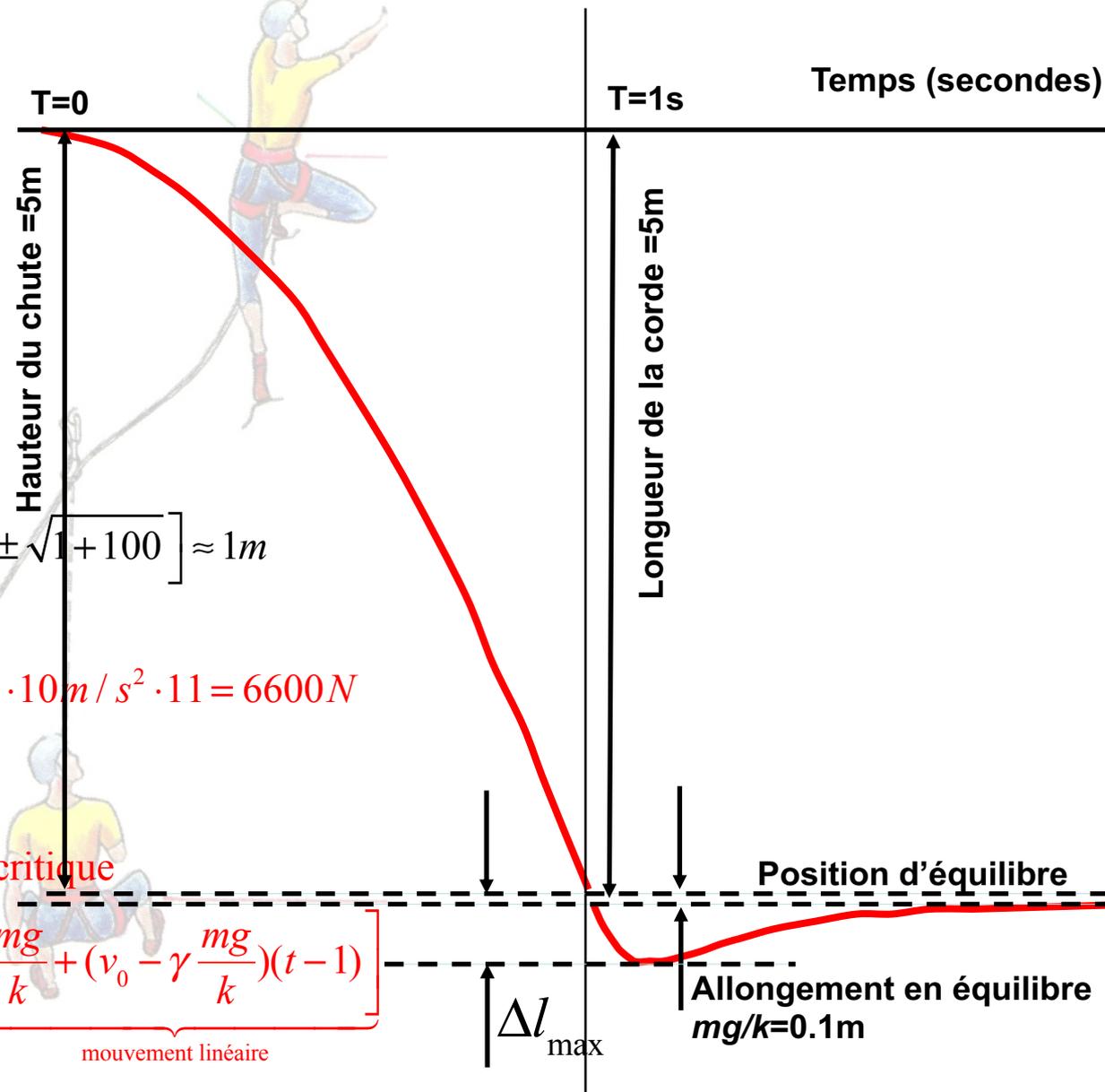
$$\Delta l_{\text{max}} = \frac{mg}{k} \left[ 1 \pm \sqrt{1 + \frac{2h \cdot k}{mg}} \right] = 0.1 \left[ 1 \pm \sqrt{1 + 100} \right] \approx 1 \text{ m}$$

$$F_{\text{choc}}^{\text{max}} = mg \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2f_c M}{mg}} \right] = 60 \text{ Kg} \cdot 10 \text{ m} / \text{s}^2 \cdot 1.1 = 6600 \text{ N}$$

$$\ddot{z} + 2\gamma\dot{z} + \omega_0^2 z = 0$$

$$\omega_0^2 = k / m = 100 \text{ s}^{-2} = \gamma^2 \text{ en régime critique}$$

$$z(t > 1) = \underbrace{-l_0}_{\text{corde}} - \underbrace{\frac{mg}{k}}_{\text{allongement}} + \underbrace{e^{-\gamma(t-1)}}_{\text{amortissement de la amplitude}} \left[ \underbrace{\frac{mg}{k} + (v_0 - \gamma \frac{mg}{k})(t-1)}_{\text{mouvement linéaire}} \right]$$



