



# La physique en rapport avec l'escalade

Amortissement d'une chute (vol)

Force de choc

Facteur de chute

Résistance du matériel



# Force choc :

## Définition

- La force de choc est l'impact que va encaisser un grimpeur à la fin d'une chute.
- C'est l'effort exercée sur le grimpeur (son baudrier) lorsque la corde se tend à l'arrêt de la chute.
- Cette notion est particulièrement importante pour assurer :
  - Le confort du grimpeur,
  - La sécurité du grimpeur car un **arrêt trop violent peut** :
    - **traumatiser** le grimpeur
    - **solliciter** de façon trop importante les **points d'assurance**, particulièrement en terrain d'aventures, en montagne ou en glace.



# Force choc :

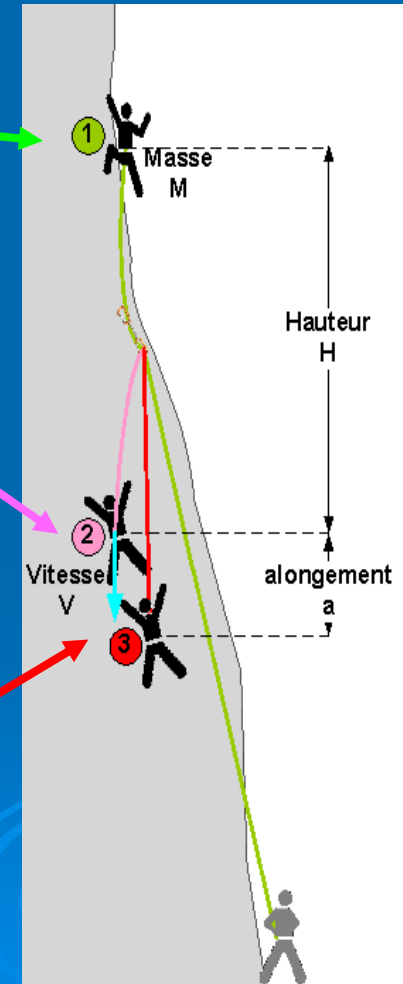
## Origine de la formule

Quand le grimpeur chute:

1. Il convertit son énergie potentielle ( $E_p = H \cdot M \cdot g$ ) en énergie cinétique ( $E_c = 1/2 M V^2$ )
2. Il acquière donc de la vitesse  $V = \sqrt{2gH}$   
**40 km/h pour une chute de 6 mètres**  
**50 km/h pour une chute de 10 mètres**
3. Pour arrêter la chute, la corde s'allonge. Elle se comporte comme un ressort qui oppose une force proportionnelle à son allongement. Ce travail de la force élastique de la corde représente une énergie élastique emmagasinée par la corde.

En fin de chute, la corde restitue cette énergie sous la forme :

**Abracadabra...**





# Force choc : Formule de calcul

Résultats (\*)

$$F_{\text{choc}} = M g * \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2 H s E}{L M g}} \right)$$

Hauteur de chute  
Longueur de corde

Section et Élasticité  
de la corde

Poids du  
grimpeur

Lorsqu'on grimpe :

On ne peut plus jouer sur son poids ( $M * g$ )

On ne peut plus jouer sur nature de la corde ( $s * E$ ).

**Le seul facteur qui va varier au moment de la chute est le rapport  $H/L$**

Donc pour **réduire la force choc**,  
la seule possibilité (en plus de l'**assurance dynamique**)  
est de **réduire le facteur de chute** (le rapport  $H / L$ ).

(\*) Voir calcul complet à la fin si pas allergique à la physique



# Force choc :

## Force choc max de la corde

Le fabricant de cordes indique la force choc max des cordes :

- pour un poids du grimpeur d'une masse de 80 kg
- Pour un facteur de chute de 1.77 (pour une corde d'escalade)

Cette valeur doit être inférieure à 12 kN (poids d'une masse de 1,2 tonne  
(voir à la page «Résistance du matériel» d'où vient cette valeur)

**Plus la valeur de la force choc max est faible, plus le choc sera doux.**

donc moindre sera le traumatisme du grimpeur et les risques d'arracher le matériel d'assurage.



