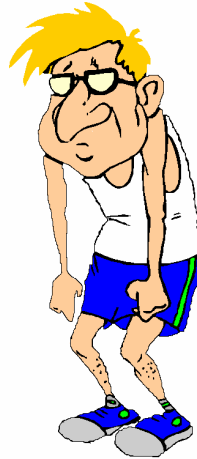


NOTION DE BIOMECHANIQUE

PRINCIPES BIOMECHANIQUES EN GYMNASTIQUE

La connaissance des principes mécaniques constitue le point de départ de la compréhension du geste gymnique



La biomécanique c'est L'application des lois physiques, au mouvement humain, elle a pour rôle de :

- **Décrire** : (ce que l'on voit, importance du langage),

La biomécanique est une science qui permet de décrire les éléments structuraux de l'organisme impliqué dans le mouvement et définir l'ensemble des forces qui leurs sont impliquées

- Biomécanique = quantitatif
- Technique = qualitatif

- **Comprendre** : (les actions principales)

Connaître le meilleur moyen de réaliser un mouvement pour une plus grande efficacité
Connaissance des contraintes pour éviter les accidents

- **Enseigner** : (mise en place d'ateliers, consignes).

Il n'y a pas une technique, mais des principes techniques avec des références biomécaniques

Les techniques peuvent être différentes, mais il y a des constantes biomécaniques

Elle se décompose en deux parties principales :

1. Une partie descriptive
2. Une partie fonctionnelle

Permettant l'ANALYSE TECHNIQUE d'un élément.

Les lois physiques mises en œuvre sont

- La statique : étude des conditions d'équilibre d'un corps,
- La dynamique : étude de la relation force – mouvements,
- La cinétique : étude des mouvements (ou cinématique.)

LES PREMIERS PRINCIPES DE BIOMECHANIQUE

La masse et le poids

Dans le langage de tous les jours personne ne fait la différence entre le poids et la masse d'un objet. Mais c'est une erreur car le poids et la masse sont deux grandeurs différentes qui ne rendent pas compte du même phénomène !

Masse : La masse d'un objet mesure simplement la quantité de matière contenue dans cet objet c'est à dire la masse des particules qui constituent cet objet (atomes ou molécules) Cette quantité de matière (donc la masse) sera la même quel que soit l'endroit où se trouve l'objet dans l'univers.

L'unité de masse est le kilogramme (kg)

Poids : Le poids mesure, lui, la force d'attraction qu'exerce un astre sur un objet et cette force d'attraction sera d'autant plus grande que cet astre aura une masse élevée. Ce qui signifie que le poids d'un objet varie dans l'univers et dépend de l'astre où il se trouve.

L'unité de poids est le Newton (N) (C'est Newton le premier qui s'est aperçu que la Terre attirait les objets vers elle).

Si cet objet se situe à une distance extrêmement grande d'un astre il ne subira quasiment aucune attraction et son poids sera quasiment nul. On dit que l'objet est en apesanteur.

Attention à ne pas confondre avec l'impesanteur qui est l'état dans lequel se trouve par exemple les astronautes dans leur fusée (en effet ceux-ci ne sont pas assez éloignés de la Terre pour que l'attraction soit négligeable !). L'impesanteur correspond à une absence de sensation de pesanteur, cette sensation étant due au fait que l'astronaute subit la même attraction que la fusée où il se trouve.

Masse et poids sont des grandeurs différentes mais sont quand même reliées l'une à l'autre par la relation suivante : $Poids = Masse \times g$

g représente ce que l'on appelle l'accélération ou l'intensité de la pesanteur qui a une valeur différente selon l'astre où l'on se trouve.

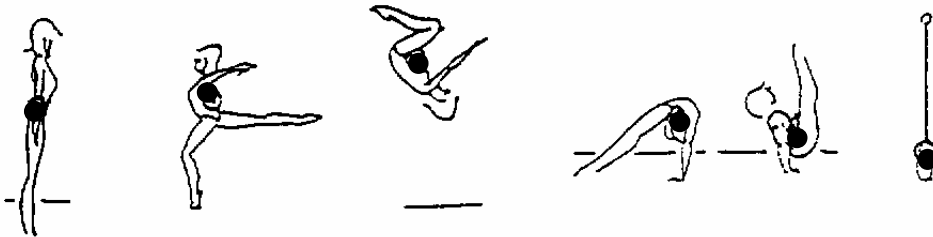
Exemple: g sur la Terre est environ 6 fois plus grand que g sur la Lune c'est à dire que la Terre attirera les objets 6 fois plus vers elle que la Lune et que leur poids sera 6 fois plus grand sur la Terre que sur la Lune

En résumé : la masse d'un corps (m) est la quantité de matière d'un corps (en Kg).
Le poids d'un corps est le produit de la masse par la force d'attraction terrestre.
La pesanteur est une force verticale dirigée vers le bas.