# Les cordes élastiques

On suppose ici que toute l'élongation est due à la corde,  
en réalité le baudrier et le corps humain s'éloignent aussi  
⇒ Transfer d'énergie vers le baudrier et le grimpeur

$$F_{choc}^{max} = mg \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2 f_c M}{mg}} \right]$$

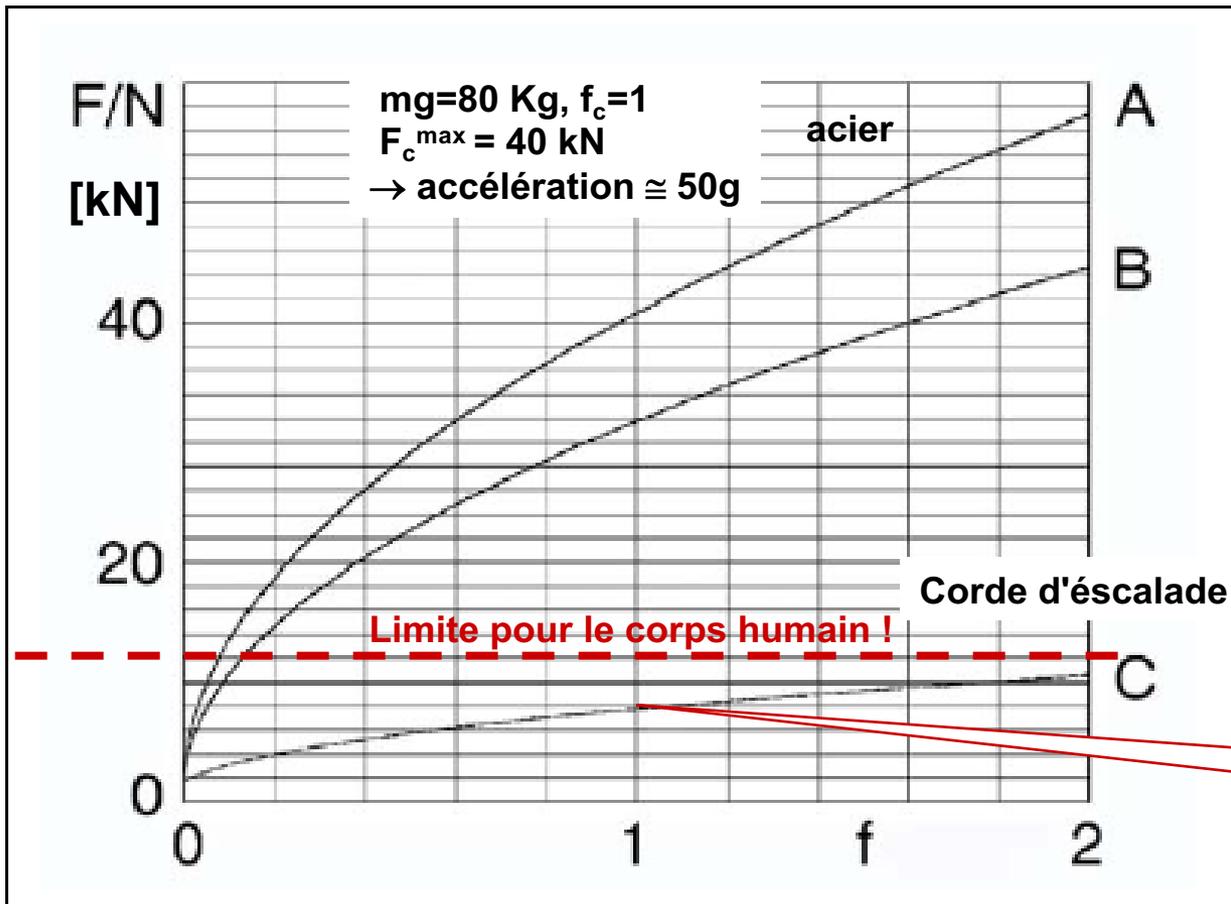


Abb.6: Fangstoß für einen Kletterer vom Gewicht  $G = 800N$  in Abhängigkeit vom Sturzfaktor  $f$  für drei Seilarten: (A) Drahtseil mit  $M = 1000$  kN, (B) Hanfseil mit  $M = 600$  kN und (C) modernes Kletterseil mit  $M = 30$  kN.

