

Ministère de la Jeunesse et des Sports

INFSSTS Abdellah Fadel

Cité Belle vue, Bp : 117, Ain-Benian, Alger

Département : Sports Individuels

Biomécanique du sport

Dr. AIT ALI YAHIA Amar

Maître de conférences A

رئيس اللجنة العلمية

دائرة تكنولوجيا التدريب الرياضي

عزوز دلييلة

زوجة محماد

ناتية مناصر الشوارب التروبية
بالمعهد الوطني للعلوم الرياضية
الرياضة عميد الفاضل - عين بنسيان
يوشاقور حورية

Année universitaire : 2018 / 2019

1. Présentation du module

Module	Biomécanique du sport
Mode d'enseignement	Présentiel
But du module	Maîtriser les concepts de base de la biomécanique du sport
Nombre de semestres	2
Nombre de semaines	22 semaines
Conférence / semaine	1
Durée de la conférence	90 minutes
Volume horaire global	33 heures
Coefficient	2
Étudiants ciblés	Éducateurs Principaux 2 ^e année
Méthodologie	Exposé magistral
Support de cours	Présentation Powerpoint

2. Modes d'évaluation

Évaluation	Titre	Mode de travail	Pondération
Semestrielle	Examen écrit	Individuel	60%
	Exposé	Groupe	20%
	Contrôles continus	Individuel	20%

3. Plan thématique

Semestre	Conférence	Durée
1	1. La biomécanique	2 semaines
	2. Plans, axes et mouvements	4 semaines
	3. Les leviers du corps humain	4 semaines
2	4. La cinématique	4 semaines
	5. La cinétique	4 semaines
	6. Méthodes de mesure	4 semaines

4. Bibliographie

Amarantini, D. (2013). Conférences de biomécanique. UFR Staps Toulouse, Pôle sport, Master 1.

Allard, P., & Blanchi, JP. (1996). Analyse du mouvement par la biomécanique. Québec : Éditions Decarie.

Blanchi, JP. (2000). Biomécanique du mouvement et APS. Paris : Éditions Vigot.

Grimshaw, P., & Burden, A. (2010). Biomécanique du sport et de l'exercice. Bruxelles: De Boeck Université.

Hay, JG. (1980). Biomécaniques des techniques sportives. Paris : Éditions Vigot.

Hong, Y. (1992, Novembre). Qu'est-ce que la biomécanique ? Revue Olympique (301), 620-641.

Manolova, A. (2012, Avril 24). Description anatomique du mouvement. Récupéré sur [www.sci-sport.com: http://www.sci-sport.com/theorie/001-02.php](http://www.sci-sport.com/theorie/001-02.php).

5. Table des matières

Semestre 1	
Conférence 1.1: La biomécanique	6
1. Introduction	8
2. Définition	11
3. Échelle d'étude	12
4. Objectifs de la biomécanique en sport	14
5. Paramètres de la performance	18
6. Biomécanique et sport d'élite	19
7. Méthodes et matériel	22
Conférence 1.2 : Plans, axes et mouvements	26
1. Introduction	28
2. Plans anatomiques	29
3. Axes de rotation	38
4. Orientation dans l'espace	44
5. Mouvements articulaires	46
6. Coordonnées	53
7. Segments corporels et articulations	58
8. Formes du mouvement	62
Conférence 1.3 : Les leviers du corps humain	66
1. Introduction	68
2. Poids et masse	69

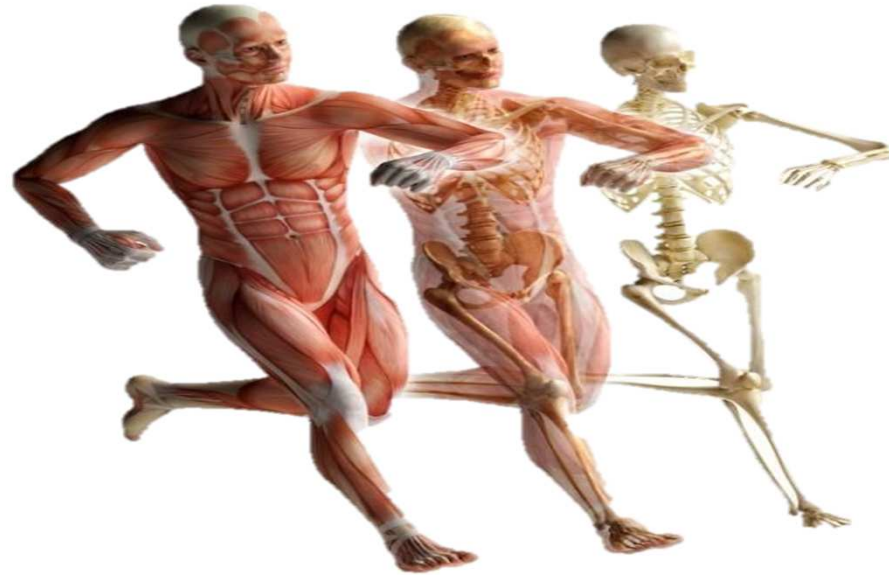
3. Le travail des leviers	70
4. Les fonctions du levier	72
5. Les types de leviers	73
6. Le Moment de force	91
7. Moment cinétique	99
8. Moment d'inertie	102

Semestre 2

Conférence 2.1 : La cinématique	105
1. Définition	108
2. Les trois variables cinématiques fondamentales	109
3. Notion de mouvement	112
4. Mouvement rectiligne	116
5. Déplacement angulaire	134
6. Mouvement angulaire	135
7. Mouvement linéaire et angulaire	140
Conférence 2.2 : La cinétique	141
1. Définition	143
2. Notion de force	147
3. Les trois lois de Newton	154
3.1. La première loi	154
3.2. La deuxième loi	157
3.3. La troisième loi	159

4. Importance du référentiel	163
5. Types de forces	166
5.1. La force de frottement	166
5.2. La pression	178
Conférence 2.3: Méthodes de mesure	181
1. Analyse vidéo	183
2. Analyse optoélectronique du mouvement	189
3. Lissage des données	195
4. Accéléromètres	198
5. Plaque de force	201
6. Électromyographie	204
7. Dynamomètre isocinétique	207

La Biomécanique



Dr. Ait Ali Yahia-Amar Maître de conférences A

Conférence 1.1

INFSSTS Abdellah Fadhel

Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Définir le concept de biomécanique,
- Différencier les niveaux d'étude en biomécanique,
- Préciser les objectifs de la biomécanique,
- Identifier les paramètres de la performance,
- Énumérer les méthodes et matériel.

1. Introduction

La biomécanique est une science interdisciplinaire qui étudie les concepts de la mécanique appliqués aux sciences du vivant.

Cela concerne :

- ✓ **La mécanique des fluides** : circulation sanguine ;
- ✓ **La rhéologie** : viscosité du sang ; viscoélasticité des muscles ;
- ✓ **La mécanique du solide** : modèles multi corps rigides ;
- ✓ **La résistance des matériaux** : solides déformables.

- La biomécanique joue un rôle important en médecine, sport, ergonomie, robotique, etc.
- Les défis de la biomécanique ont un impact incontestable sur la vie de beaucoup de citoyens.
- Biomécaniciens et ingénieurs ont contribué à améliorer la performance et la sécurité dans les sports.

2. Définition

- La biomécanique est l'application de la mécanique à l'étude des systèmes biologiques de l'homme, des animaux et des végétaux.
- En sport, la biomécanique étudie les forces internes et externes qui agissent sur le corps humain ainsi que leurs effets.

3. Échelle d'étude

La biomécanique est présente à tous les niveaux de l'étude du vivant :

- ✓ **La cellule:** échange, transformations, pathologie...
- ✓ **Le tissu:** croissance, résistance, vieillissement, réparation...
- ✓ **L'organe:** fonctionnement, pathologie, remplacement...

- ✓ **Le système** : relations entre les organes au sein d'un système, organisation vis-à-vis des propriétés physiques du milieu extérieur (par exemple, adaptation de l'appareil cardiovasculaire à la gravité);
- ✓ **Le corps dans son ensemble** : déambulation, posture, ergonomie.

4. Objectifs de la biomécanique

4.1. Éducation et motricité :

- Détection et description des critères de performance.
- Discrimination et transmission des niveaux d'habiletés.

4.2. Entraînement sportif :

- Analyse et transmission des techniques sportives.
- Optimisation de la performance.

4.3. Activités physiques adaptées

- Prévention / détection de pathologies.
- Suivi post-traumatique.
- Développement d'appareillage.



4.4. Recherche :

- Compréhension des mécanismes de production de forces.
- Analyse de la coordination.
- Optimisation des performances / des matériels.

5. Paramètres de la performance

- Étude du résultat observable (**cinématique**) : position, angle, vitesse, accélération.
- Étude des causes (**cinétique**) : quantité de mouvement, quantité de vitesse de rotation.
- Étude des relations entre les mouvements et leurs causes (dynamique) : force, moment.
- Étude énergétique : énergie cinétique, énergie potentielle.

6. Biomécanique et sport d'élite

- Limites de la technique ou de la performance sportive;
- éléments susceptibles d'être améliorés;
- défauts et carences des athlètes durant la performance étudiée;

- aide dispensée à l'entraînement par une méthode biomécanique ;
- analyse quantitative des exercices d'entraînement.



7. Méthodes et matériel

7.1. Variables cinématiques :

- Systèmes d'analyse vidéo (**coordonnées**);
- Systèmes optoélectroniques(**coordonnées**);
- Goniomètres (angles);
- Accéléromètres (accélération) ;
- Système laser / ultrason /magnétique.

7.2. Variables dynamiques :

- Plateformes de force (**forces et moments**);
- Capteurs de pression (**pression**).

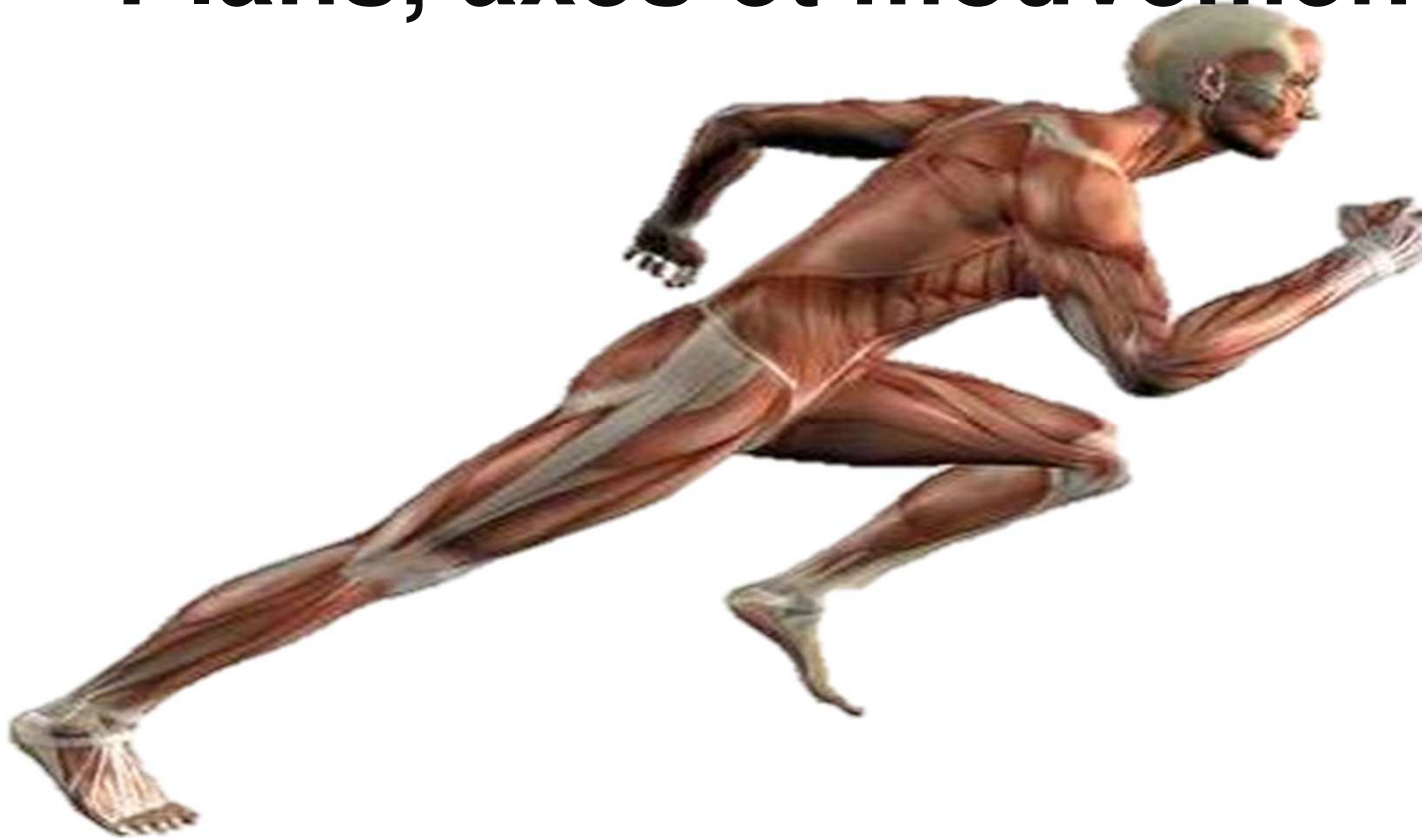
7.3. Electromyographie (surface / aiguille) :

- Indicateur de l'activité musculaire ;
- Effets fatigue / entraînement (analyse fréquentielle).

7.4. Électrostimulation :

- Contraction musculaire sans commande volontaire.
- Réhabilitation / renforcement musculaire / récupération.

Plans, axes et mouvements



Dr. Ait Ali Yahia-Amar Maître de conférences A

Conférence 1.2

Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Définir les plans anatomiques,
- Décrire les axes de rotation,
- Comprendre l'orientation dans l'espace,
- Identifier les mouvements articulaires,
- Localiser les coordonnées,
- Reconnaître les segments et les articulations,
- Identifier les différentes formes de mouvements.

1. Introduction

- Notions d'anatomie.
- Les plans dans lesquels une partie de l'action se passe.
- Décrire le mouvement des segments corporels / aux articulations / quel axe ces rotations s'effectuent.

2. Plans anatomiques

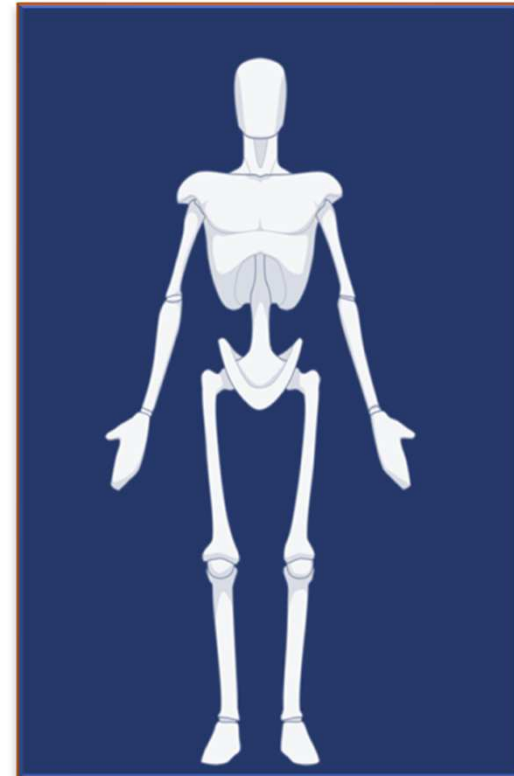
- Le plan est une surface imaginaire bi-dimensionnelle qui divise le corps humain en deux parties.
- On décrit trois plans imaginaires en 2 dimensions qui passent par le centre de gravité du corps humain et qui sont perpendiculaires les uns par rapport aux autres: **le plan sagittal, le plan frontal, et le plan transversal.**

Positions anatomiques de référence

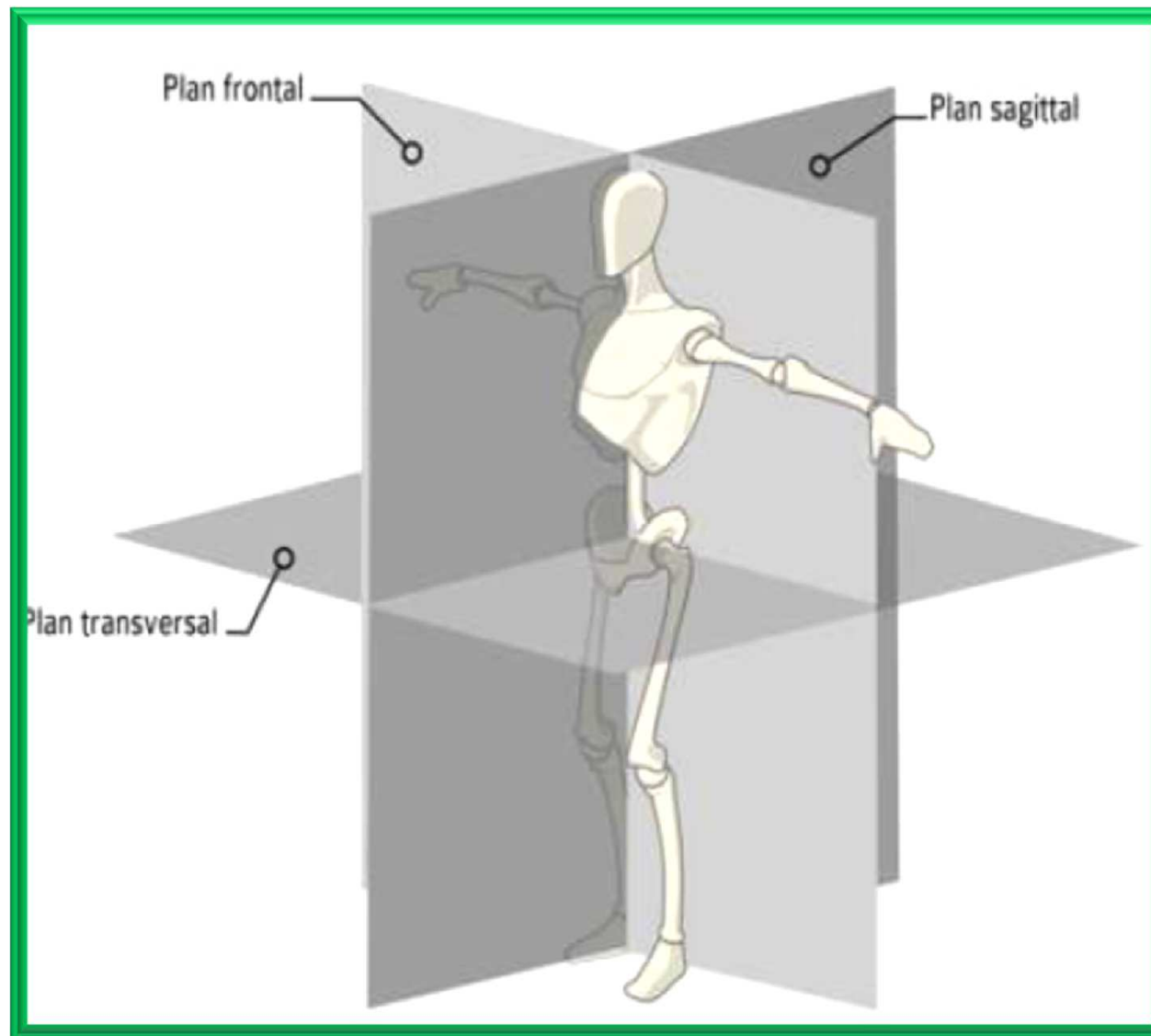
✓ Debout (ou orthostatisme) :

Corps humain, vivant, debout, les membres supérieurs pendant le long du corps, la paume des mains tournée vers l'avant, le regard horizontal et droit.

✓ Allongée (ou clinostatisme)



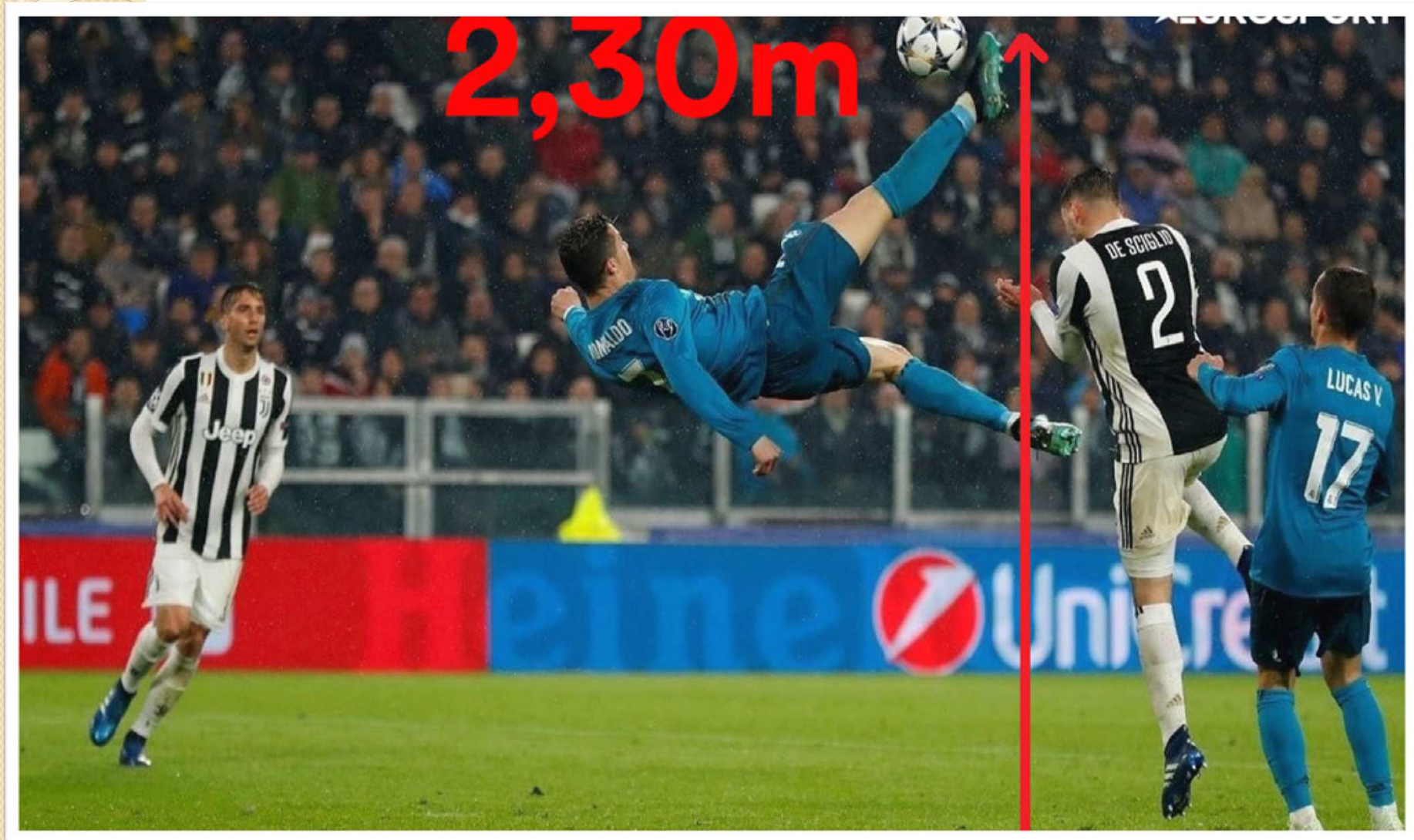
Les plans



2.1. Le plan sagittal

- C'est un plan vertical qui passe par la ligne médiane du corps et le divise en deux parties symétriques, **droite** et **gauche**.
- C'est dans ce plan que la marche, la course à pied et le saut en longueur par exemple sont le plus souvent étudiées.