Centre de gravité = centre des masses : Point théorique qui représente le centre de la masse

C'est le point théorique d'application de la résultante des actions de la pesanteur sur toutes les parties du corps. Pour une personne en station debout, le CG se situe approximativement en avant de la 2ème vertèbre lombaire. Ce point n'est jamais fixe et varie en fonction des positions du corps.

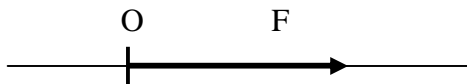
L'intérêt de sa connaissance : sa position permet de déterminer un état d'équilibre ou de déséquilibre.



Les forces : Cause capable de déformer un corps, de créer ou de modifier un mouvement.

La force est représentée par un **vecteur** (flèche) définissant :

- Sa direction (axe, droite sur laquelle va s'exercer la force)
- Son point d'application (O : endroit où la force agit)
- Son sens (flèche, positif ou négatif selon qu'elle agit dans le sens ou contre le mouvement)
- Son intensité (longueur, importance de la force)



On distingue :

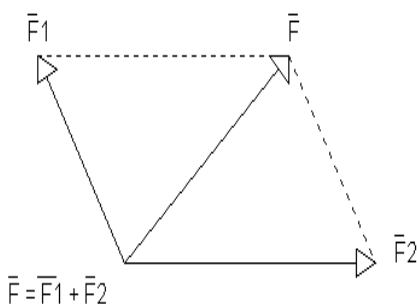
- Les forces internes = force musculaire, actions musculaires sur les leviers osseux
- Les forces externes = gravitation, frottement, action d'autrui, attraction terrestre

Combinaison de plusieurs forces :

La résultante de 2 forces est la diagonale du parallélogramme qui a pour côtés les 2 forces.

Son point d'application est souvent ramené au centre de gravité du corps.

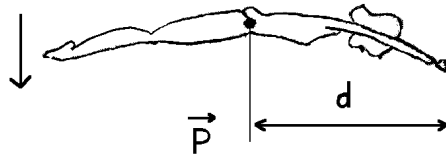
De la même façon, 1 force peut être décomposée en 2 forces qui peuvent être verticale et horizontale.



Moment d'une force :

M (moment) de $F = F$ (intensité de la force) $\times d$ (bras de levier de la force)

On peut donc augmenter le moment d'une force en augmentant soit l'intensité, soit le bras de levier.

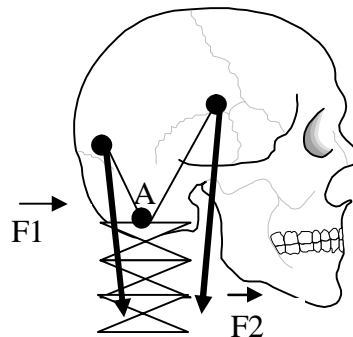
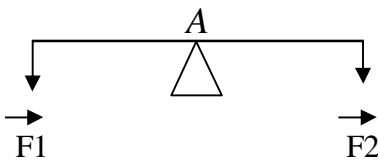


Notion de levier :

- 3 types de levier : - 1 levier d'équilibre (inter appui)
- 2 levier inter puissant
- 3 levier inter résistant

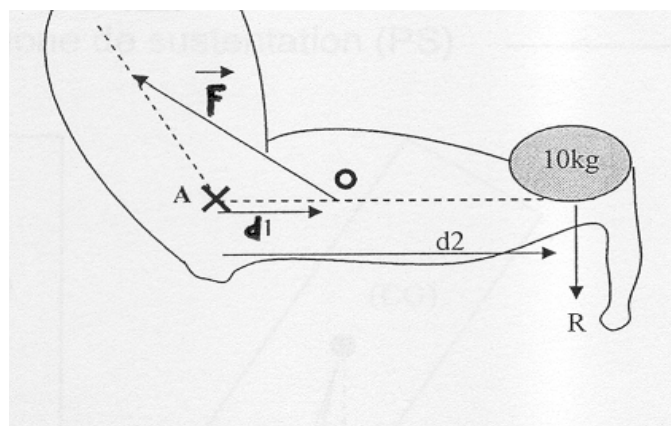
1) inter appui : le point d'application de la force F_1 et F_2 est situé de part et d'autre de l'axe