- Acier :  $M \sim 1000$  kN
- Chanvre :  $M \sim 600$  kN
- Corde d'escalade :  $M \sim 30$  kN  
Élongation de la corde  $\approx 26\%$

**La force de choc ne dépends que du facteur de chute !!! ???  
chute de 1 m  $\equiv$  chute de 10 m ??????**

**I. Phase de freinage**

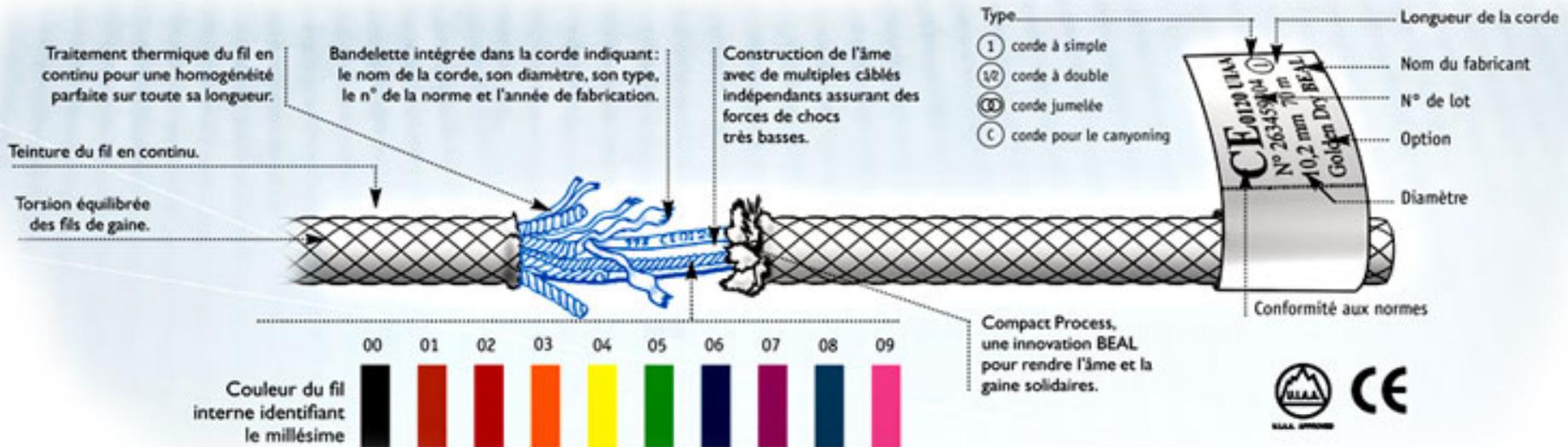
- 1 m : 0.1 seconde
- 10 m : 0.3 seconde

**II. Assurage dynamique (voir plus tard)**

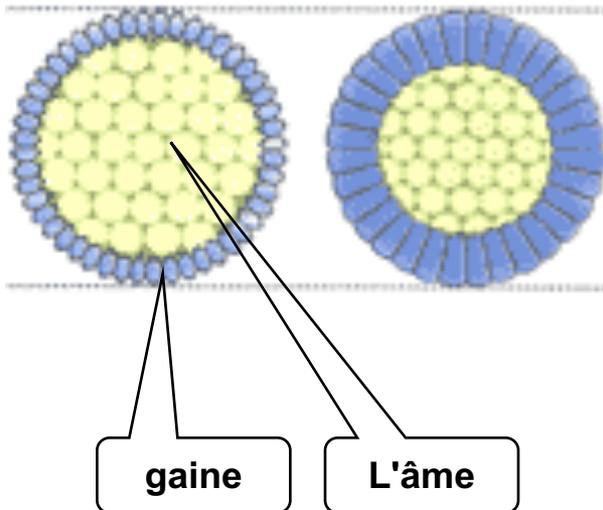
**III. Elongation du baudrier et corps environ 20-30 cm**

**absorption d'environ 25-30% d'énergie du chute  
(pour les chutes de faible hauteur)**

# Les cordes



## "Kernmantle Rope"

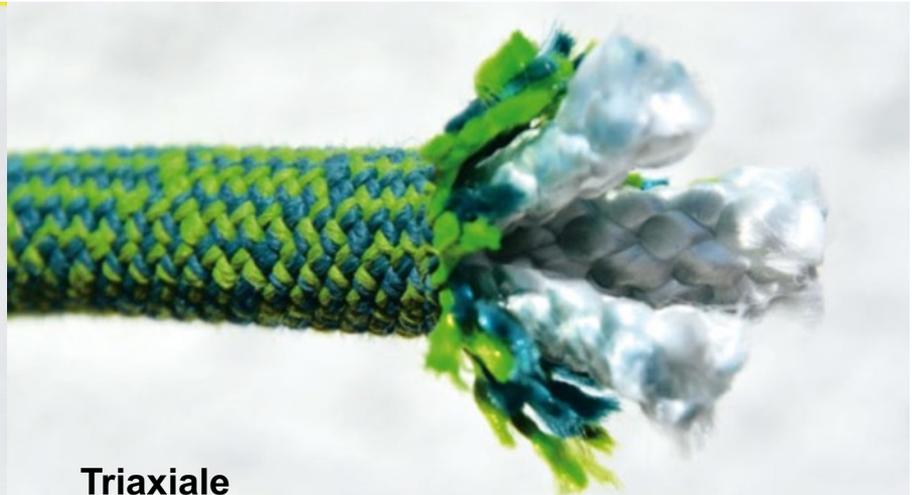


Corde statique (normalement en blanc)  
utilisé en alpinisme comme corde fixe  
(JAMAIS pour l'assurage !!!)