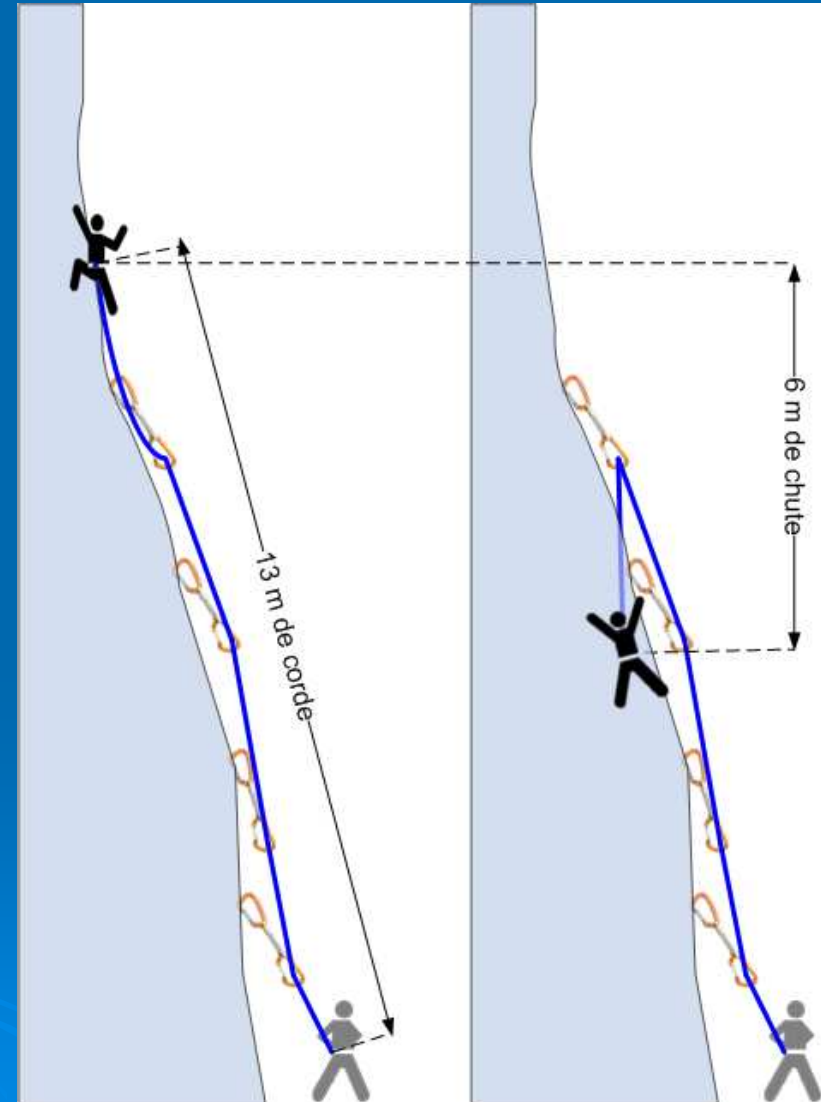
# Facteur de chute :

## Définition

C'est le rapport entre la hauteur de chute libre et la longueur au repos de corde disponible pour arrêter la chute

Exemple :

$$\frac{6 \text{ m de chute}}{13 \text{ m de corde}} = 0,45$$





# Facteur de chute :

## Quelques exemples pratiques

### o Spéléologie

- Le facteur de chute est théoriquement inférieur ou égal à 1 si l'équipement est correctement réalisé.
- Ceci autorise l'emploi de cordes semi-statiques.