Exemple : la tête



2) inter puissant : le point d'application de la force musculaire est situé entre l'articulation et la résistance. Le point d'application de la force F correspond au point d'insertion du muscle sur le levier mobile

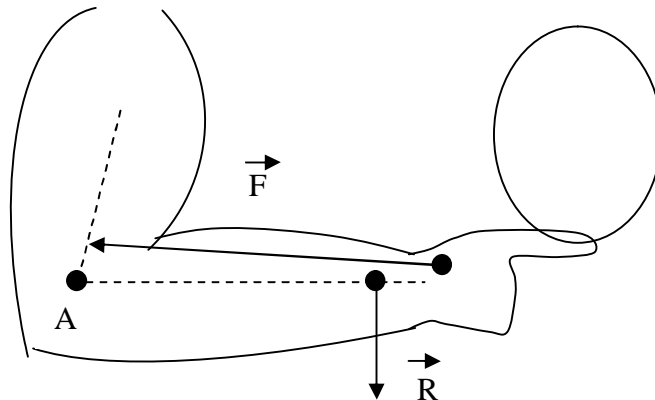
Exemple : la cuisse



Dans l'exemple de la course, les muscles postérieurs de la cuisse agissent sur la jambe dont le point est O . le mouvement de la jambe sur la cuisse mobilise l'articulation du genou A . Un tel levier permet donc à un muscle d'engendrer un déplacement rapide des extrémités du membre, pour un petit raccourcissement. Par contre cet avantage dynamique nécessite en contre partie une forte action musculaire F , pour une faible résistance R , parce que d_1 est bien inférieur à d_2 .

3) inter résistant :

La résistance est située entre l'articulation et le point d'application de la force. Moins fréquent dans l'organisme, il est souvent impliqué dans des mouvements précis et de faible amplitude. Le muscle développant la force possède une insertion sur le levier fixe, proche de l'articulation, et une insertion sur le levier mobilisé très éloigné de l'articulation.



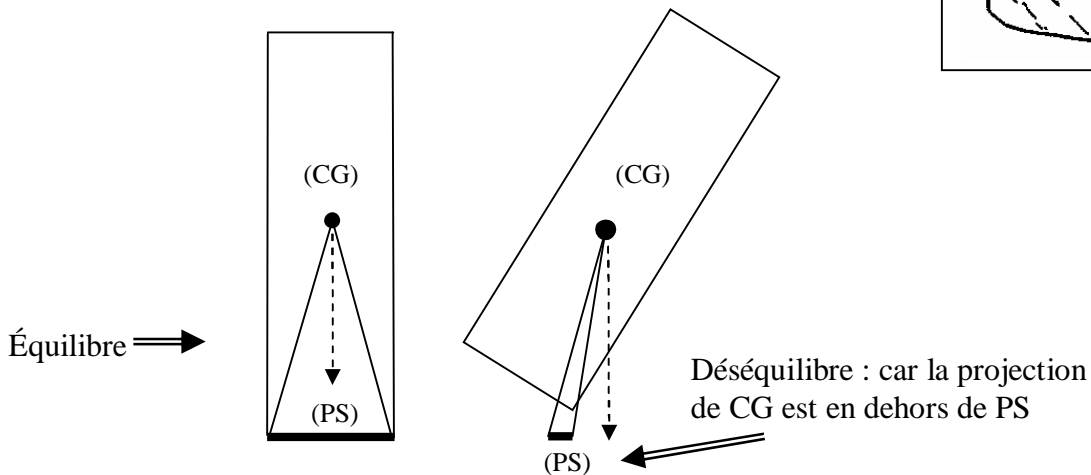
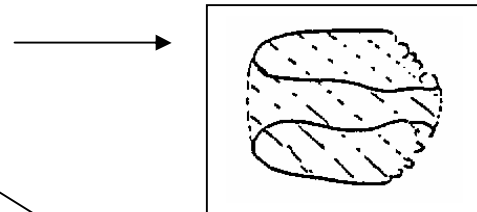
En résumé : Les facteurs d'efficacité des leviers varient selon