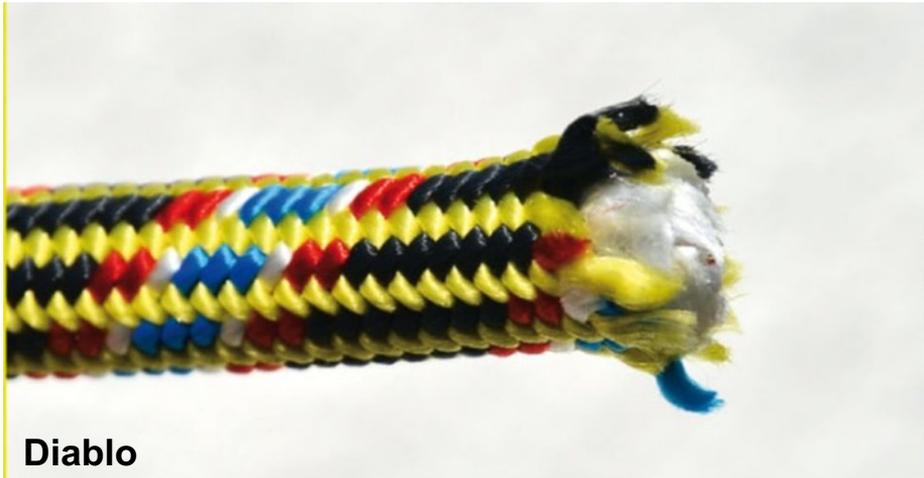
Corde dynamique ("élastique")  
escalade, alpinisme  
absorbe une partie de l'énergie du chute  
corde simple :  $\varnothing$  10-10,5 mm  
corde à double :  $\varnothing \cong 8.5$  mm  
corde jumelée :  $\varnothing$  8 mm ( $\infty$ )



