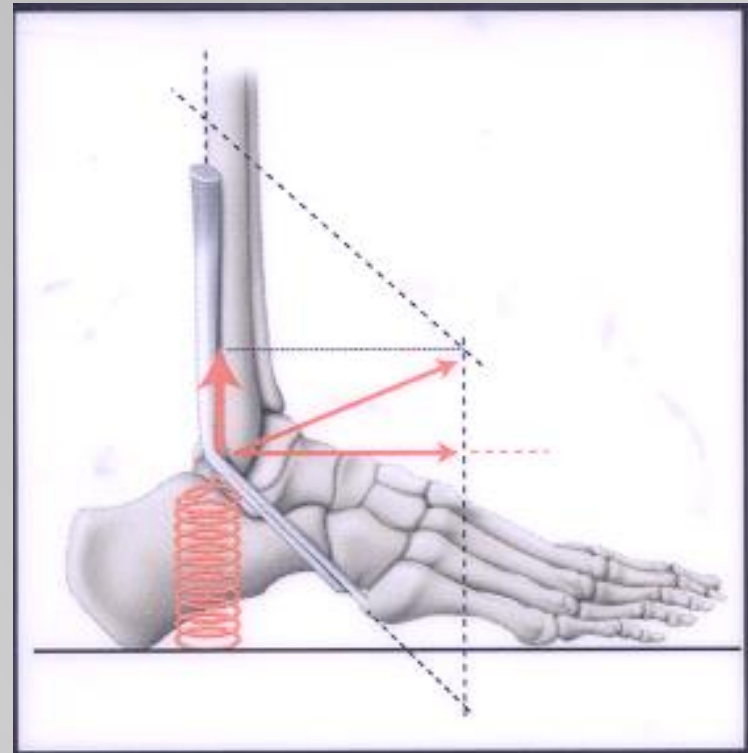


CM UE 14 Biomécanique gymnastique

Raphaël LECA septembre 2023



www.culturestaps.com



La biomécanique

Définition

La biomécanique est l'application des principes mécaniques à l'étude des mouvements du corps humain

La biomécanique

Qu'apporte la biomécanique à l'enseignement de la gymnastique ?

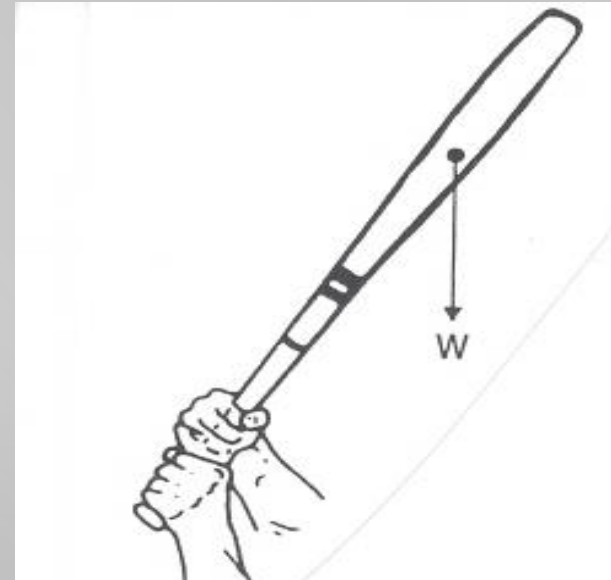
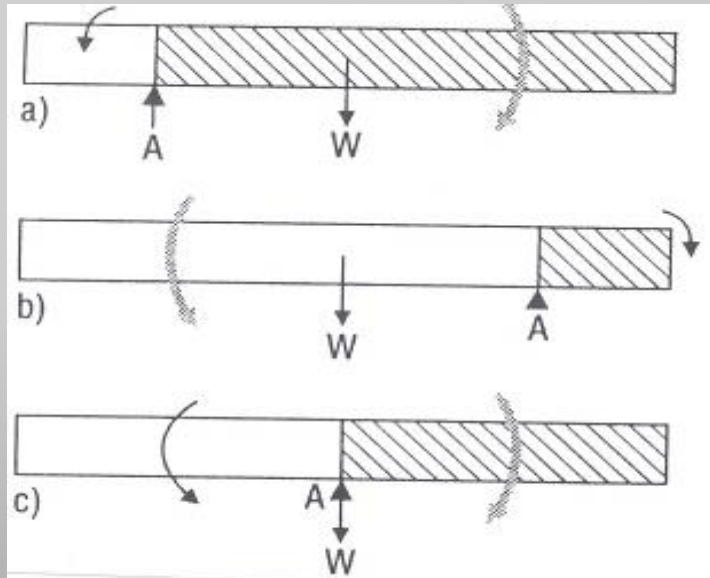
- Elle participe à une meilleure compréhension des facteurs qui déterminent une exécution correcte des mouvements.
- Elle aide l'enseignant dans le choix des situations d'apprentissage des éléments gymniques.
- Elle guide l'observation et permet de diagnostiquer plus facilement les causes des conduites inadaptées (conduites typiques) adoptées par les pratiquants (où se situe le problème dans un mouvement ?).

Le centre de gravité

Définition

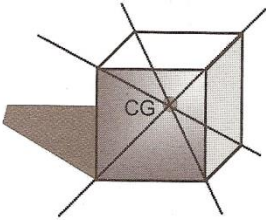
Le centre de gravité est le point d'application de la résultante des forces de pesanteur qui s'exercent sur l'ensemble des particules composant un corps.

Plus simplement, le centre de gravité (G) est le point où le poids total du corps peut être appliqué.

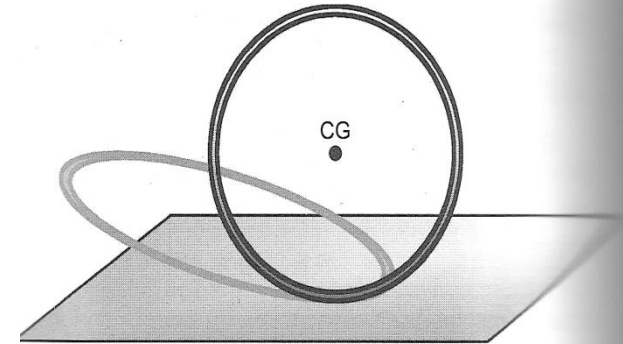
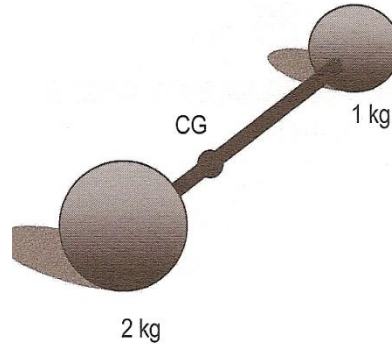
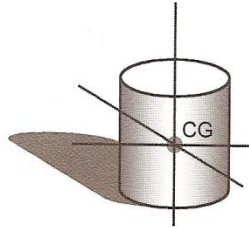


Le centre de gravité

Position pour différents corps



Dans un cube ou un cylindre homogènes, le centre de gravité (CG) se situe à la convergence des différentes diagonales.



Le centre de gravité des corps à densité uniforme (sphère, cube, losange) se confond avec leur centre géométrique.

Le centre de gravité de cet haltère particulier est décalé vers la masse la plus lourde du système.

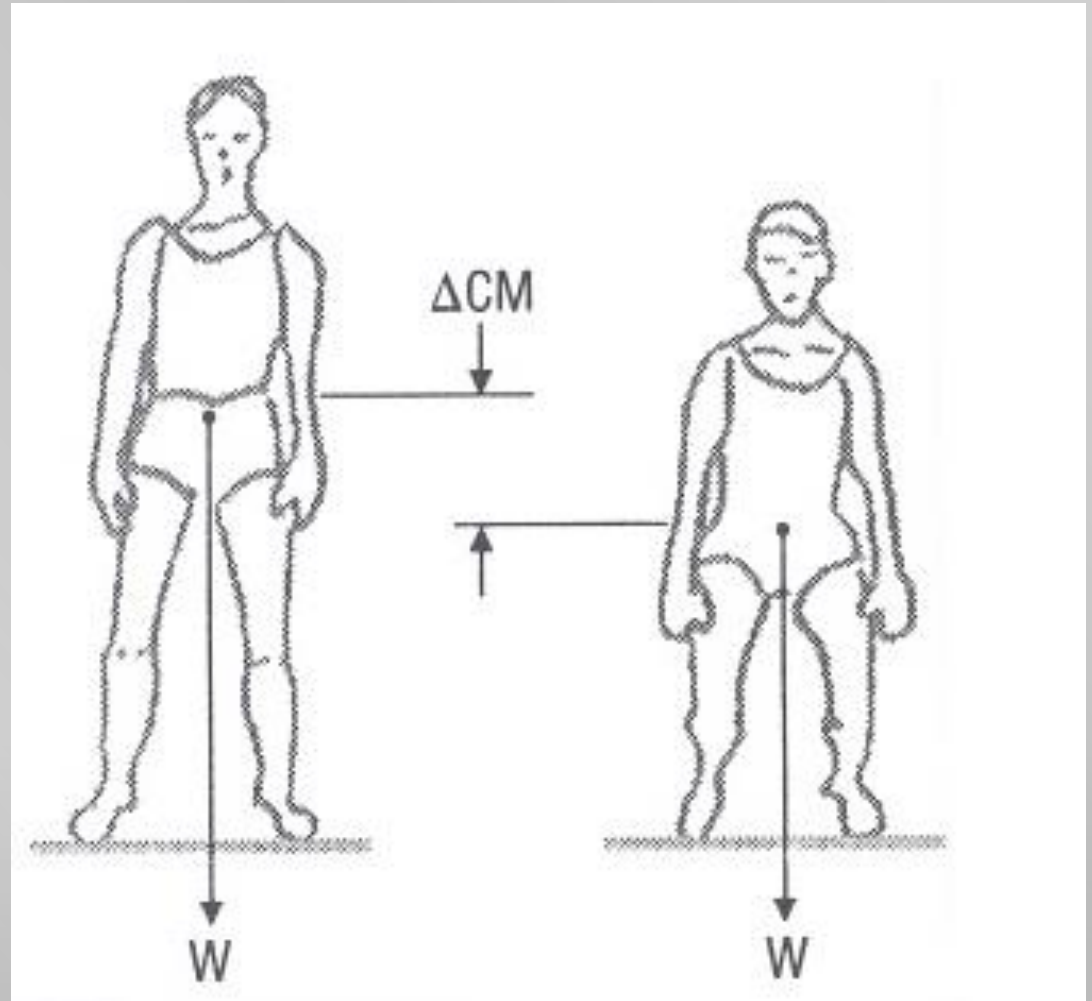
Le centre de gravité d'un cerceau de GR est situé en son centre, hors de la masse pesante de l'engin.

Le centre de gravité est un point imaginaire : ils n'a pas d'existence physique réelle.

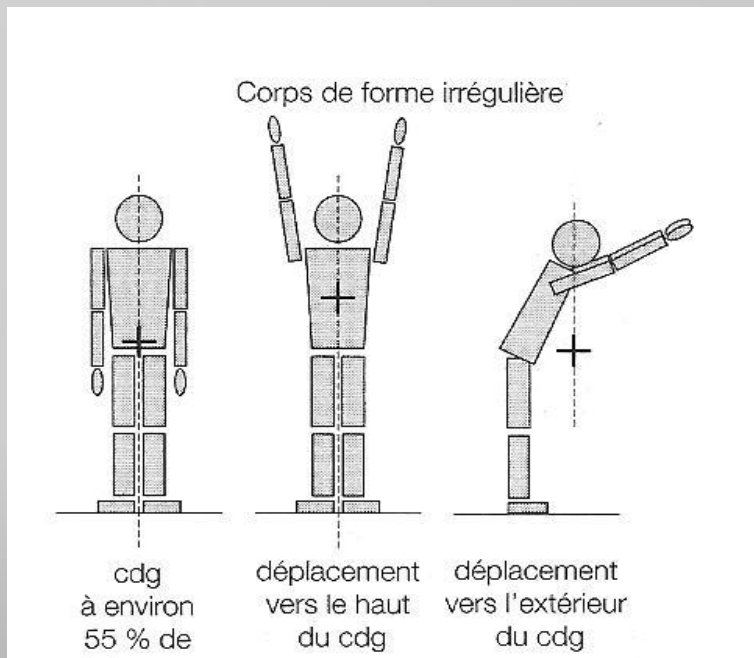
Le centre de gravité

Position chez l'homme

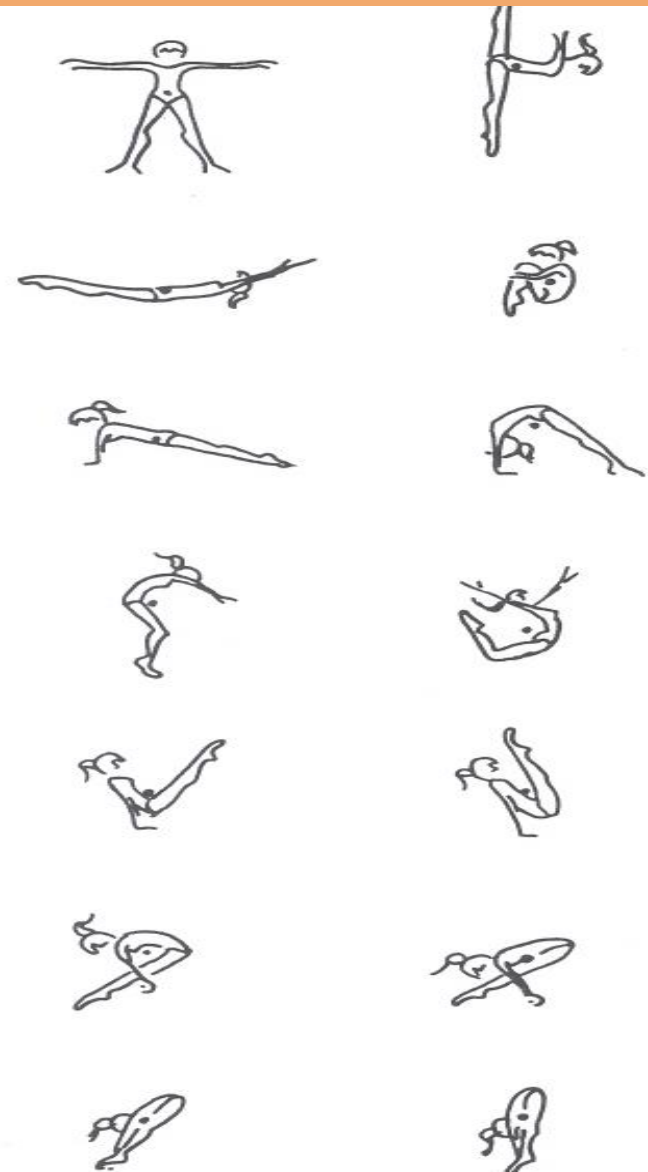
Le corps humain est de densité non uniforme et de forme irrégulière : en position debout, le cdg se situe à l'intérieur du corps, **quelques cm en avant de la 3^e vertèbre lombaire** (dans la direction du nombril).



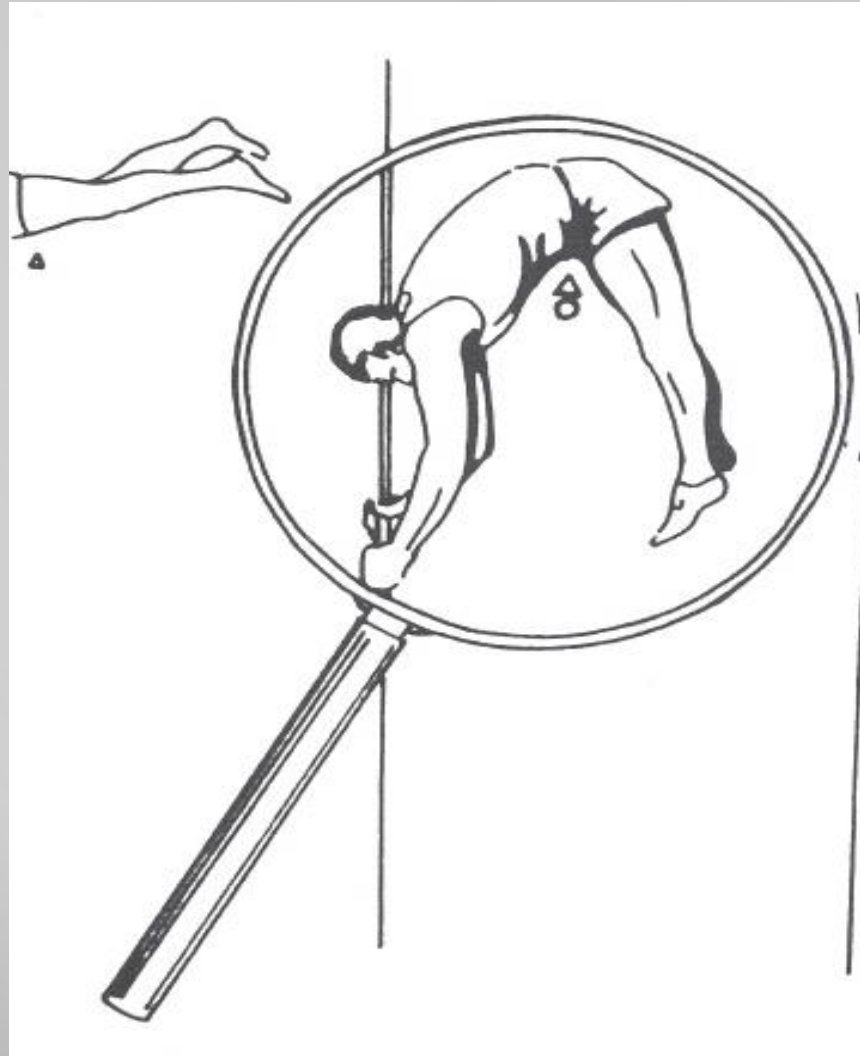
Le corps humain peut adopter différentes postures : son centre de gravité se déplace lorsque les parties de ce corps se déplacent (car les masses se répartissent \neq)



En gymnastique



Le centre de gravité se situe parfois en dehors du corps



L'équilibre



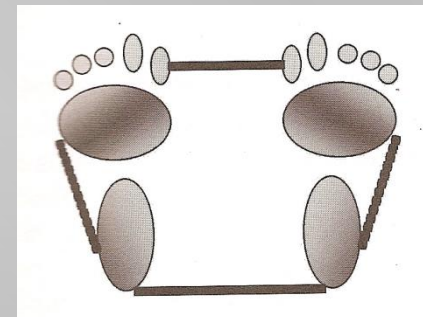
L'équilibre

Un corps est en équilibre statique quand les effets des forces externes qui agissent sur lui se neutralisent (la résultante des forces est égale à 0).