- la distance entre le point d'application de \vec{F} et l'axe de rotation
- la distance entre le point d'application de \vec{R} et l'axe de rotation

Notion d'équilibre

Un corps est en équilibre lorsque son centre de gravité se projette verticalement sur sa surface d'appui

Surface d'appui = polygone de sustentation (PS)

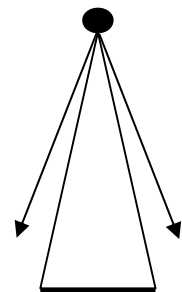


La hauteur du centre de gravité par rapport à cette surface détermine sa stabilité.

+ il est bas, + il est stable



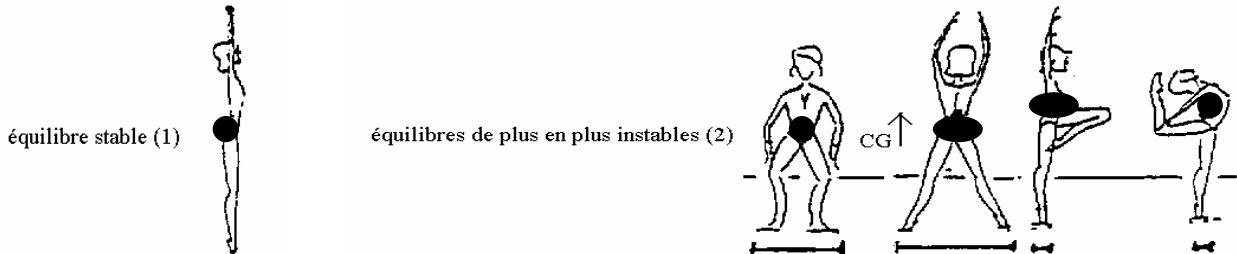
+ il est haut, - il est stable



La statique en gymnastique :

Equilibre à l'arrêt :

- Un corps est en équilibre quand les forces qui agissent sur lui se neutralisent, quand le centre de gravité (CG) se projette verticalement sur le polygone de sustentation (PS).
- Plus le CG est bas et plus l'équilibre est stable.



- Si le CG se projette hors du PS, il y a déséquilibre (donc mouvement).

(1) Si le CG est en dessous du PS, l'équilibre est stable, le corps revient à sa position initiale s'il est déplacé (suspension).
(2) Si le CG est au dessus du PS, l'équilibre est instable (la stabilité dépend de la surface du PS et de la hauteur du CG).

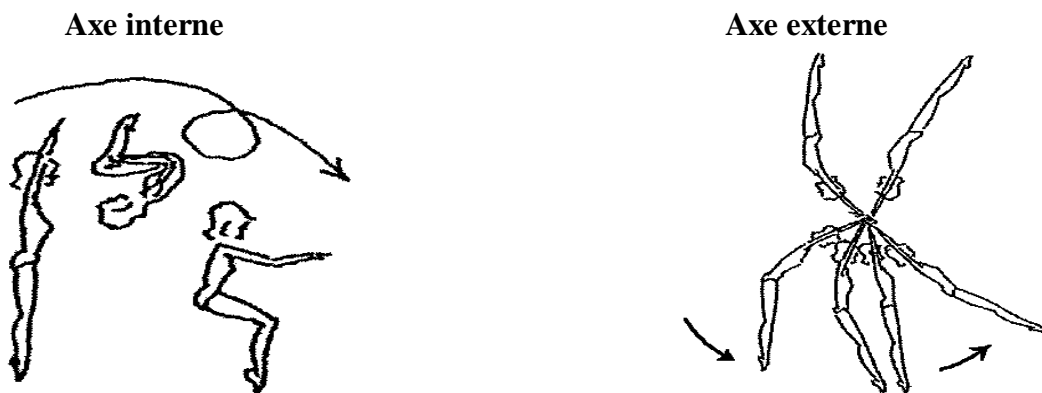
Equilibre en mouvement :

- Un corps est en équilibre quand les forces qui agissent sur lui se neutralisent, quand le centre de gravité (CG) se projette verticalement sur le polygone de sustentation (PS).
 - Equilibre pendant une translation : patineur qui effectue une planche.
 - Equilibre pendant une rotation : tour pivot sur une jambe.