classique



Triaxiale



Diablo

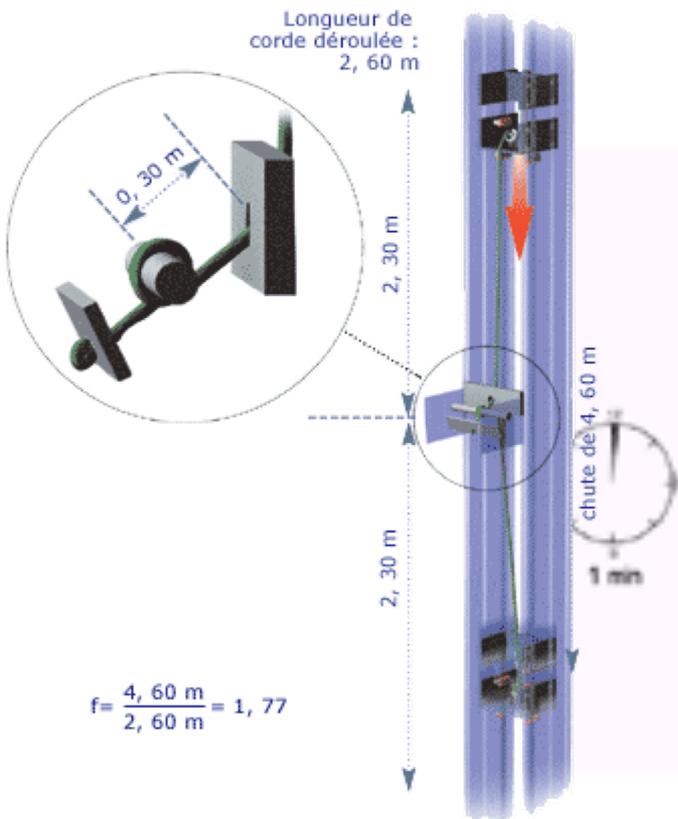
***L'intérieur des cordes***

# *Fabrication des cordes*

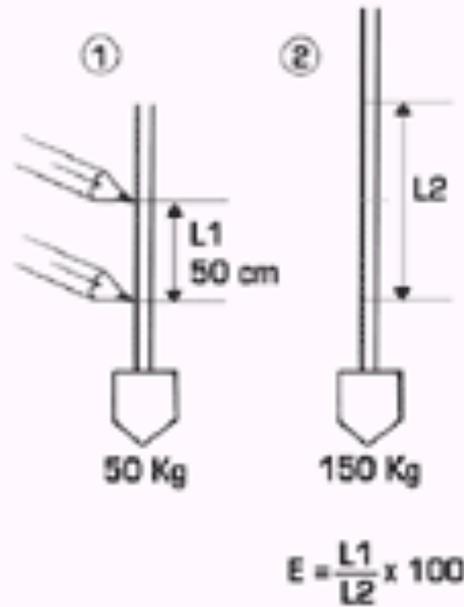


# Les tests des cordes

## Dispositif de test

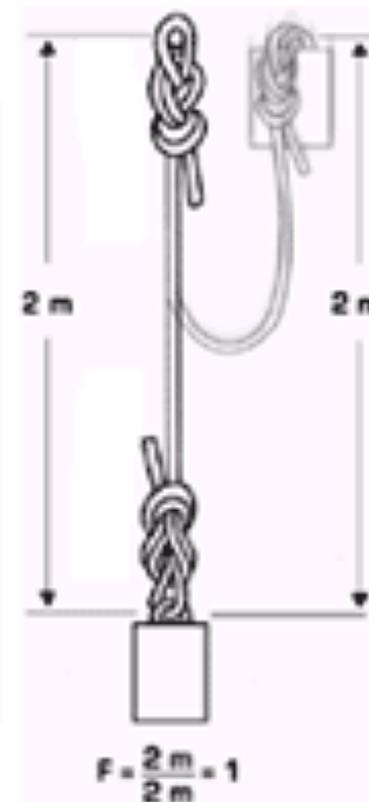


## Elongation statique



Nombre des chutes  
5 chutes tout les  
trois minutes  
(80/100Kg)

Stabilité statique



# Spécification des cordes « Edelweiss »

Seile	Proline 10	Proline 10.5	Proline 11	Access 11	Rescue 13	Bud 10.5	Quercus 13	Sequoia 13.5
TYP	A	A	A	A	A	A	A	A
DURCHMESSER	9.9 mm	10.4 mm	11.1 mm	10.9 mm	13.4 mm	10.5 mm	12.6 mm	13.5 mm
STATISCHE HALTEKRAFT	23 kN	26 kN	30 kN	30 kN	44 kN	24 kN	34 kN	30 kN
HALTEKRAFT MIT ACHTERKNOTEN	17 kN	19 kN	19 kN	20 kN	24 kN	17 kN	19 kN	18 kN
DEHNUNG UNTER 50/150KG	2.2 %	4.8 %	4 %	2.8 %	2.9 %	3.1 %	4.2 %	5 %
GEWICHT	64 g/m	65 g/m	75 g/m	77 g/m	107 g/m	67 g/m	99 g/m	119 g/m
MANTELVERSCHIEBUNG	0	0.3 %	0.93 %	0	0.2 %	0.2 %	0	0
KNOTBARKEIT	0.7	0.85	1.1	1.01	1.06	1.1	0.8	0.73
SCHRUMPUNG	3 %	3.5 %	3 %	3.4 %	0.35 %	5 %	2 %	4.2 %
MANTELANTEIL	41.2	44	43.7	33.6	37	36.4	82.2	60.6
MATERIAL	polyamid	polyamid	polyamid	polyamid	polyamid	polyamid	polyamid	polyester/polyamid

élongation

# *La corde et ses nœuds*

Un nœud va dégrader la résistance de la corde (flexion de faible rayon !)

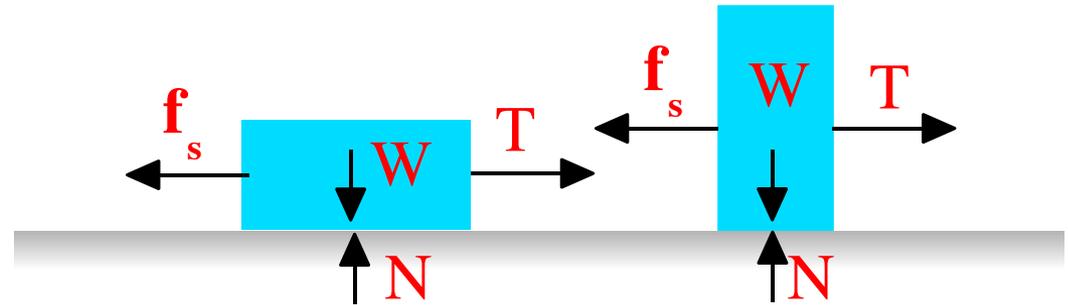
## Knot Strength

I.	NO Knot	100%	Pas de nœud
II.	Double Fisherman's	65-70%	Double pêcheur
III.	Bowline	70-75%	Bouline (chaise)
IV.	Water Knot	60-70%	Sangle
V.	Figure 8	75-80%	En huit « 8 »
VI.	Clove Hitch	60-65%	Cabestan
VII.	Fisherman's	60-65%	pêcheur
VIII.	Overhand	60-65%	simple