Plan sagittal (axes vertical et sagittal): Permet d'observer les mouvements de profil.



2.2. Plan frontal

- C'est un plan vertical perpendiculaire au plan sagittal qui divise le corps en deux parties symétriques, **antérieure** (ventrale) et **postérieure** (dorsale).
- C'est dans ce plan que les mouvements de déhanchement au cours de la marche et de la course à pied, l'aire projetée des cyclistes ou la torsion des chevilles sont étudiés.

Plan frontal (axes vertical et transverse) : Permet d'identifier les mouvements de face.

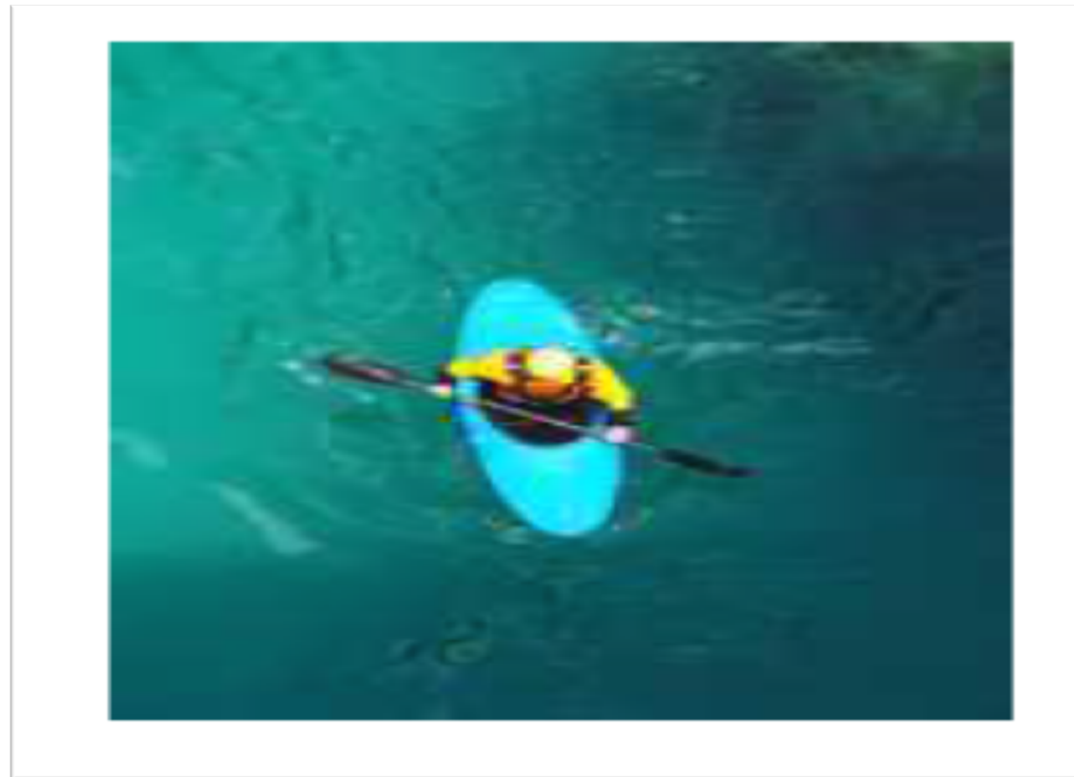


2.3. Plan transversal

- C'est un plan horizontal, parallèle au sol, qui divise le corps en deux parties symétriques, **supérieure** (du côté de la tête) et **inférieure** (du côté des pieds).
- C'est dans ce plan que les torsions des épaules par rapport aux hanches seront observées.

Plan transversal (axes sagittal et transverse) :

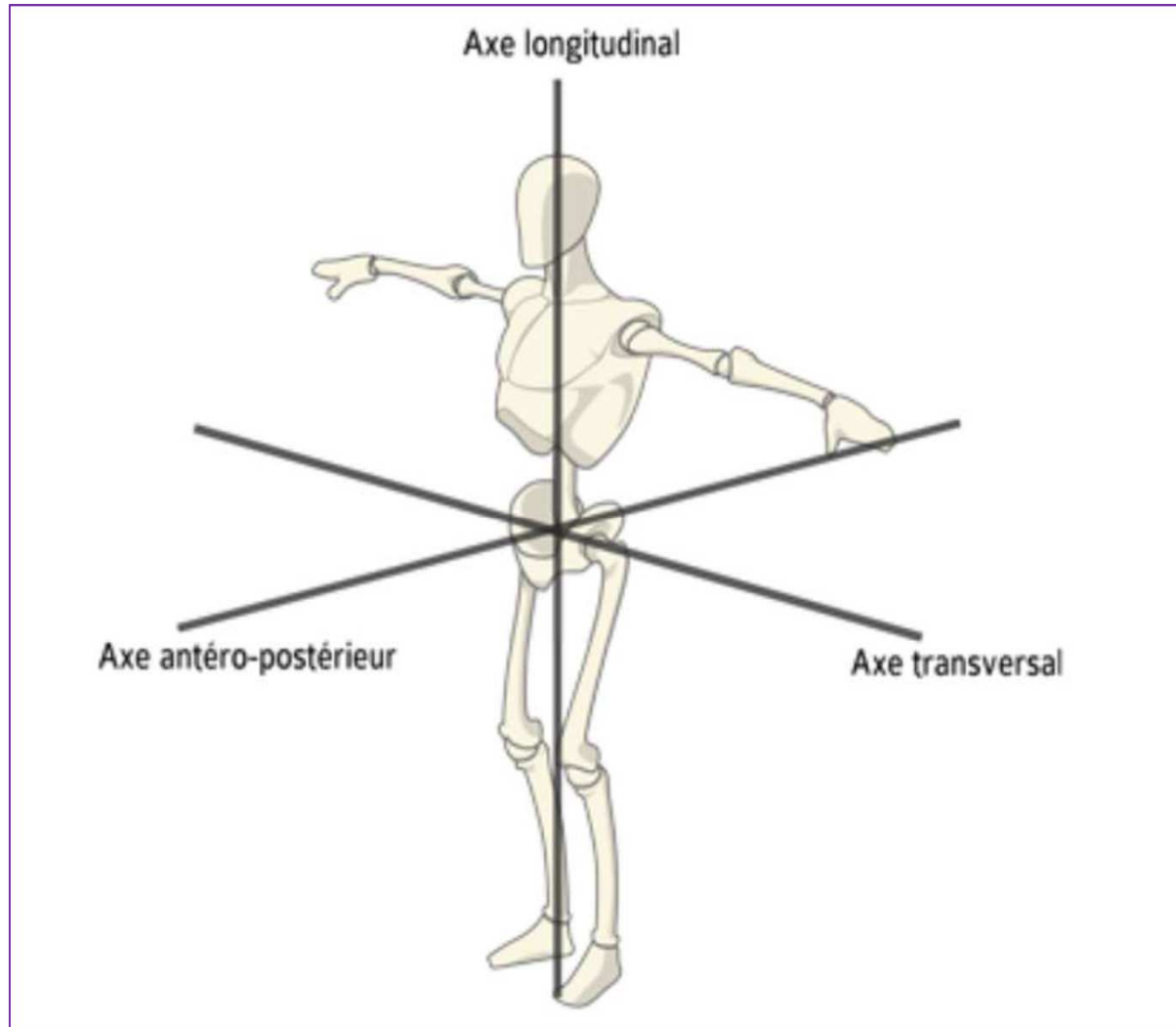
Permet d'identifier les mouvements visibles d'en haut ou d'en bas.



3. Les axes de rotation

- Un axe est **une ligne imaginaire** autour de laquelle s'effectue une rotation ou bien comme une ligne qui représente une direction que suit un objet.
- L'axe est l'intersection de deux plans. Exemple, l'axe longitudinal est à l'intersection du plan sagittal et du plan frontal.
- Les axes anatomiques sont: **antéro-postérieur**, **transversal** et **longitudinal**.

Les axes



3.1. L'axe antéro-postérieur

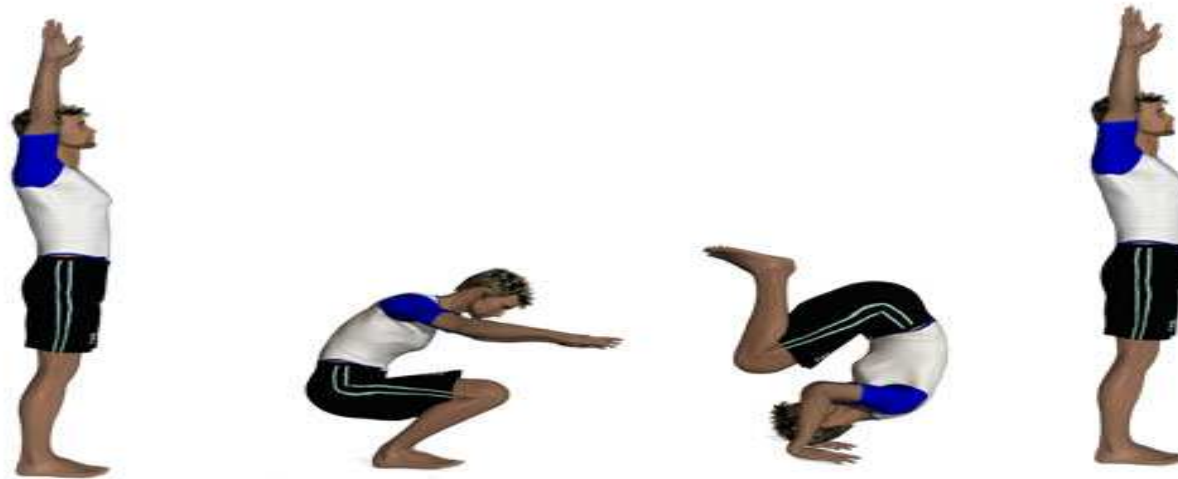
- Il passe horizontalement d'arrière en avant, et est formé par l'intersection des plans sagittaux et transversaux.
- Il est perpendiculaire au plan frontal.



Une gymnaste effectue une roue autour de cet axe.

3.2. L'axe transversal

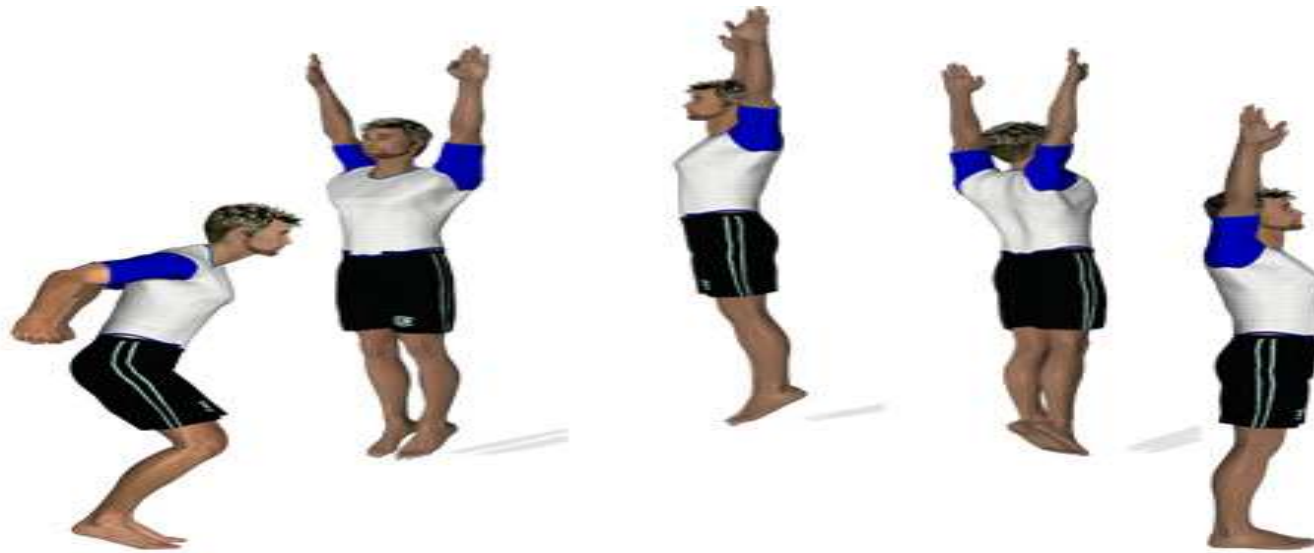
- Il passe horizontalement de gauche à droite, et est formé par l'intersection des plans frontaux et transversaux.
- Il est perpendiculaire au plan sagittal .



Lors d'une roulade ou d'un salto, le corps tourne autour de cet axe.

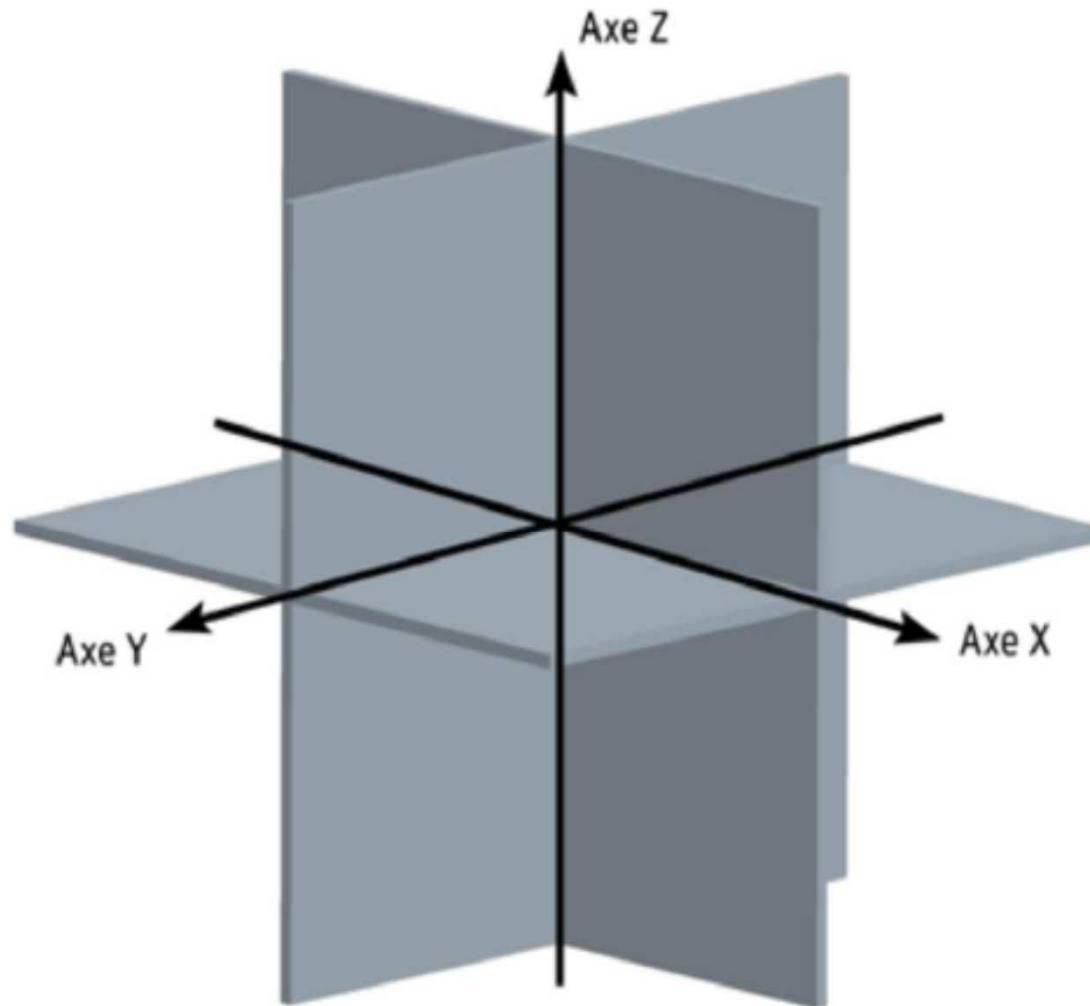
3.3. L'axe longitudinal

- Il passe verticalement de haut en bas et est formé par l'intersection des plans sagittaux et frontaux.
- Il est perpendiculaire au plan transversal .



Lors d'un saut, le corps tourne autour de cet axe.

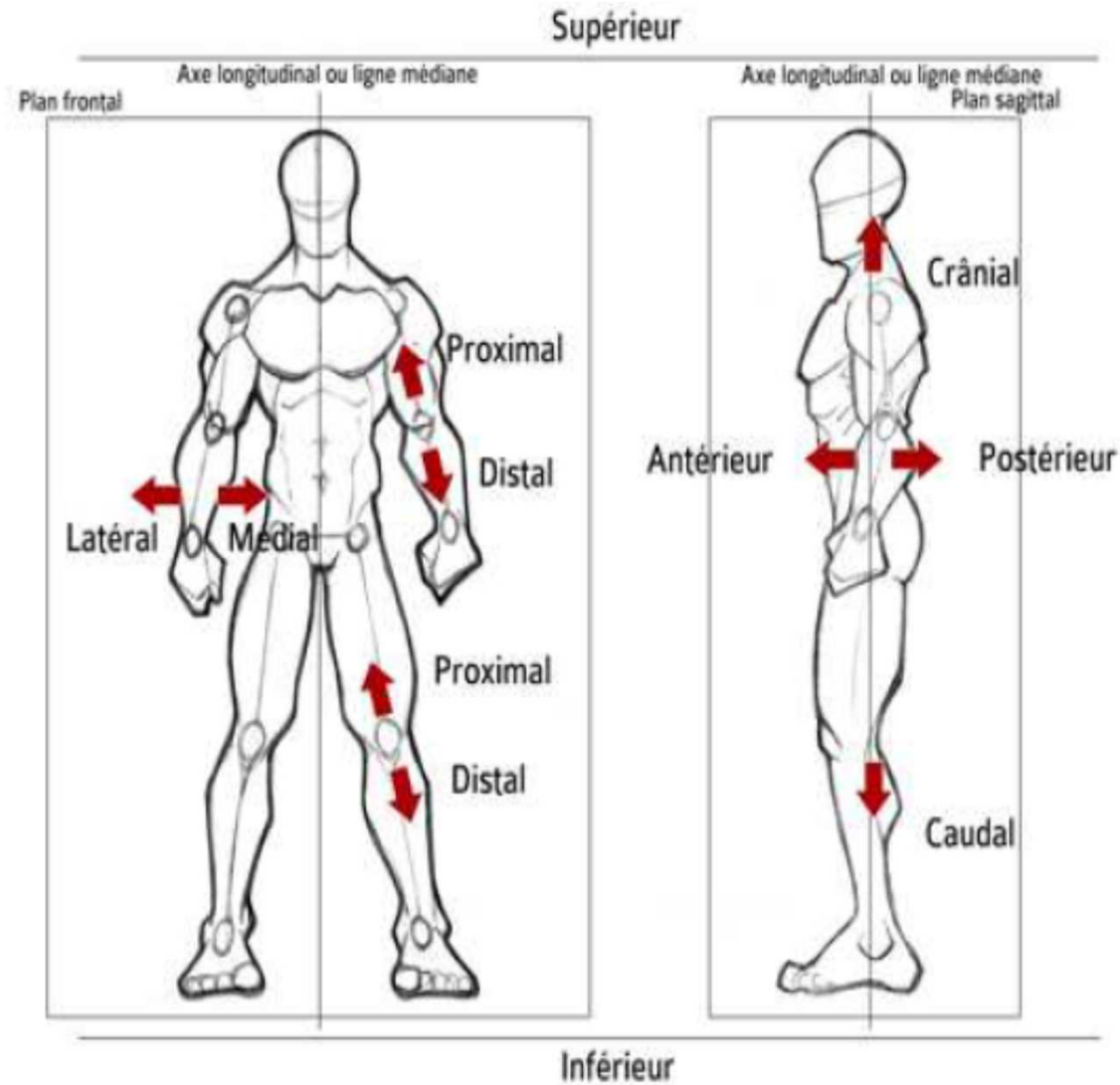
Plans et axes tridimensionnels



4. Orientation dans l'espace

- Les plans et les axes représentent la structure globale de l'analyse descriptive d'une position ou d'un mouvement.
- Il convient d'utiliser des termes qui permettent d'être encore plus précis pour décrire selon quel point de vue nous observons un corps, mobile ou non.