La dynamique en gymnastique :

Il existe deux sortes de mouvements (vitesse) :

- Mouvement de translation ou vitesse linéaire = marche, course qui sert de prise d'élan de façon à acquérir de l'énergie cinétique (E_c),
- Mouvement de rotation ou vitesse angulaire. L'axe de rotation est perpendiculaire au plan dans lequel s'effectue le mouvement. Il est soit interne (salto), soit externe (soleil).



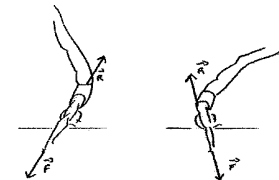
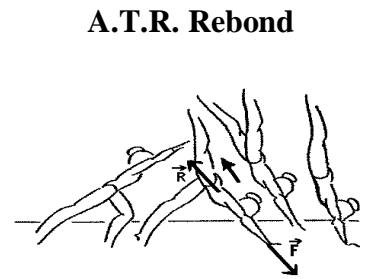
En gymnastique on recherche la vitesse optimale (meilleure) et non maximale

Loi d'action / réaction (3^o loi de Newton)

Pour chaque force agissant sur un corps, il existe une seconde force égale en intensité, de même direction mais de sens opposé qui agit sur ce corps.

A chaque action F, il existe une réaction R.

Plus l'action est importante, plus la réaction le sera aussi. Toutefois, pour que la réaction soit transmise au CG, il faut que le corps soit en alignement et en gainage (pas de relâchement d'une partie du corps).



Fuite des forces

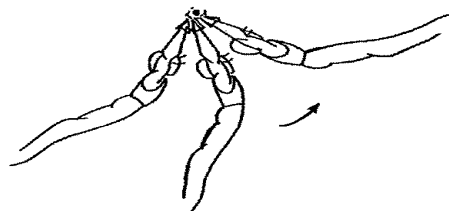
Energie : capacité d'un corps à produire un travail

3 types d'énergie :
Énergie cinétique
Énergie potentielle
Énergie élastique

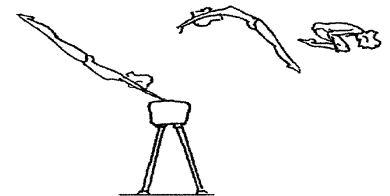
- Energie potentielle : énergie que possède un corps en fonction de sa position par rapport au sol (hauteur) ou par rapport à un point d'appui.
- Energie cinétique : énergie que possède un corps en mouvement, par sa vitesse
- Energie élastique : c'est l'énergie emmagasinée par un corps préalablement déformé qui a tendance à revenir à sa forme initiale (trampoline, tremplin, barre).

On parle également d'énergie élastique au niveau du système musculaire. Un muscle mis en tension (étiré) emmagasine de l'énergie permettant un retour contractile plus important. La composante élastique du muscle et le réflexe à l'étirement sont mis en jeu = réflexe myotatique.

Exemples : Lors de tous les mouvements d'armé-fouetté, la mise en tension des muscles de la face antérieure lors de l'armé permet l'accélération dans le fouetté. En lune salto avant, la mise en tension des muscles de la face antérieure du corps en extension permet un groupé rapide et important.