## Friction statique

$$f_s^{\max} = \mu_s N; \mu_s \leq 1$$

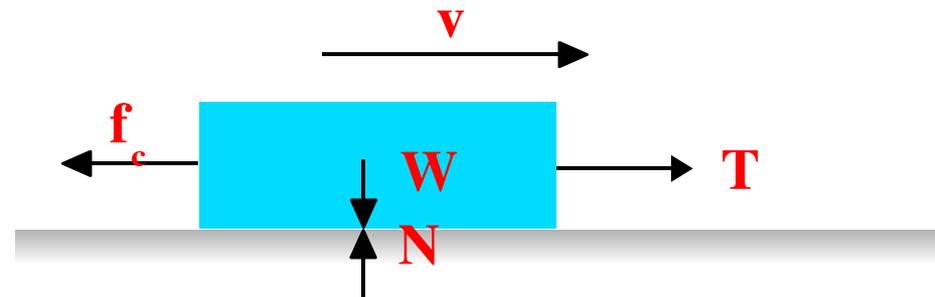
$\mu_s$  coefficient de frottement statique



## Friction dynamique ou cinétique

$$f_c = \mu_c N; \mu_c < 1$$

$\mu_c$  est le coefficient de frottement cinétique



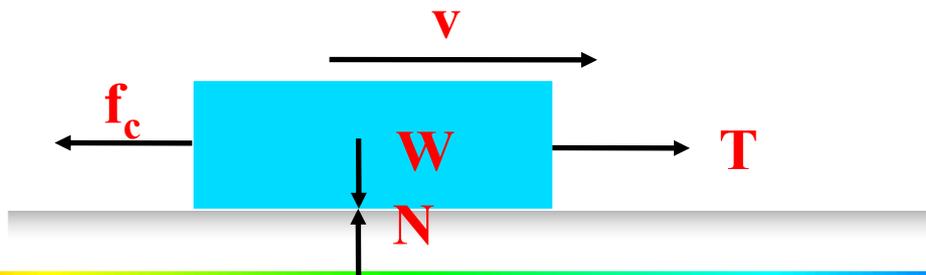
# Coefficient de frottement cinétique $\mu_c$

La force, qui doit être appliquée pour qu'un objet qui glisse garde une vitesse constante, est inférieure à celle qui est nécessaire pour commencer le mouvement

- $f_c$  est indépendante de l'aire de contact!
- $f_c$  est proportionnelle à la force normale  $N$
- $f_c = \mu_c N$  ;  $\mu_c \leq \mu_s$

$\mu_c$  est le coefficient de frottement cinétique

$\mu_c$  est pratiquement indépendant de la vitesse



## ***Coefficient de frottement cinétique $\mu_c$ des vêtements sur la glace et la neige***

- **Glace et neige dur :  $\mu_c \cong 0.03$**   
40°  $\Rightarrow$  vitesse de glissement  $\rightarrow$  90% chute libre
- **Neige fraîche,  $\mu_c \cong 0.2-0.3$**   
30°  $\Rightarrow$  vitesse de glissement  $\rightarrow$  50% chute libre

***Attention en alpinisme et ski !!!***



$$F(\alpha) = F_0 \cdot e^{-\mu_c \cdot \alpha}$$

**Frottement autour  
d'un mousqueton**

$$F_{frict} = F(\alpha) - F_0 < 0$$

$$A \rightarrow B : d\varphi$$

$$F \rightarrow F + dF ; \quad dF < 0$$

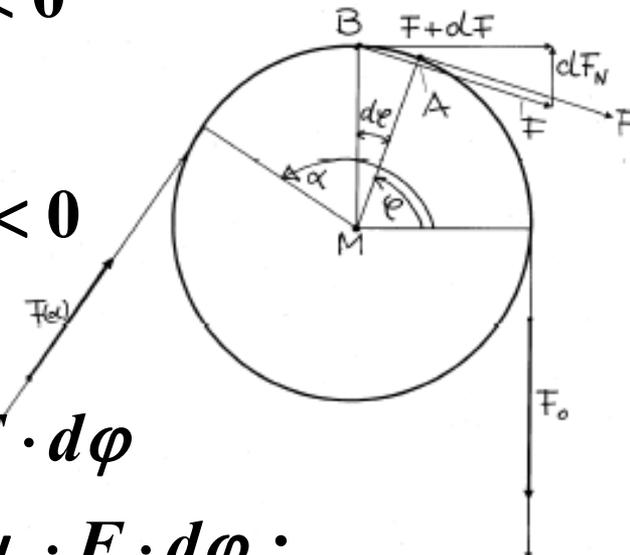
$$dF_N \perp (F + dF)$$

$$dF_N = F \cdot \sin d\varphi \approx F \cdot d\varphi$$

$$dF = -\mu_c \cdot dF_N = -\mu_c \cdot F \cdot d\varphi ;$$

$$\frac{dF}{F} = -\mu_c \cdot d\varphi ; \text{ et } F(0) = F_0$$

$$\int_{\varphi=0}^{\varphi=\alpha} \Rightarrow F(\alpha) = F_0 \cdot e^{-\mu_c \cdot \alpha}$$



$$\mu_c \approx 0.2$$

Hypothèse implicite :

$$\varnothing_{\text{corde}} \ll \varnothing_{\text{mousqueton}}$$

???