- la verticale qui passe par son centre de gravité coupe (se projette dans) son **polygone de sustentation** (= sa base d'appui).

Le polygone de sustentation est le plus petit polygone reliant l'ensemble des points par lequel un corps repose sur un plan horizontal. Plus simplement, il s'agit de la surface entre l'extrémité des points d'appui.

Inversement, quand G ne se trouve pas au-dessus de la surface d'appui, le corps est en déséquilibre et le mouvement est inévitable.



L'équilibre

Un exemple étonnant d'équilibre avec un centre de gravité qui se situe à une extrémité de l'objet.

Le centre de gravité se situe au bout du bec de l'oiseau, et se confond avec son polygone de sustentation (ici le point de contact avec le doigt).

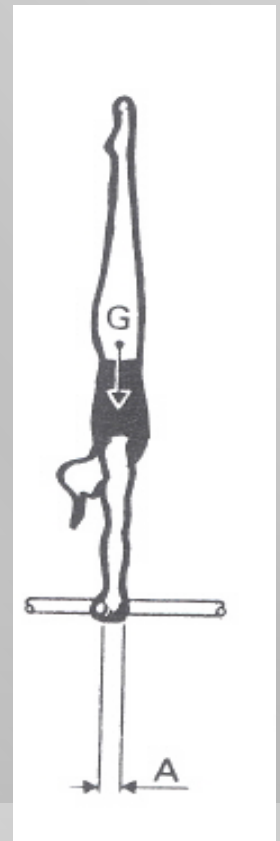
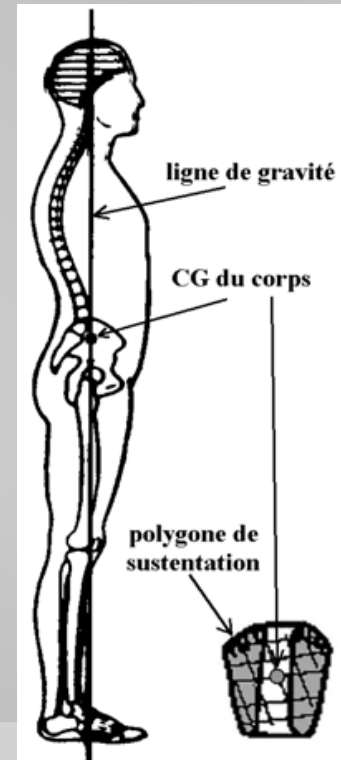
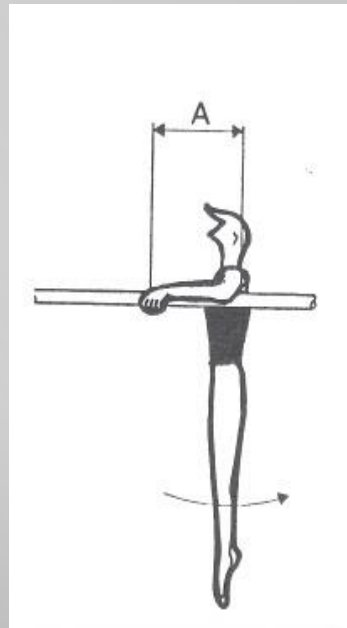
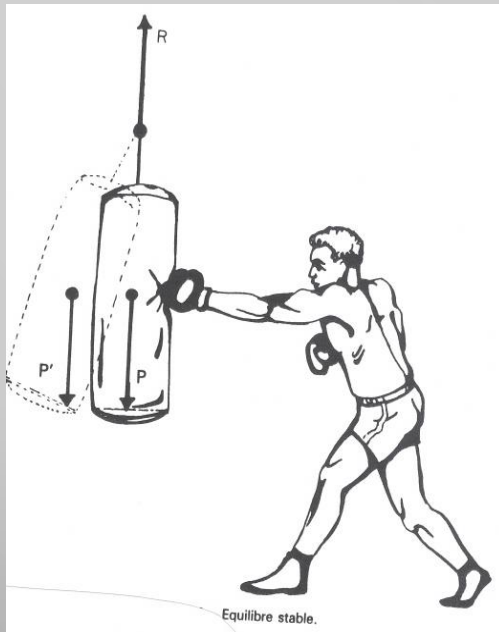



Les types d'équilibre



L'équilibre stable = le centre de gravité est en dessous du polygone de sustentation et le corps revient à sa position initiale s'il est perturbé.

L'équilibre instable = le centre de gravité est au-dessus du polygone et le corps quitte sa position initiale s'il est perturbé.





Stabilité d'un corps

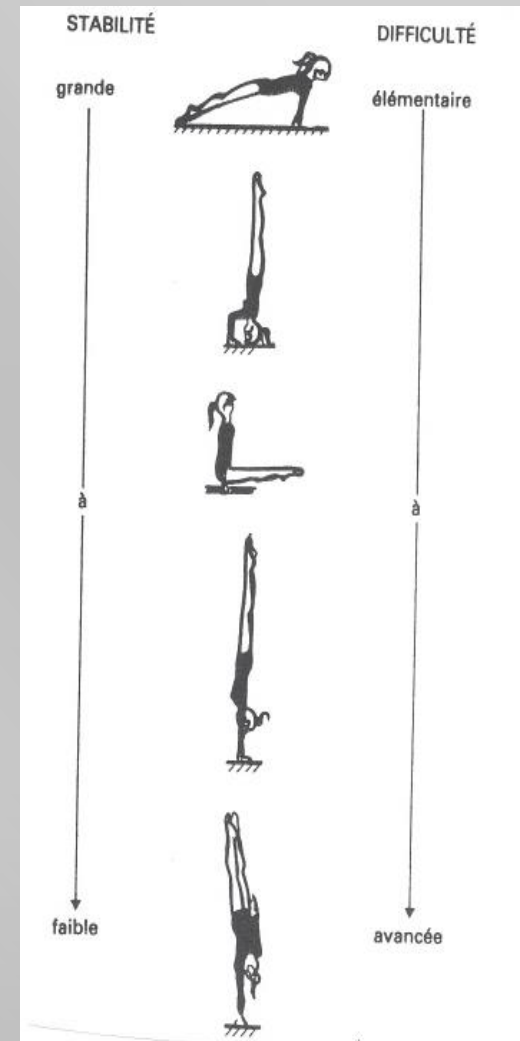
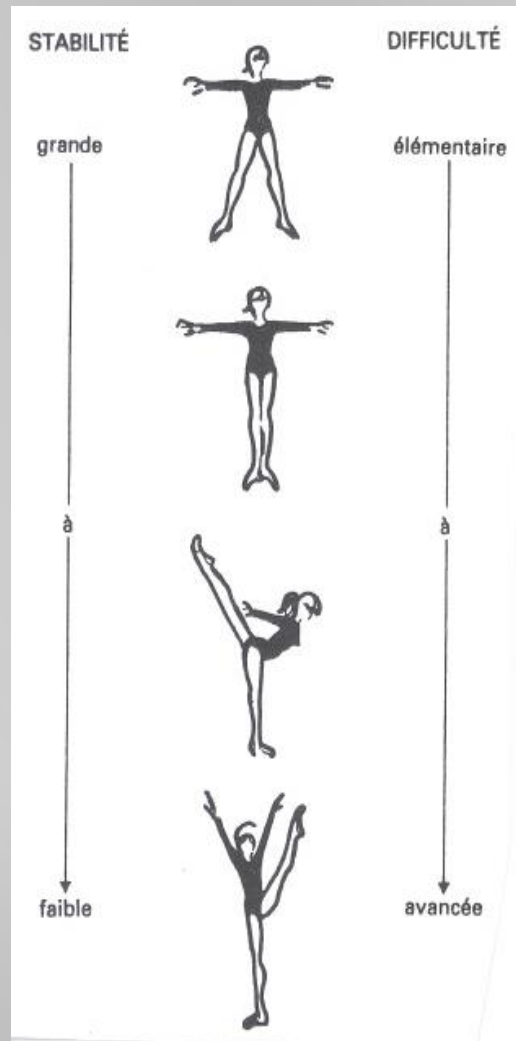
La stabilité d'un corps représente sa capacité à maintenir son état d'équilibre. Plus un corps est stable, plus il offre de la résistance à une perturbation de son état d'équilibre.

La stabilité d'un corps en équilibre est dépendante de 4 principaux facteurs :

Stabilité d'un corps

1. la surface du polygone de sustentation

→ plus cette surface est petite, et plus la l'instabilité est grande, et inversement.



Stabilité d'un corps

1. la surface du polygone de sustentation

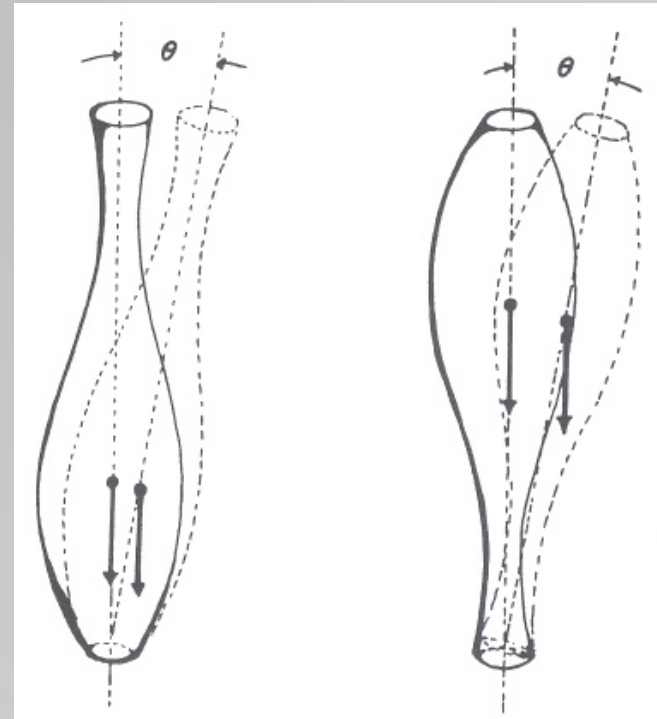
→ plus cette surface est petite, et plus la l'instabilité est grande, et inversement.



Stabilité d'un corps

2. la hauteur du centre de gravité au-dessus de ce polygone

→ plus le centre de gravité est bas, et plus l'équilibre est stable, et inversement.



Le centre de gravité de la quille de gauche est plus bas que celle de droite. La quille de gauche est donc plus stable.

Stabilité d'un corps

2. la hauteur du centre de gravité au-dessus de ce polygone

→ plus le centre de gravité est bas, et plus l'équilibre est stable, et inversement.



Stabilité d'un corps

3. La masse du sujet influe aussi sur l'équilibre

→ un corps est plus stable lorsque sa masse est importante car il faut exercer une + grande force pour le déplacer.

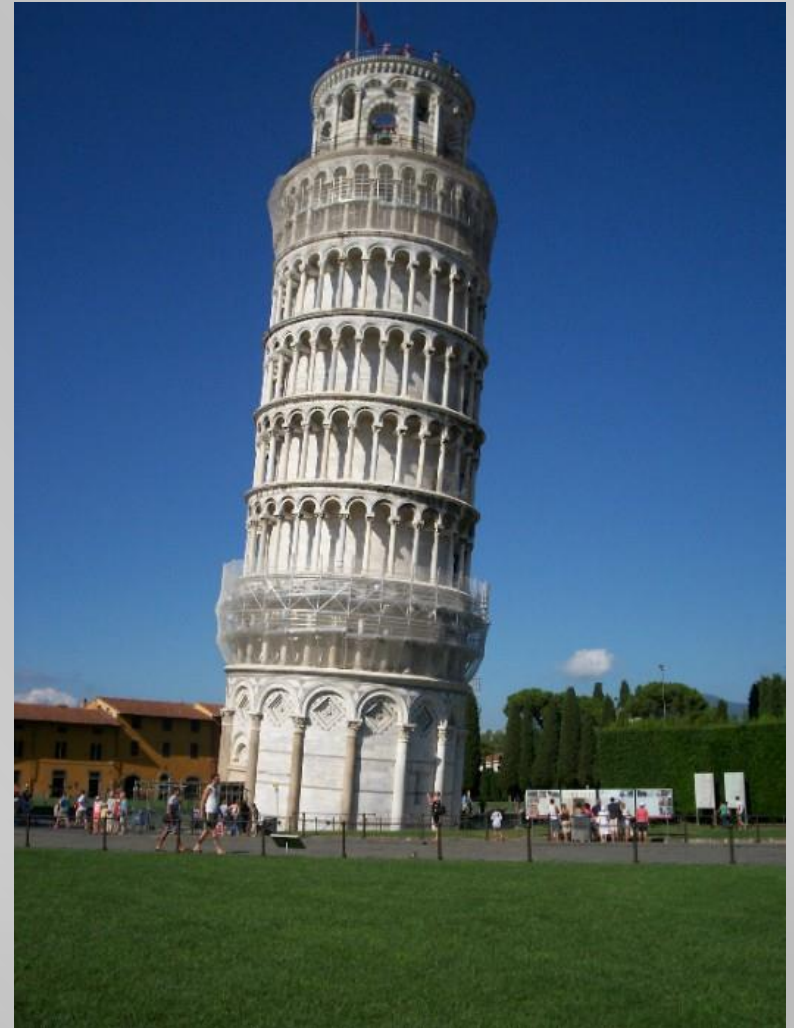


Ce facteur de stabilité est une des raisons de la division des athlètes en catégories de poids dans certains sports de combat.

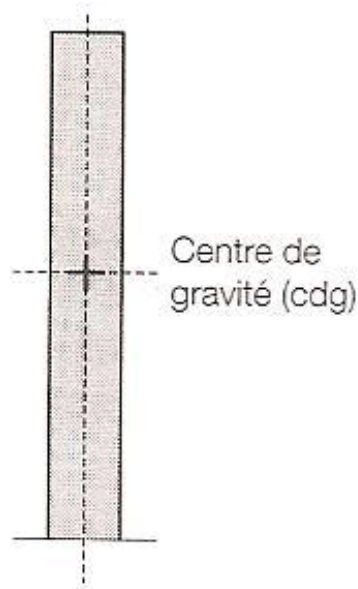
Stabilité d'un corps

4. enfin, la position de la ligne d'action de la gravité par rapport à la surface de sustentation

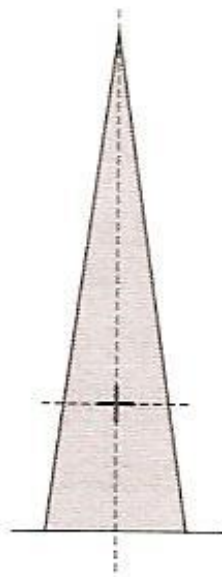
→ + cette ligne d'action passe au centre de la base d'appui, et + la stabilité est grande. En revanche, + la ligne d'action du cdg est proche du bord de la base d'appui, et + le corps devient instable.



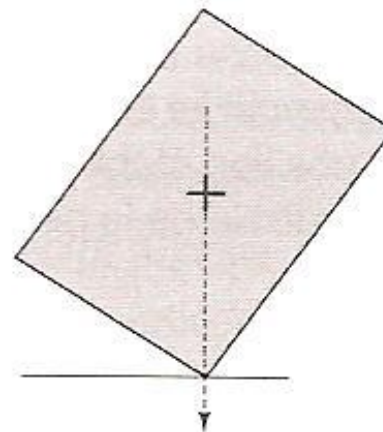
Stabilité d'un corps



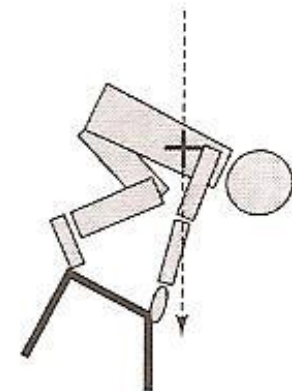
Base d'appui réduite
et position haute du cdg :
objet peu stable
(facile à renverser)



Large base d'appui
et position basse
du cdg :
objet plus stable
(plus difficile à renverser)



La projection verticale
du cdg se situe
sur le bord de sa base d'appui :
objet instable (il peut retomber
sur sa base ou se renverser)



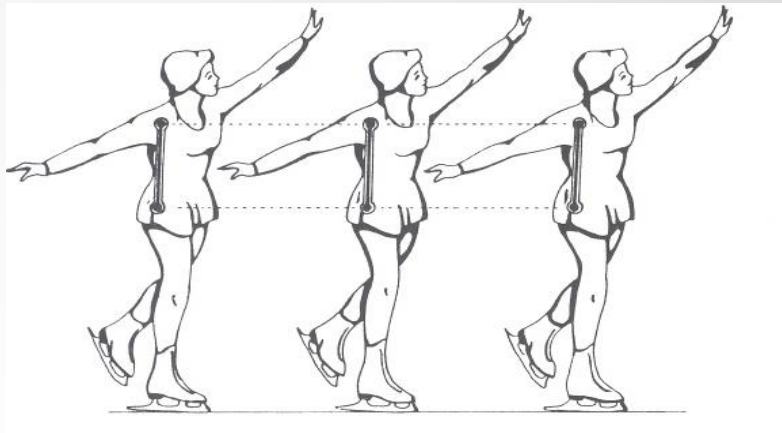
La projection verticale
du cdg du nageur
se situe juste en dehors
de sa base d'appui ; la position
est instable et le nageur
peut rapidement plonger
au signal de départ

Les mouvements

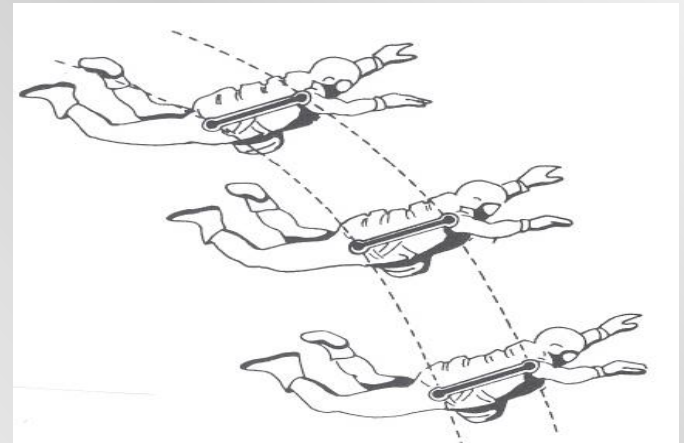


Les types de mouvements

- 1) **les mouvements de translation ou mouvements linéaires**
= toutes les parties d'un corps se déplacent exactement à la même vitesse, et dans la même direction. Donc la distance parcourue par chacune de ces parties est la même partout.