Armé-fouetté

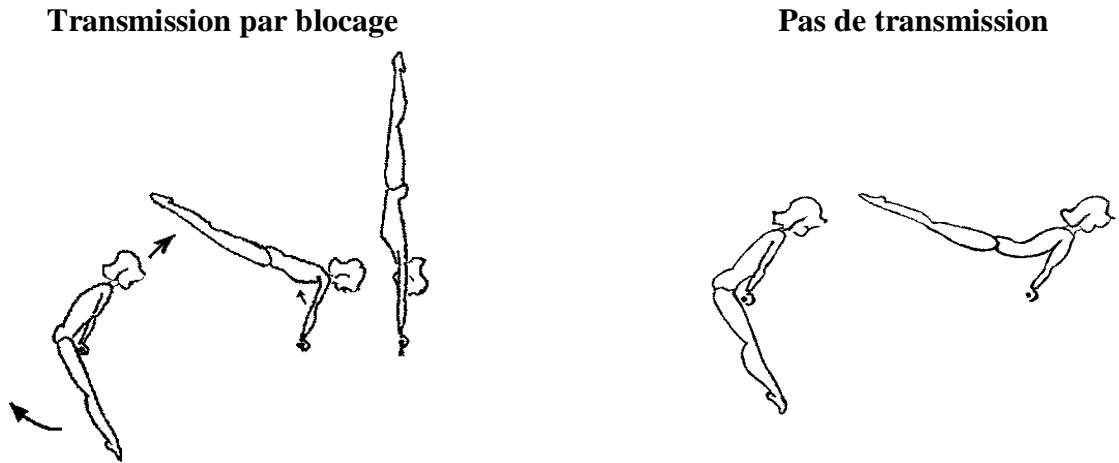


Lune salto avant

Transfert d'énergie : quantité d'énergie d'une partie du corps qui se transmet à l'ensemble du corps

L'énergie emmagasinée dans une partie du corps peut être transmise à une autre partie ou au corps tout entier si celui-ci est tonique et si il y a blocage de l'articulation concernée. Exemple du passage de la position couchée à la position assise par ouverture blocage.

Exemple de la montée à l'ATR aux barres



L'énergie cinétique emmagasinée dépend de 2 facteurs combinés : la vitesse et l'angle balayé.

Lors d'un saut vertical, les bras, par un mouvement rapide de bas en haut, accumulent de l'Ec. Celle-ci sera transmise au reste du corps par blocage des bras. Cette action s'ajoutera à la poussée des jambes.

$F = F_1 + F_2$: F_1 = réaction/action des jambes F_2 = action des bras

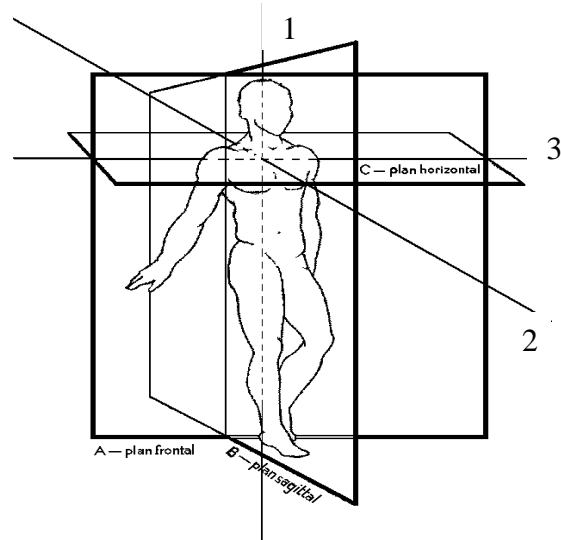
Les mouvements de rotation.

3 plans :

- A = Plan Frontal
- B = Plan Sagittal
- C = Plan Horizontal

3 axes :

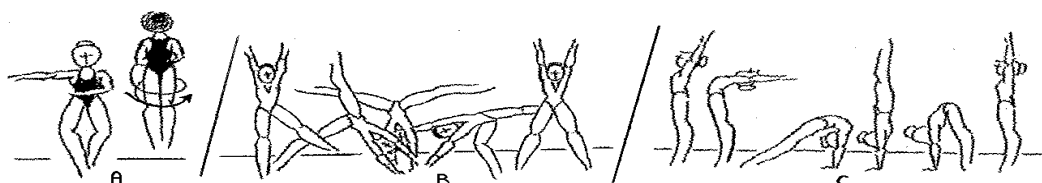
- 1 - Longitudinal
- 2 - Sagittal (antéro-postérieur)
- 3 - Transversal



Rotations

Dans ces plans les rotations sont :

- A : Longitudinales
- B : Latérales
- C : Transversales



Déclenchement des rotations

Pour déclencher un mouvement de rotation, il y a 3 possibilités. En général, pour un seul élément, il y a combinaison d'au moins 2 d'entre elles.

1 : Poussée excentrée

La direction de la poussée, au moment où le corps quitte le sol ou l'agrès, ne passe pas par le CG mais passe en avant ou en arrière de celui-ci.