### o Escalade - Alpinisme

- Le facteur de chute est inférieur ou égal à 2.
- **Il faut utiliser une corde dynamique.**


### o Via Ferrata


- La longe de 1m glisse sur le câble pendant 5m.
- Le facteur de chute peut monter jusqu'à 5 ou 6.
- **Il est impératif d'utiliser un absorbeur de choc.**

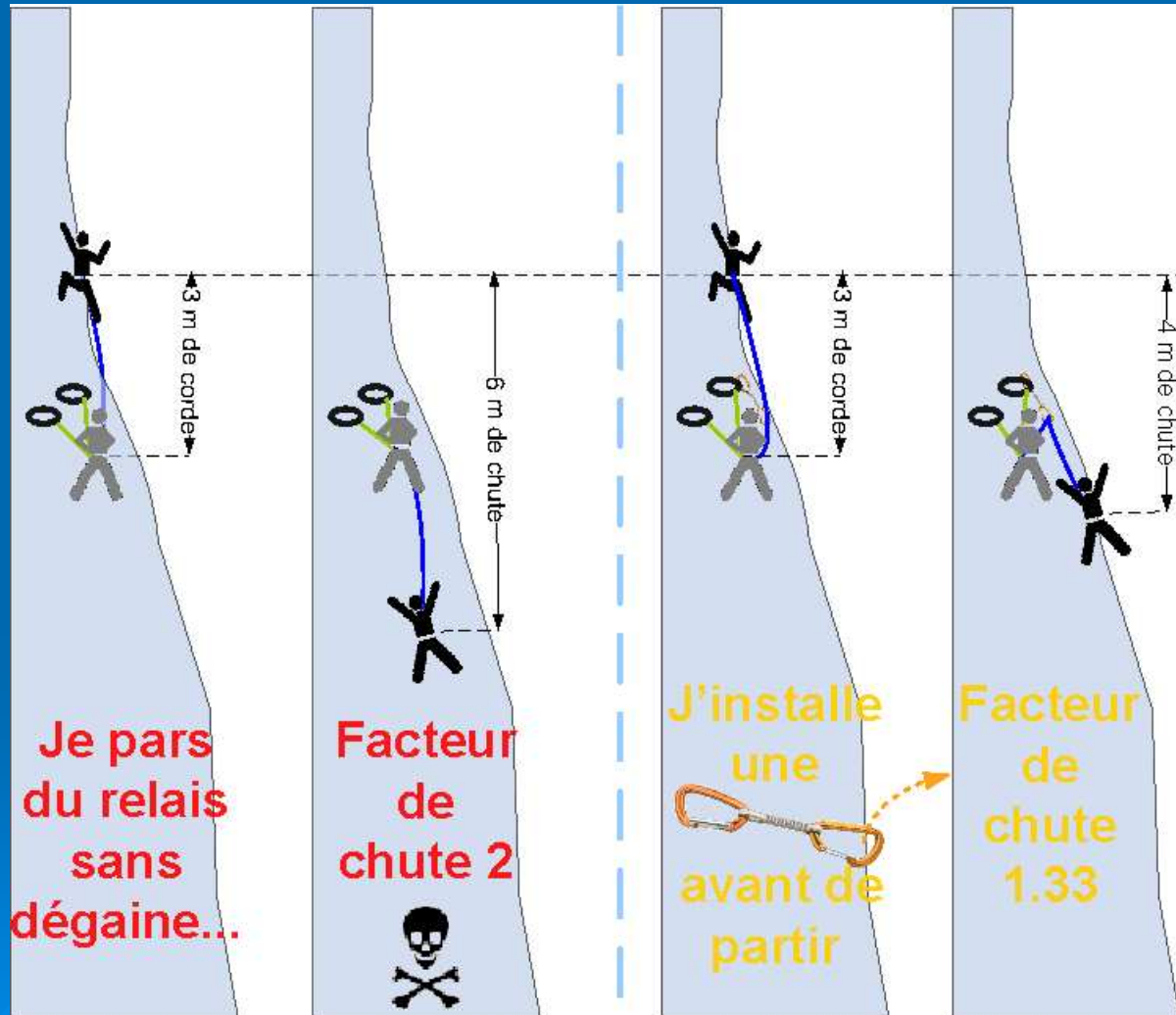


# Facteur de chute :

## Cas particulier : Départ relais

Sans dégaine  
Facteur de chute  
=  $6/3$   
= 2 

Avec  à 1m  
Facteur de chute  
=  $4/3$   
= 1.33







# Facteur de chute :

## Différences entre facteur chute théorique et réel

**Lorsqu'il y a du tirage** (si la corde est soumise à de forts frottements), la longueur de corde efficace pour retenir la chute diminue et le **facteur de chute** peut alors être bien plus important, et même **se rapprocher de 2**.