Orientation dans l'espace

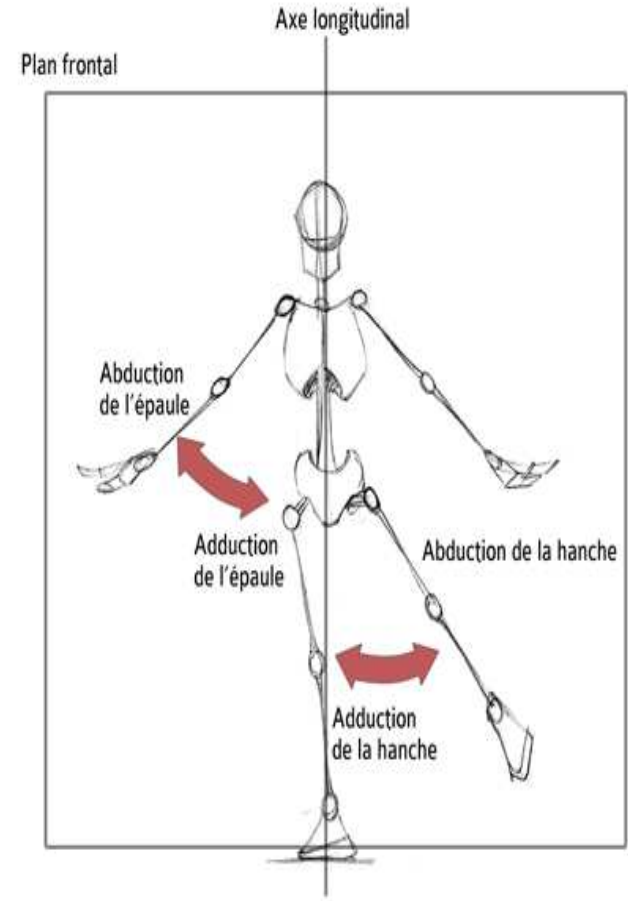
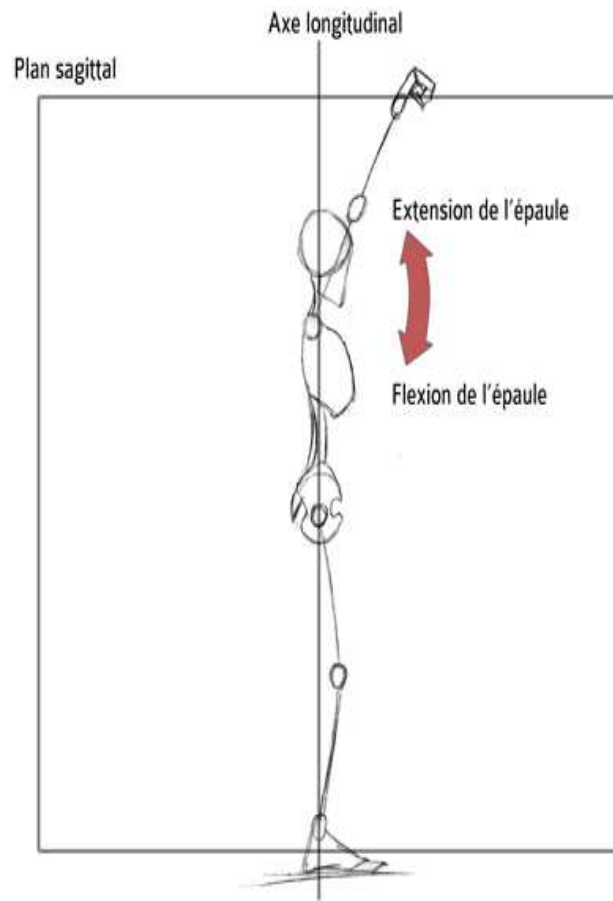


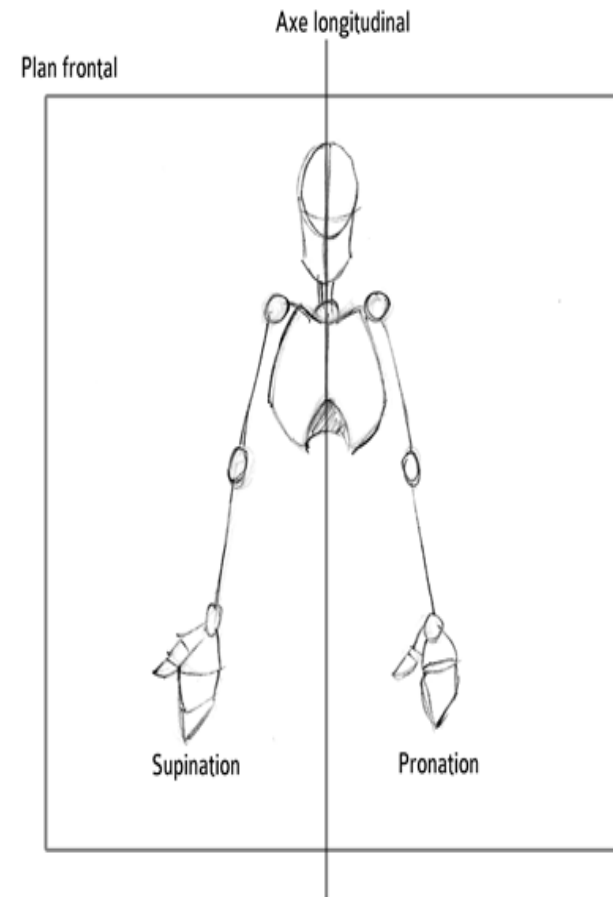
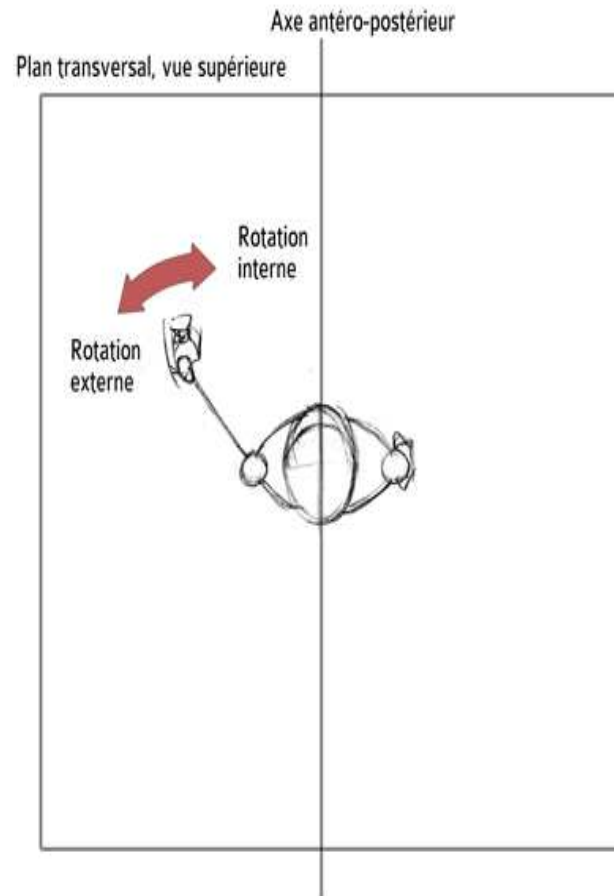
5. Mouvements articulaires

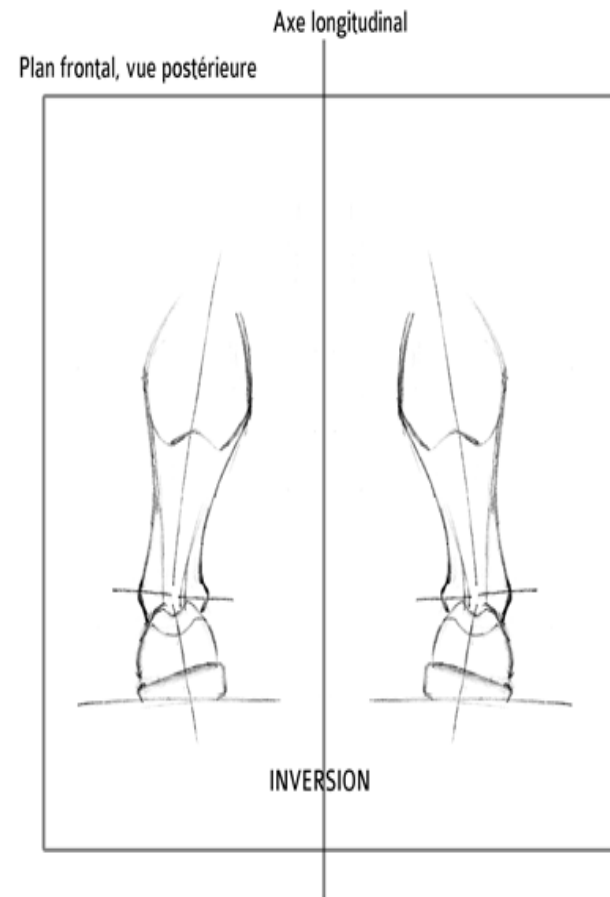
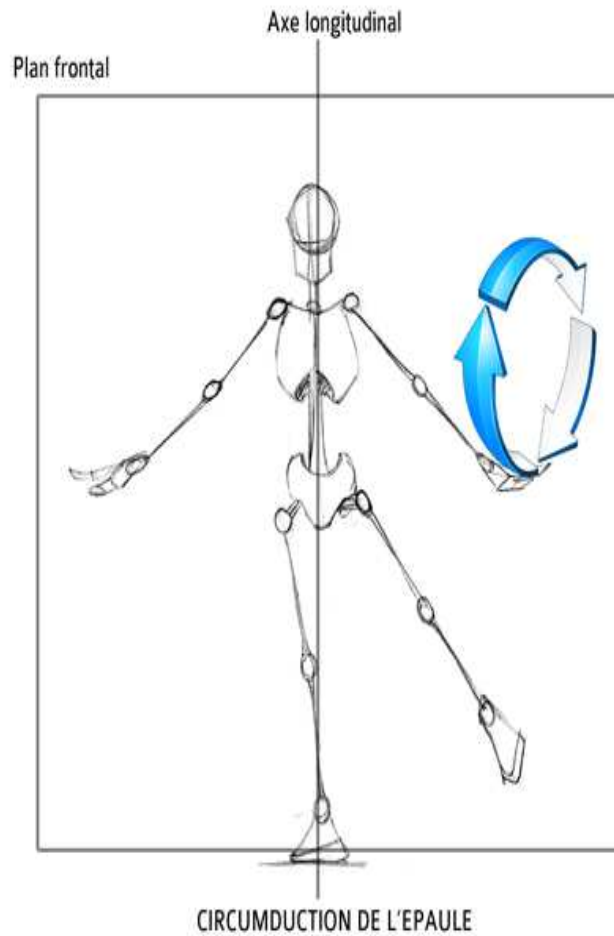
- Le corps possède une grande variété de mouvements articulaires. Ils dépendent de l'articulation et de sa forme anatomique .
- Une bonne connaissance des mouvements anatomiques est nécessaire pour réaliser une analyse descriptive correcte des mouvements humains.
- Chaque mouvement anatomique est effectué dans un plan spécifique autour d'un axe spécifique.

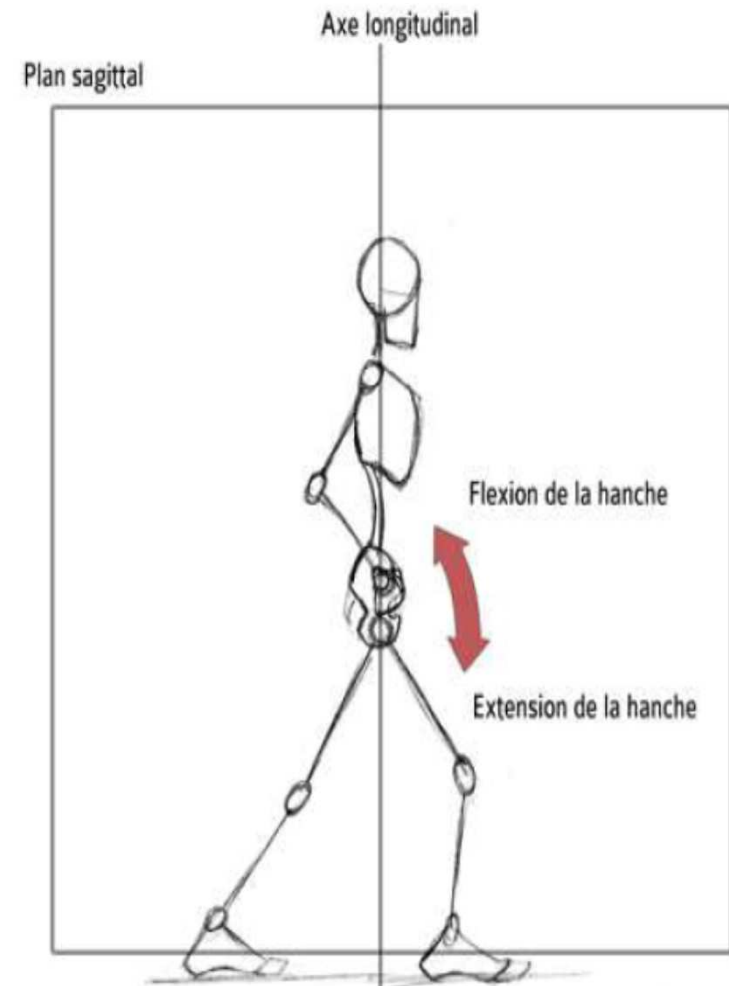
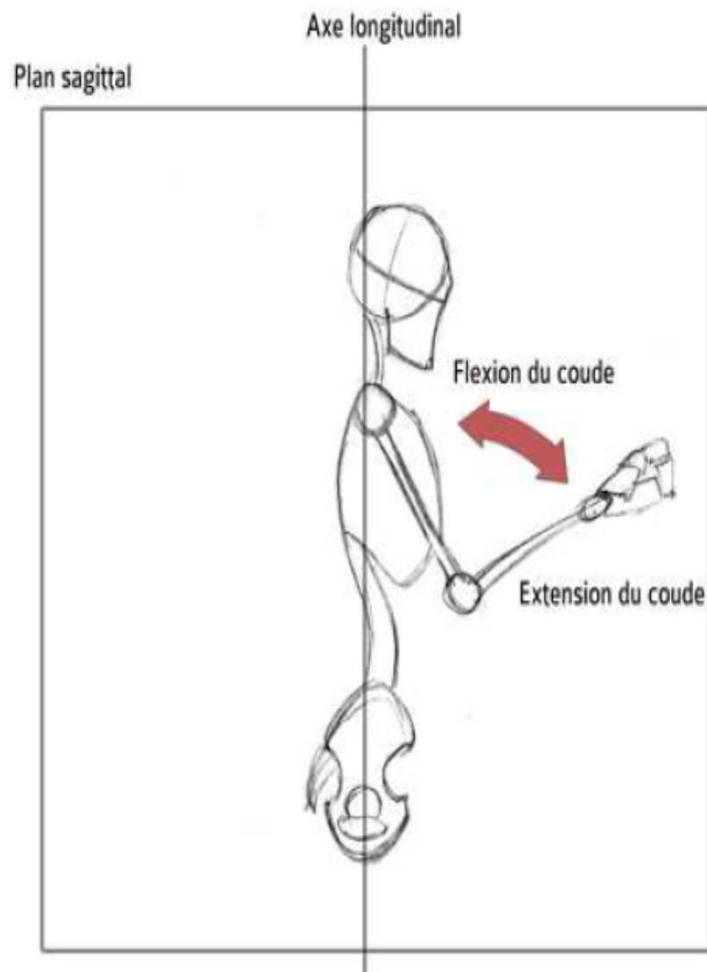
Définition des mouvements

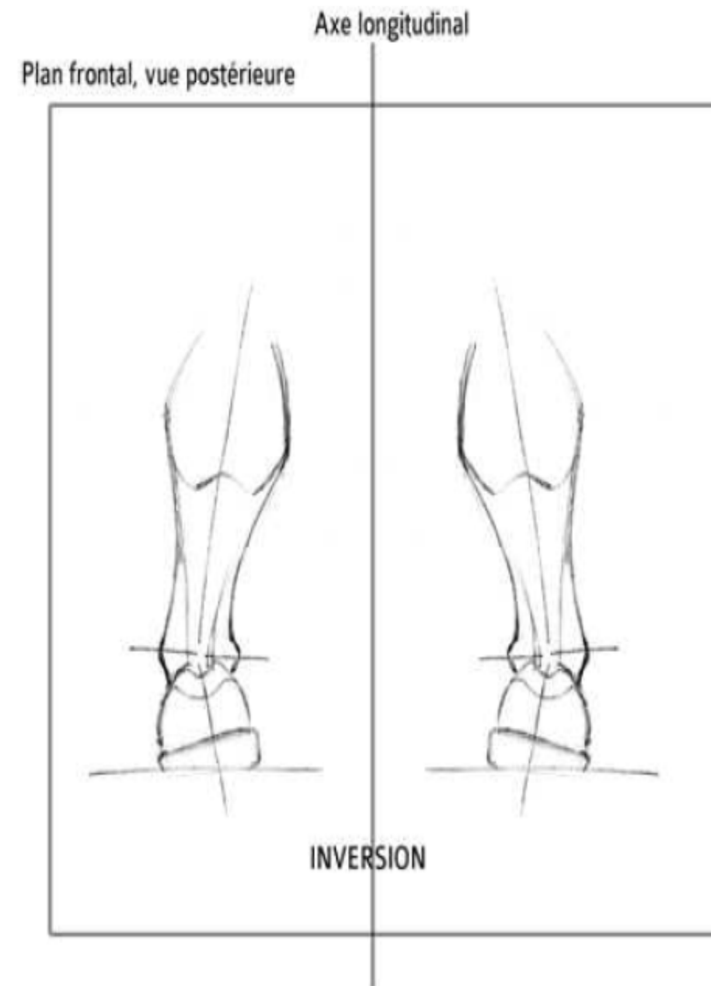
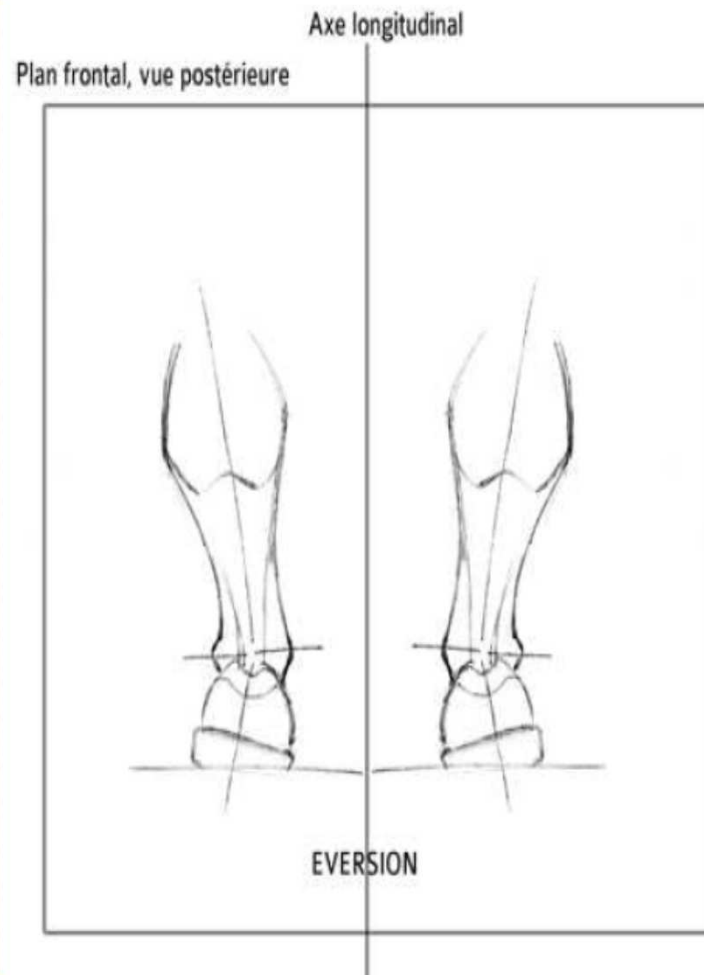
<u>Plans</u>	<u>Axes</u>	<u>Mouvements</u>	<u>Définitions</u>
Sagittal	Transverse	Flexion	Diminution de l'angle entre 2 segments adjacents
	transverse	Extension	Augmentation de l'angle entre 2 segments adjacents
Frontal	Sagittal	Abduction	Eloignement latéral d'un segment par rapport au corps
	Sagittal	Adduction	Rapprochement latéral d'un segment par rapport au corps
	Sagittal	Élévation	Déplacement vers le haut
	Sagittal	Dépression	Déplacement vers le bas
Horizontal	Vertical	Antépuision	Déplacement vers l'avant
	Vertical	Rétropulsion	Déplacement vers l'arrière
Mains	Longitudinal	Supination	Rotation de la main vers l'extérieur
	Longitudinal	Pronation	Rotation de la main vers l'intérieur
Pieds	Longitudinal	Inversion	Élévation du bord interne du pied
	longitudinal	Eversion	Élévation du bord externe du pied
	Multi-axial	Circonduction	Décrire un cercle avec l'extrémité d'un segment; mouvement qui comprend de la flexion, de l'extension, abduction, adduction.









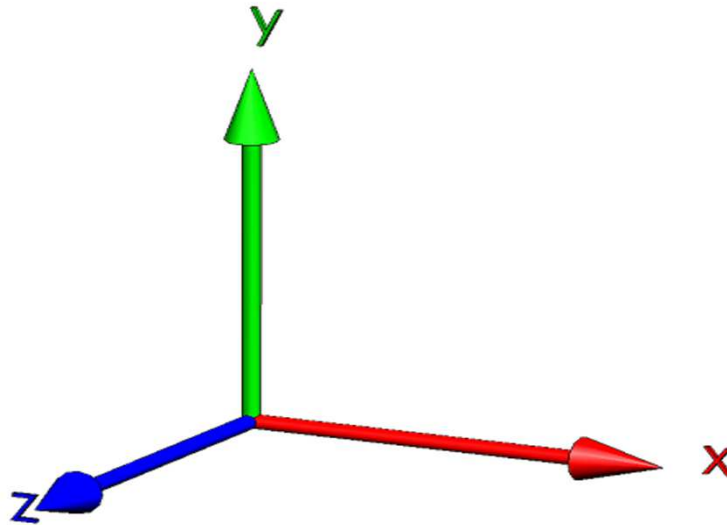


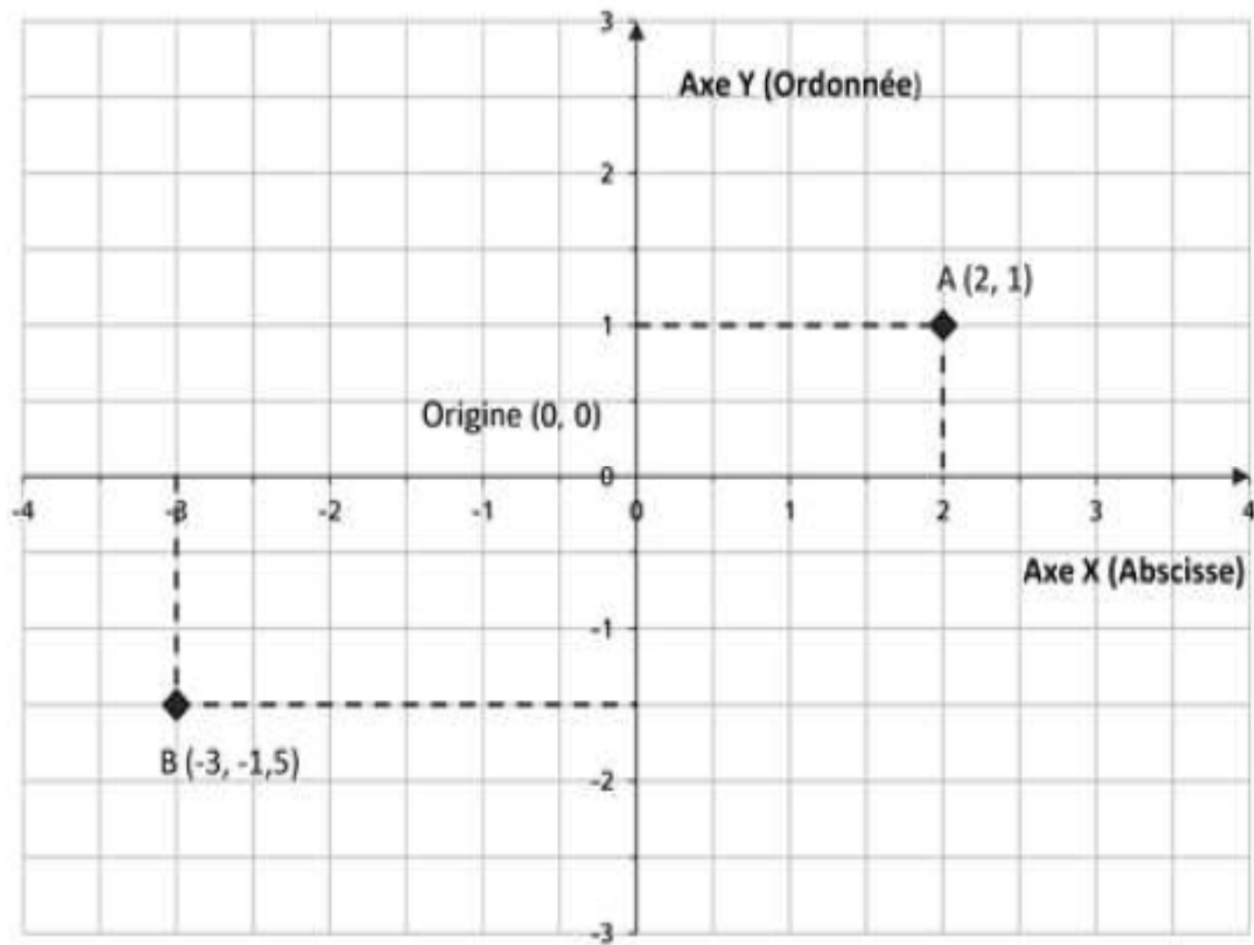
6. Coordonnées

- La description du mouvement d'un corps peut se faire dans un espace bidimensionnel (2D), par exemple, lorsque vous observez une personne marcher dans le plan sagittal.
- Cette étude peut également se faire dans un espace tridimensionnel (3D). Dans ce cas, votre champ de vision permet de visualiser plusieurs plans dans l'espace.