Lorsque le trajet emprunté par chaque partie du corps s'effectue en ligne droite, on parle de translation rectiligne (ex. de la patineuse)



Lorsque ce trajet s'effectue en ligne courbe, on parle de translation curviligne (ex. du parachutiste en chute libre).

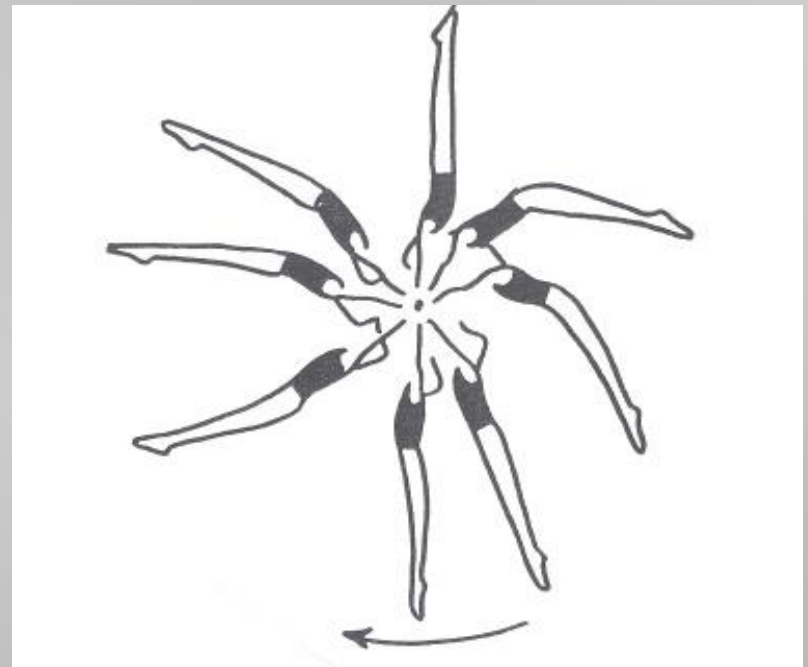
Les mouvements



Les types de mouvements

- 2) **les mouvements de rotation ou mouvements angulaires** = ils correspondent au déplacement d'un corps autour d'un axe. Les mouvements en gymnastique sont surtout angulaires (on parle de rotations, oscillations, mouvements pendulaires...).

Dans le cas du soleil à la barre fixe, la distance parcourue par les pieds est plus grande que celle parcourue par les épaules

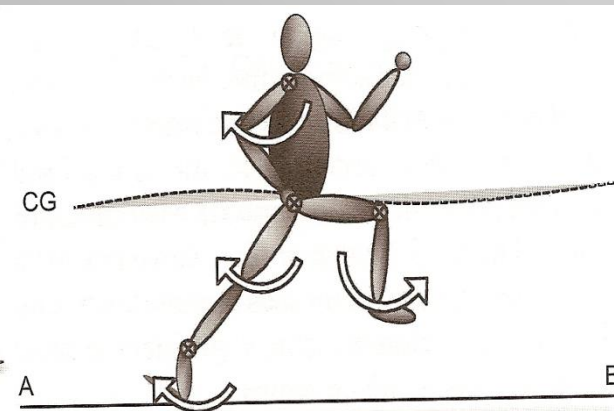
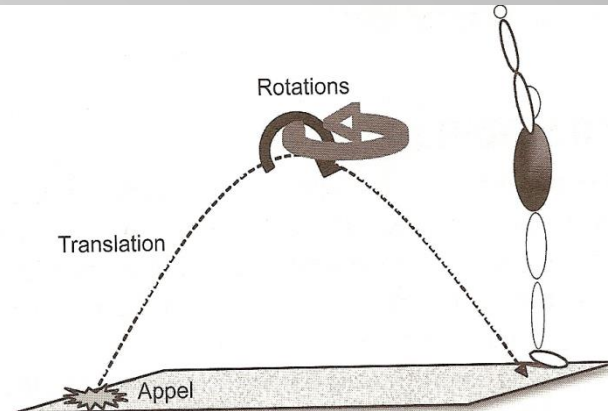
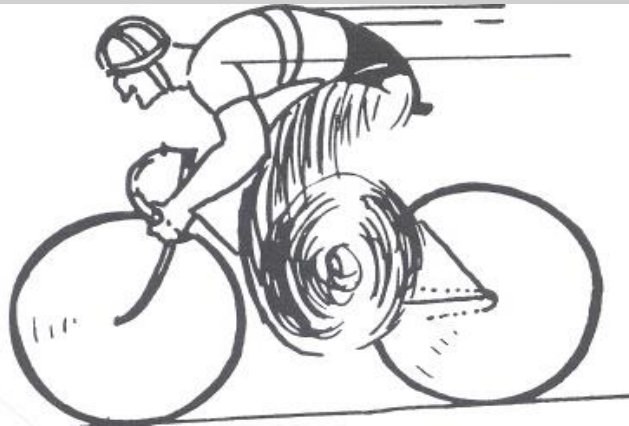


Les mouvements



Les types de mouvements

Ce que l'on appelle **mouvement général** est encore bien plus fréquent en gymnastique : il s'agit d'une combinaison de mouvements de translation et de rotation, avec parfois plusieurs rotations et plusieurs types de rotation.



Cycliste → mouv. général de translation permis par les membres inf. en rotation = rotation de la cuisse autour de l'articulation de la hanche, rotation de la jambe autour de l'articulation du genou, et rotation du pied autour de l'articulation de la cheville.

Gymnaste → combinaison d'un mouvement de translation vers l'avant, d'une rotation arrière autour d'un axe transversal, et d'une rotation longitudinale (vrille).

Athlète → mouvement général de translation permis par les membres inf. qui sont en rotation autour de 3 axes = hanche, genou et cheville, et par les membres sup. en rotation autour de l'articulation de l'épaule.

Les mouvements

Mouvement général





Axes et plans

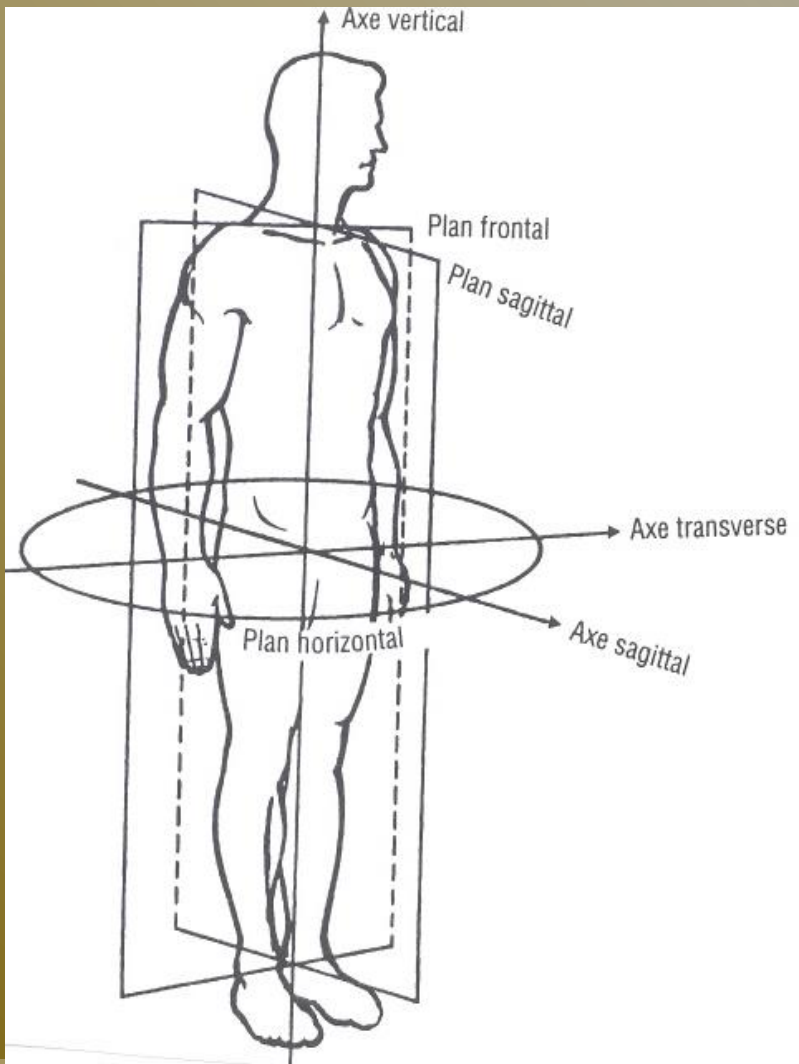
Les plans anatomiques du corps humain

Pour décrire les mouvements du corps humain, on utilise trois plans imaginaires orientés perpendiculairement les uns aux autres.

Lorsque l'on observe le corps humain de face ou de profil sa forme peut être projetée sur une surface plane que l'on appelle un plan = les plans anatomiques du corps humain.

Axes et plans

Les plans anatomiques du corps humain



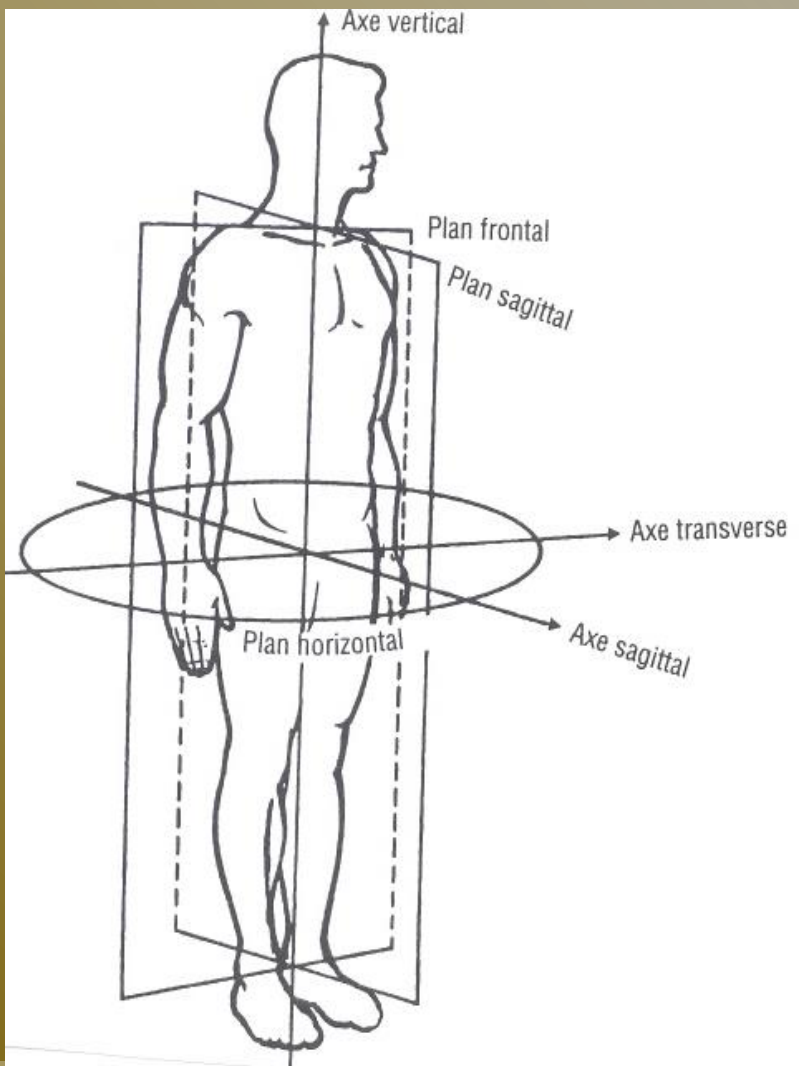
Vu de face, le **plan frontal** divise le corps humain en 2 parties, antérieure et postérieure (sépare le corps en deux d'une oreille à l'autre).

Vu de profil, le **plan sagittal** partage le corps en 2 moitiés, droite et gauche (sépare le corps en deux au niveau de l'arête du nez).

Vu de haut, le **plan horizontal** (ou **transversal**) divise la partie supérieure de la partie inférieure du corps (sépare le corps en tranches).

Axes et plans

Les axes du corps humain



L'axe transverse ou transversal passe par les hanches et possède une direction médio-latérale.

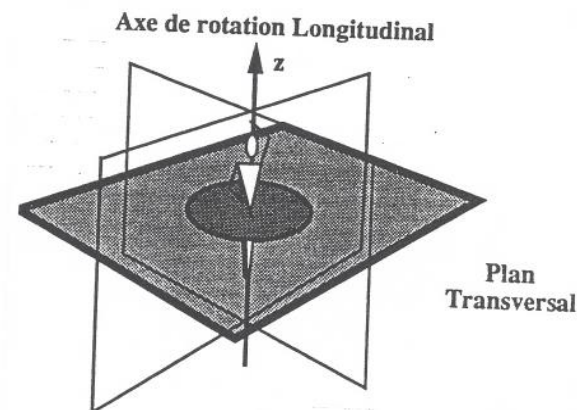
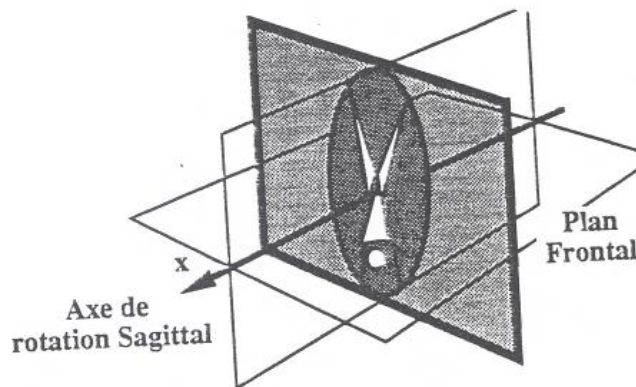
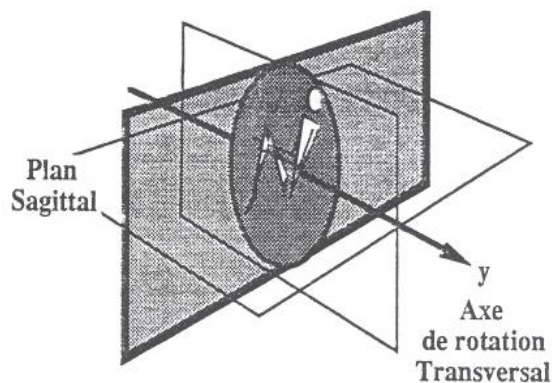
L'axe sagittal passe par le ventre et le dos et a une direction antéro – postérieure.

L'axe vertical ou longitudinal passe par la tête et les pieds et a une direction allant du haut vers le bas.

Axes, plans et rotations



3 types de rotations utilisant 3 axes et 3 plans



Les salti s'exécutent dans le plan sagittal par rapport à l'axe de rotation transversal

La roue s'exécute dans le plan frontal par rapport à l'axe de rotation sagittal

Les pirouettes s'exécutent dans le plan horizontal par rapport à l'axe de rotation longitudinal

Les lois de Newton



1. Première loi = la loi d'inertie

Un corps garde sa position de repos ou poursuit son mouvement uniformément en ligne droite tant que des forces agissant sur lui ne le contraignent pas à modifier son état.

La vitesse d'un objet ne peut être modifiée que sous l'action d'une force. La loi d'inertie est la résistance de tout corps vis-à-vis de la modification de son état (de repos ou de déplacement).

Remarque : dans la motricité humaine, sur la terre, nos perceptions communes rendent difficiles la compréhension de cette loi car tous les objets sont soumis à la force externe verticale de la gravité.

Les lois de Newton

1. Première loi = la loi d'inertie

Conséquence dans les APSA → il est plus facile (= moins coûteux en énergie) de conserver l'élan d'un corps qui est en mouvement que de le mettre en mouvement. Les élans consistent à créer de l'inertie pour produire ensuite des mouvements.

→ la première loi de Newton et l'intervention de la force gravitationnelle (sur la terre) impriment aux objets qui quittent le sol une trajectoire parabolique (sauts, lancers en athlétisme...).

Les lois de Newton



2. Seconde loi = la loi d'accélération (principe fondamental de la dynamique)

Lorsqu'il y a modification dans un mouvement (accélération), cette modification est proportionnelle à l'effet de la force exercée et elle se produit dans la direction où agit cette force. Cette modification est inversement proportionnelle à la masse du corps.

Il existe donc une relation mathématique entre la force qui est appliquée à un corps et les variations de quantité de mouvement qu'elle cause.