La réaction passe en arrière du CG, il se produit une rotation avant :

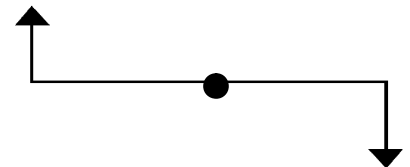
- la projection du CG est en avant de la base de sustentation, la rotation se fait avec un déplacement vers l'avant (ex: flip avant);
- la projection du CG est dans la base de sustentation, la rotation se fait sans déplacement (ex: salto avant).

La réaction passe en avant du CG, il se produit une rotation arrière :

- la projection du CG est en arrière de la base de sustentation, la rotation se fait avec un déplacement vers l'arrière (ex: flip arrière);
- la projection du CG est dans la base de sustentation, la rotation se fait sans déplacement (ex: salto arrière);
- la projection du CG est en avant de la base de sustentation (genoux en avant), la rotation se fait avec déplacement vers l'avant (ex: "coup de pied à la lune").

2 : Couple de forces

Un couple de forces est constitué de 2 forces parallèles, de sens opposé, de part et d'autre d'un axe. Il déclenche une rotation autour de l'axe.



Souvent une des 2 forces est la pesanteur.

3 : Blocage d'un mouvement rectiligne

Le blocage d'une partie d'un corps en déplacement entraîne une rotation comme lors d'un croche pied.

Exemple de l'appel sur un tremplin : le corps est animé d'une certaine vitesse horizontale, le blocage des pieds sur le tremplin entraîne une rotation.

Transformation des mouvements de rotation

Lorsqu'un corps est en rotation libre, la trajectoire ne peut pas être modifiée et le moment cinétique reste constant.

Par contre, on peut changer la vitesse de rotation par modification du moment d'inertie, en positionnant différemment les segments du corps par rapport à l'axe de rotation. Ceci concerne aussi bien les rotations transversales que longitudinales.

Pour les rotations, on parle de moment cinétique ou moment angulaire.

Moment cinétique (Mc) = Moment d'inertie (I) X Vitesse angulaire (w)

Le Moment d'inertie (I) est la difficulté qu'à un corps à tourner.

$I = mr^2$ m = masse r = distance par rapport à l'axe de rotation

Si le moment d'inertie est petit, par exemple dans un salto groupé, la vitesse de rotation est importante. Dans un salto tendu, si le gymnaste groupe, la diminution du moment d'inertie provoque une accélération de la rotation.

Lors des rotations longitudinales, la rotation est d'autant plus importante que le corps est en position allongée et les bras le long du corps.

Trajectoires du corps dans l'espace.

Trajectoire parabolique

A partir du moment où un corps, animé d'une vitesse horizontale, n'a plus aucun point d'appui, sa trajectoire est une parabole et ne peut plus être modifiée.

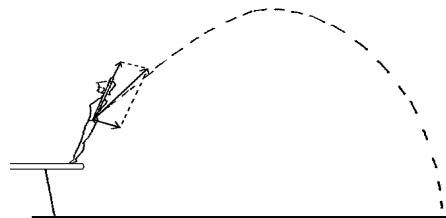
La hauteur et la longueur de l'envol sont entièrement déterminées par la vitesse, par la direction et par l'intensité de la force appliquée au corps au moment de l'impulsion.

La trajectoire du CG prend la même direction que la résultante des forces qui agissent sur le corps au moment où il quitte le sol ou l'agrès et décrit une parabole sous l'effet de la pesanteur.

V vitesse acquise

R réaction (impulsion)

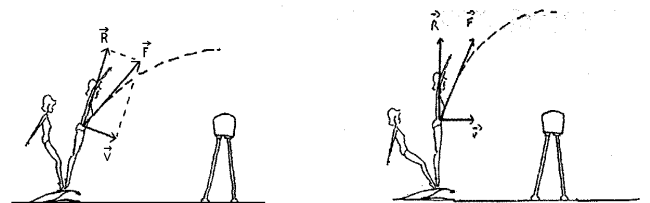
F résultante



Exemple : impulsion au saut de cheval. La trajectoire du CG peut être modifiée de plusieurs manières =

1. En augmentant l'angle d'attaque

La trajectoire est plus courte



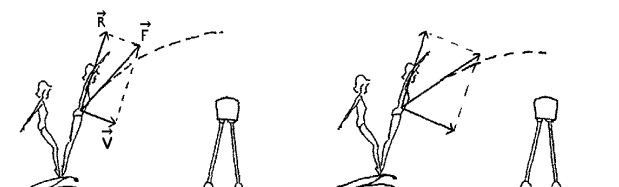
2. En augmentant l'intensité de l'impulsion

La trajectoire est plus haute



3. En augmentant la vitesse

La trajectoire est plus horizontale



Phase d'impulsion

$$I = F \times t$$

I = impulsion F = intensité t = temps d'impulsion

Une impulsion (I) peut être assimilée à une force.