□ Coordonnées 2D et 3D:

- ✓ un espace bidimensionnel: un axe vertical (l'abscisse) et un axe horizontal (l'ordonnée).
- ✓ Un troisième axe z , passe par l'origine et perpendiculaire aux axes X et Y , est nécessaire pour décrire le mouvement dans un espace tridimensionnel.

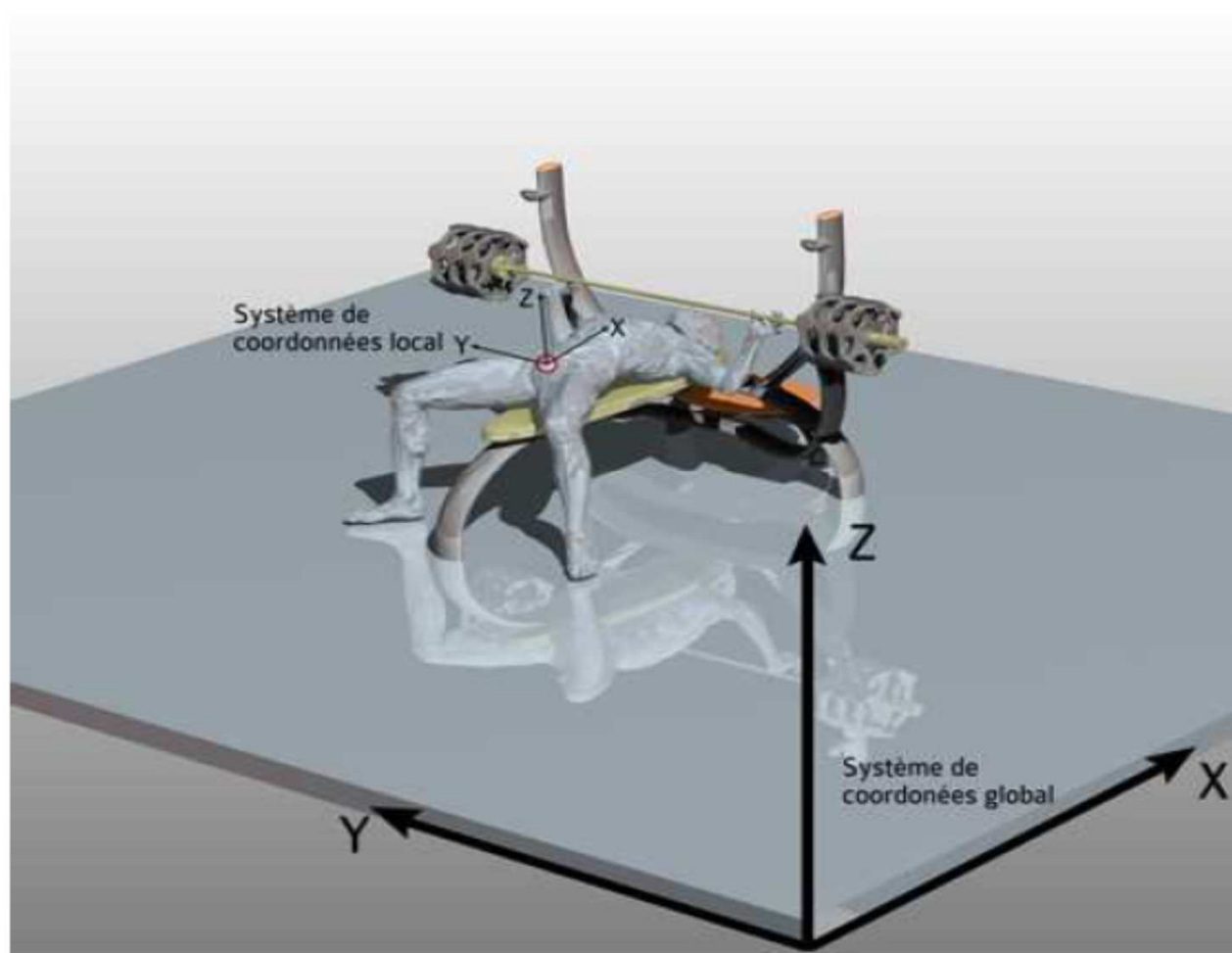




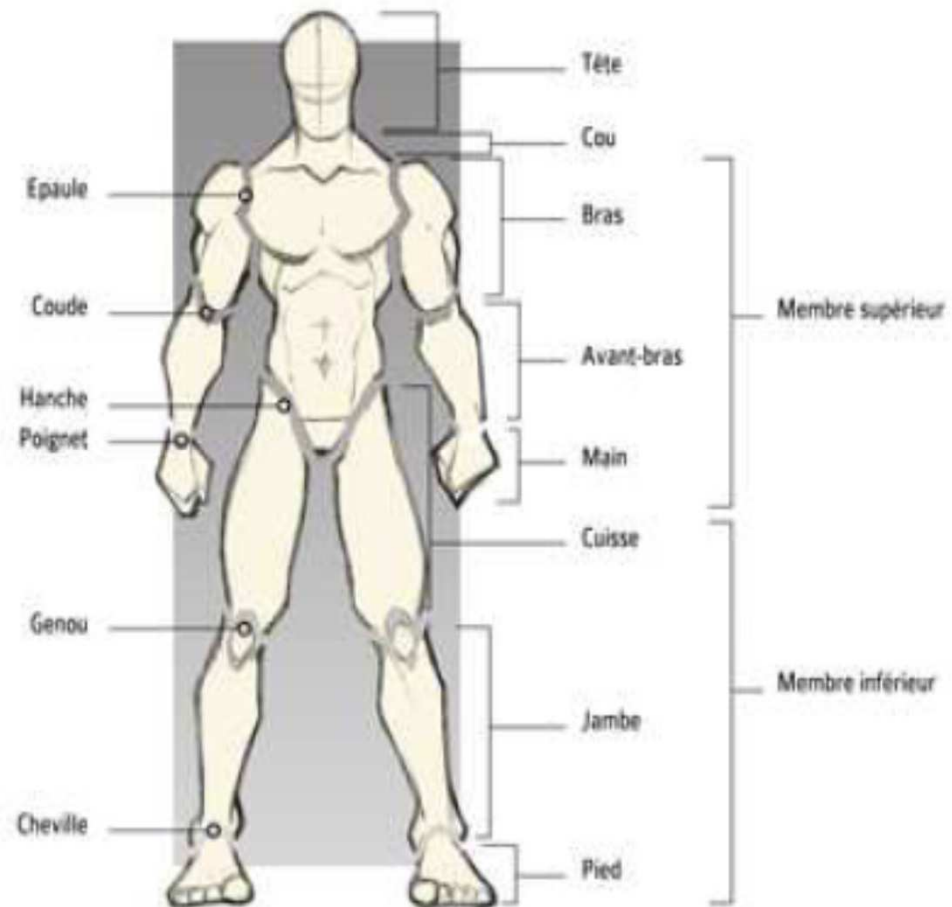
❑ Systemes de coordonnees:

- **Systeme de coordonnees global** est utilise pour determiner la position d'un individu par rapport a la piece ou il evolue, par exemple.
- **Systeme de coordonnees local** permet de decrire une position par rapport au corps ou a un segment.
- Son origine est generalement placee au niveau du centre de gravite du corps ou sur le centre de masse du segment.

Représentation des systèmes



7. Segments corporels et articulations



7.2. Segments corporels

- **Tête et cou** : Sommet du crâne - Vertèbres C7-T1
- **Tronc** (Thorax, Abdomen et Bassin) : Acromion - Grand trochanter

- ❑ **Membres supérieurs** (reliés entre eux par la ceinture scapulaire) :
 - **Bras** : Acromion - Olécrane
 - **Avant-bras** : Olécrane - Processus styloïde de l'Ulna
 - **Main** : Processus styloïde de l'Ulna - Bout des doigts

- ❑ **Membres inférieurs** (reliés entre eux par la ceinture pelvienne) :
 - **Cuisse** : Grand trochanter - Condyle fémoral externe
 - **Jambe** : Condyle fémoral externe - Malléole externe
 - **Pied** : Malléole externe - Bout du pied

8. Formes du mouvement

8.1. Translation (ou mouvement linéaire) :

Déplacement du corps de façon à ce que toutes ses parties effectuent exactement la **même distance**, dans la **même direction** et dans le **même temps**.

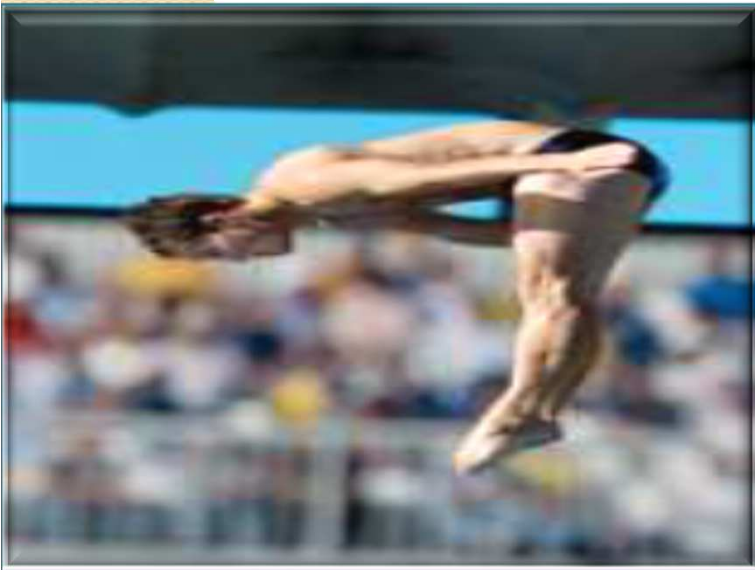


Les mouvements linéaires en ligne droite et en ligne courbe sont mentionnés comme étant des **translations rectilignes** et des **translations curvilignes**.



8.2. Mouvement angulaire :

Un corps suit un trajet circulaire sur une ligne quelconque dans l'espace, de sorte que toutes les parties de ce corps se meuvent selon le **même angle**, dans la **même direction** et dans le **même temps**.



AAAY_MCA_2019



8.3. Mouvement général : C'est la combinaison des deux. La translation qu'opère la partie supérieure du corps du coureur cycliste est le résultat direct des mouvements de rotation de ses jambes.



Les Leviers du corps humain

Dr. Ait Ali Yahia-Amar

Maître de conférences A

Conférence 1.3

INFSSTS Abdellah Fadhel



Objectifs

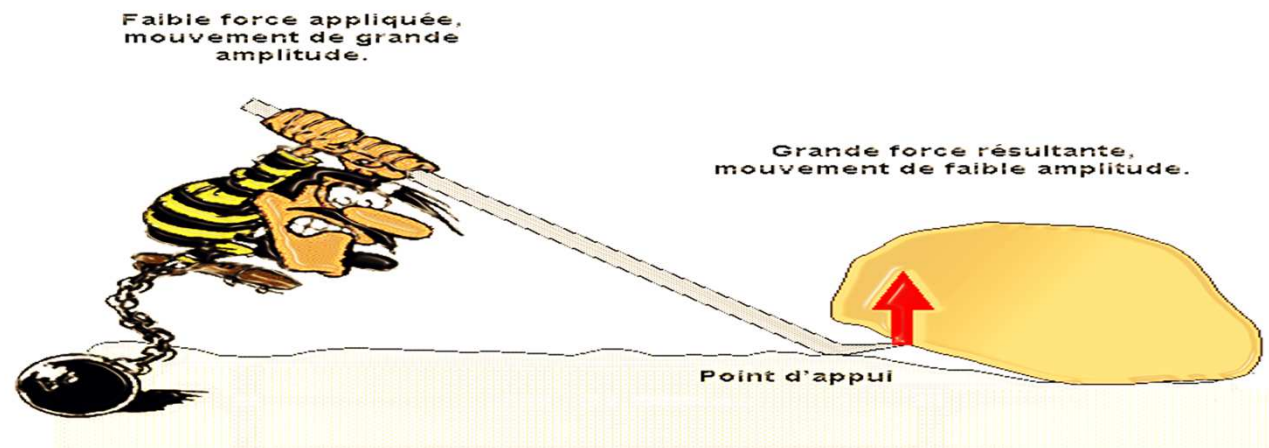
À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Différencier entre le poids et la masse,
- Déterminer le travail des leviers,
- Résumer les fonctions du levier,
- Décrire les différents types de leviers,
- Définir le moment,
- Identifier le moment cinétique,
- Identifier le moment d'inertie.

1. Introduction

Les leviers sont des systèmes mécaniques permettant de multiplier une force dans le but de contrer une résistance.

Ils sont utilisés pour effectuer rapidement des mouvements de grande amplitude. Ils font intervenir un système de force.



2. Poids et masse

Il est nécessaire de distinguer la différence entre le poids et la masse d'un objet.

La masse est une propriété physique fondamentale. Elle est constante dans l'univers et indépendante de l'effet de la gravité. L'unité de masse est le **(kg)**.

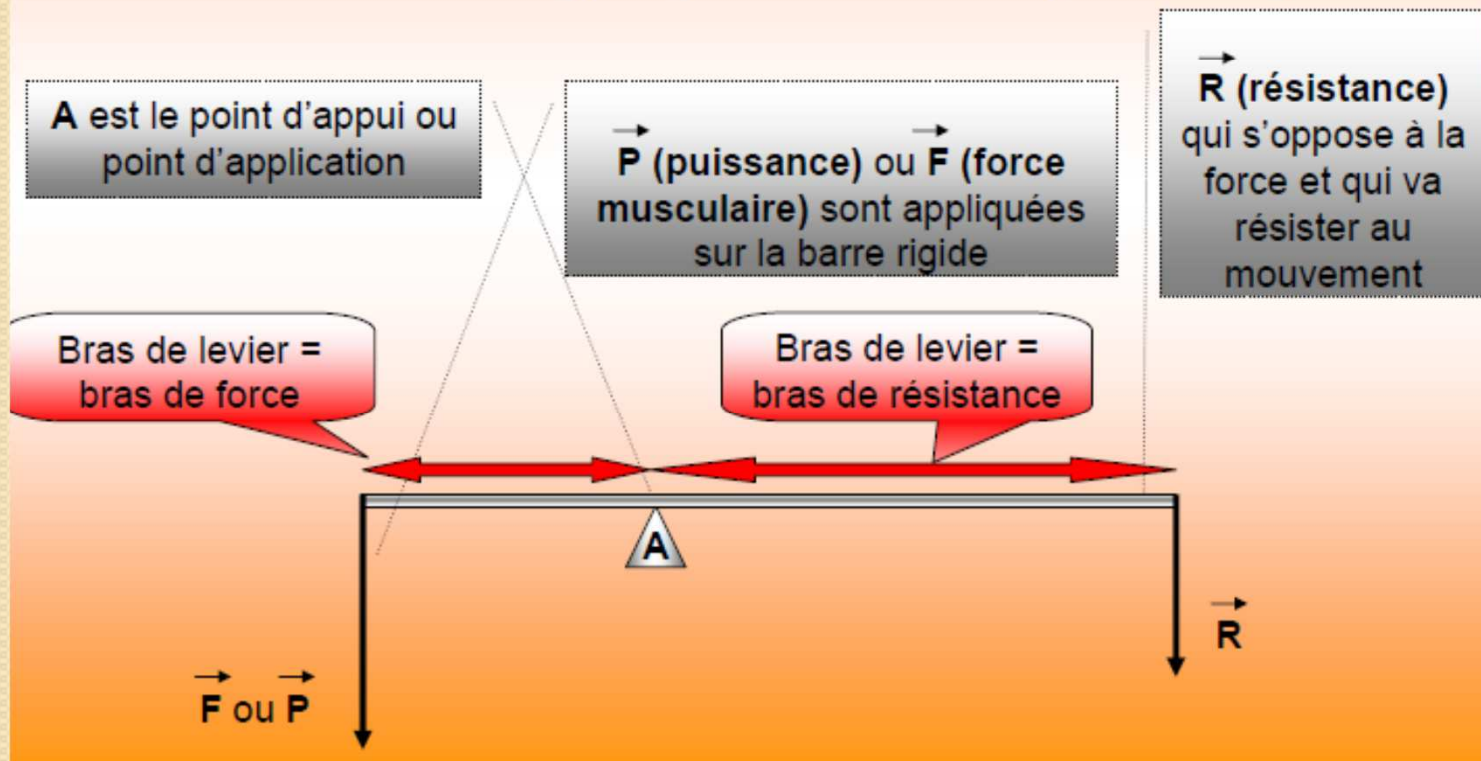
Le poids mesure la force d'attraction qu'exerce un astre sur un objet. Il est le produit de la masse par la force d'attraction terrestre (**$P=mg$**). L'unité de poids est le newton **(N)**.

3. Le travail des leviers

- ✓ Un levier est une « **barre rigide pouvant basculer autour d'un point fixe (point d'appui ou pivot), pour remuer ou soulever des fardeaux** ».
- ✓ Un levier est un système rigide (**l'os**) sur lequel agit une force (**musculaire**) pour vaincre une résistance (la gravité qui s'applique à la charge, à l'organisme, voire aux deux) en prenant appui sur un point fixe (**l'articulation**).
- ✓ Les rames, les perches de sauts, les battes de base-ball, les bâtons de ski... sont des exemples de leviers utilisés dans les sports.

Levier: définition

- C'est une barre rigide, mobile autour d'un axe et soumise à 2 forces qui tendent à la faire tourner en sens opposés.
- Bras de levier = distance de l'appui au point de la résistance ou au point de la force/puissance



4. Les fonctions du levier

L'étude d'un mouvement devra :

- a. déterminer **la direction du déplacement**, ce qui va déterminer le type de mouvement.
- b. Situer **le point d'appui fixe (A)**, c'est-à-dire l'articulation.
- c. Situer **le point d'application de la résistance (R)**, c'est-à-dire le centre de gravité de l'ensemble.
- d. Situer **le point d'application et la direction de la force musculaire (F)**, c'est-à-dire le point d'insertion du muscle.

5. Les types de leviers

- ✓ Le premier est un levier **inter-appui** car le point d'appui se situe entre **la force** et **la résistance**.
- ✓ Le second est un levier **inter-résistant** car la résistance se situe entre **la force motrice** et **le point d'appui**. Il favorise la force. Très rare dans le corps humain.
- ✓ Le troisième est un levier **inter-moteur** (inter-puissant) car la force appliquée se situe entre **le point d'appui** et **la résistance**. Il favorise la vitesse. Très fréquent dans le corps humain.

5.1. Levier inter-appui

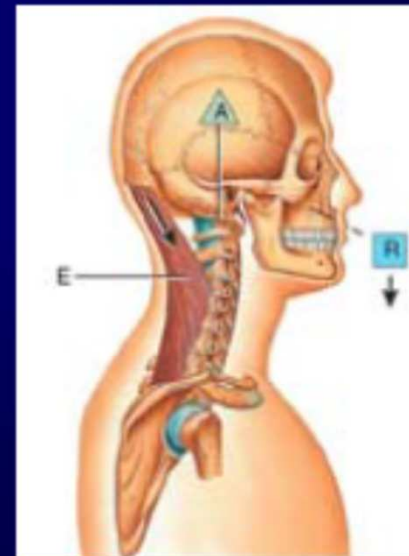
Levier inter-appui

Le point d'appui se trouve entre le point d'application de l'effort musculaire F et le point d'application de la résistance R ou du poids P .



Favorise l'équilibre

Rare dans le corps humain





Application

- Levier du 1^{er} genre:



$$d_{AF} = 4 \text{ cm}$$

$$d_{AR} = 3 \text{ cm}$$

$$\vec{R} = 4 \text{ kg (soit 40 N)}$$

Quelle est la valeur de la force F ?

Correction 1



- Levier du 1^{er} genre:



$$d_{AF} = 4 \text{ cm}$$

$$d_{AR} = 3 \text{ cm}$$

$$\vec{R} = 4 \text{ kg (soit } 40 \text{ N)}$$

$$(-\vec{M}_F) + (\vec{M}_R) = 0 \text{ donc } \vec{M}_F = \vec{M}_R$$

Ce qui devient:

$$d_{AF} \times \vec{F} = d_{AR} \times \vec{R}$$

$$4 \times \vec{F} = 3 \times 40$$

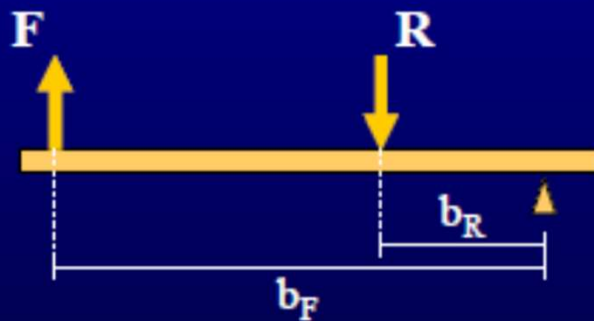
soit:

$$\vec{F} = 120/4 = 30 \text{ N}$$

5.2. Levier inter-résistant

Levier inter-résistant

Le point d'application de la résistance R ou du poids P se trouve entre le point d'appui et le point d'application de l'effort musculaire F .