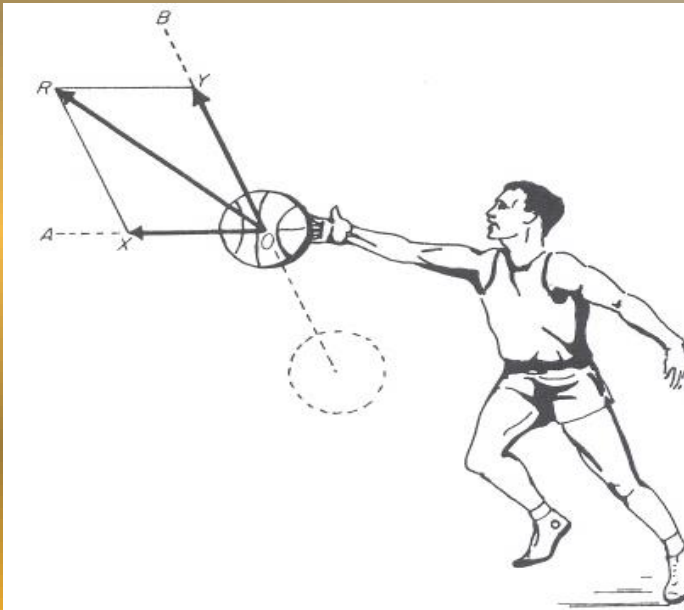
La seconde loi de Newton s'exprime par l'équation :

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

Force (N) = masse du corps (kg) X accélération du corps (m/s²)

Les lois de Newton

2. Seconde loi = la loi d'accélération



Passé dévié au basket : la force appliquée accélère le ballon dans la direction dans laquelle la force agit : direction initiale = OA, direction force exercée par le joueur = OB, direction ballon dévié (résultante) = OR.

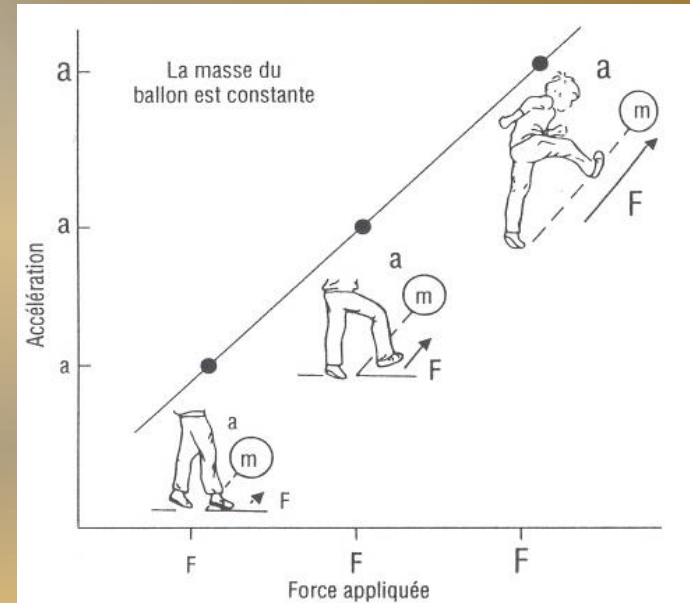


Illustration de la relation entre la force et l'accélération

Les lois de Newton



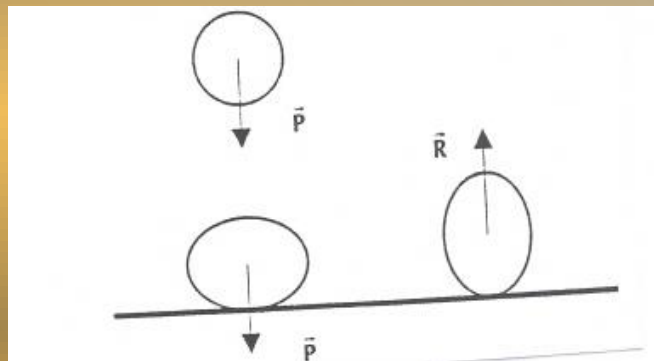
3. Troisième loi = la loi d'action – réaction (principe des actions réciproques)

Lorsqu'un corps exerce une force sur un autre, le second exerce toujours sur le premier une force égale en grandeur et de même direction, mais de sens opposé.

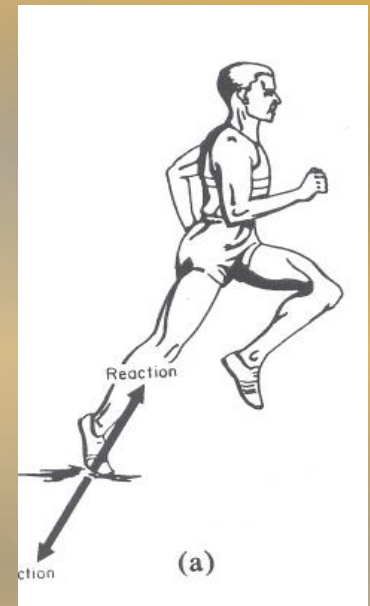
Plus simplement, à chaque action il y a une réaction égale et de sens opposé.



ATR - rebond



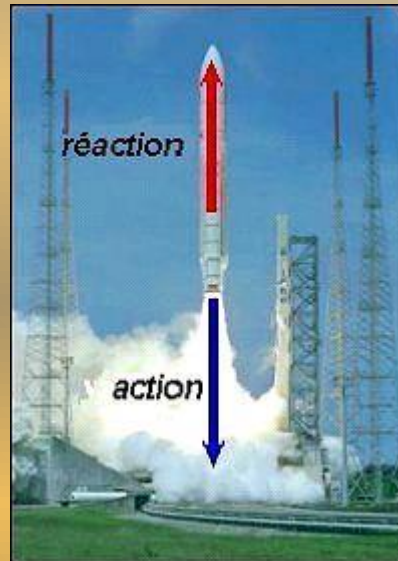
Rebond d'un ballon



Course

Les lois de Newton

3. Troisième loi = la loi d'action – réaction (principe des actions réciproques)



L'énergie



La définition stricte de l'énergie en mécanique est « **la capacité à effectuer un travail** » (elle s'exprime en joules)

Contrairement au travail, l'énergie peut être emmagasinée.

Dans l'étude biomécanique des mouvements gymniques, on distingue 3 types d'énergie formant l'énergie mécanique :

- l'énergie cinétique,
- l'énergie potentielle de pesanteur,
- l'énergie potentielle élastique.

L'énergie



1. L'énergie cinétique

C'est l'énergie que possède un corps en mouvement.

→ c'est l'énergie liée à la vitesse.

Pour les translations = énergie cinétique linéaire

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2$$

avec $m =$ masse et $v =$ vitesse en $m.s^{-1}$

Pour les rotations = énergie cinétique angulaire

$$E_c = \frac{1}{2} I * \omega^2$$

avec $I =$ moment d'inertie et $\omega =$ vitesse de rotation

L'énergie



2. L'énergie potentielle de pesanteur

C'est l'énergie qu'un objet ou qu'un sujet possède suite à l'élévation de son centre de gravité au-dessus de la surface du sol (dans un champ de pesanteur).

→ plus il élève son centre de gravité, plus il emmagasine de l'énergie.

C'est l'énergie due à l'accélération de la pesanteur.

$$E_{pp} = m g h \text{ (ou } E_{pp} = P h \text{)}$$

m = masse en kg g = accélération de la pesanteur (9.81m/s) h = hauteur au-dessus du sol

L'énergie



3. L'énergie potentielle élastique (ou énergie de déformation)

C'est l'énergie emmagasinée par un corps qui est déformé sous l'action d'une force, et qui a tendance à revenir à sa forme initiale (ex. = trampoline, tremplin, barres...). Elle dépend de la forme et de la composition du corps.

→ c'est aussi une **énergie potentielle**, car est représentée un « réservoir » qui peut être utilisé pour engendrer des mouvements.

$$E_{pe} = \frac{1}{2} k l^2$$

k = Coefficient de raideur du corps déformé

l = longueur d'allongement ou de raccourcissement (déformation)

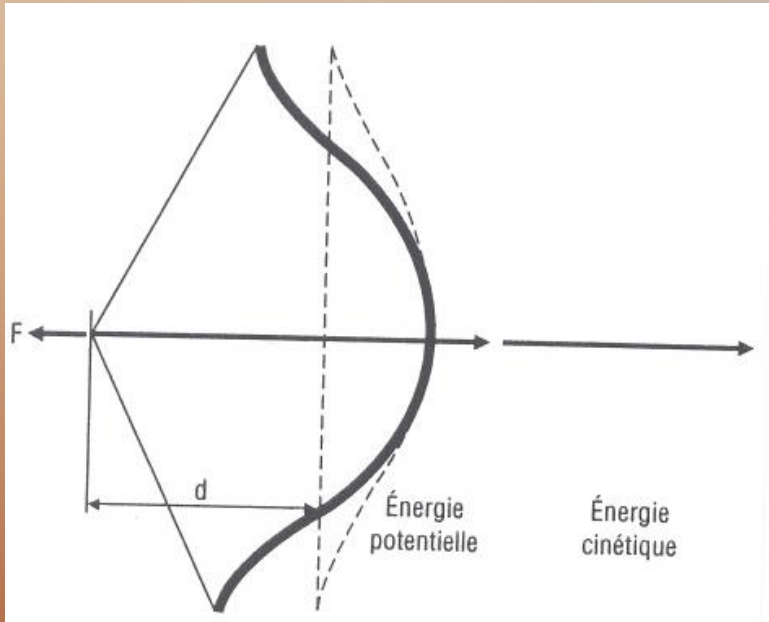
L'énergie

3. L'énergie potentielle élastique

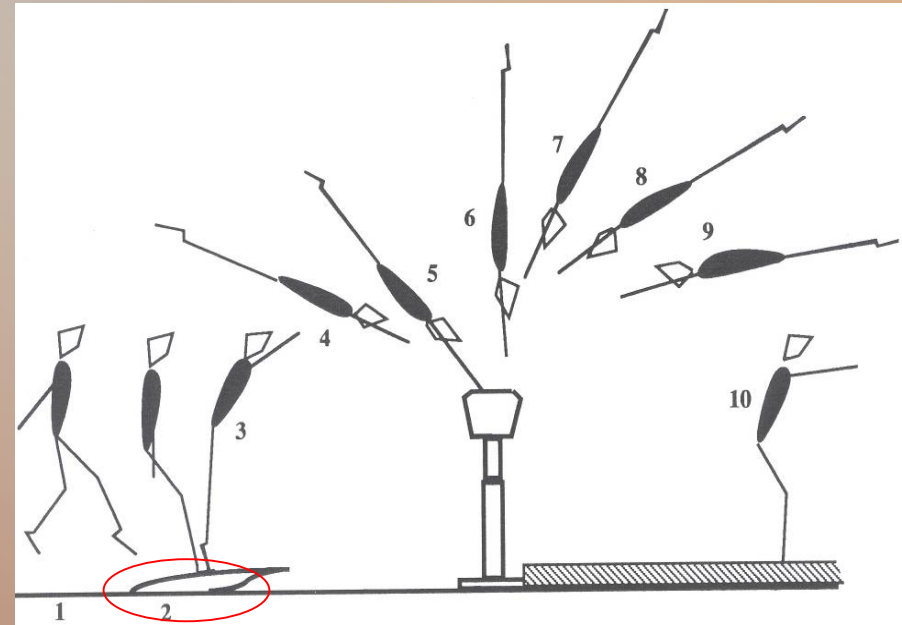


L'énergie

3. L'énergie potentielle élastique



Un arc tendu a la capacité d'effectuer un travail grâce à la déformation qu'il a subie. Quand la corde est relâchée, l'énergie de déformation de l'arc est utilisée pour donner une énergie cinétique (= vitesse) à la flèche.

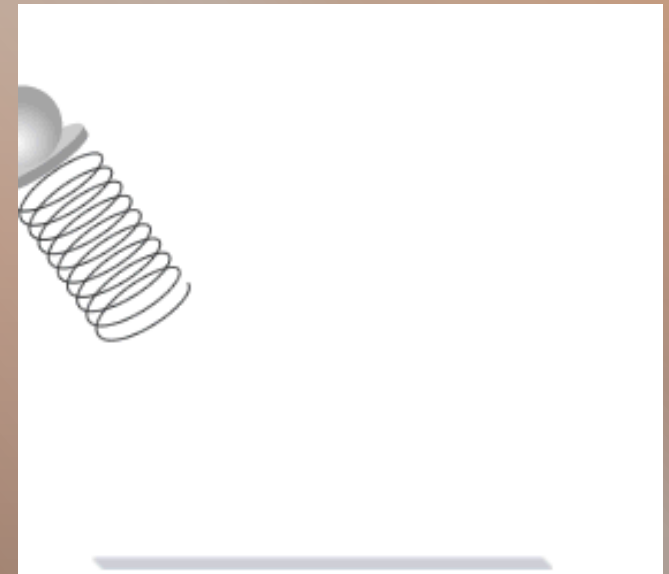


En 3, le tremplin emmagasine l'énergie cinétique du gymnaste sous forme d'énergie élastique qu'il restitue ensuite au gymnaste.

L'énergie

3. L'énergie potentielle élastique

*Remarque → Le système tendon / muscle est également concerné par l'énergie élastique. Ainsi un muscle mis en tension (étiré) emmagasine de l'énergie, ce qui permet un retour contractile plus important. La composante élastique du tendon et du muscle et le réflexe d'étirement (myotatique) sont mis en jeu. Cette capacité du muscle à se mettre en tension pour renvoyer de l'énergie est décrite dans les contractions dites **pliométriques**.*



L'énergie

3. L'énergie élastique

Conséquence en gymnastique → *il faut travailler avec et non contre les engins c'est à dire faire coïncider les efforts lors d'un mouvement avec le moment où l'agrès restitue l'énergie de tension qui est emmagasinée. Ainsi lors de rebonds sur un trampoline, il faut synchroniser la poussée des jambes avec le moment où la toile renvoie l'énergie élastique.*

L'énergie



Loi de la conservation d'énergie

Selon la loi de la conservation d'énergie, l'énergie ne peut ni se créer ni se détruire, mais seulement se transformer d'une forme à une autre (« *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* » Lavoisier, 1777).

→ autrement dit, la quantité d'énergie d'un système isolé reste toujours constante.

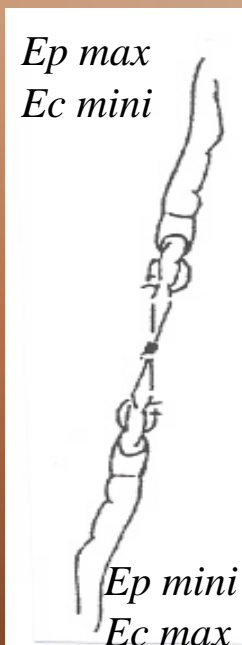
L'énergie



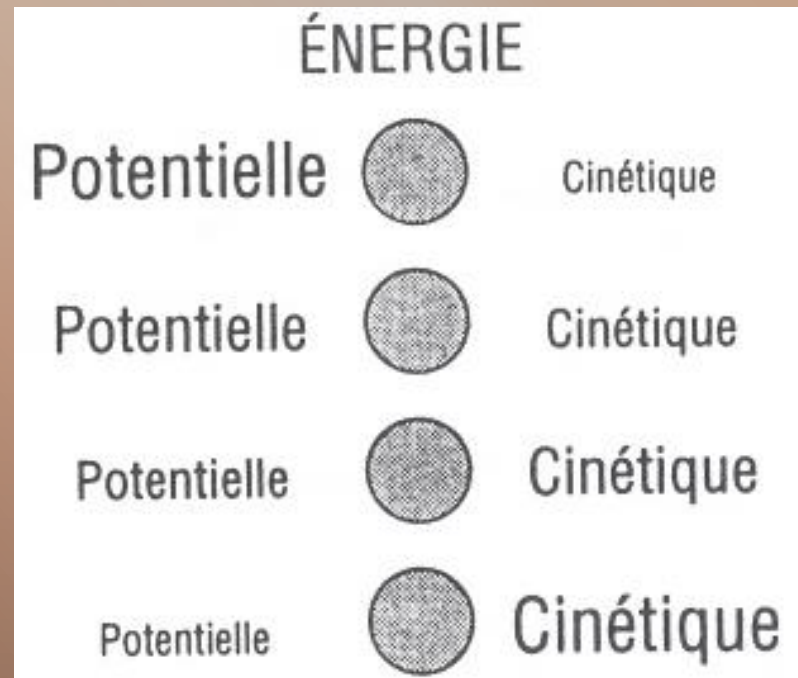
Principe de la conservation de l'énergie mécanique

Energie mécanique totale = énergie cinétique + énergie potentielle de pesanteur + énergie potentielle élastique

Selon la loi de la conservation d'énergie, il y a des échanges entre ces formes d'énergie, l'énergie mécanique totale restant constante.

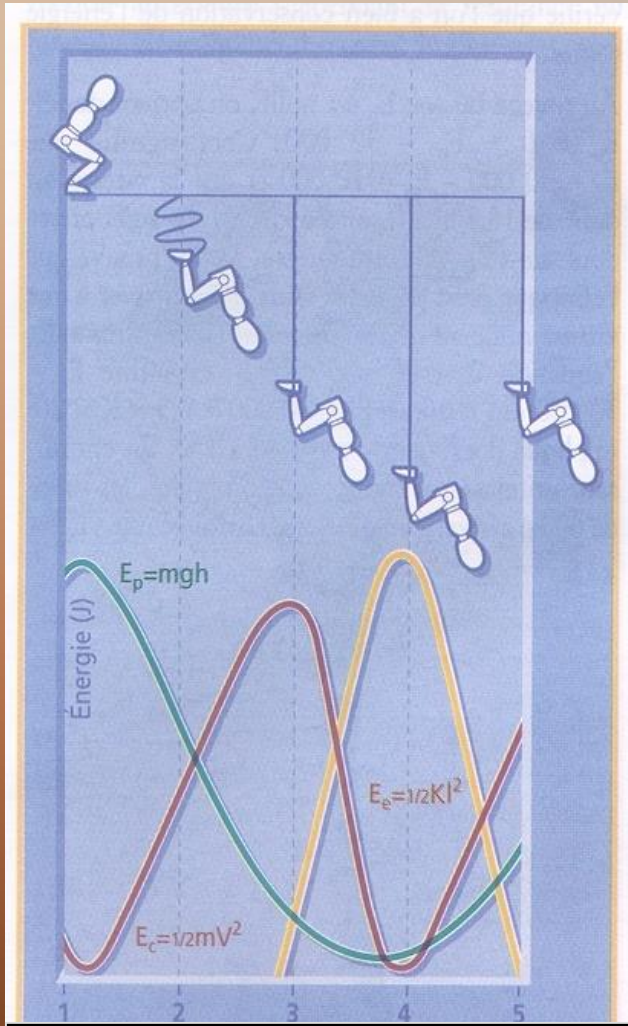


Un ballon en chute libre possède toujours la même énergie. En tombant, il perd graduellement son énergie potentielle pour gagner de l'énergie cinétique.