Dans la pratique, et principalement en terrain d'aventure, on utilise une **corde de rappel 1/2** (possédant deux brins) **mousquetonnée un brin sur deux**.  
Pour réduire le tirage et ainsi réduire le facteur chute réel.





# Force de choc :

## Types de cordes

Il existe 3 types de cordes ainsi marquées :

1

**Corde à simple** : 1 brin,  
force choc max=12kN (1200kg).

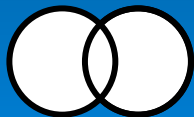
On passe 1 brin par dégaine (de toute façons il n'y en a qu'un).

1/2

**Corde à double (ou corde de rappel)** : 2 brins,  
Force choc max = 8kN (800 kg) / brin.

**On ne passe qu'un seul brin par dégaine**

(si on passe les 2 brins, la force choc risque d'être trop forte).



**Corde jumelée** : 2 brins,  
Force choc max = 12kN (1200 kg) / les 2 brins.

**On passe les 2 brins par dégaine.**



# Force choc :

## Conséquences pratiques

- o La **force de choc** d'une corde doit être la plus faible possible, toujours **inférieure à 12kN (\*) pour une corde à simple**. Une bonne corde a une force de choc de 7kN.
- o L'âge d'une corde est compté en nombre de chutes de facteur 2 qu'elle a subi. Les cordes d'escalade sont conçues pour résister à au moins 5 chutes de facteur 2. Une bonne corde peut **résister à 8 chutes de facteur 2**.
- o Il est de bonne pratique de **marquer sur la corde le nombre de chutes** qu'elle a subi afin de connaître son élasticité (si elle est vieille elle sera d'autant moins souple), par exemple en dessinant des traits sur les bouts pour chaque chute importante.

(\*) Rappel : 12kN = (poids d'une masse de 1200kg)



# Force choc :

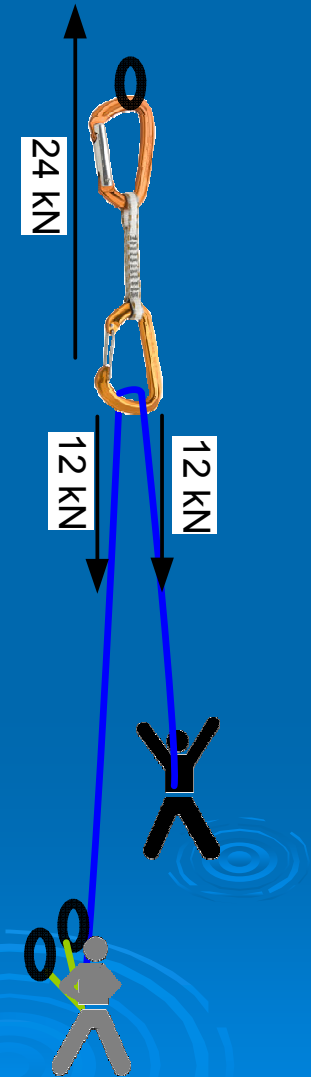
## Etat de la corde après un choc

- o La corde doit revenir à sa longueur initiale pour retrouver ses caractéristiques de force choc max.  
Lors des tests le fabricant attend 5 minutes avant de refaire un test de chute. Par ce protocole il assure que N chutes de facteur 2 consécutives seront amorties avec la force choc max qu'il indique.
- o Si après une chute, on repart directement dans la voie, on n'est plus dans les mêmes conditions d'utilisation de la corde.  
**En cas de 2ième chute**, la corde peut alors opposer une **force choc plus importante** et donc entraîner des **traumatismes plus graves**, ou la **rupture des points d'assurance**.
- o Il en va de même avec une **corde trop vieille** (âge, UV, ...). Elle ne cassera sans doute pas, mais offrira **autant d'amortissement qu'un câble d'acier...**