Favorise la force
Très rare dans le corps humain

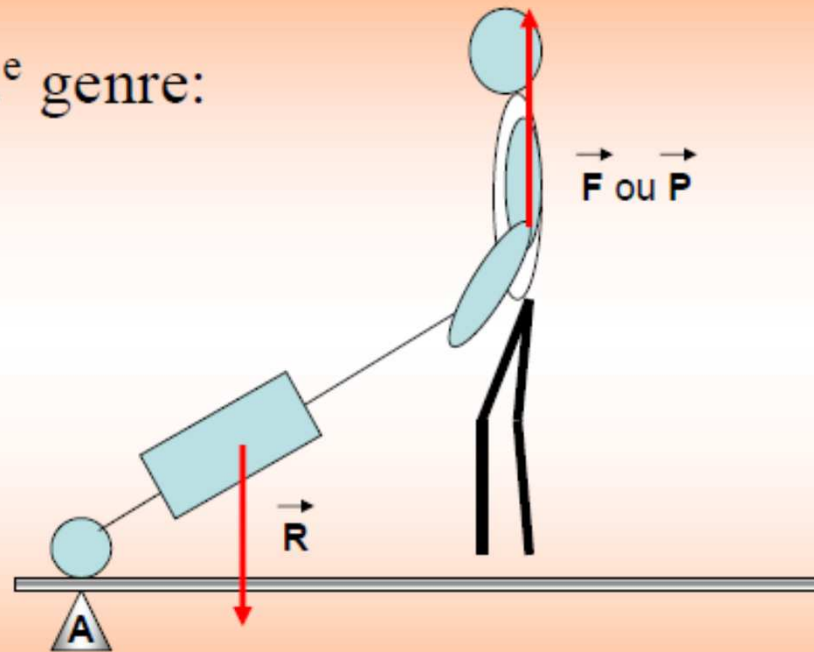




2006-2007

Application

- Levier du 2^e genre:



$$d_{AF} = 95 \text{ cm}$$

$$d_{AR} = 20 \text{ cm}$$

$$\vec{R} = 75 \text{ kg (soit 750 N)}$$

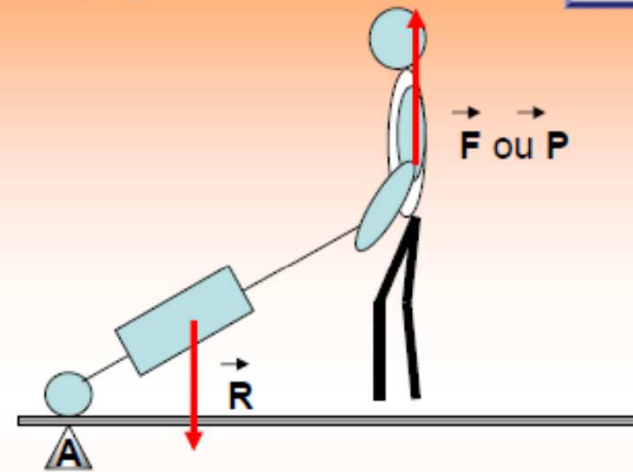
Quelle est la valeur de la force F ?

2006-2007

Correction 2



- Levier du 2^e genre:



$$d_{AF} = 95 \text{ cm}$$

$$d_{AR} = 20 \text{ cm}$$

$$\vec{R} = 75 \text{ kg (soit 750 N)}$$

$$(\vec{M}_F) + (-\vec{M}_R) = 0 \text{ donc } \vec{M}_F = \vec{M}_R$$

Ce qui devient:

$$d_{AF} \times \vec{F} = d_{AR} \times \vec{R}$$

$$95 \times \vec{F} = 20 \times 750$$

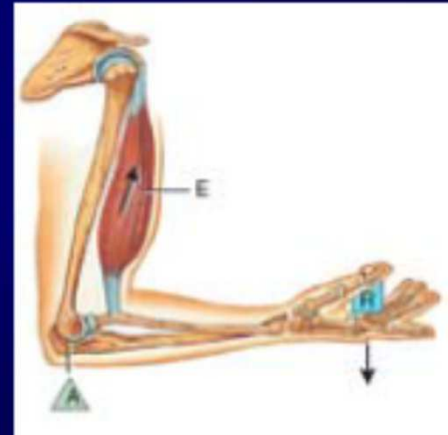
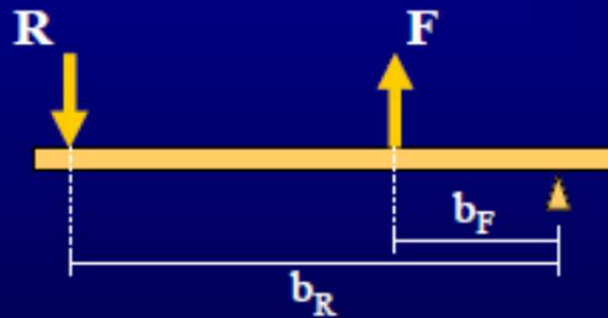
soit:

$$\vec{F} = 15000/95 = 158 \text{ N}$$

5.3. Levier inter-moteur

Levier inter-moteur

Le point d'application de de l'effort musculaire F se trouve entre le point d'appui et le point d'application de la résistance R ou du poids P .



Favorise la vitesse

Désavantage mécanique important

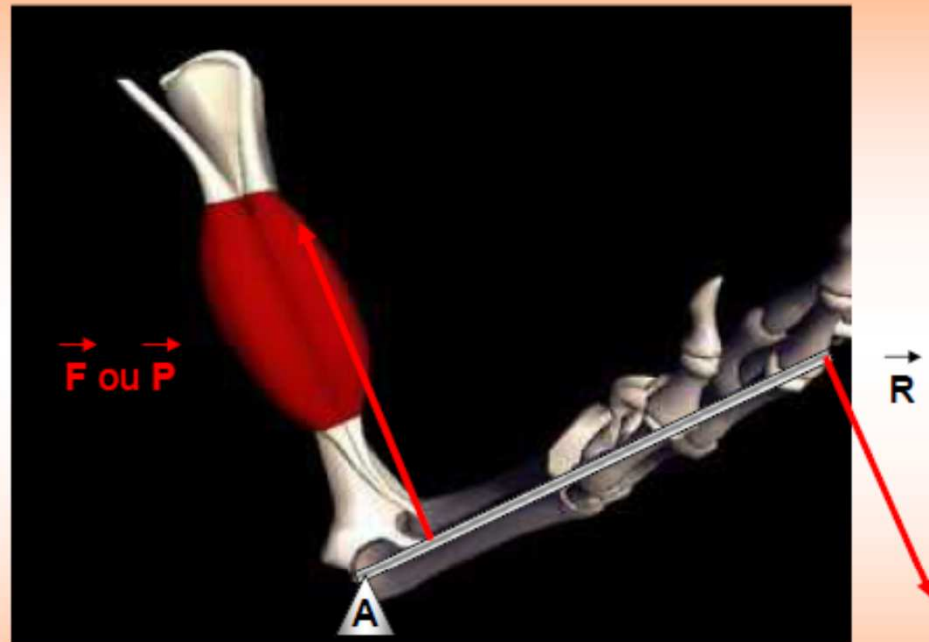
Très fréquent dans le corps humain



2006-2007

Application

- Levier du 3^e genre:



$$d_{AF} = 3 \text{ cm}$$

$$d_{AR} = 36 \text{ cm}$$

$$\vec{R} = 5 \text{ kg (soit 50 N)}$$

Quelle est la valeur de la force F ?

2006-2007

Correction 3



- Levier du 3^e genre:



$$d_{AF} = 3 \text{ cm}$$
$$d_{AR} = 36 \text{ cm}$$

$$\vec{R} = 5 \text{ kg (soit 50 N)}$$

$$(-M_{\vec{F}}) + (M_{\vec{R}}) = 0 \text{ donc } M_{\vec{F}} = M_{\vec{R}}$$

Ce qui devient:

$$d_{AF} \times \vec{F} = d_{AR} \times \vec{R}$$

$$3 \times \vec{F} = 36 \times 50$$

soit:

$$\vec{F} = 1800/3 = 600 \text{ N}$$

Avantage mécanique

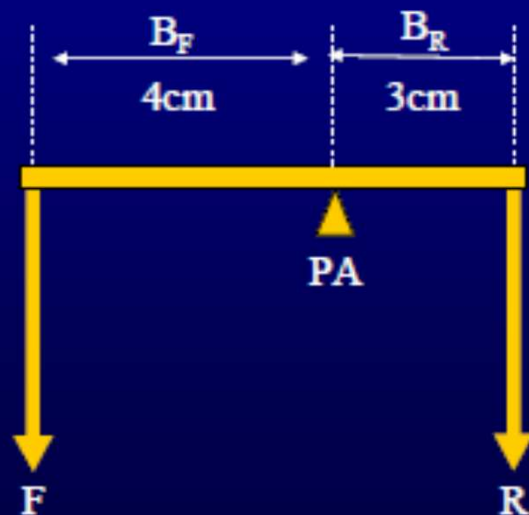
L'avantage mécanique correspond à un coefficient.

- Si le bras de force est **plus grand** que le bras de résistance, la fonction du levier est d'accroître **la force**. Donc $AM > 1$.
- Si le bras de force est **plus court** que le bras de résistance, le levier sert à accroître **la vitesse**. Donc $AM < 1$.
- Si les deux bras sont de **longueur égale**, il n'y a aucun avantage à utiliser le levier ; il ne sert à accroître ni la force ni la vitesse.

Les types de levier :

Avantage mécanique : Efficacité

$$AM = \frac{\text{bras de levier de la force } (b_F)}{\text{bras de levier de la résistance } (b_R)}$$



$$AM = 4/3 = 1,33$$

Il faudra exercer une force musculaire **plus faible** que celle due à la résistance pour maintenir le tout en équilibre

Les types de levier :

Levier inter-moteur Quels avantages ?

L'avantage d'un levier inter-moteur inefficace sur le plan de la force musculaire se retrouve dans un **accroissement de la vitesse**

Avantage cinématique

$$AC = \frac{\text{bras de levier de la résistance } (b_R)}{\text{bras de levier de la force } (b_F)}$$

Avantage cinématique

L'avantage cinématique (AC) correspond à un coefficient. Il exprime l'amplitude d'un déplacement ou la rapidité d'un mouvement.

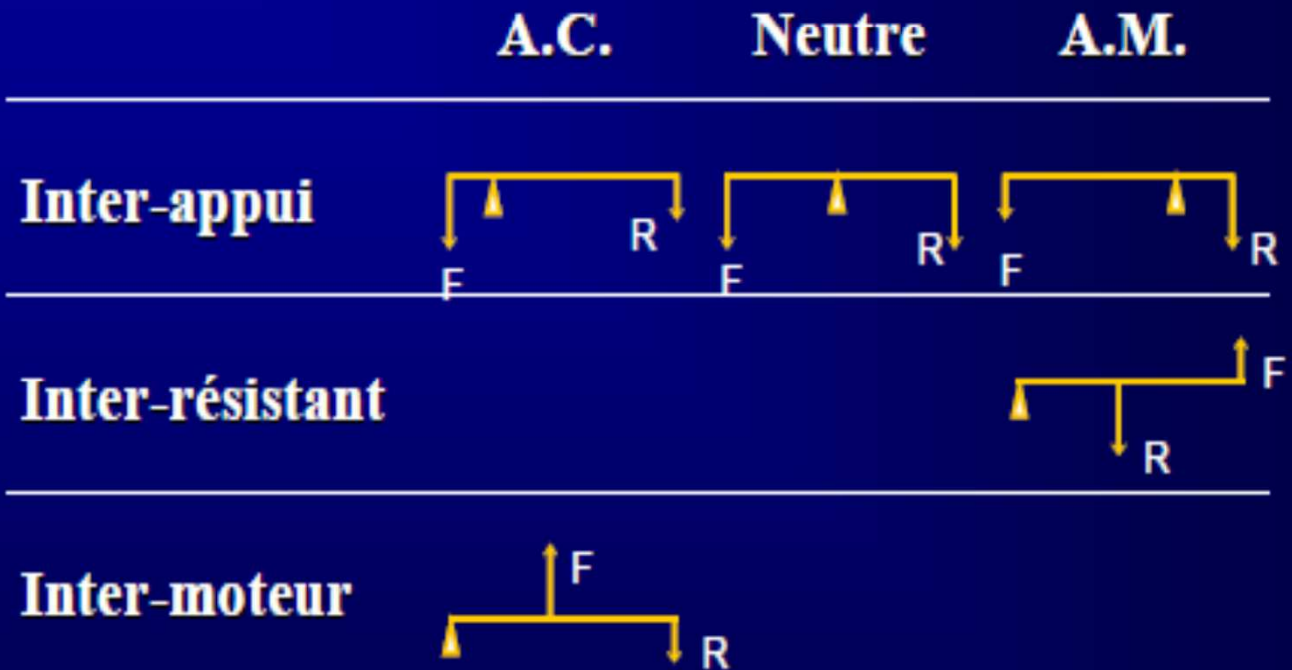
$$\text{AC} = \text{bras de Résistance} / \text{bras de Force} = 1/AM$$

Si $AC > 1$, le levier est inefficace mais rapide.

Si $AC = 1$, le levier est neutre, ni efficace, ni rapide.

Si $AC < 1$, le levier est lent mais efficace.

Avantages – Inconvénients :



6. Moment de force

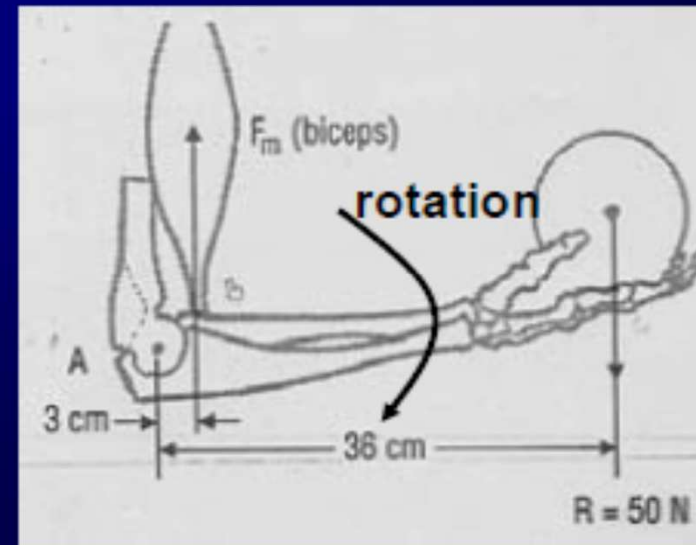
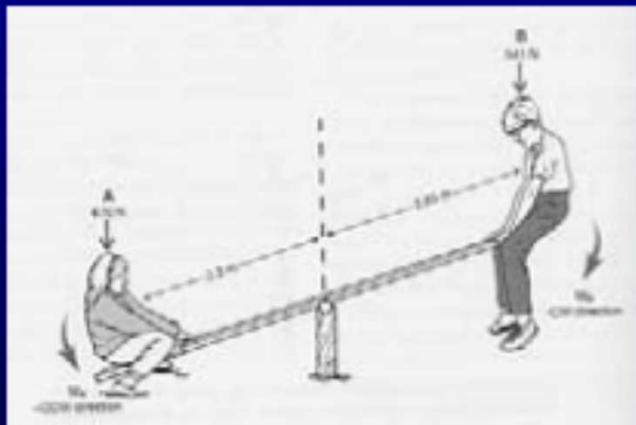
Si l'une des deux forces est absente, il y a un déséquilibre. La force qui demeure entraîne une rotation dans le sens horaire ou anti-horaire. **Le moment d'une force désigne la capacité qu'a une force à mettre un objet en rotation. Unité (N.m).**

Le sens de la rotation est donné par la position de la force et la direction. La grandeur de cette rotation ou **moment** est donnée par le produit du bras de levier par la force **$M = d.F$**

Il est **négatif** dans le sens horaire et **positif** dans le sens anti-horaire.

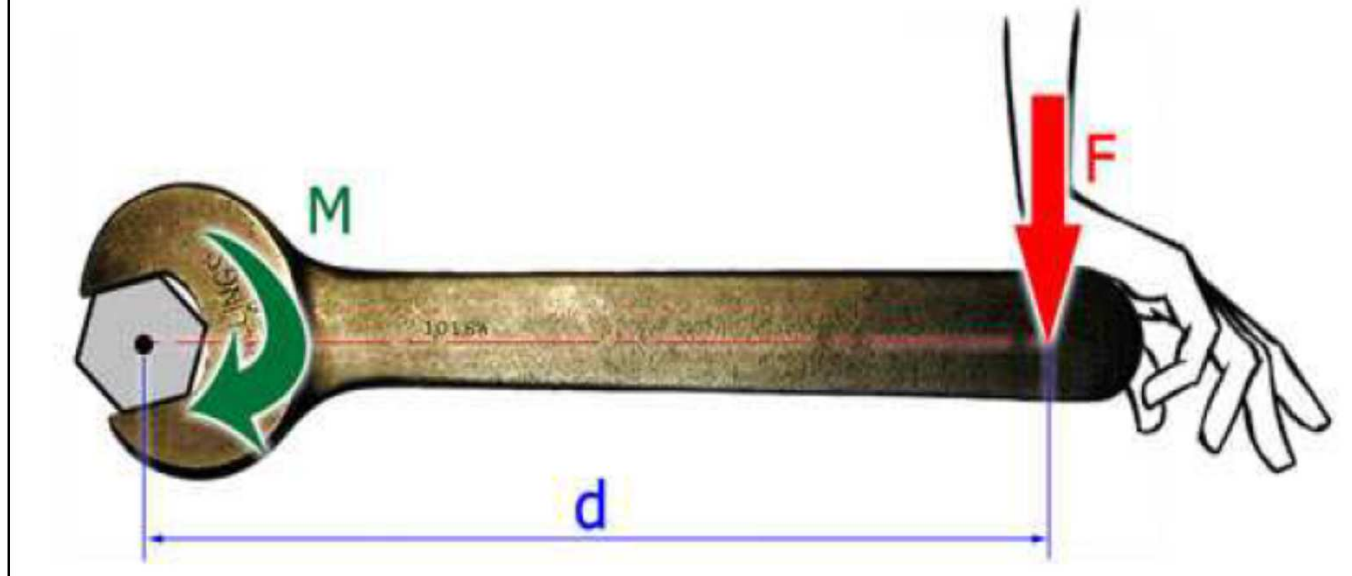
Le **moment d'une force** en un point est la tendance que possède cette force à faire tourner un corps rigide autour de ce point.

Dés lors qu'il peut y avoir **rotation** autour d'un point, il existe un **moment** (ou un **couple**) en ce point



$$M = F \times d$$

$$(\text{Nm}) = (\text{N}) \times (\text{m})$$



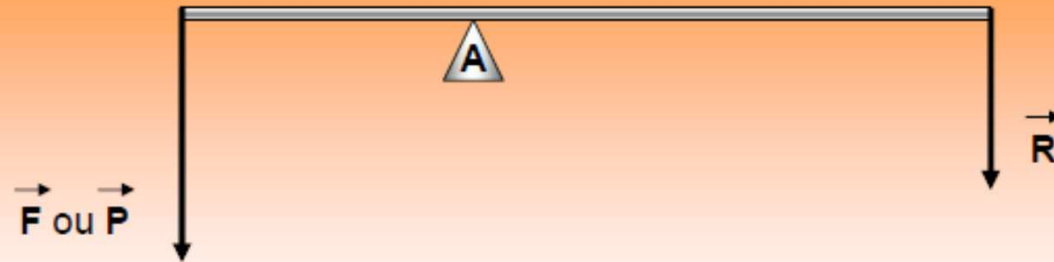
Le moment d'une force par rapport à un axe est la grandeur qui détermine la possibilité qu'a cette force d'entraîner une rotation autour de cet axe.

Quand un couple est exercé sur un corps, il tend à produire un mouvement angulaire. Il dépend de 2 facteurs :

Le premier est la grandeur des forces considérées. Plus grandes sont les forces, plus grande est leur tendance à produire un mouvement angulaire.

Le second est la distance entre les lignes d'actions des deux forces constituant le couple. Plus grande est la distance, plus grande est la tendance à produire un mouvement angulaire.