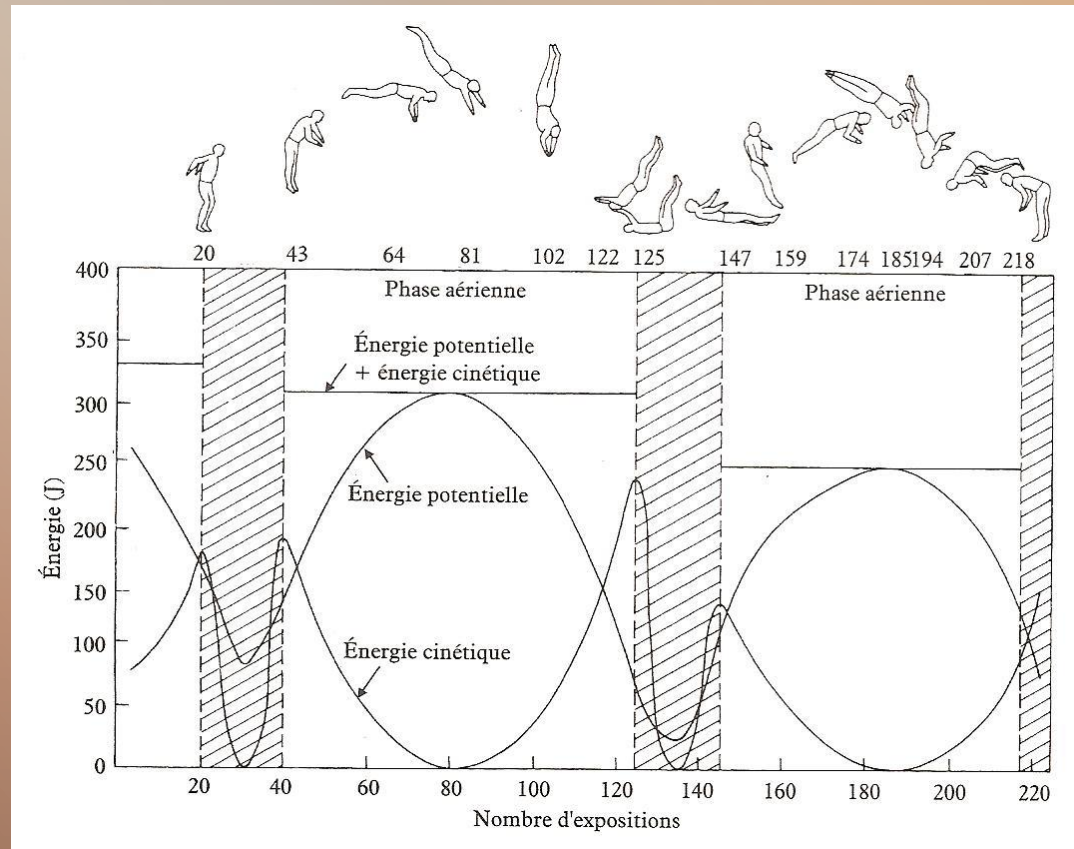


L'énergie

Principe de la conservation de l'énergie mécanique



Saut à l'élastique

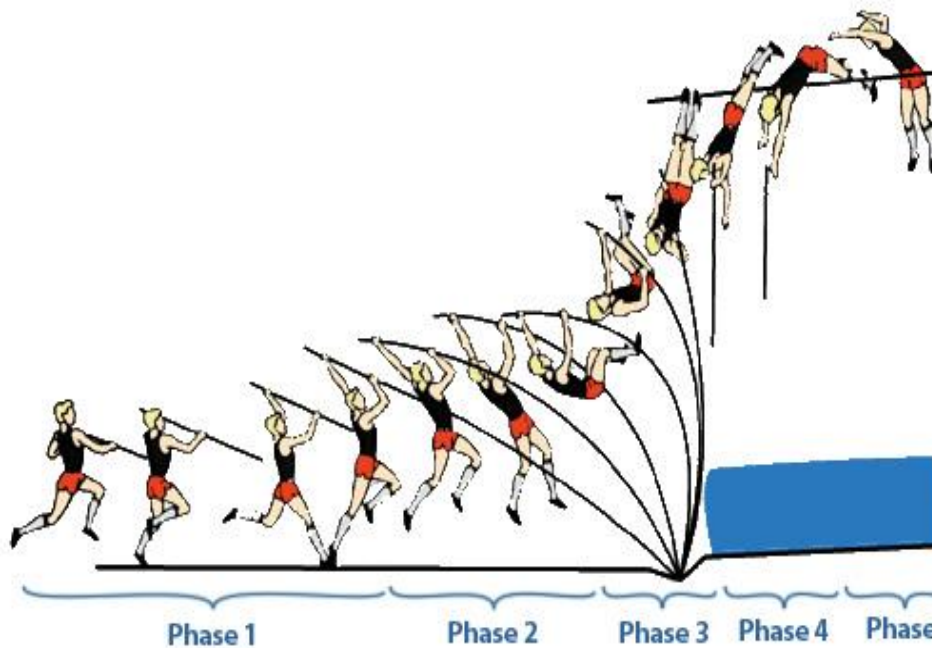


Rebonds sur trampoline

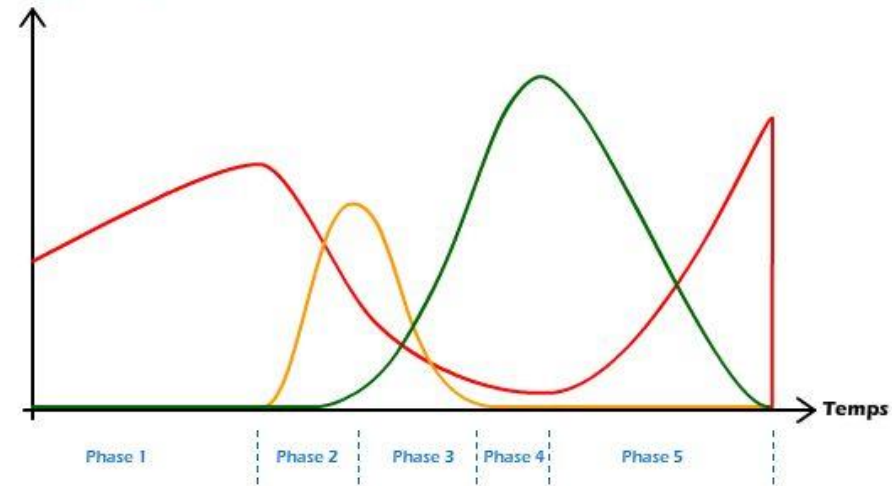
L'énergie



Principe de la conservation de l'énergie mécanique



Energie potentielle de pesanteur
Energie potentielle élastique
Energie cinétique



Phase 1 = Le sauteur accumule de l'énergie cinétique.

Phase 2 : Flexion de la perche : le sauteur transfère l'énergie cinétique acquise en énergie élastique dans la perche.

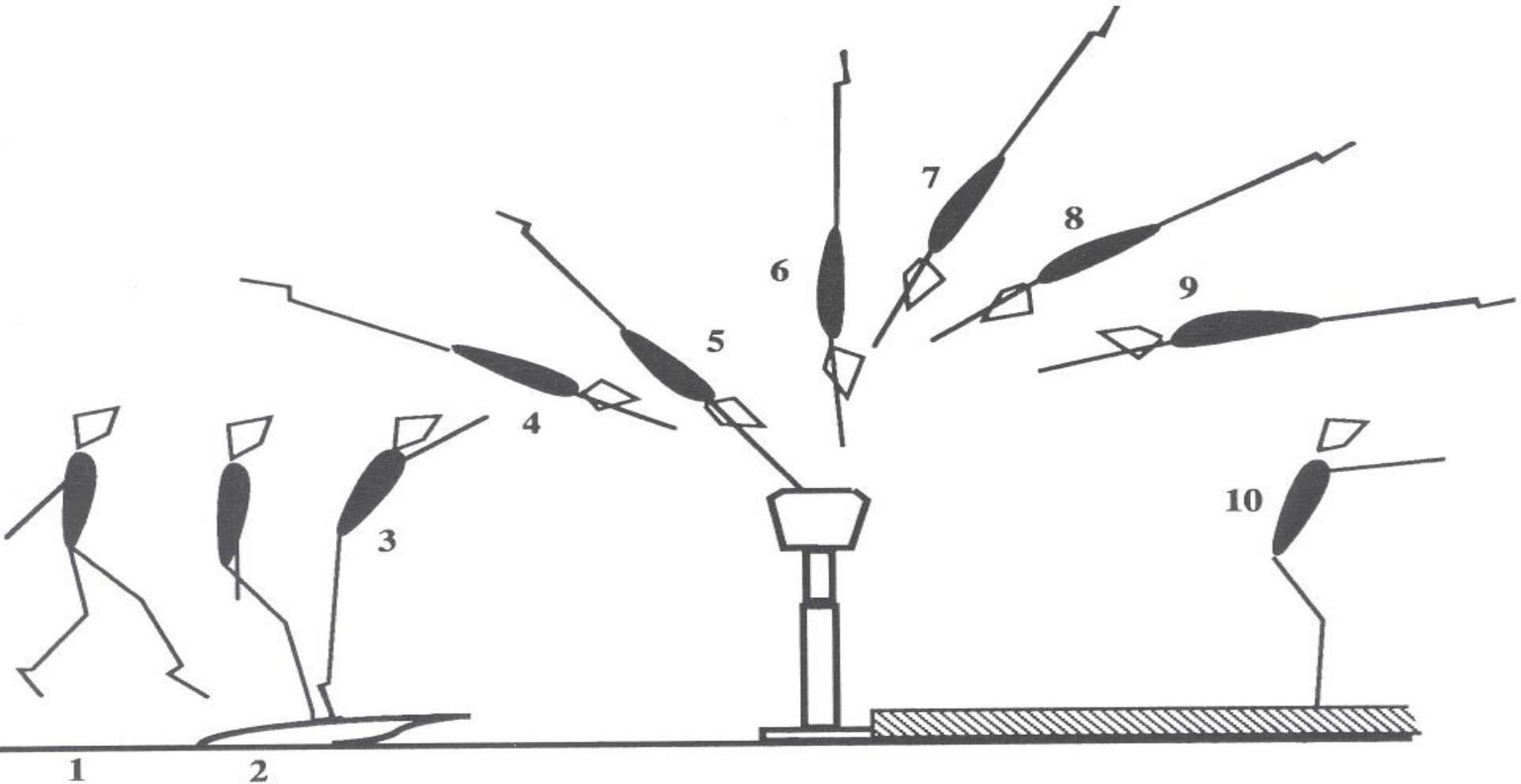
Phase 3 : Déflexion de la perche : le sauteur récupère l'énergie de la perche pour acquérir de l'énergie potentielle de pesanteur (son altitude augmente) et de l'énergie cinétique.

Phase 4 : Le reste de l'énergie cinétique est convertie en énergie de pesanteur pour atteindre la hauteur maximale.

Phase 5 : Chute libre descendante. L'énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique.

L'énergie

Principe de la conservation de l'énergie mécanique



L'énergie

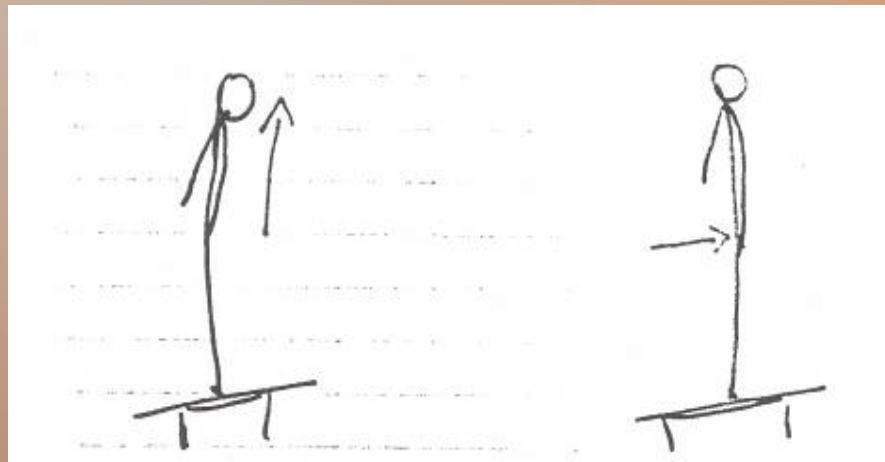


Principe de la conservation d'énergie → applications

Dans les techniques sportives, 2 conditions doivent être respectées afin de restituer de la meilleure façon l'énergie cinétique produite préalablement :

1. au moment de l'impulsion (bras ou jambes) la transmission au reste du corps de l'énergie cinétique dépend de la **rigidité du corps** (sinon choc mou et non choc élastique).

→ gainage, tonicité corporelle.



Rebond sur mini-trampoline : sans gainage et avec un bassin placé en antéversion au-dessus du point d'appui, peu d'énergie sera renvoyée et le gymnaste ne pourra pas se propulser très haut.

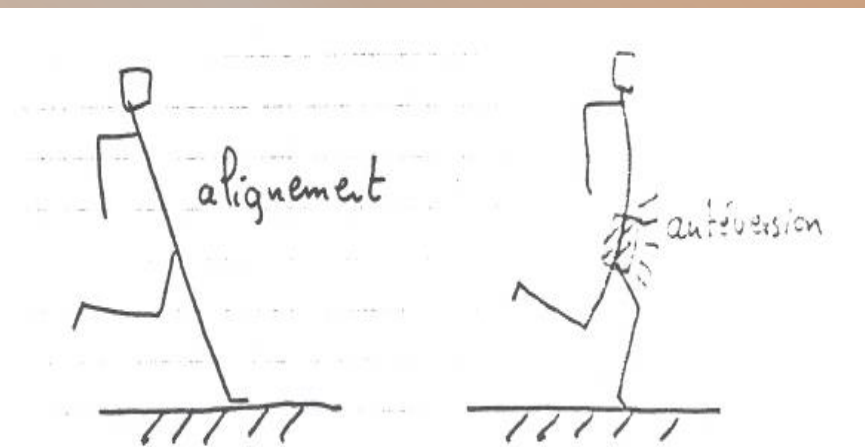
L'énergie



Principe de la conservation d'énergie → applications

Dans les techniques sportives, 2 conditions doivent être respectées afin de restituer dans les meilleures conditions l'énergie cinétique produite préalablement :

2. La seconde condition suppose **d'aligner les masses** au-dessus du point d'appui pour que le transfert de l'énergie puisse se réaliser.
→ aligner les articulations pour exploiter la réaction.

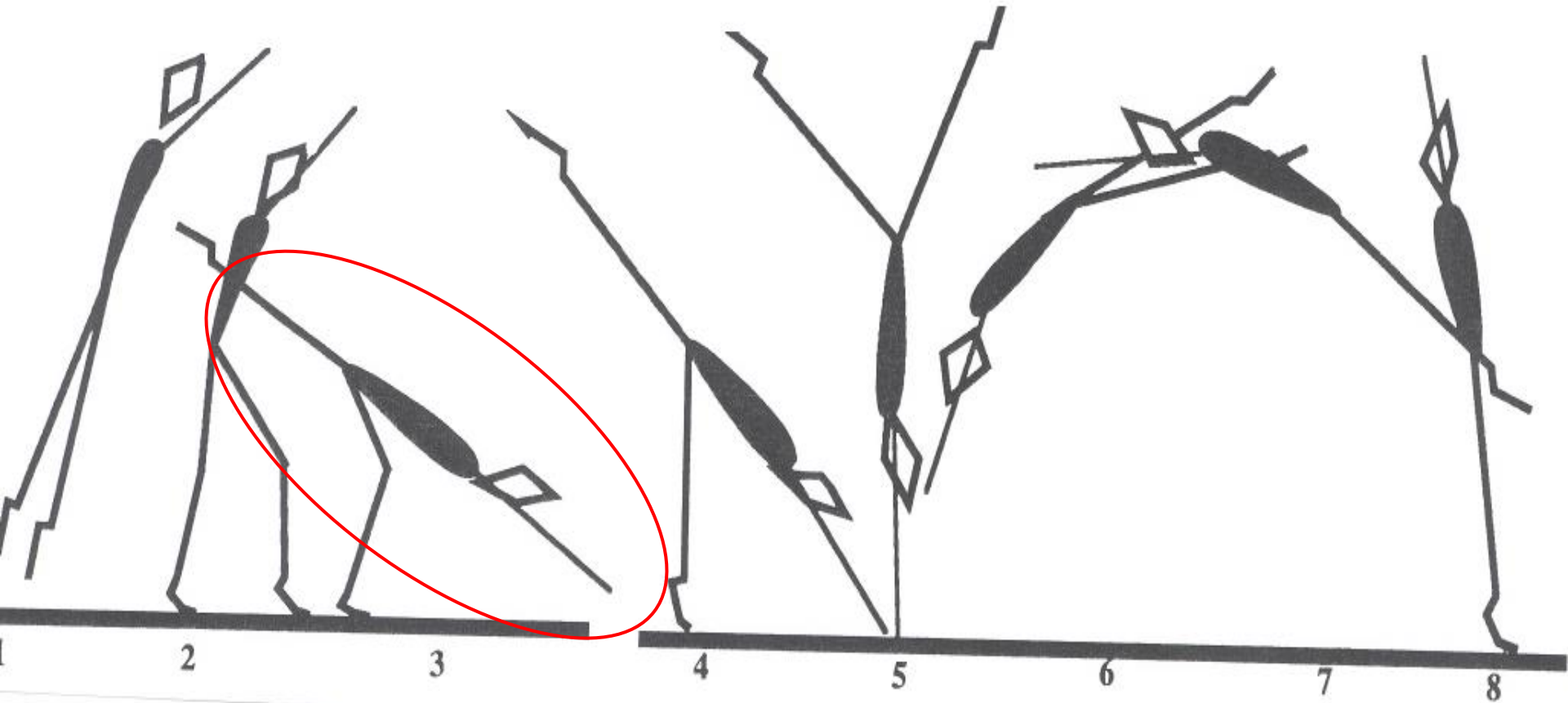


Impulsion de saut en hauteur : l'énergie ne pourra être renvoyée que si le corps se trouve aligné au-dessus du point d'appui. Si le bassin est placé en antéversion, une partie de l'énergie sera absorbée.