Frein	Freinage max (kg - force)	Freinage	Mise en œuvre	Aisance assurance premier	Moulinette	Assurance premier Falaise sport	Terrain d'aventure
Huit rapide	90	NON	****	***	NON	NON	*corde double
Huit	140	*	****	*	**	*	*
Plaquette	200	**	****	***	***	***	***
Nœud demi-cabestan	250	***	***	**	**	**	**
ABS- autobloquant	250	***	*	*(*)	**(*)	**	**(*)
LOGIC- autobloquant	> 350	****	**	***	***(*)	***	NON
GRI-GRI autobloquant	500 à 900	****	*	*(*)	***(*)	**	NON

Freinage maximal sur corde simple 10,5 mm de diamètre.

NON non adapté, \*moyen, \*\*bon, \*\*\*très bien, \*\*\*\*excellent.

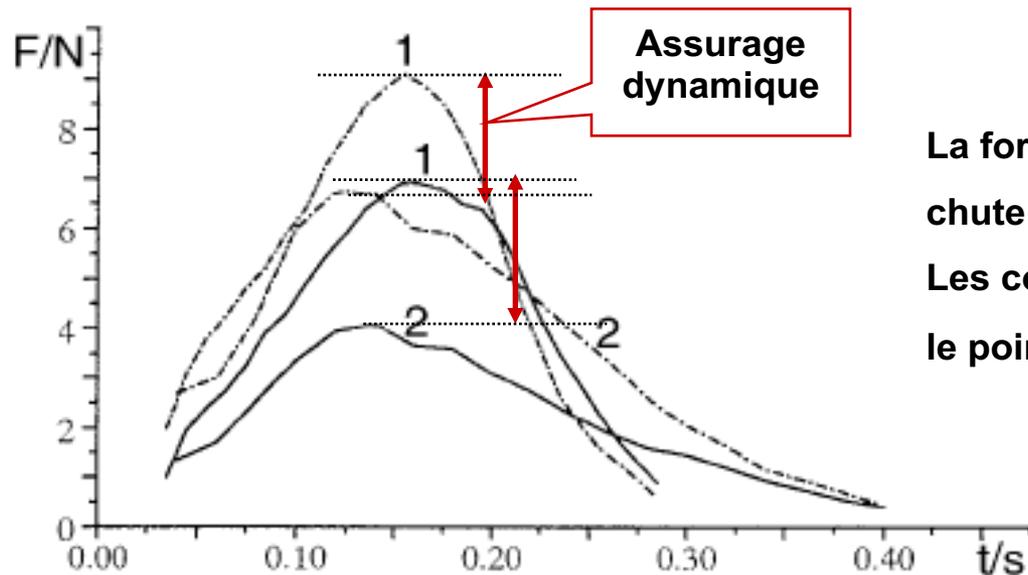
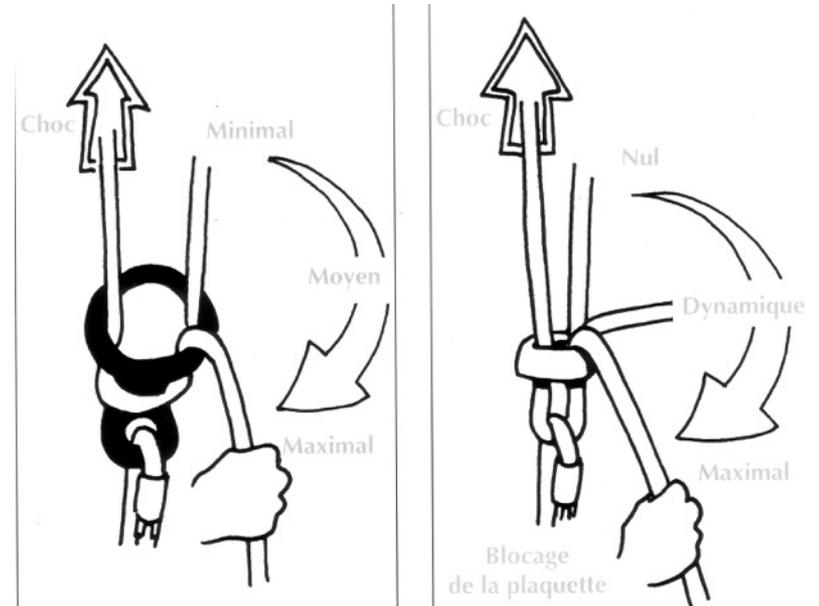
(\*) Amélioration avec entraînement.