2006-2007

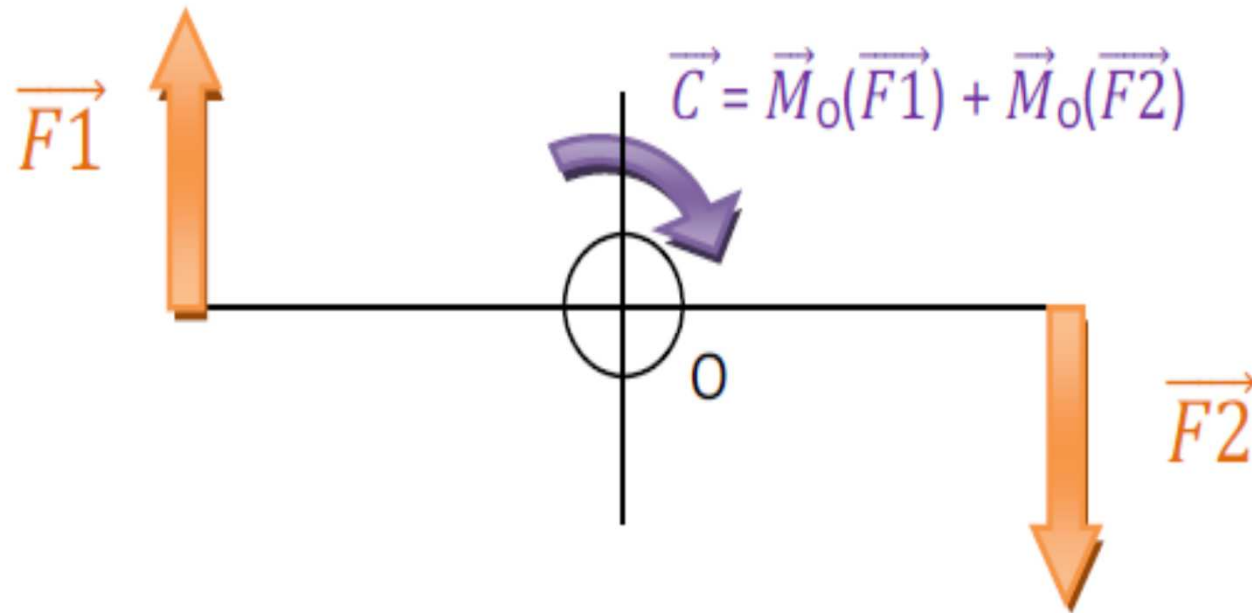


Il y a **équilibre**, lorsque la somme des moments ($M_{\vec{F}}$ et $M_{\vec{R}}$) est nulle

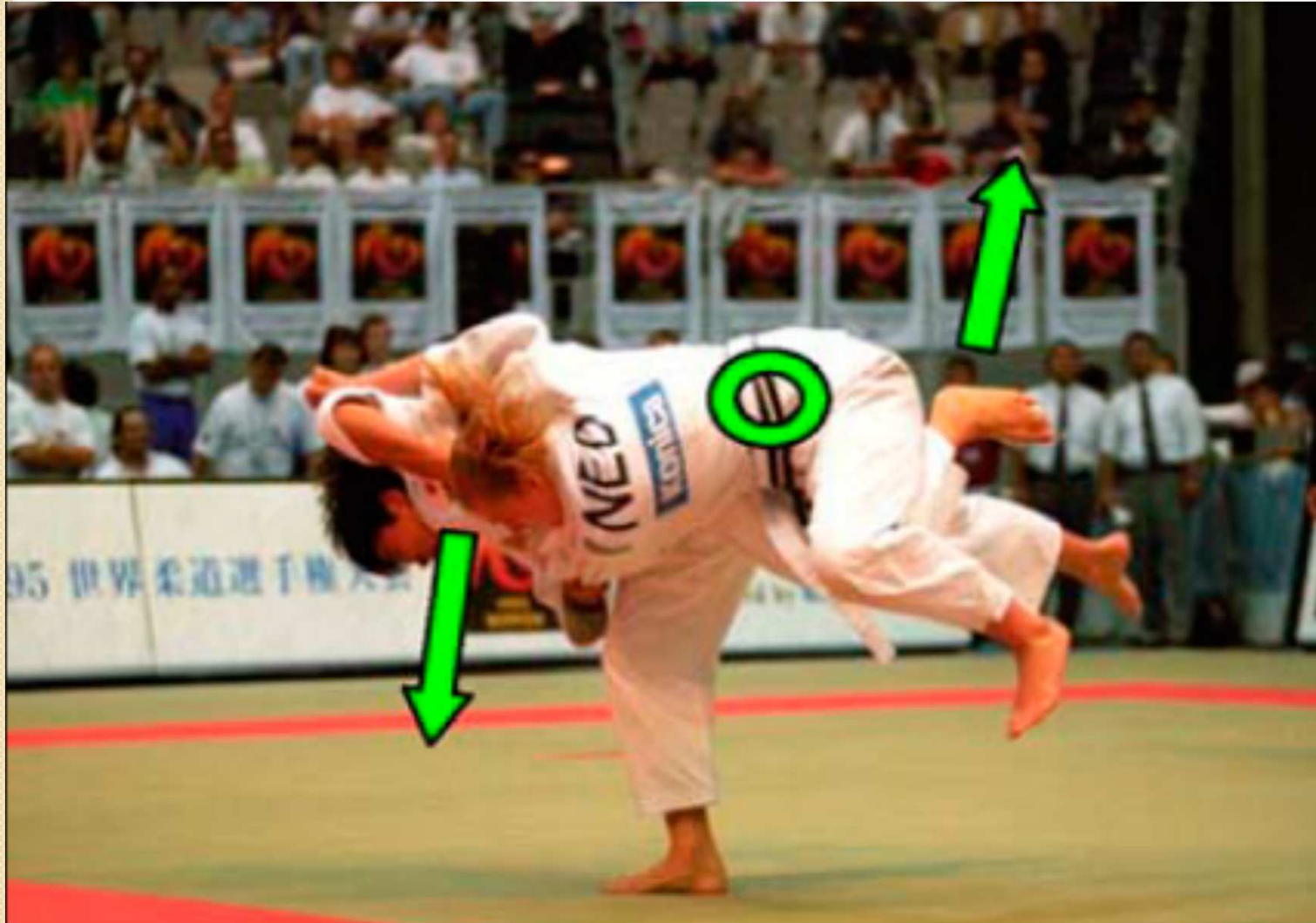
$$M_{\vec{F}} + M_{\vec{R}} = 0$$

par conséquent on a

$$-M_{\vec{F}} = +M_{\vec{R}}$$




Un couple est le moment par rapport à un axe créé par deux forces opposées.



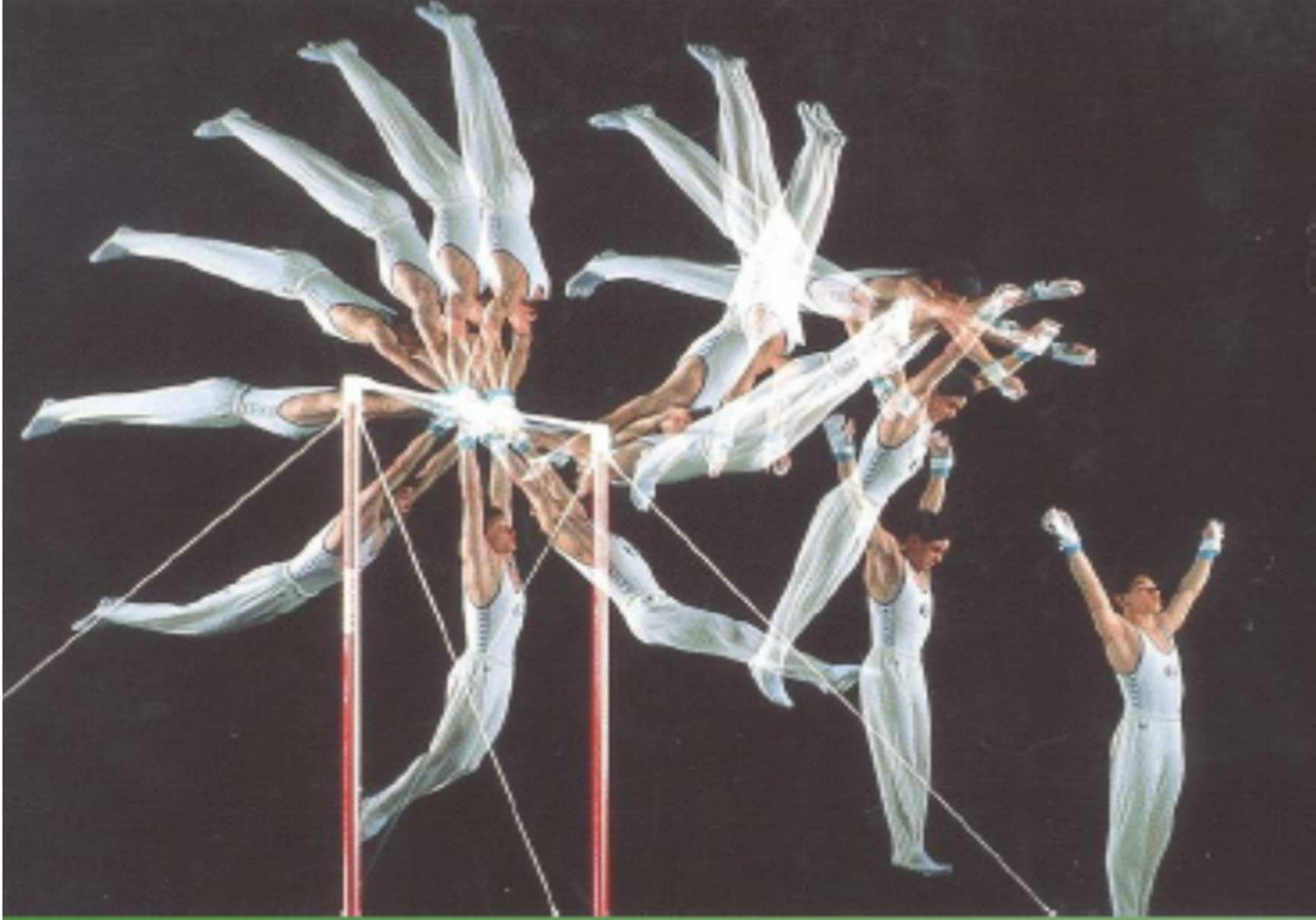


7. Moment cinétique

- ✓ Le moment cinétique L d'une particule par rapport à un point d'origine est : $L = r \cdot p$ (r est la position de la particule à l'origine et $p = mv$, sa quantité de mouvements. L'unité est kg/m/s^2).
- ✓ Le Moment cinétique est lié au moment d'inertie (résistance à la rotation) selon la formule suivante:
Moment cinétique (quantité de mouvement de rotation) = **Moment d'inertie** * **Vitesse angulaire**.



✓ Le moment cinétique est conservé dans un système où il n'y a pas de couple extérieur. Cette loi de sa conservation permet d'expliquer de nombreux phénomènes. Par exemple, l'augmentation de la vitesse de rotation d'une patineuse lorsqu'elle rapproche les bras de son corps.



8. Moment d'inertie

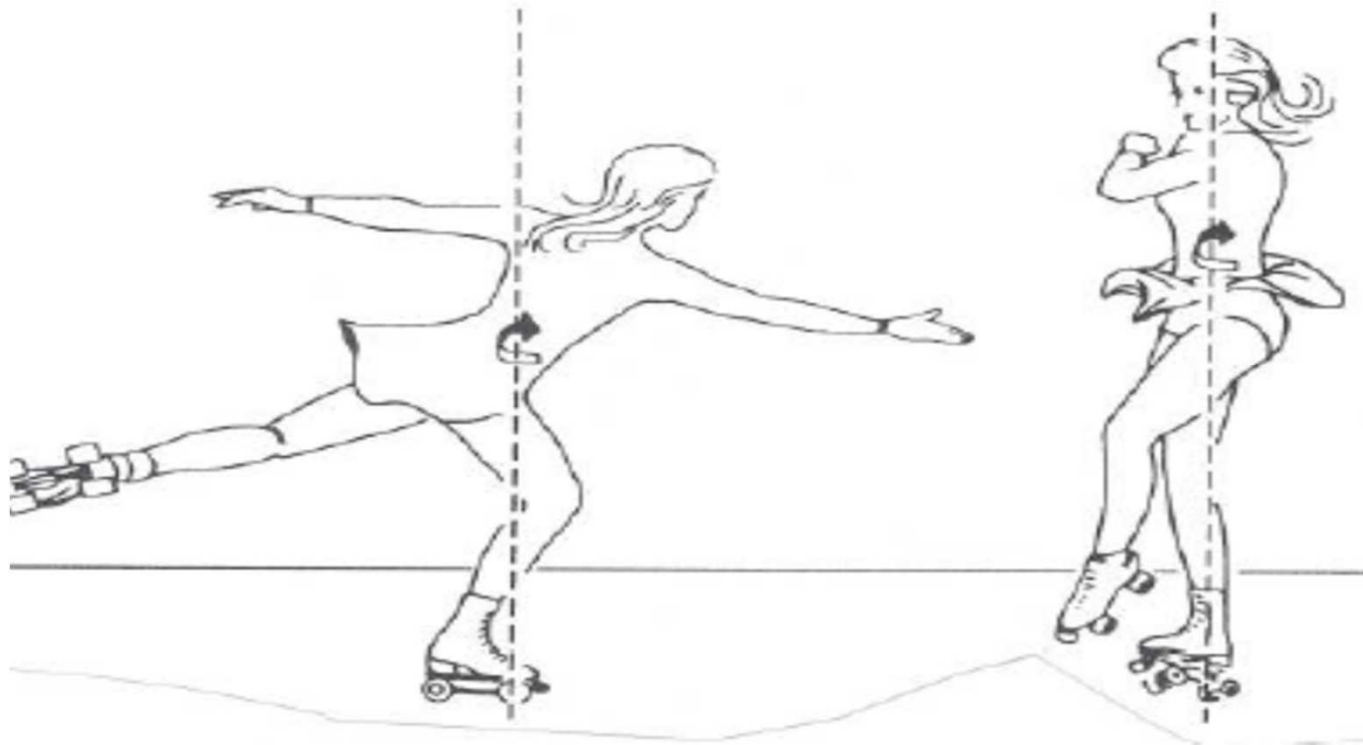
- ✓ Le moment d'inertie mesure la difficulté qu'a un corps à tourner autour d'un axe de rotation.
- ✓ le moment d'inertie correspond au produit de la masse de l'objet par la distance au carré qui sépare cette masse de l'axe de rotation : ($m \cdot r^2$). Le rayon a un effet beaucoup plus important que la masse elle-même.

✓

✓ Le Moment d'inertie dépend de la distribution des masses autour du centre de masse. Plus elles sont proches de cette dernière, plus l'accélération est facilitée, plus elles s'éloignent plus l'effet freinage s'amplifie.

✓ Plus la masse de l'objet est proche de l'axe de rotation, plus il sera facile de le faire tourner ou d'arrêter sa rotation. L'inverse est aussi vrai.

✓





La cinématique

Dr. Ait Ali Yahia-Amar Maître de conférences A

Conférence 2.1

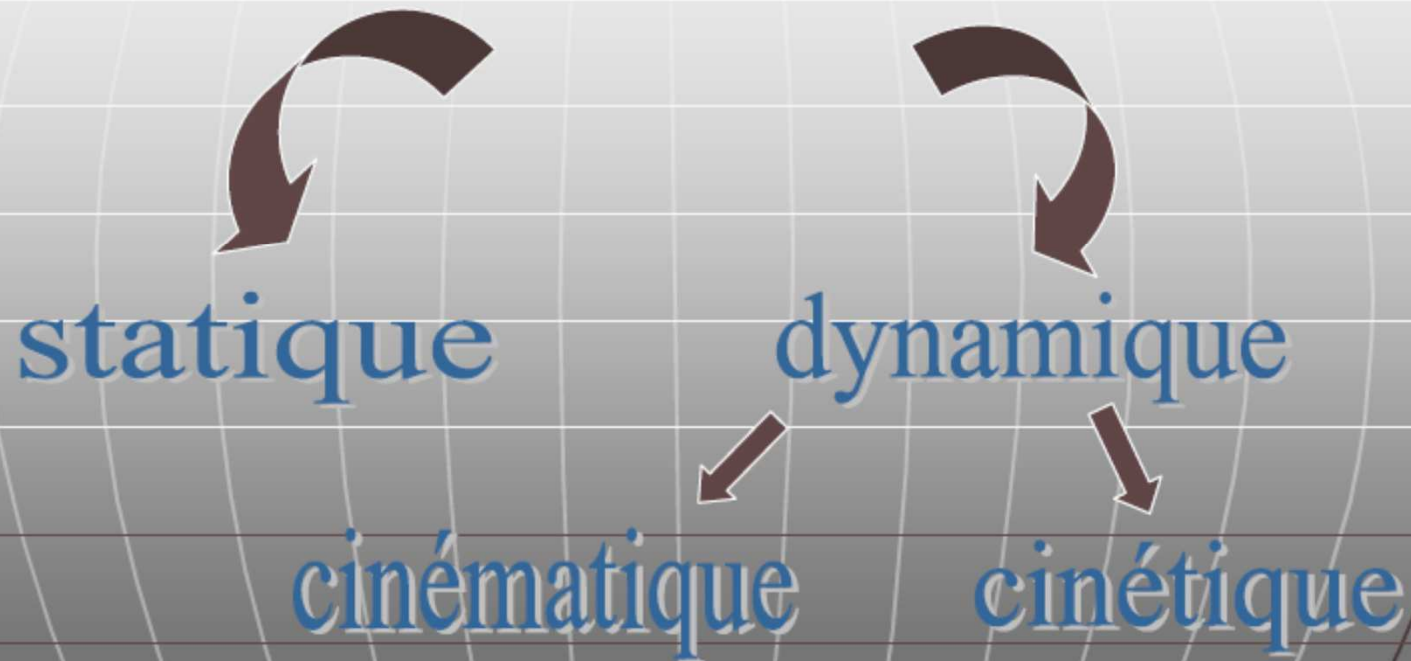
INFSSTS Abdellah Fadhel

Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Définir la cinématique,
- Déterminer les variables fondamentales,
- Comprendre la notion de mouvement,
- Distinguer les différents mouvements rectilignes,
- Décrire le mouvement angulaire,
- Analyser un mouvement linéaire et angulaire.

biomécanique



1. Définition

- ✓ **La cinématique** est la discipline de la mécanique qui étudie le mouvement des corps, en faisant abstraction des causes du mouvement.
- ✓ **La cinématique** est l'étude dynamique du mouvement (linéaire, angulaire ou une combinaison des deux) selon les variables de déplacements, de vitesse et d'accéléérations.

2. Les 3 variables cinématiques fondamentales :

- ✓ **La vitesse** d'un objet (ou d'un point matériel) représente la variation de la position par unité de temps.
- ✓ **La position** d'un objet (ou d'un point matériel) correspond à sa localisation dans l'espace à un instant t donné.
- ✓ **L'accélération** d'un objet (ou d'un point matériel) représente la variation de la vitesse par unité de temps.

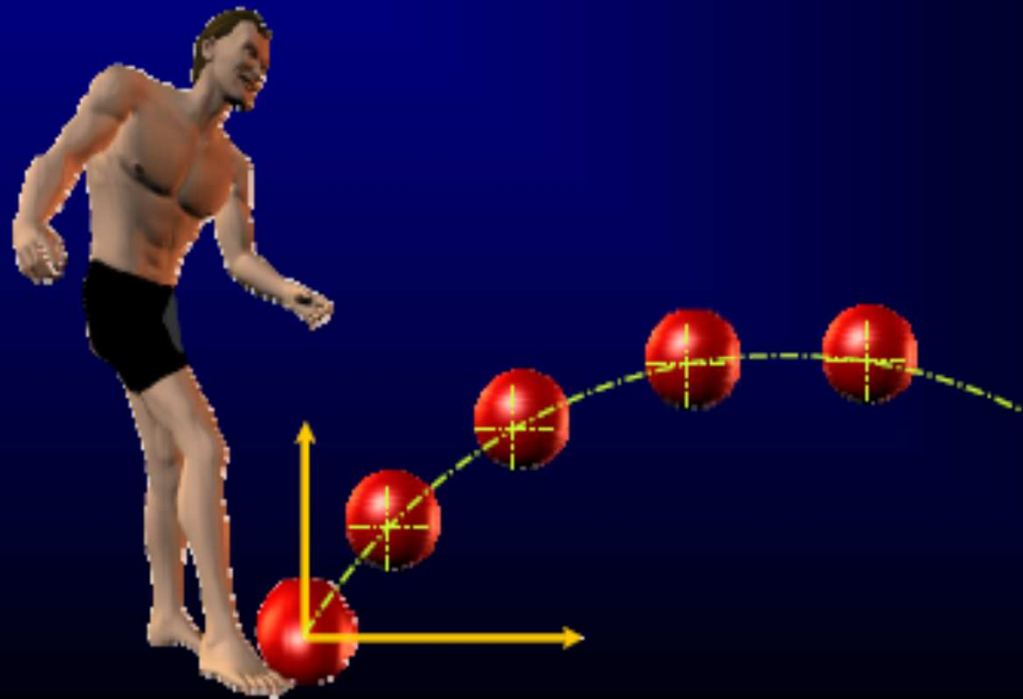
Déplacement indique la longueur (ou distance) et la direction de la trajectoire réalisée par un athlète entre le début et la fin d'une performance ou d'une portion du mouvement.

La trajectoire d'un point est l'ensemble des positions prises par ce point au cours du mouvement.

La trajectoire est **une droite** pour un mouvement **rectiligne**; **une courbe** pour un mouvement **curviligne** et **un arc de cercle** pour un mouvement **circulaire**.

La trajectoire d'un point est l'ensemble des positions successives du point pendant son mouvement.

Rq. C'est également une notion relative



3. Notion de mouvement

Les notions de mouvement et d'immobilité sont relatives ! Nécessité de définir un référentiel.

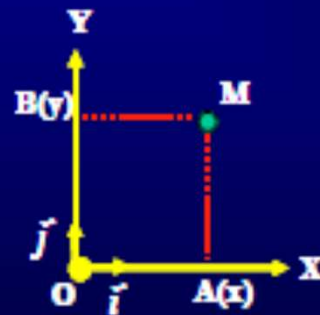
✓ Cinématique du solide : C'est le mouvement d'un objet **S** par rapport à un repère **R**.

✓ Cinématique du point : C'est le mouvement d'un point **P**, appartenant à un objet, **S** par rapport à un repère **R**.

- ✓ Un point matériel est considéré **au repos** ou **immobile** par rapport à **un repère R** si sa position ne change pas dans ce repère au cours du temps.
- ✓ À l'inverse, un point matériel est **en mouvement** par rapport à **un repère R**, s'il change de position dans ce repère au cours du temps.
- ✓ Autrement dit, **être en mouvement** c'est changer de position avec le temps par rapport à un repère considéré comme fixe.

Pour situer le point mobile M dans le repère R à un instant t quelconque, il est nécessaire de connaître les coordonnées $x(t)$, $y(t)$ et $z(t)$ de M dans le repère R.

Dans le plan



Position :

$$M(x(t), y(t))$$

Vecteur position :

$$\vec{OM} = \vec{OA} + \vec{OB}$$

$$\vec{OM} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j}$$

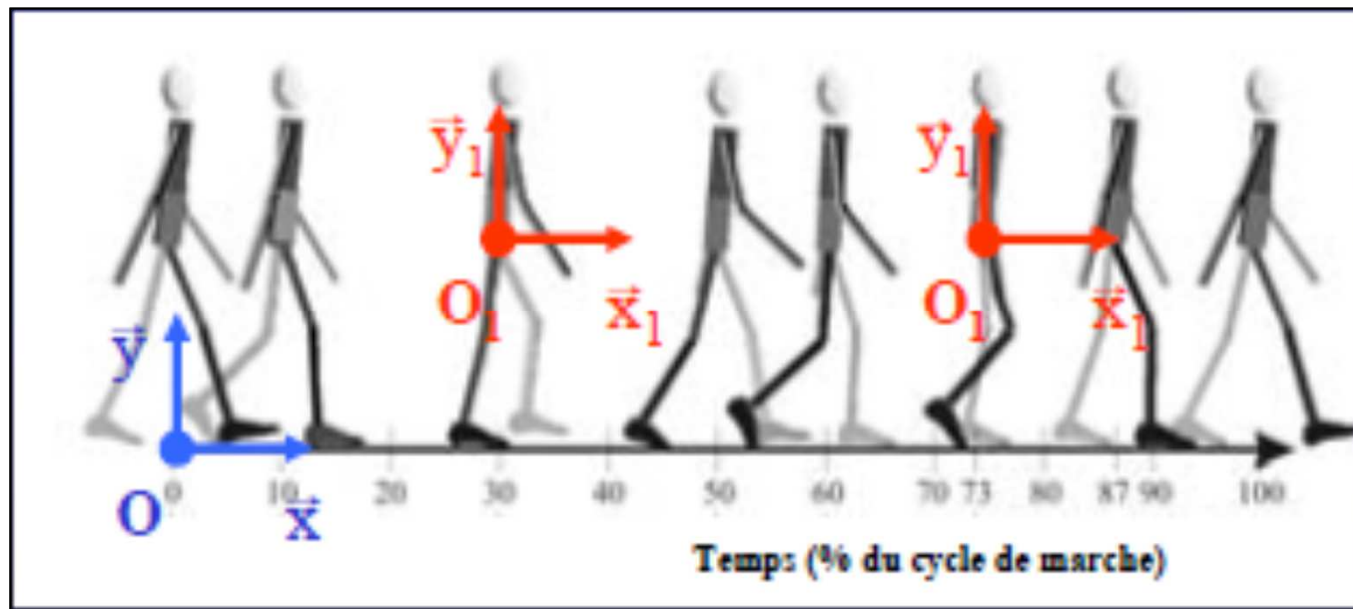
Dans l'espace



$$M(x(t), y(t), z(t))$$

$$\vec{OM} = \vec{Om} + \vec{mM}$$

$$\vec{OM} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$



Le point O_1 appartenant au buste est en mouvement par rapport au repère R_0 mais immobile par rapport au repère R_1 (lié au buste).