L'énergie

Principe de la conservation d'énergie → applications



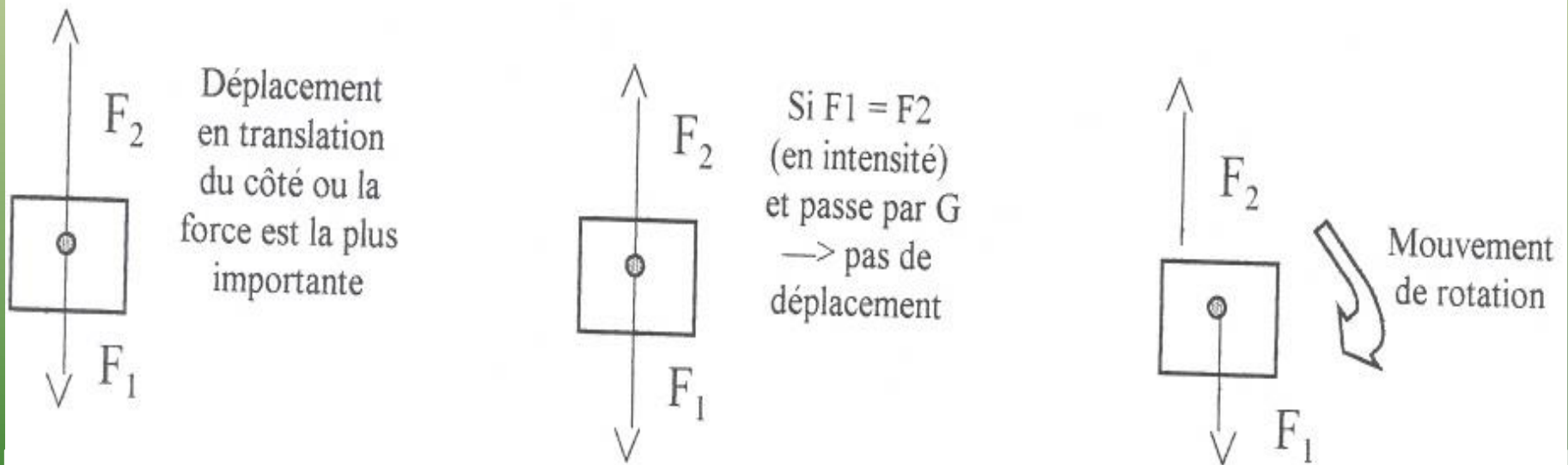
Le saut de main ne pourra être réalisé qu'à la condition d'une grande rigidité (gainage), mais aussi d'un alignement du corps au-dessus des mains posées au sol (ouverture bras/tronc).

Comment créer une rotation ?



Principe général

Créer une quantité de mouvement de rotation consiste à faire passer la ligne d'action d'une force en dehors du centre de gravité d'un corps.



A droite, il y a création d'un **moment de force**.

Comment créer une rotation ?



Les rotations en gymnastique

En gymnastique, il y a 3 manières de déclencher une rotation, en respectant ce principe général :

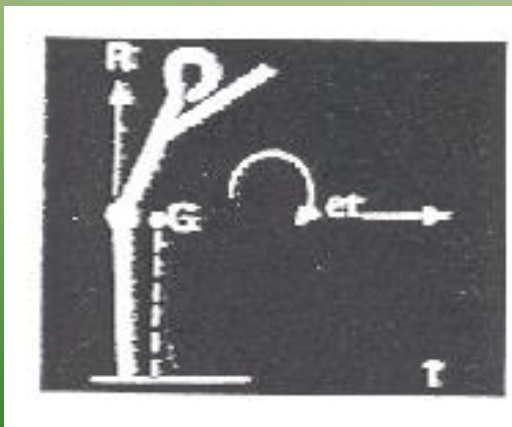
- ✓ **la poussée excentrique ;**
- ✓ **le blocage de mouvement de translation ;**
- ✓ **le transfert de moment cinétique.**

Comment créer une rotation ?



Les rotations en gymnastique

1. La poussée excentrique : si on exerce une force sur un support et que la ligne de réaction de la force passe en dehors de G, on constate la création d'un mouvement de rotation associé ou non à une translation.

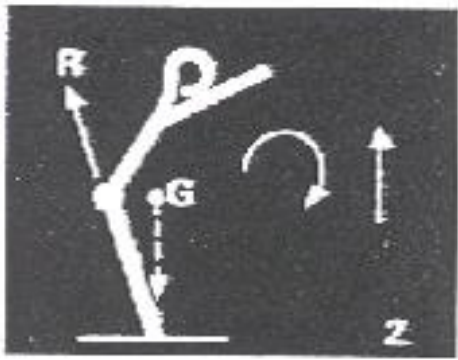


1. La réaction passe en arrière de G, il se produit une rotation avant

→ la projection du CG est en avant du polygone de sustentation, la rotation se fait avec un déplacement vers l'avant (dessin 1) ;

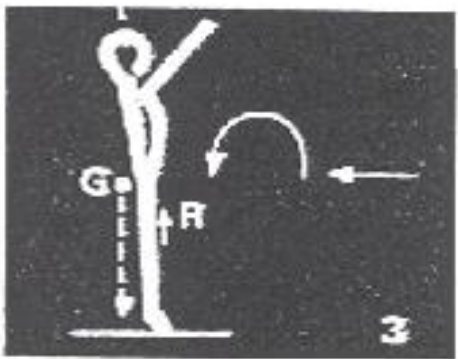
Comment créer une rotation ?

Les rotations en gymnastique



2. La réaction passe en arrière de G, il se produit une rotation avant

→ la projection du CG est dans le polygone de sustentation, la rotation se fait sans déplacement (dessin 2) ;

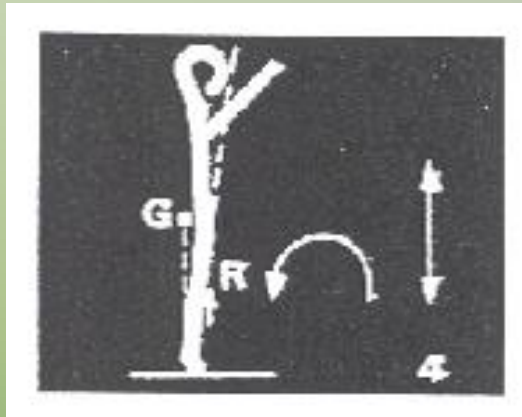


3. la réaction passe en avant de G, il se produit une rotation arrière

→ la projection du CG est en arrière du polygone de sustentation, la rotation se fait avec déplacement vers l'arrière (dessin 3) ;

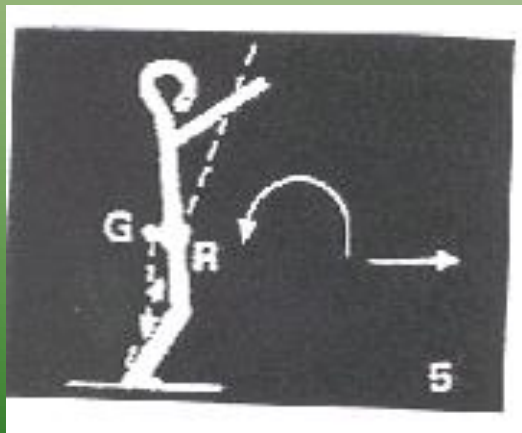
Comment créer une rotation ?

Les rotations en gymnastique



4. La réaction passe en avant de G, il se produit une rotation arrière

→ la projection du CG est dans le polygone, la rotation se fait sans déplacement (dessin 4) ;



5. la réaction passe en avant de G, il se produit une rotation arrière

→ la projection du CG est en avant du polygone (légère flexion des membres inf. et poussée des genoux vers l'avant), la rotation se fait avec déplacement vers l'avant (dessin 5) ;

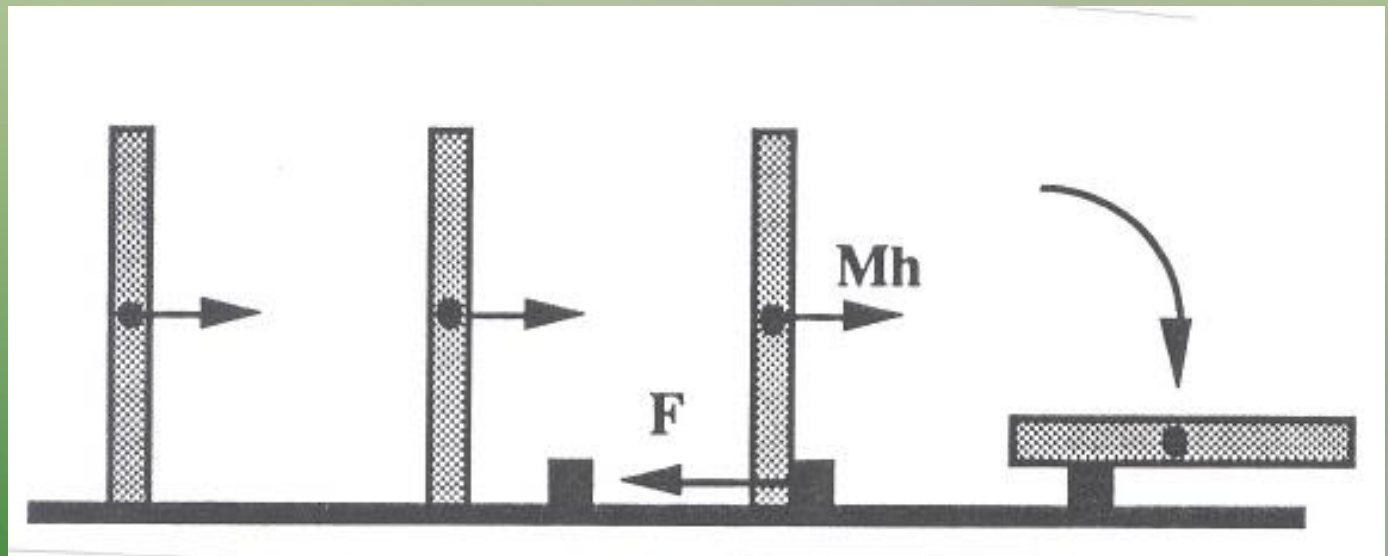
Comment créer une rotation ?



Les rotations en gymnastique

2. Le blocage de mouvement de translation (principe 1) : lorsqu'un corps se déplace en translation et qu'il est bloqué à l'une de ses extrémités (ou tout autre point situé en dehors de G), celui-ci pivote constituant un mouvement angulaire.

Exemple du croche-pied ou du cycliste qui rencontre un obstacle sur son chemin.

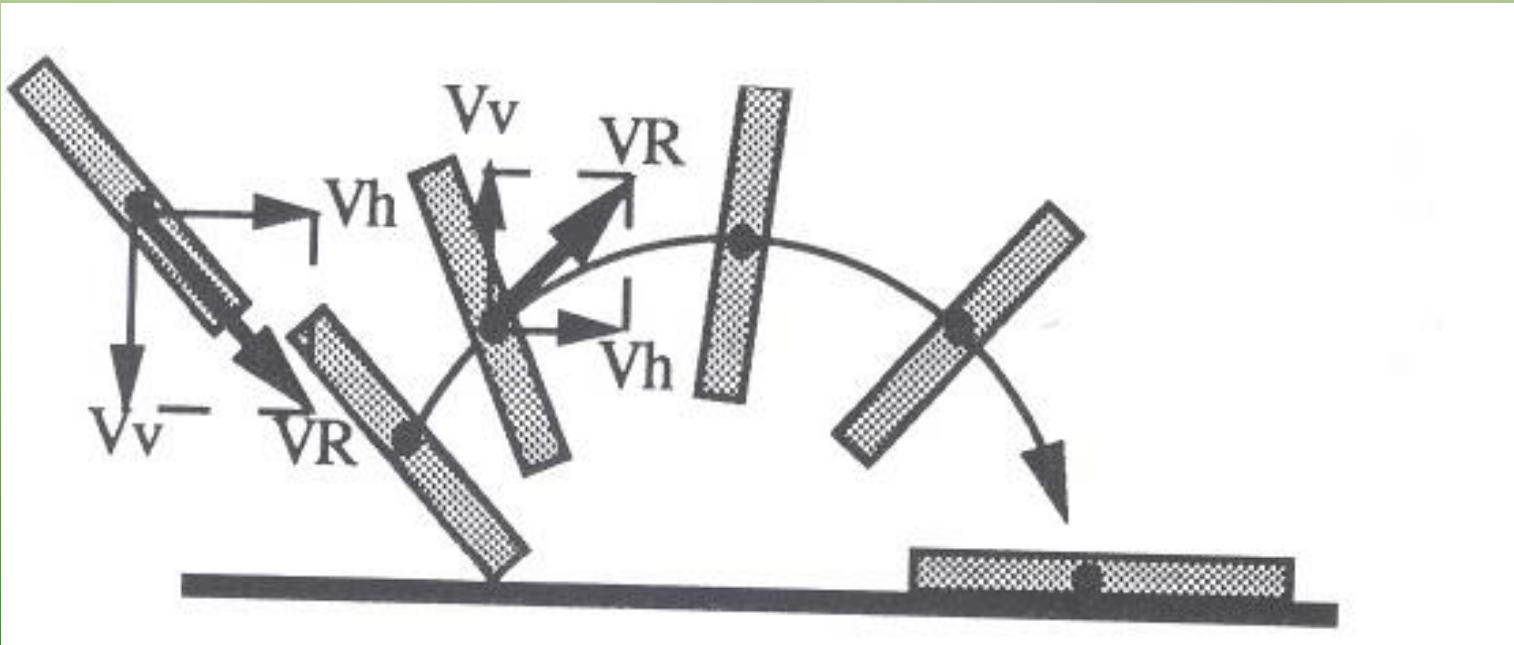


Comment créer une rotation ?



Les rotations en gymnastique

2. Le blocage de mouvement de translation (principe 2) : si cette fois on projette le corps contre le sol en position inclinée, ce dernier aura tendance non seulement à tourner mais aussi à s'élever.



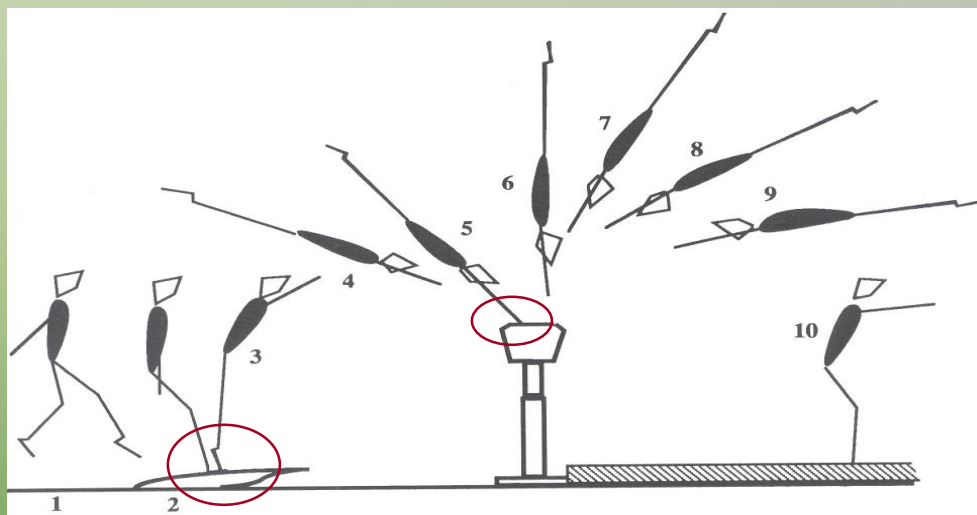
Le corps projeté au sol effectue une rotation vers l'avant en s'élevant

Comment créer une rotation ?