On distingue 2 formes d'impulsion :

1. Une poussée sur un agrès (impulsion bras ou jambes); dans ce cas il faut réduire au maximum le temps de contact, au profit de l'intensité de la force exercée,
2. Une action segmentaire (fermeture/ouverture); dans ce cas le temps d'impulsion doit être le plus long possible pour augmenter la quantité de mouvement.

L'impulsion sur le sol ou sur un engin dépend de :

1. La qualité de la surface (élastique ou non) qui déterminera la durée du chemin d'impulsion et la force de réaction,
2. La rigidité du corps au moment du contact avec un blocage articulaire pour un meilleur transfert des forces,
3. La position des segments : l'alignement est nécessaire pour éviter la fuite des forces,
4. La position du bassin qui doit être, le plus généralement, en rétroversion pour une plus grande efficacité,
5. L'angulation à l'impulsion réglée en fonction de l'élasticité de la surface, des modalités de prise d'élan et de la complexité des figures à réaliser.

Les mouvements circulaires et pendulaires.

Les mouvements circulaires (lune, soleil, ...) et pendulaires (oscillation, ...) sont régis par les mêmes principes.

Le corps emmagasine de l'énergie cinétique dans la phase descendante. Cette énergie est restituée partiellement lors de la phase ascendante. La pesanteur, les frottements et la résistance de l'air agissent contre le mouvement.

Au départ du mouvement :

- * l'énergie potentielle (E_p) est maximum, et pour l'augmenter, il faut que le CG soit le plus haut possible,
- * l'énergie cinétique est nulle.

Au point mort bas :

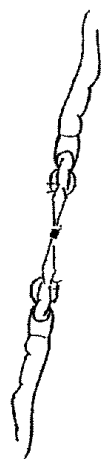
- * l'énergie potentielle est nulle,
- * l'énergie cinétique est à son maximum. Pour augmenter cette énergie, il faut que le chemin parcouru par le CG soit le plus grand possible.

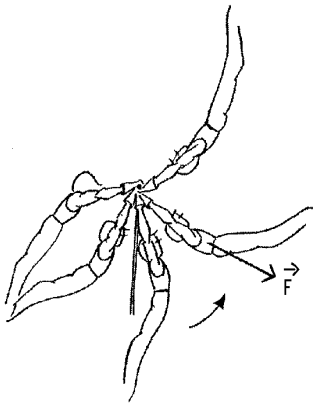
E_p maxi

$E_c=0$

$E_p=0$

E_c maxi





La force centrifuge (**F**) est la force qui tend à éloigner le corps du centre de rotation. Tout corps qui tourne autour d'un axe exerce sur son support une force centrifuge neutralisée par la réaction du support.

Du fait des frottements, de la pesanteur et de la résistance à l'air, il est nécessaire en cours de mouvement de recréer un peu d'énergie : c'est le but du fouetté = armé : retard des pointes de façon à allonger le chemin d'impulsion,

ensuite : accélération des pointes de pieds et des jambes pour une accumulation d'énergie dans les membres inférieurs qui, par blocage de la ceinture pelvienne, sera transmise à l'ensemble du corps.

Les lâchers

Dans le cadre d'un mouvement circulaire, lors d'un lâcher, le CG prend une trajectoire tangente au cercle décrit par celui-ci.

Ce principe est applicable (corps déformable) en prenant en compte les modifications de la position des segments du corps les uns par rapport aux autres au moment du lâcher.

Pour une sortie échappement, le secteur de lâcher se situe en dessous de l'horizontale de la barre pour obtenir une trajectoire éloignée de la barre (sans risque). On prend en considération la position du CG et non les pointes de pieds.

Pour un tkachev, le secteur de lâcher se situera, lui, au-dessus de l'horizontale de la barre (environ 45°).