4. Mouvement rectiligne

4.1. Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement est dit rectiligne uniforme si la **vitesse** est **constante**; cela correspond au mouvement d'un objet lancé dans l'espace hors de toute interaction, ou encore au mouvement d'un objet glissant sans frottement.

$$x = vt$$

4.1.1. Vitesse instantanée

La vitesse instantanée représente le taux de changement instantané de la position. Contrairement à la vitesse moyenne, la vitesse instantanée permet de décrire le comportement à chaque instant t .

$$\vec{v}_{inst} = \vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{d\vec{x}}{dt}$$

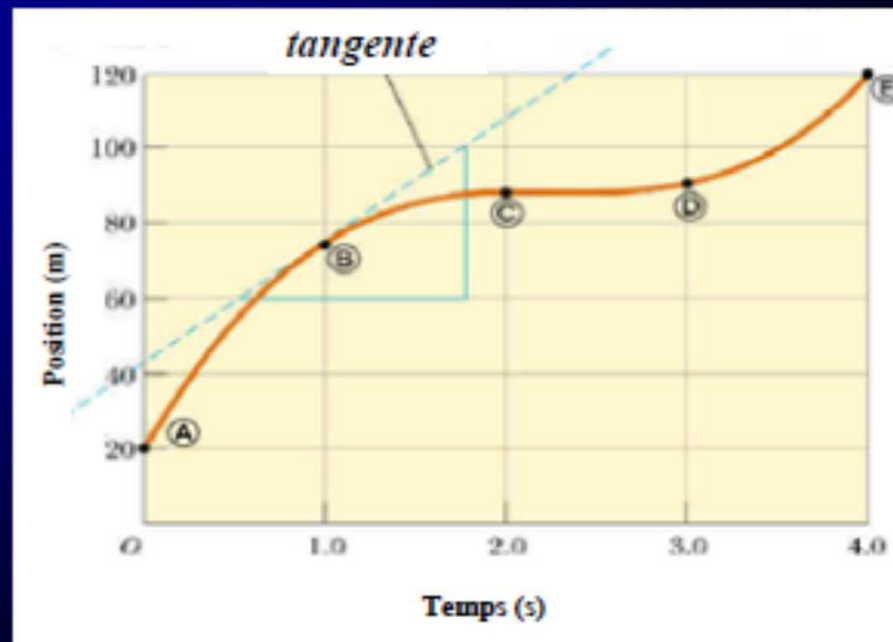
Propriétés ...

- Le vecteur vitesse instantanée est toujours tangent à la trajectoire.
- La vitesse instantanée en un point est égale à la vitesse moyenne entre un l'instant d'avant et l'instant d'après.

Interprétation graphique de la vitesse instantanée

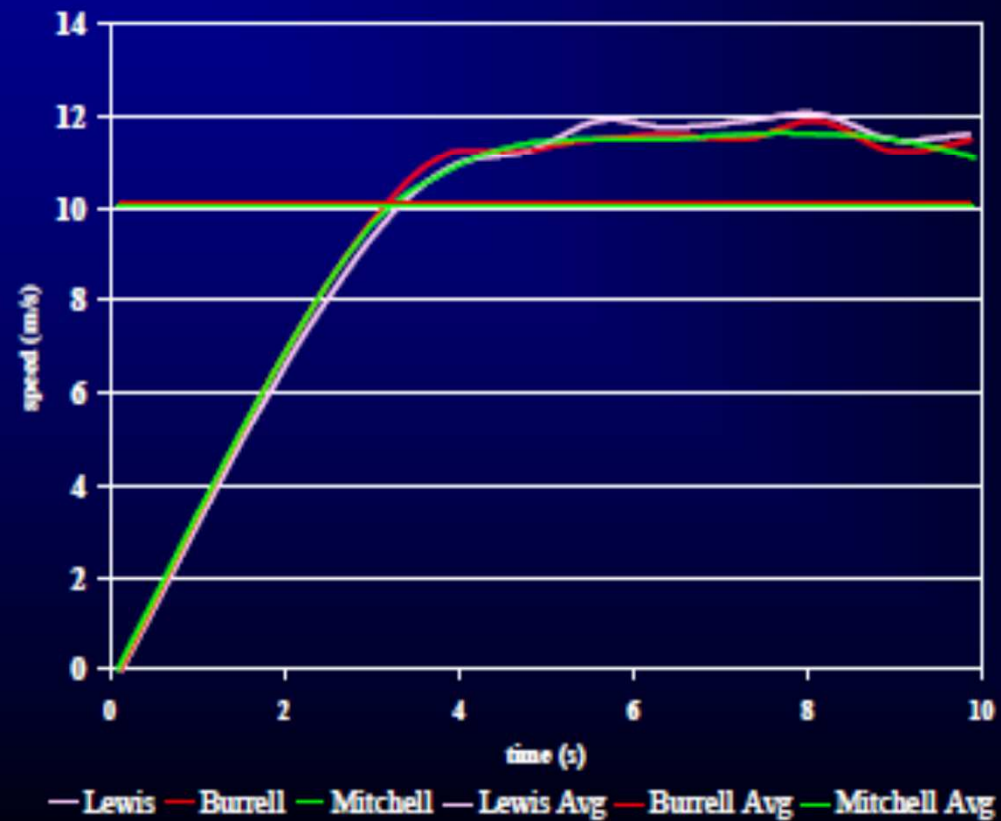
Interprétation graphique ...

$$\begin{aligned}\vec{v}_B &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ v_B &= \frac{40\text{m}}{1,2\text{s}} \\ &= +33\text{m/s}\end{aligned}$$



La **vitesse instantanée** à un instant t est la **pente de la tangente** à la courbe position-temps à l'instant t .

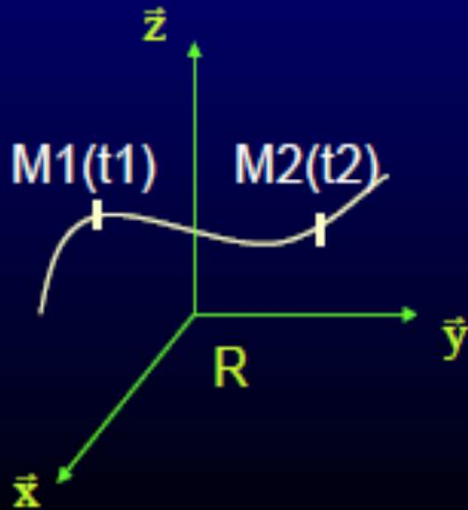
Exemple ... 1991 Championnats du monde - Tokyo



4.1.2. Vitesse moyenne

Définitions ...

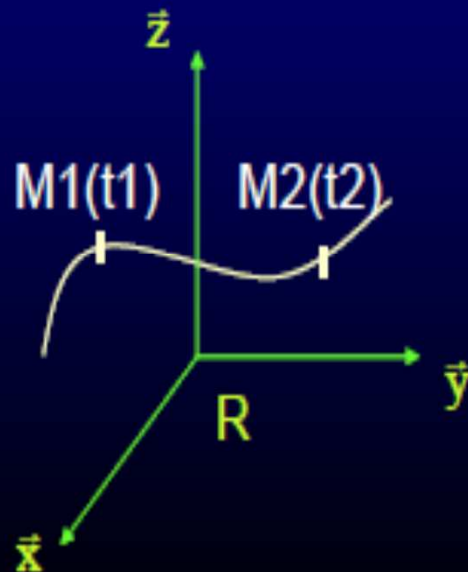
- Au cours de son mouvement par rapport au repère R, le point matériel M se déplace du point M1 au point M2 dans un certain laps de temps
- La vitesse moyenne est le **taux de changement de la position**, et est représentée par un vecteur.



$$\vec{v}_{\text{moyen}} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{\vec{x}_f - \vec{x}_i}{\Delta t}$$

La *vitesse algébrique moyenne* de M est le rapport entre la distance parcourue et le temps mis pour la parcourir :

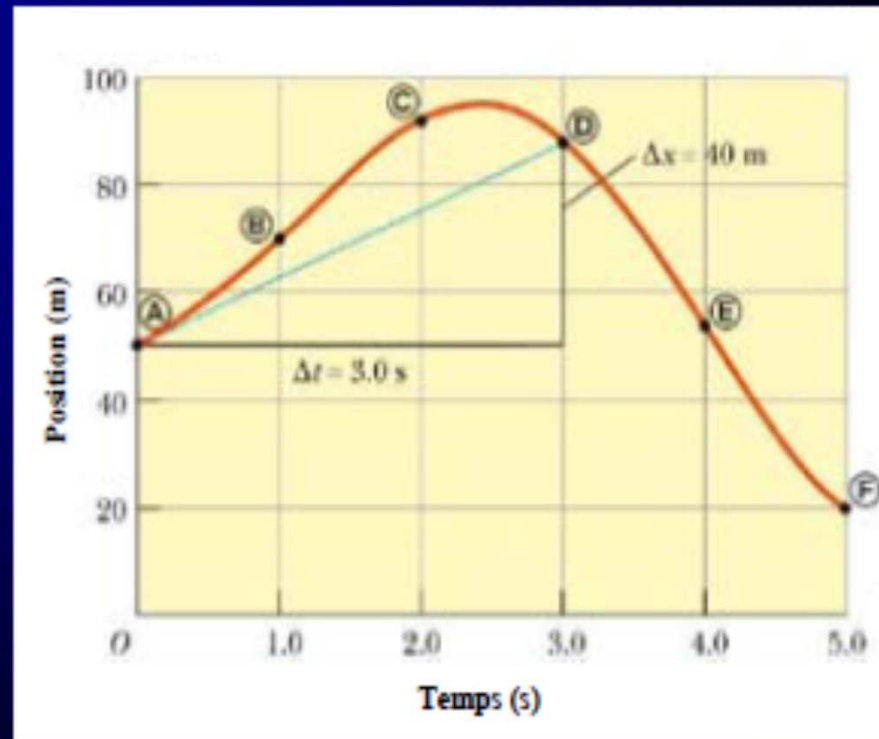
$$V_{\text{moy}} = \frac{|\text{Distance parcourue}|}{\text{Temps mis à la parcourir}} \text{ (m/s)}$$



$$\bar{V}_{\text{moy}}(M/R) = \frac{|M_1M_2|}{t_2 - t_1}$$

Interprétation graphique ...

$$\begin{aligned}\vec{v}_{\text{moy}_{AD}} &= \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \\ v_{\text{moy}_{AD}} &= \frac{+40\text{m}}{3.0\text{s}} \\ &= \underline{\underline{+13\text{m/s}}}\end{aligned}$$



La **vitesse moyenne** sur un intervalle de temps $[t_1\ t_2]$ est la **pente de la sécante** joignant les positions $x(t_1)$ et $x(t_2)$.

- **Exercice**

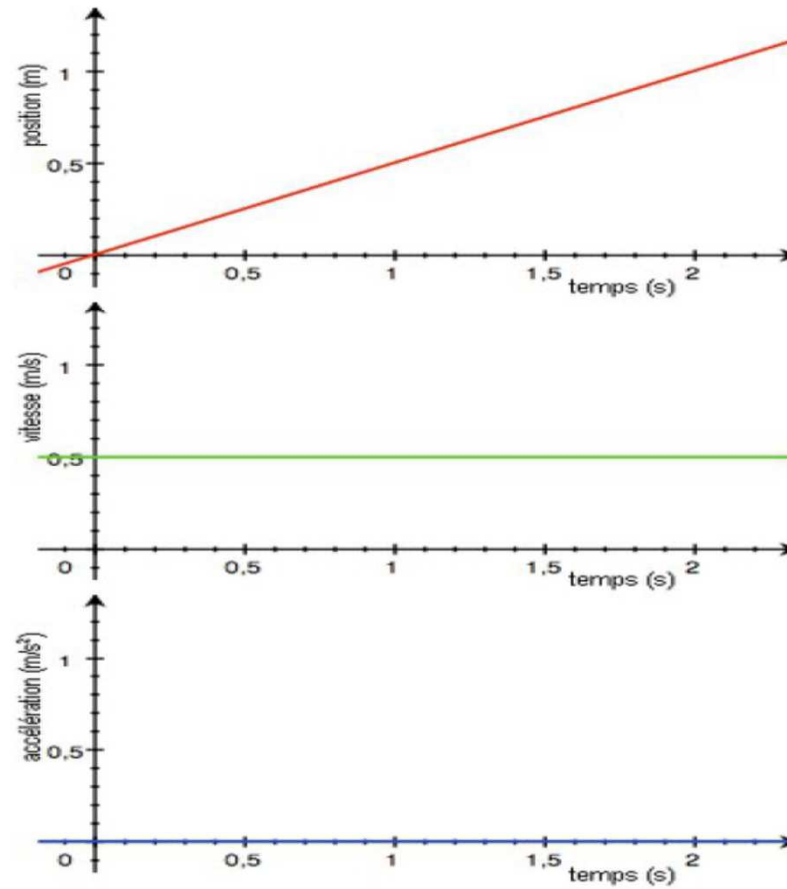
Une boule de billard se déplace le long de l'axe des x . Au temps $t_1 = 1$ s, elle se trouve à $x_1 = 0,15$ m; au temps $t_2 = 2,2$ s, elle est à $x_2 = 0,95$ m. Quelle est son vecteur vitesse moyenne?

- **Solution**

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 0,95 - 0,15 = 0,80 \text{ m.}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 2,2 - 1 = 1,2 \text{ s.}$$

$$\begin{aligned}\bar{\mathbf{v}} &= \Delta x / \Delta t = \mathbf{0,8 / 1,2} \\ &= \mathbf{0,67 \text{ m/s}}\end{aligned}$$



Evolution de la position, de la vitesse et de l'accélération d'un corps dans un mouvement rectiligne uniforme.

4.2. Mouvement uniformément accéléré

Un objet est dit en **mouvement rectiligne uniformément accéléré** s'il se déplace en ligne droite et une vitesse qui change linéairement avec le temps, c'est-à-dire avec **une accélération constante**.

$$x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0$$

4.2.1. Accélération instantanée

- L'accélération instantanée représente le taux de changement instantané de la vitesse
- Remarque : c'est un **vecteur**, sa direction sera toujours la même que celle de la force nette subie par l'objet.

$$\vec{a}_{inst} = \vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

- **Exercice**

Combien de temps une voiture met-elle à parcourir 60 m si sa vitesse initiale est nulle et son accélération est de 2,5 m/s²?

- **Solution**

1) Tableau des éléments connus et inconnus

$x_0 = 0$
 $x = 60 \text{ m}$
 $a = 2,5 \text{ m/s}^2$
 $v_0 = 0$

t

2) Résolution

$$x = \frac{at^2}{2} + v_0 t + x_0 \text{ Equ. 3}$$

$$t^2 = \frac{2x}{a} = \frac{2(60\text{m})}{2,5 \text{ m/s}^2} = 48 \text{ s}^2$$

$$t = \sqrt{(48)} = 6,93 \text{ s}$$

4.2.2. Accélération moyenne

- Un changement de vitesse s'effectue dans un certain laps de temps
- L'accélération moyenne représente le taux de changement de la vitesse (instantanée)
- C'est un **vecteur**

$$\vec{a}_{\text{moy}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t}$$

- **Exercice**

Un vélo accélère sur une route droite, passant de 0 à 40 km/h en 8 s.
Quelle est la grandeur de son accélération moyenne

- **Solution**

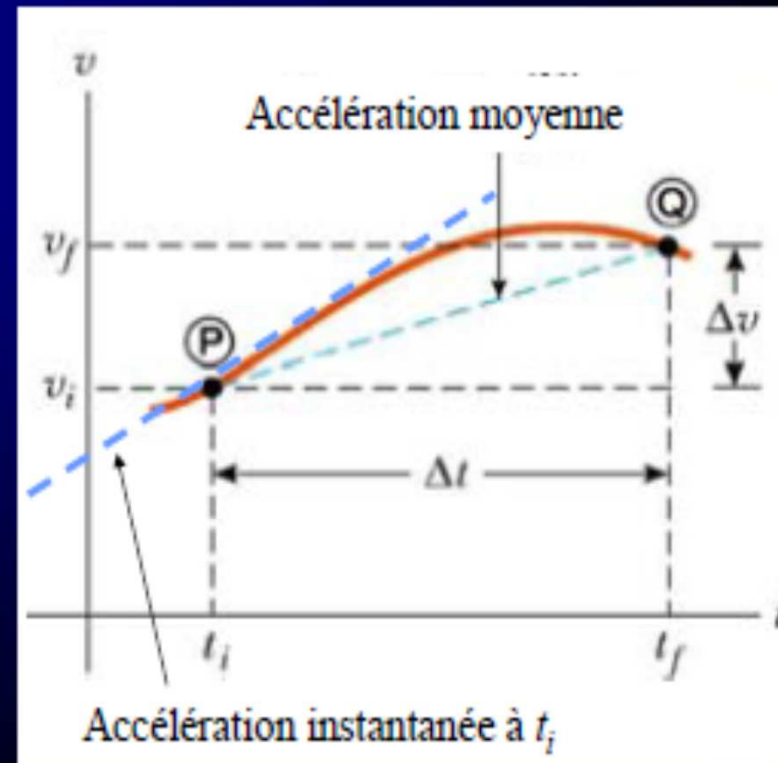
$$\Delta v = v_2 - v_1 = 40 - 0 = 40 \text{ km/h.}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 8 - 0 = 8 \text{ s.}$$

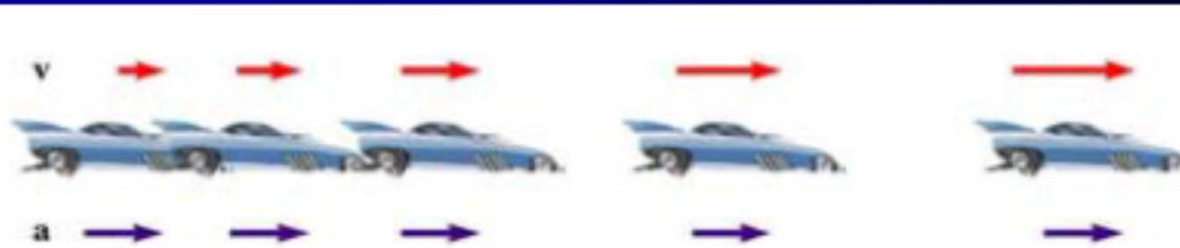
$$\begin{aligned} \bar{a} &= \Delta v / \Delta t = 40 / 8 \\ &= 5 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Interprétation graphique ...

- L'**accélération moyenne** est la pente de la sécante joignant les vitesses finales et initiales sur un graphique vitesse-temps.
- L'**accélération instantanée** est la pente de la tangente à la courbe sur un graphique vitesse-temps.

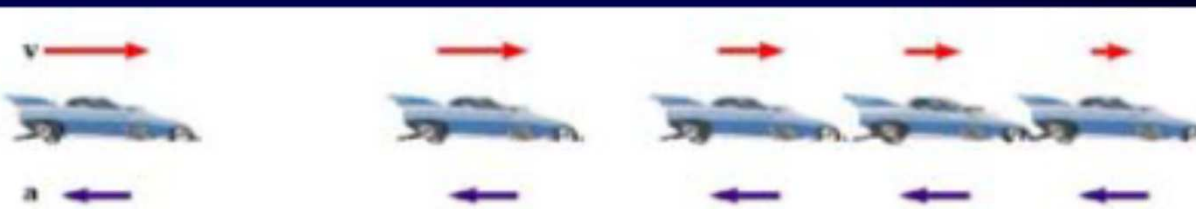


- Si la vitesse augmente : $V_2 > V_1$ et l'accélération est positive (on parle d'accélération)

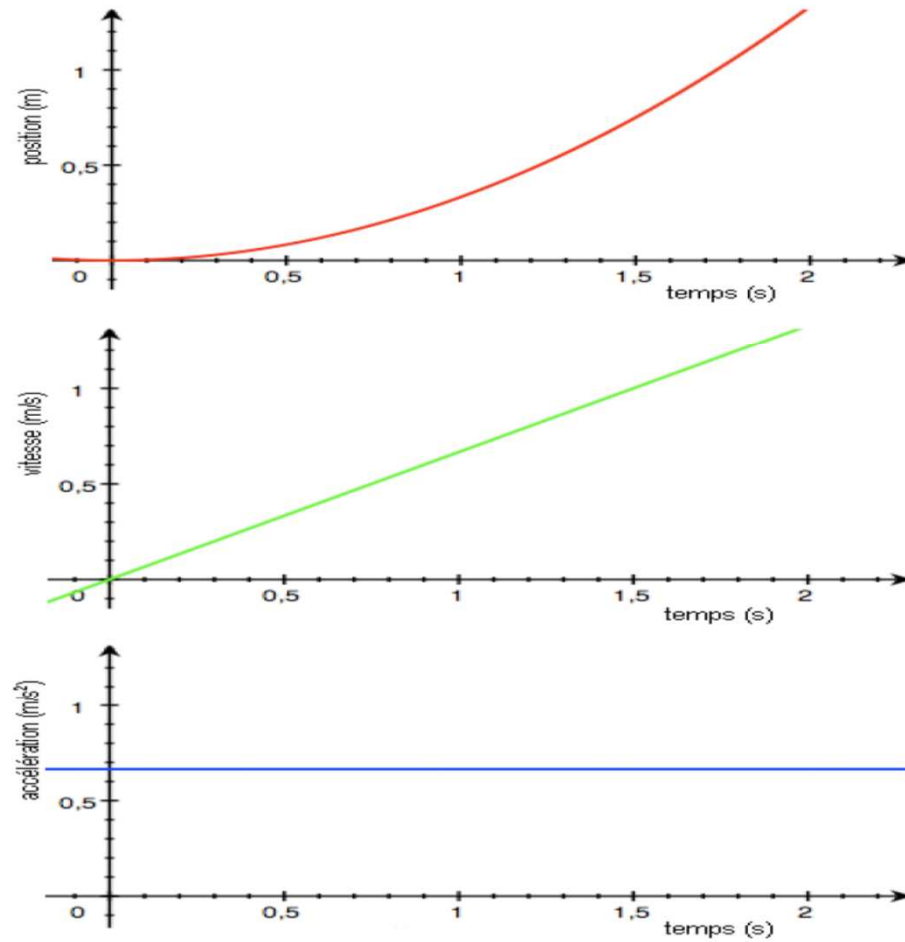


Lorsque les vecteurs **vitesse** et **accélération** pointent dans la même direction la grandeur de la vitesse augmente.