Les rotations en gymnastique

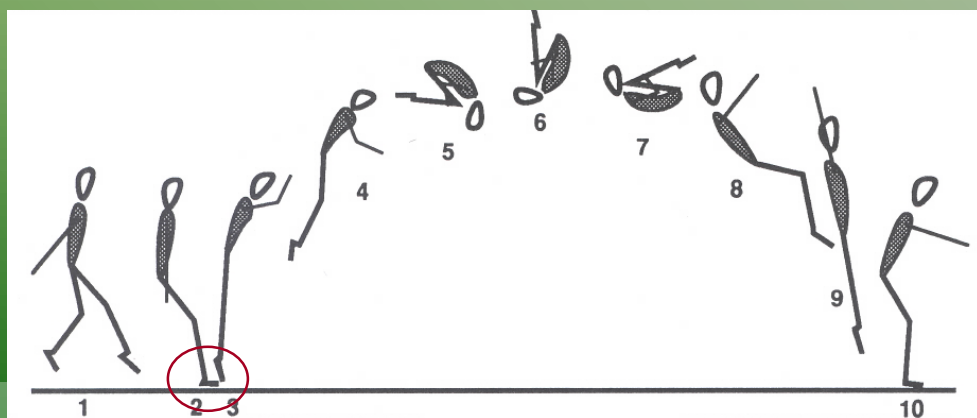
2. Le blocage de mouvement de translation → illustrations



Sur un saut de lune, on observe 2 blocages de mouvement de translation :

✓ *au moment de la pose des pieds sur le tremplin,*

✓ *au moment de la pose des mains sur le cheval.*



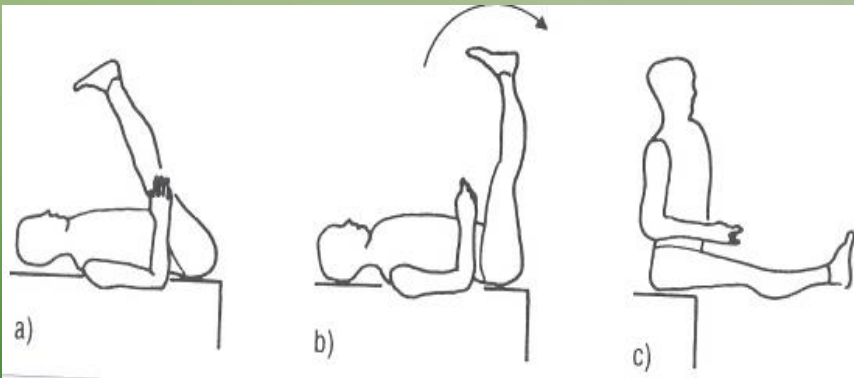
Sur un salto avant, le blocage des pieds sur le tremplin provoque l'annulation de la vitesse horizontale à ce niveau alors que le reste du corps a tendance à poursuivre son déplacement. Si tout le corps reste rigide, le corps a tendance à tourner en avant et à s'élever.

Comment créer une rotation ?



Les rotations en gymnastique

3. Le transfert de moment cinétique : une fois en l'air, on ne modifie pas le moment cinétique que l'on a créé, mais il est possible de transférer tout ou partie du moment cinétique d'une partie du corps à une autre.



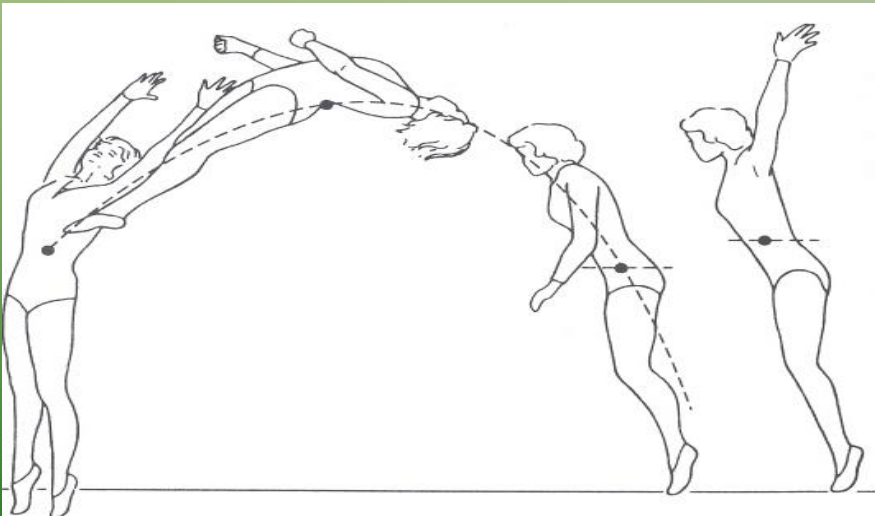
Couché sur le dos (a), l'individu se redresse en effectuant un mouvement de rotation des jambes pour ensuite les bloquer (b) à la position verticale. Puis un transfert de moment cinétique se réalise entre les jambes et le tronc (c).

Comment créer une rotation ?



Les rotations en gymnastique

3. Le transfert de moment cinétique : une fois en l'air, on ne modifie pas le moment cinétique que l'on a créé, mais il est possible de transférer tout ou partie du moment cinétique d'une partie du corps à une autre.



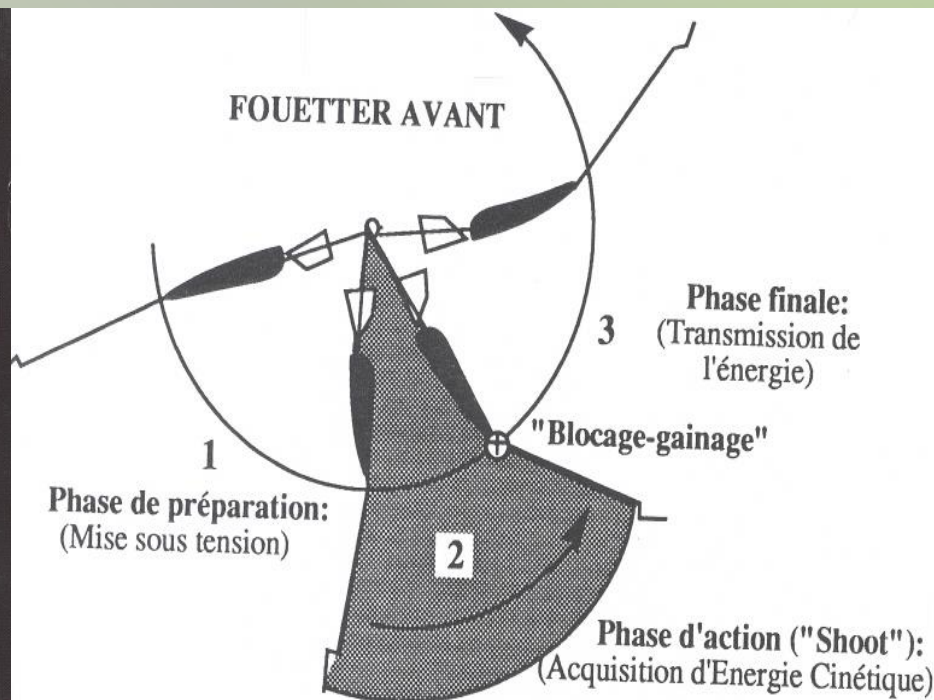
Une gymnaste effectuant une rotation arrière va projeter ses bras en arrière pour transférer une quantité de mouvement angulaire au reste du corps par blocage de moment cinétique par le jeu des butées articulaires.

Comment créer une rotation ?

Les rotations en gymnastique



3. Le transfert de moment cinétique : illustration avec les techniques de renforcement d'élan aux barres.



1 —> mise sous tension des groupes musculaires (ouverture);

2 —> phase de fermeture rapide des jambes sur le tronc («shoot») = création d'un moment cinétique de la partie inférieure du corps.

3 —> transfert de moment cinétique des jambes à l'ensemble du corps grâce au blocage-gainage.

Comment accélérer ou ralentir une rotation ?

Précisions terminologiques



Le moment cinétique (ou quantité de mouvement angulaire) est le terme scientifique exprimant la quantité de mouvement de rotation (ou angulaire) que possède un corps.

Les paramètres constitutifs de ce moment cinétique sont le moment d'inertie et la vitesse angulaire :

$$\mathbf{L} = \mathbf{I} \times \boldsymbol{\omega} \quad \text{en } [\text{kg.m}^2].[\text{s}^{-1}]$$

Moment cinétique = Moment d'inertie X vitesse de rotation

Comment accélérer ou ralentir une rotation ?

Précisions terminologiques



Le moment d'inertie mesure la plus ou moins grande difficulté qu'a un corps à tourner (sa résistance au mouvement angulaire) et se réfère à la répartition des masses autour de l'axe de rotation.

Le moment d'inertie est le produit entre la masse mise en jeu et la distance au carré qui sépare cette masse de l'axe de rotation :

$$\mathbf{I} = \mathbf{m} \times \mathbf{r}^2 \quad (\text{en kg.m}^2)$$

Moment d'inertie = masse X rayon de giration

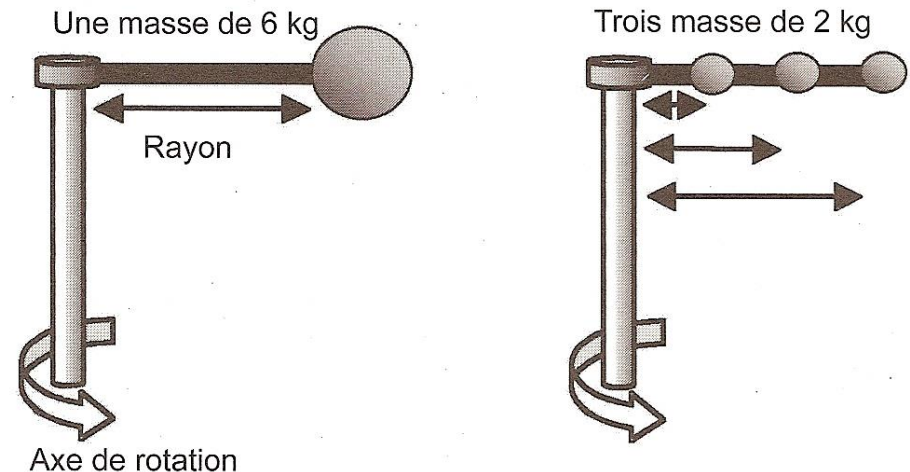
Le rayon de giration mesure l'éloignement des masses à l'axe de rotation

Comment accélérer ou ralentir une rotation ?

Précisions terminologiques

Dans le cas de mouvements linéaires, l'inertie d'un corps est mesurée par sa masse : plus le corps est massif, plus l'inertie est grande et plus il est difficile de changer son état (de repos ou de déplacement).

Dans les mouvements angulaires, l'inertie d'un corps dépend de sa masse mais aussi de la répartition de cette masse autour de l'axe de rotation.



Comment accélérer ou ralentir une rotation ?

Rappel des équations

$$L = I \times \omega$$

$$I = m \times r^2$$

$$L = (m \times r^2) \times \omega$$

Applications

→ Si r est faible (= masses proches de l'axe de rotation), alors pour une même quantité de mouvement de rotation (L), la vitesse de rotation sera plus élevée que si r est élevée (= masse éloignées de l'axe de rotation).

→ il est + facile pour effectuer une rotation (complète) de rapprocher les masses de l'axe de rotation.

Comment accélérer ou ralentir une rotation ?

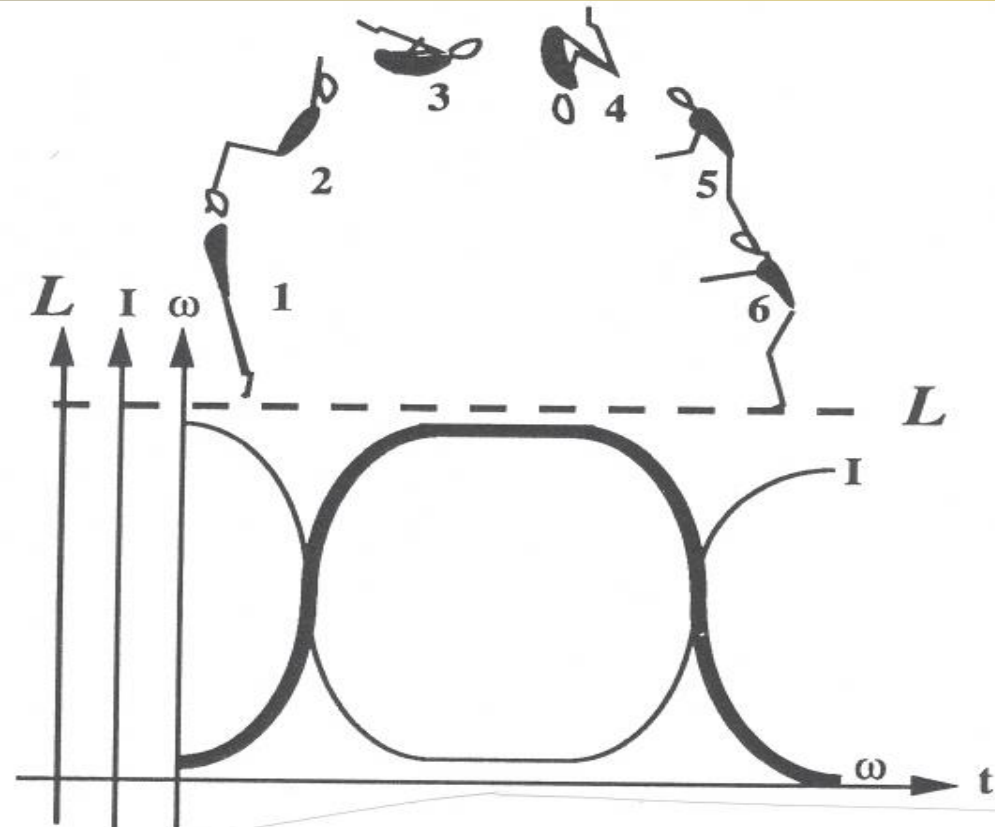
Applications en gymnastique

Application 1 : comme la quantité de mouvement angulaire (L) n'est pas modifiée en vol (il n'y a pas de couple extérieur), le gymnaste devra respecter les principes d'une impulsion efficace afin de réussir ses rotations → **tout se joue à l'impulsion !** :

- gainage bassin placé ;
- alignement segmentaire ;
- vitesse optimale ;
- qualité du pré-appel.

Comment accélérer ou ralentir une rotation ?

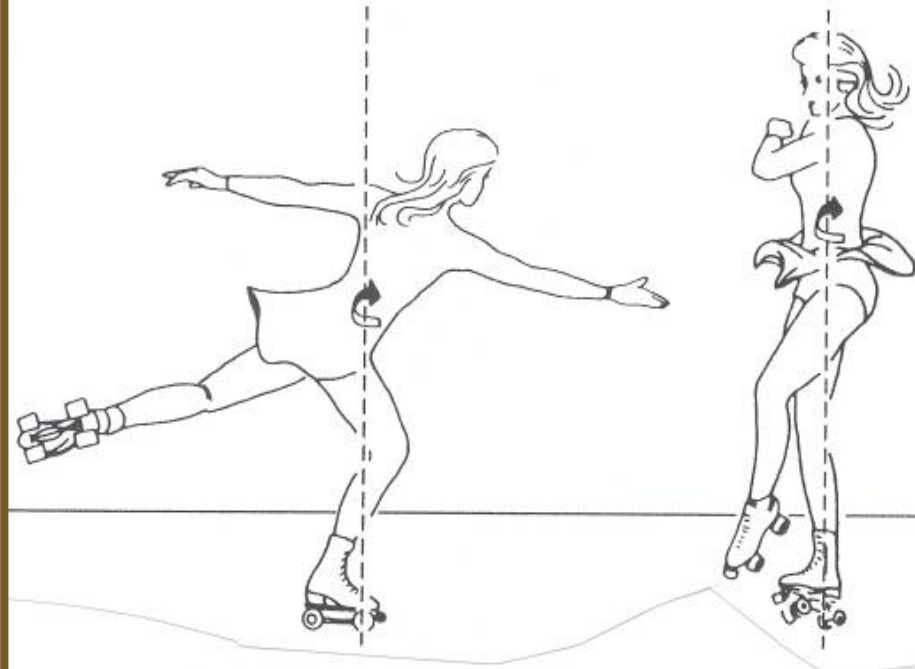
Application 2 : lorsque le gymnaste quitte l'appui, la trajectoire est déterminée, et le moment cinétique donné (L stable pt la phase d'envol). La variation de l'attitude du corps par l'action des muscles (et donc de l'éloignement des masses à l'axe de rotation) va entraîner une modification de la vitesse angulaire \rightarrow si le moment d'inertie augmente, la vitesse angulaire diminue dans les mêmes proportions, et inversement.



Salto arrière : juste après l'impulsion du salto arrière, le corps possède un certain moment cinétique angulaire (L) qui ne peut plus varier, en revanche un des paramètres peut être changé, c'est le moment d'inertie (I).
De la phase 1 à 3 I diminue car avec le groupé, le gymnaste a rapproché les masses de l'axe \rightarrow la vitesse angulaire augmente.
De la phase 3 à 4 I et ω sont à peu près constants (pas de mobilisation segm.).
De la phase 4 à 5, le dégroupé du corps fait que I augmente et ω diminue pour préparer la réception.

Comment accélérer ou ralentir une rotation ?

Application 3 : plus petit sera le moment d'inertie (le rayon de giration) et plus la rotation sera facile à terminer et rapide (car moment cinétique = moment d'inertie X vitesse de rotation). C'est pourquoi il est plus facile de réaliser une rotation en position groupée que carpée et de tourner carpé que tendu (les proportions des moments d'inertie de ces différentes positions sont approximativement : Groupé ratio = 1; Carpé = 2 ; Tendu = 4).



Pour faciliter les rotations longitudinales, les bras sont rapprochés du corps.

→ Plus un corps est groupé, plus rapide est la rotation, et inversement.

Comment accélérer ou ralentir une rotation ?



Pour accélérer une rotation on rapproche les masses de l'axe de rotation = on « groupe »

Pour ralentir une rotation on éloigne les masses de l'axe de rotation = on « dégroupe »



Comment accélérer ou ralentir une rotation ?