**15 Kg force appliqués par la main de freinage**

# Assurance "sec" et "dynamique"

1. Assurance statique "sec"
2. Assurance dynamique

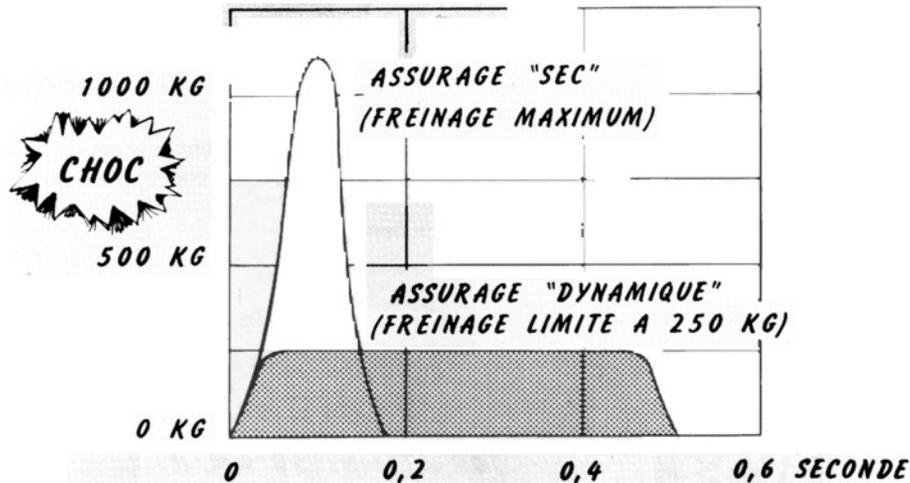
----- Côté poids  
 \_\_\_\_\_ Côté assurance



La force(kN) en fonction de temps(s) pour une chute en assurance sec (1) et dynamique (2)  
 Les courbes montres les forces avant et après le point du frottement

## NOTE TECHNIQUE DISTANCE D'ARRÊT ET FREINAGE

La distance (ou durée) d'arrêt et le freinage sont nos éléments de contrôle. On peut rappeler que la même situation existe pour l'arrêt d'un vélo : plus on freine, plus vite on s'arrête. La courbe ci-dessous illustre bien la force d'arrêt en fonction du temps nécessaire à enrayer une chute de 5 mètres pour deux types d'assurage : plus court sera l'arrêt, plus grande sera la force.



Durée du choc (en secondes). (A ne pas confondre avec la durée de chute.)

Pendant le freinage la chute continue...

Il faut un freinage bien supérieur au poids du grimpeur en chute. La table ci-dessous montre l'augmentation de la hauteur de chute en fonction du freinage pour un grimpeur pesant 80 kg.

Table : Effet du freinage sur la hauteur totale de chute

Force moyenne de freinage subie par le grimpeur	Augmentation de la hauteur de chute (distance d'arrêt)
160 kg ( $\approx 1570$ N)	100%
240 kg ( $\approx 2354$ N)	50%
480 kg ( $\approx 4709$ N)	20%
880 kg ( $\approx 8633$ N)	10%

# Assurance "sec" et "dynamique"

Il y a un compromis à chercher !

Dissipation de l'énergie d'une chute :

- Frottement de la corde dans le mousqueton principal (50%)
- Frottement entre les fibres de la corde
- Frottement aux autres mousquetons, rocher
- Énergie d'une chute de 10m
  - $V = 14 \text{ m/s} = 50 \text{ km/h}$
  - $E = 7848 \text{ joule} = 1875 \text{ cal}$
  - Peut chauffer un verre d'eau par  $12^\circ\text{C}$  !

# *Physique et Alpinisme*

## **I. Les lois de la mécanique en escalade et alpinisme**

- a) Mouvement, équilibre, friction et adhérence
- b) Coinceurs, « friends » et autres dispositifs
- c) Les cordes, les nœuds, assurage, rappel, la corde et les chutes
- d) Systèmes de secours, techniques de mouflage

## **II. La neige**

- a) Formation et transformation des cristaux de neige
- b) Quelques phénomènes optiques dans l'atmosphère
- c) Physique d'avalanches
- d) Dipôles électromagnétiques et émission et réception d'un ARVA

## **III. L'atmosphère et l'altitude**

- a) L'atmosphère : composition pression et altitude, altimètres
- b) L'acclimatation du corps humain, les oxymètres portables

## **IV. Orientation**

- a) Equation de temps, orientation par le soleil
- b) Champ magnétique terrestre, boussole, corrections, navigation
- c) GPS, fonctionnement