# Résistance du matériel

- o Le **corps humain** ne doit **pas** supporter **plus** de **15 g** durant l'amortissement. La corde doit donc supporter au min :  
 $15 * g * 80 \text{ kg} = 12000 \text{ N} = 12 \text{ kN}$  (poids d'une masse de 1,2 tonne)
- o L'effet poulie sollicite 2 fois toute la chaîne d'assurance (piton, dégaine)
- o Les dégaines doivent donc supporter  $2 * 12 \text{ kN} = 24 \text{ kN}$  (poids d'une masse de 2,4 tonne)  
En fait le frottement de corde consomme 30% de l'énergie, la contre réaction est d'environ 8,5 kN.  
La force exercée sur la dégaine est donc de 20,5 kN





# Contributions

Cette présentation a été élaborée à partir d'informations recueillies sur les sites web suivants :

[http://www.ac-noumea.nc/eps/respeda/docs/Escalade/La force de choc.pdf](http://www.ac-noumea.nc/eps/respeda/docs/Escalade/La%20force%20de%20choc.pdf)

[http://www.ac-noumea.nc/eps/respeda/docs/Escalade/Le facteur de chute.pdf](http://www.ac-noumea.nc/eps/respeda/docs/Escalade/Le%20facteur%20de%20chute.pdf)

<http://www.camptocamp.org/articles/118917/fr/la-force-de-choc>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Force de choc](http://fr.wikipedia.org/wiki/Force_de_choc)

<http://www.irisa.fr/caps/people/truong/NonWork/Escalade.html>



# Annexe : Calcul complet de la force choc

	Etape	Corde	Forces	Energies	Vit.	Alt.
1	Chute libre,	Lâche	Mg	Potentielle $Mg(H+a)$	0	H+a
	Chute libre	Lâche	Mg			
2	Fin Chute libre	Lâche	Mg	Potentielle $M*g*a$ Cinétique $\frac{1}{2} MV^2$	V Max	a
	Ammortissement	Se tend	Mg F corde			
3	F choc max	Tendue max	Mg F choc	Elastique $\frac{1}{2} ka^2$ (K : raideur corde)	0	0

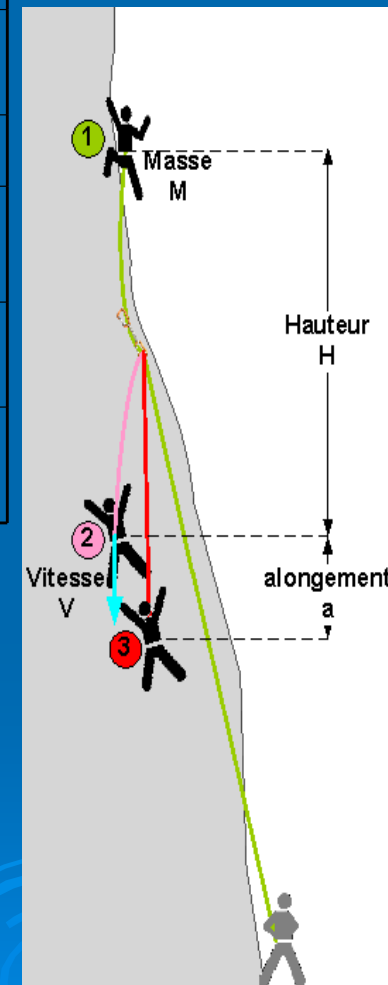
Entre 1 et 3, l'énergie potentielle se transforme en énergie élastique :

$$Mg (H+a) = \frac{1}{2} ka^2$$

$$ka^2 - 2Mga - 2MgH = 0$$

$$a = \frac{Mg}{k} * \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2kH}{Mg}} \right)$$

Physique et Escalade - a







# Annexe : Calcul complet de la force choc

La force choc est délivrée par la corde sous la forme

$$F_{\text{choc}} = ka = \frac{Mg}{k} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2kH}{Mg}} \right)$$

La raideur de la corde  $k = s \cdot E / L$

$s$  = section de la corde

$E$  = Elasticité de la corde

$L$  = Longueur de la corde

On obtient la formule de la force choc :

$$F_{\text{choc}} = Mg \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2sEH}{L Mg}} \right)$$

$$F_{\text{choc}} = Mg \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2sE H}{Mg L}} \right)$$