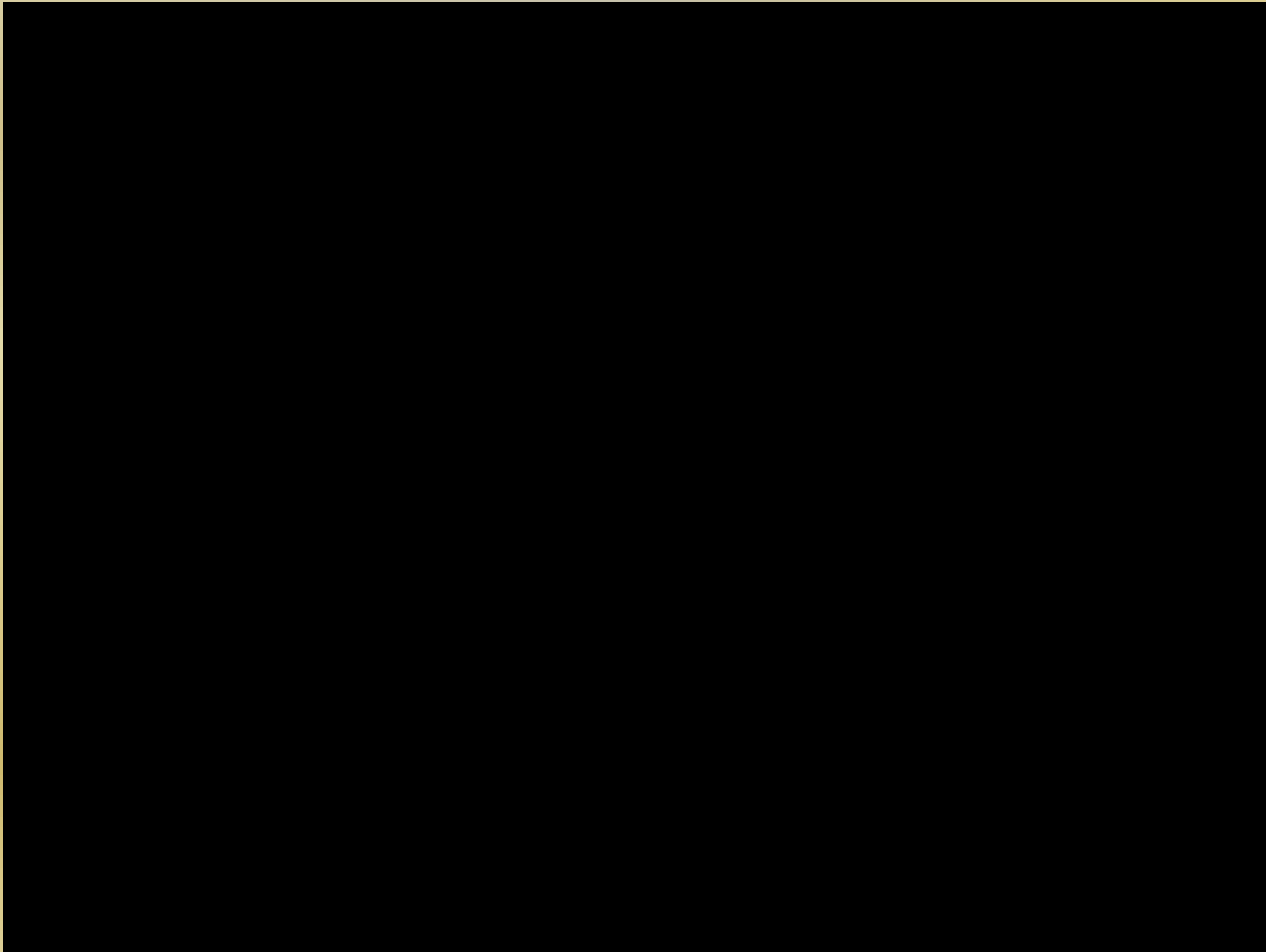
Ça tourne vite !



Ça tourne lentement !



Comment accélérer ou ralentir une rotation ?





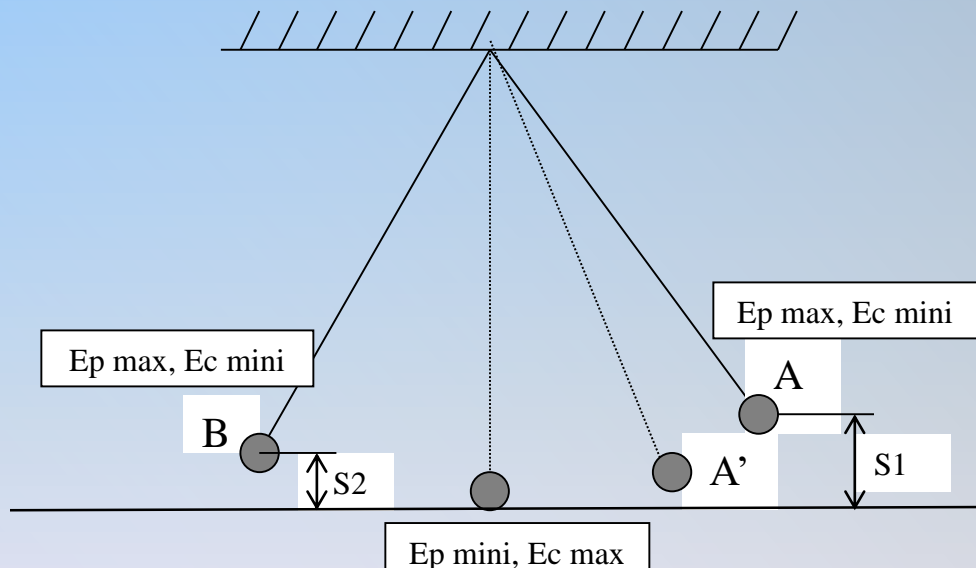
Les mouvements pendulaires

Tout corps suspendu à un point fixe et se trouvant soumis à la force de pesanteur obéit à la loi du pendule. Ce type de rotation par rapport à l'axe transversal est appelé **mouvement pendulaire.**

Les mouvements pendulaires

Principe mécanique 1

Si un pendule est déplacé et est lâché, il ne retournera pas à sa position de départ mais à une position plus basse à cause des **forces de frottements** = si le pendule est lâché en A, il ne retournera pas en A mais en A' (\rightarrow la période diminue au fur et à mesure des oscillations).



La différence de hauteur entre ces 2 points (A et B) représente la **perte de potentiel** ($S1 - S2$)

Ces forces de frottement sont de deux types :

- ❖ celles dues au glissement des mains sur l'axe de rotation (barre) ;
- ❖ celles dues aux résistances de l'air dont l'équation est la suivante : $R = S C_x v^2$

avec C_x = coefficient de forme aérodynamique,

S = surface du corps présentée à la résistance de l'air,

v = vitesse du corps.

Les mouvements pendulaires

Principe mécanique 1 → conséquences en gymnastique

Conséquence 1 : après la prise d'élan, le gymnaste est dans l'obligation de fournir un travail musculaire pour entretenir ses balancés, sans quoi il perdra de l'amplitude et reviendra progressivement à la position la plus basse → **transfert de moment cinétique par blocage-gainage (« shoot »)**.

Conséquence 2 : les frottements avec la barre et la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en chaleur peuvent provoquer des ampoules sur les mains des gymnastes → **utilisation de protections comme les maniques**.

Les mouvements pendulaires

Principe mécanique 2

Tout corps qui tourne autour d'un axe exerce sur son support une force centrifuge neutralisée par la résistance de l'accrochage (force centripète). **La force centrifuge est la force qui tend à éloigner le corps de l'axe de rotation.**

- ❖ Elle est maximale au bas du balancé (au bas d'un soleil, elle est approximativement égale à $4P$, c-a-d 4 fois le poids du corps du est équivalente à $5P$: 5 fois le poids du corps).
- ❖ Elle est nulle aux extrémités du balancé, lorsque la vitesse est nulle.

Les mouvements pendulaires

Principe mécanique 2 → conséquences en gymnastique

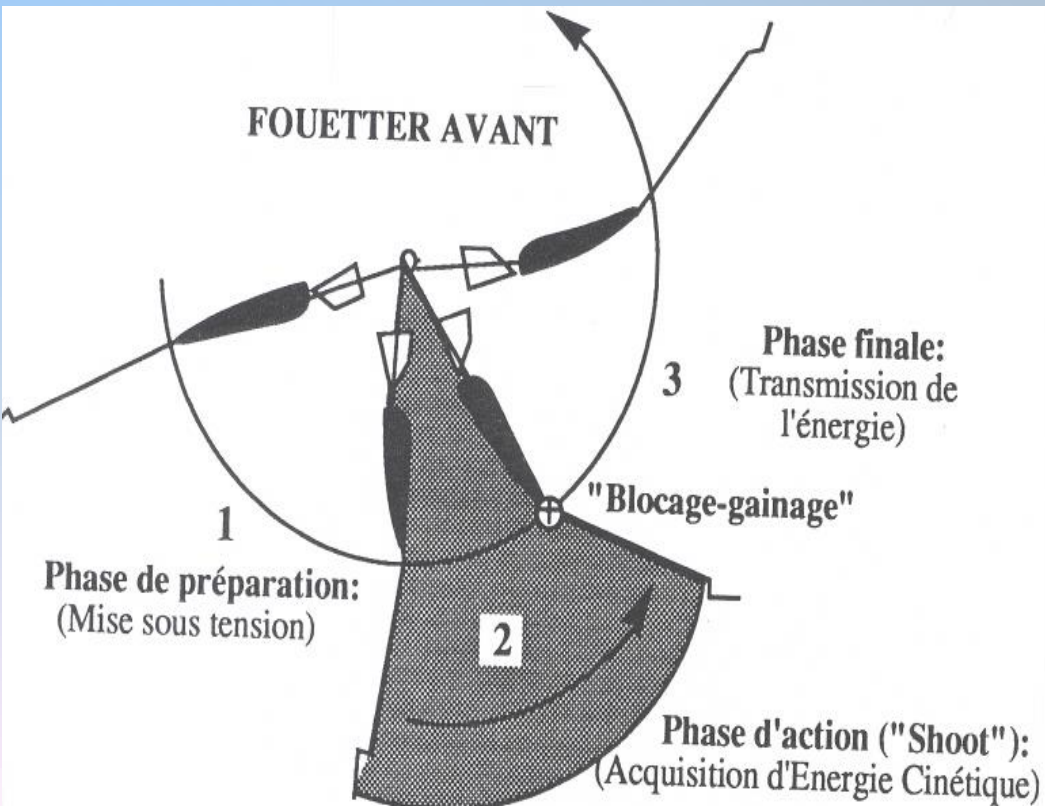
Conséquence 1 : l'intervention de la force centrifuge sur le corps du gymnaste induit un risque de décrochage : le gymnaste doit lutter contre une force qui tend à lui faire lâcher prise → il faut envisager l'apprentissage des balancés ou des grands tours en veillant rigoureusement aux conditions de sécurité = fosse de réception, sangles, prise enveloppante, utilisation de maniques avec bourrelet, parades, apprentissage de réchappes...

Conséquence 2 : certains éléments techniques doivent être réalisés lorsque la force centrifuge est faible (changements de prise...), ou importante (sorties).

Les mouvements pendulaires

Conclusion : comment être efficace dans les balancés ?

Pour créer et entretenir un mouvement pendulaire de grande amplitude, il faut savoir s'organiser par rapport à la pesanteur :



1) Agir « avec elle » dans la phase descendante :

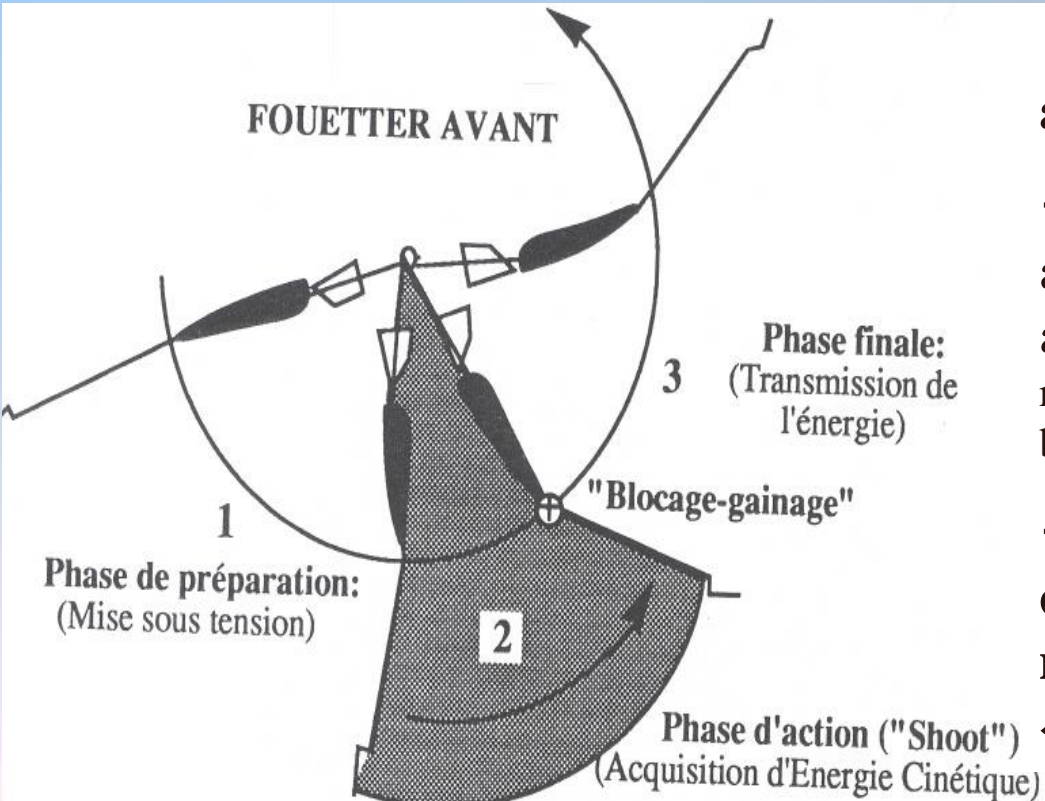
→ en ayant une hauteur de départ la + importante possible car plus il y aura d'énergie potentielle, plus il pourra y avoir d'énergie cinétique (élan) ;

→ en éloignant au maximum le centre de gravité de l'axe de rotation afin d'obtenir un moment de force positif optimal au passage à la verticale et utiliser au mieux l'élasticité de l'engin.

Les mouvements pendulaires

Conclusion : comment être efficace dans les balancés ?

Pour créer et entretenir un mouvement pendulaire de grande amplitude, il faut savoir s'organiser par rapport à la pesanteur :



2) Lutter « contre » dans la phase ascendante :

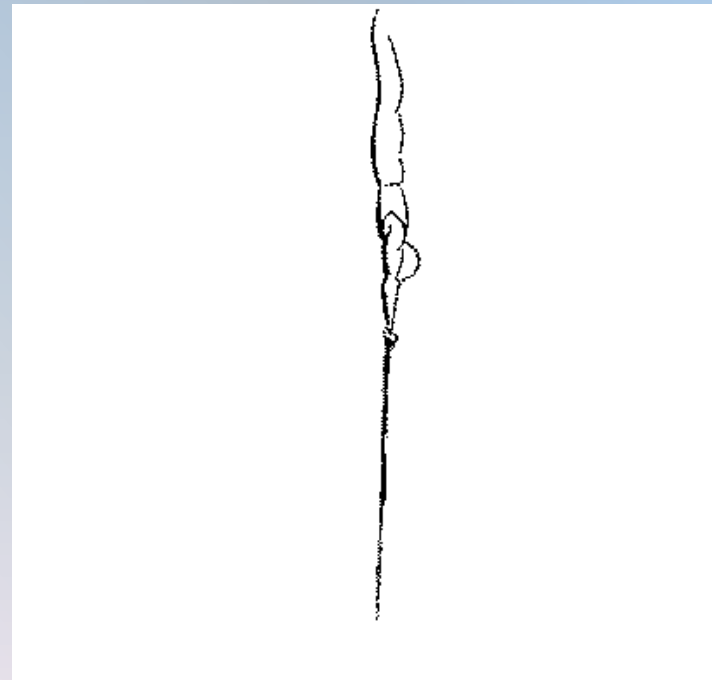
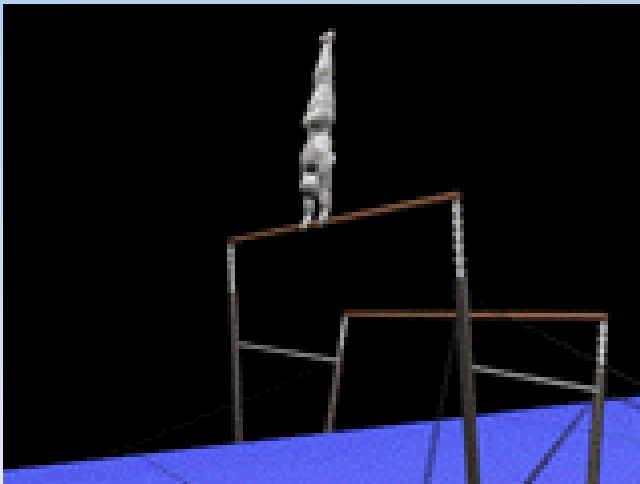
→ en rapprochant les masses de l'axe afin de diminuer le moment d'inertie et augmenter la vitesse angulaire (le raccourcissement du corps intervient au bas du balancer, quand le gymnaste passe à la verticale) ;

→ en opérant un transfert de moment cinétique grâce à un travail musculaire appelé fouetté avant ou « shoot ».

Les mouvements pendulaires

Conclusion : comment être efficace dans les balancés ?

Pour créer et entretenir un mouvement pendulaire de grande amplitude, il faut savoir s'organiser par rapport à la pesanteur :



Bibliographie

P.Allard, J.-P.Blanchi, *Analyse du mouvement humain par la biomécanique*, Ed. Decarie, Paris, 1999.

T.Blancon, *La physique et la mécanique à l'usage de la pratique sportive*, in Dossier EPS n°69, Paris, 2006.

P.Delamarche, M.Dufour, L.Perlemuter, *Anatomie, physiologie, biomécanique en STAPS*, Ed. Masson, Paris, 2002.

P.Grimshaw, A.Burden, *Biomécanique du sport et de l'exercice*, De Boeck, Paris, 2010.

J.Hay, *Biomécanique des techniques sportives*, Vigot, Paris, 1980.

R.Lepers, A.Martin, *Biomécanique*, Ed. Ellipses, Paris, 2007.

M.Pernet, *Gymnastique artistique et sportive : 9 techniques de base à la loupe*, Dossier EPS n°18, Paris, 1994.

T.Smith, *Biomécanique et gymnastique*, PUF, Paris, 1991.