- Si la vitesse diminue : $V_2 < V_1$ et l'accélération est négative (on parle de décélération)



Lorsque les vecteurs **vitesse** et **accélération** pointent dans des directions opposées la grandeur de la vitesse diminue.



Evolution de la position, de la vitesse et de l'accélération d'un corps dans un mouvement rectiligne uniformément accéléré.

- **Equations**

$$v = at + v_0 \text{ Equ. 1}$$

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} \text{ Equ. 2}$$

$$x = \frac{at^2}{2} + v_0t + x_0 \text{ Equ. 3}$$

$$v^2 = 2a(x - x_0) + v_0^2 \text{ Equ. 4}$$

a = constante

5. Déplacement angulaire

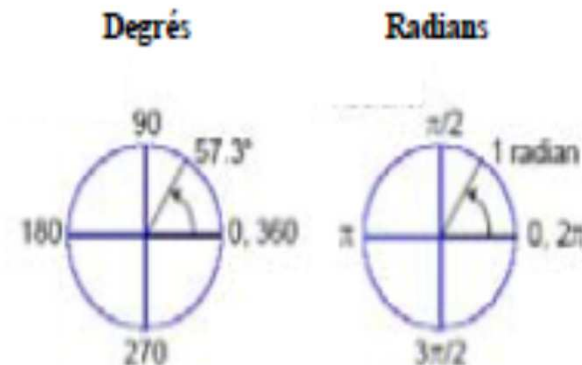
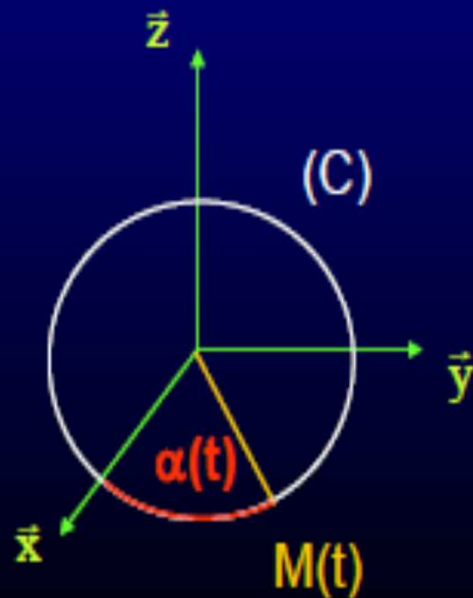
Le déplacement angulaire mesure la direction et l'amplitude du plus petit changement angulaire entre la position angulaire initiale et finale. Il est mesuré en degrés ($^{\circ}$) ou en radians (rad).

$$\theta = \omega \cdot t$$

Un plongeur effectuant un demi salto vers l'avant complète un déplacement angulaire de 180° dans le sens horaire ou anti-horaire, selon le point d'observation.

6. Mouvement angulaire

- **Définition :** un point M est animé d'un *mouvement circulaire* par rapport à un repère si sa trajectoire dans ce repère est un cercle.
- **Convention :**
 - Pour donner la position du point M sur sa trajectoire, on définit l'angle $\alpha(t)$
 - Le radian (rad) est l'unité de mesure naturelle et universelle des angles.



6.1. Vitesse et déplacement angulaires

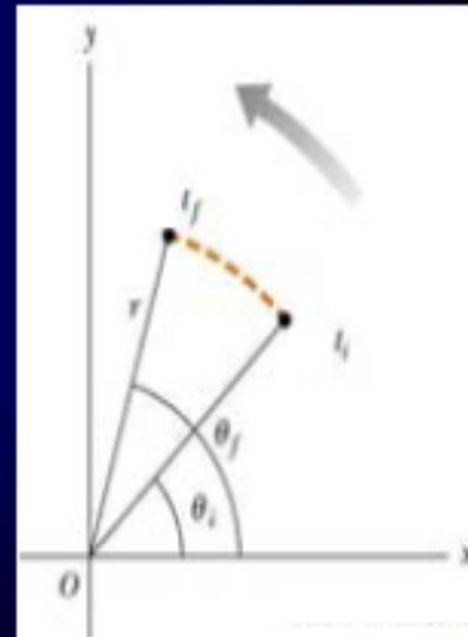
- **Définition** : Par analogie avec les mouvements linéaires, la **vitesse angulaire** est le taux de changement de la position angulaire

- **Déplacement angulaire** :

$$\Delta\theta = \frac{S}{r} = \theta_f - \theta_i$$

- **Vitesse angulaire moyenne** :

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_f - \theta_i}{t_f - t_i}$$



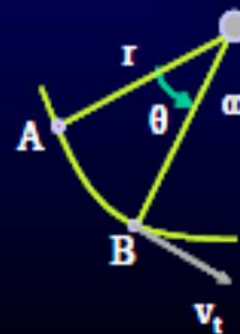
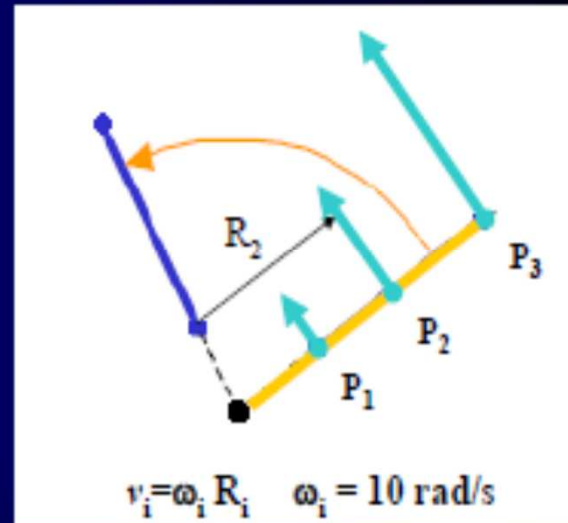
- **Convention** : ω se mesure en *rad/s* et est généralement considéré positif dans le sens anti-horaire.

Mouvements angulaires ...

- Vitesse angulaire instantanée :
 - Comme précédemment, la vitesse moyenne n'est pas représentative du comportement à chaque instant t .

– On définit : $\omega = \dot{\theta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$

- Rappel : $\omega \text{ (rad/s)} = \frac{v_t \text{ (m/s)}}{r \text{ (m)}}$



6.2. Accélération angulaire

- Accélération angulaire moyenne

$$\dot{\omega} = \ddot{\theta} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{t_f - t_i}$$

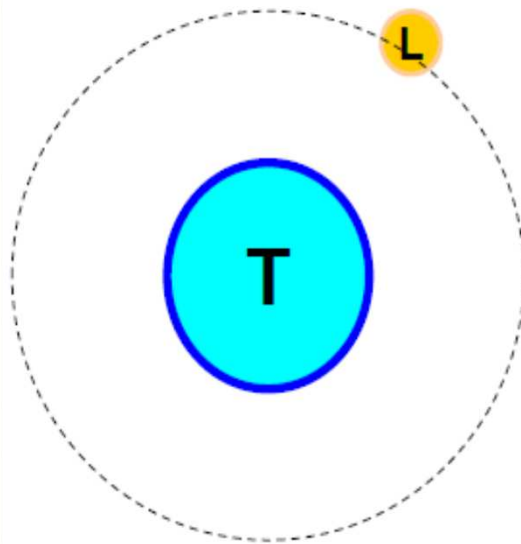
- Accélération angulaire instantanée

$$\dot{\omega} = \ddot{\theta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

• Exercice

L'orbite quasi circulaire de la Lune autour de la Terre a un rayon (r) d'environ 385 000 km et une période de 27.3 jours.

Déterminer l'accélération de la Lune par rapport à la Terre



$$v = \Delta x / \Delta t$$

$$= (2\pi \cdot r) / t$$

$$= (2\pi \cdot 385\,000 \cdot 1000) / (27.3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)$$

$$= 1.02 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$a_r = v^2 / r$$

$$= (1.02 \cdot 10^3)^2 / (385\,000 \cdot 1000)$$

$$= 2.73 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

7. Mouvement linéaire et angulaire

Pour un **déplacement angulaire** θ , le déplacement linéaire d au point situé à une distance r du point de rotation est: $d = r\theta$

La relation entre **la vitesse** et **l'accélération** linéaire et angulaire est similaire à l'équation précédente.

$$v = r\omega \quad \text{et} \quad a = r\alpha$$



La cinétique

Dr. Amar Ait Ali Yahia Maître de conférences A

Conférence 2.2

INFSSTS Abdellah Fadhel

Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Définir la cinétique,
- Cerner la notion de force,
- Citer les trois lois de Newton,
- Comprendre l'importance du référentiel,
- Énumérer les types de force.

1. Définition

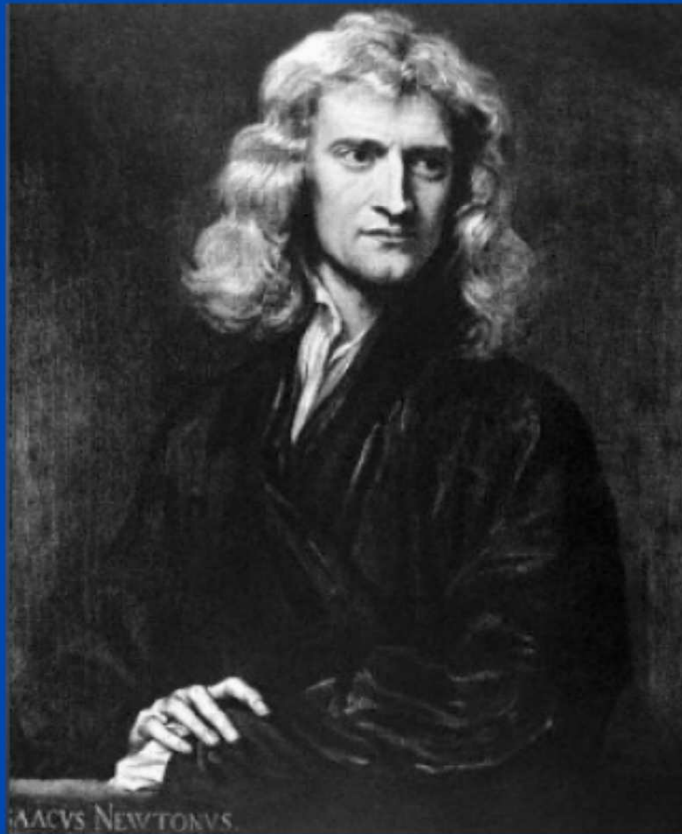
- La cinétique a pour but de décrire les forces qui causent le mouvement. Les forces qui agissent sur le corps humain peuvent être **internes** ou **externes**.
- Les forces **internes** sont celles générées par le muscle qui tirent sur les os via leurs tendons ainsi que les forces observées sur les surfaces des articulations qui joignent les os entre eux.

➤ Les forces **externes** sont celles qui agissent sur le corps humain comme la gravité ainsi que toute force produite par le contact du corps avec le sol, l'environnement, l'équipement sportif ou même un adversaire.

➤ En général, les forces internes causent des mouvements segmentaires alors que les forces externes affectent les mouvements du corps.

C'est en 1687 que Newton publia ses *Principia*, contenant la formulation définitive des lois de la Mécanique, pressenties par :

- Aristote (-384 à -322) : première notion de *mouvement naturel* (contre *mouvement forcé*),
- Galilée (1564-1642) : *mouvement naturel* possible si pas de frottements,
- Descartes (1596-1650) : pas de variation de vitesse pour un *mouvement naturel* (mvt rectiligne uniforme).



Newton ajoute aux acquis de ces prédécesseurs une définition de la **force**.

Pour Newton la **force** est la cause du changement du mouvement.

Un écart au *mouvement naturel* fournit ainsi une mesure directe de la **force**.

2. Notion de force

- On appelle force tout facteur qui modifie l'état d'inertie d'un corps, donc qui met en mouvement un corps au repos ou qui modifie la trajectoire ou la vitesse d'un corps en mouvement.
- C'est aussi tout facteur qui tend à modifier l'état d'inertie d'un corps donc qui tend à mettre en mouvement un corps au repos ou qui tend à modifier la trajectoire ou la vitesse d'un corps en mouvement.

Une **force** est une quantité vectorielle caractéristique d'une action mécanique (*subie ou développée*) représentée par un **vecteur** et définie par :

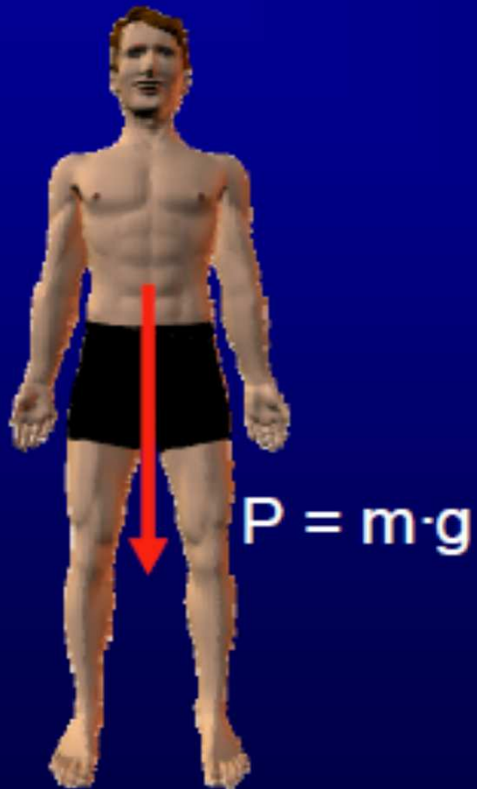
- Un point d'application,
- Une direction,
- Un sens,
- Une intensité (exprimée en Newtons)

La **force** a tendance soit à **déplacer l'objet** qui la subit selon un mouvement de translation, soit à **déformer l'objet**.

- La direction que prendra un objet est toujours parallèle à celle de la ligne d'action de la force résultante.
- La force est l'élément moteur, l'accélération est sa manifestation.

Caractéristiques d'une force :

Exemple du poids



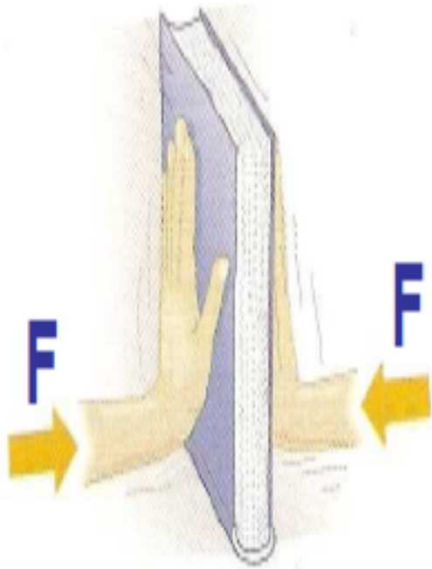
- Une **grandeur** (ex : 686N)
- Une **direction** (verticale)
- Un **sens** (vers le bas)
- Un **point d'application** (CdeM)

Forces

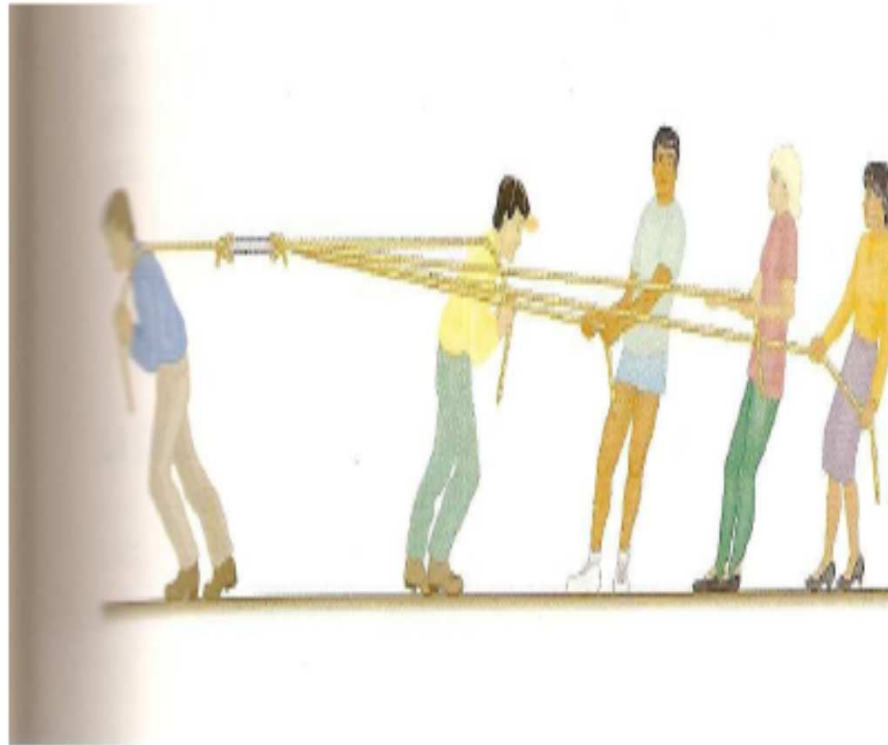
- Forces internes :
 - Muscles et tendons
 - Os et cartilages
 - Force en tension
 - Forces en compression
- Forces externes :
 - Les forces externes sont toutes les forces d'interface entre le corps et son environnement
 - Force gravitationnelle (g)
 - Contact (Frottement)
 - Survient de l'interaction entre les molécules de deux surfaces en contact ;
 - Agit parallèlement à la surface.

- **2 types de force :**

- Contact : interaction entre 2 objets (ex. contraction musculaire - os, forces de frottement)
- Non contact (force d'attraction de la terre, champ magnétique, champ électrostatique).

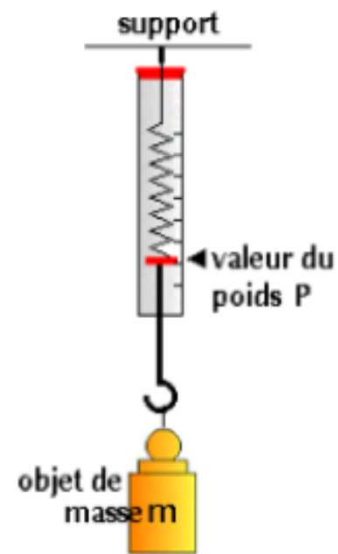


Forces égales mais opposées



1 seule force est ressentie

- Unité : **Newton (N)**
 - Mesurer une force - Dynamomètre
- = Ressort dont on mesure l'élongation. Plus le ressort s'étire et plus la force agissant dessus est grande



3. Les trois lois de Newton

Première loi de Newton

*Tout objet conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme en absence de force **résultante** agissant sur lui*

Interprétation :

Si la **résultante** des forces agissant sur un objet est nulle :

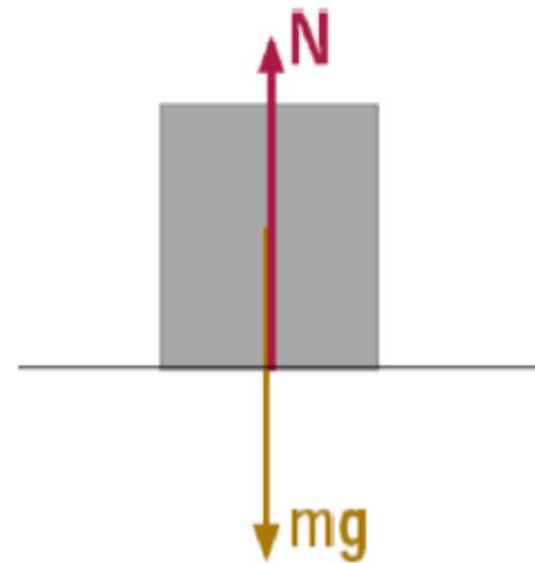
1. Un objet au repos reste au repos
2. Un objet en mouvement continue à se mouvoir à vitesse constante

- **Conséquence de la première loi de Newton :**

- objet en équilibre $\rightarrow \sum_i F_i = 0$
- condition **nécessaire** mais **non suffisante**

- **Illustration :** La force normale **N** :

Bloc de masse m au repos sur surface horizontale est soumis à son poids mg \rightarrow il doit exister au moins une autre force afin que la résultante des forces soit nulle \rightarrow force de contact appelée la force normale (**N**).





Deuxième loi de Newton : principe fondamental de la dynamique

La force est un agent du changement pour le mouvement. C'est ce qui modifie le mouvement. C'est-à-dire ce qui modifie le vecteur vitesse \mathbf{v} (module et/ou direction de ce vecteur). Et on a :

$$\Sigma \mathbf{F} = m \, d\mathbf{v}/dt = m \, \mathbf{a}$$

Donc : si j'exerce une force pendant un temps dt , je modifie le mouvement par une variation $d\mathbf{v}$ du vecteur vitesse.



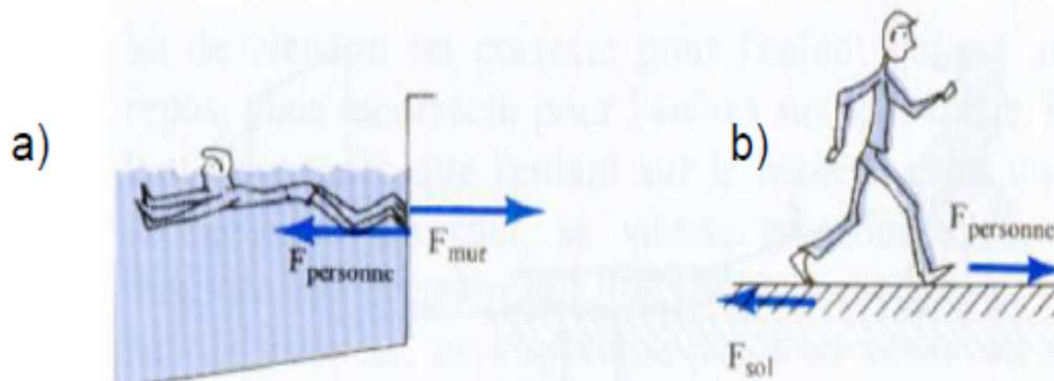
Troisième loi de Newton : principe d'action et de réaction

Lorsqu'on a deux corps en interaction, ils exercent l'un sur l'autre des forces qui sont égales et opposées entre elles : $\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2} = - \mathbf{F}_{2 \rightarrow 1}$

C'est une loi moins systématiquement appliquée que la 2^{me} loi de Newton, mais tout aussi fondamentale...



- Mise en situation



- Newton : si une personne exerce une force sur un objet, l'objet, en réaction exerce une force sur la personne, force qui est égale en grandeur mais de direction opposée.
- = Forces d'action et réaction
 - Forces d'action : jambes sur bord, pied sur sol
 - Forces de réaction : bord sur corps, sol sur corps
- **Démonstration : ballon de baudruche ; voiture fusée**

Les trois lois de Newton en résumé

1. Si $\Sigma F_i = 0 \rightarrow$ particule en M.R.U. ou au repos y reste
2. $\Sigma F_i = m \mathbf{a}$ (équation de Newton)
3. Principe d'action-réaction



Ces lois s'appliquent uniquement dans un référentiel d'inertie.

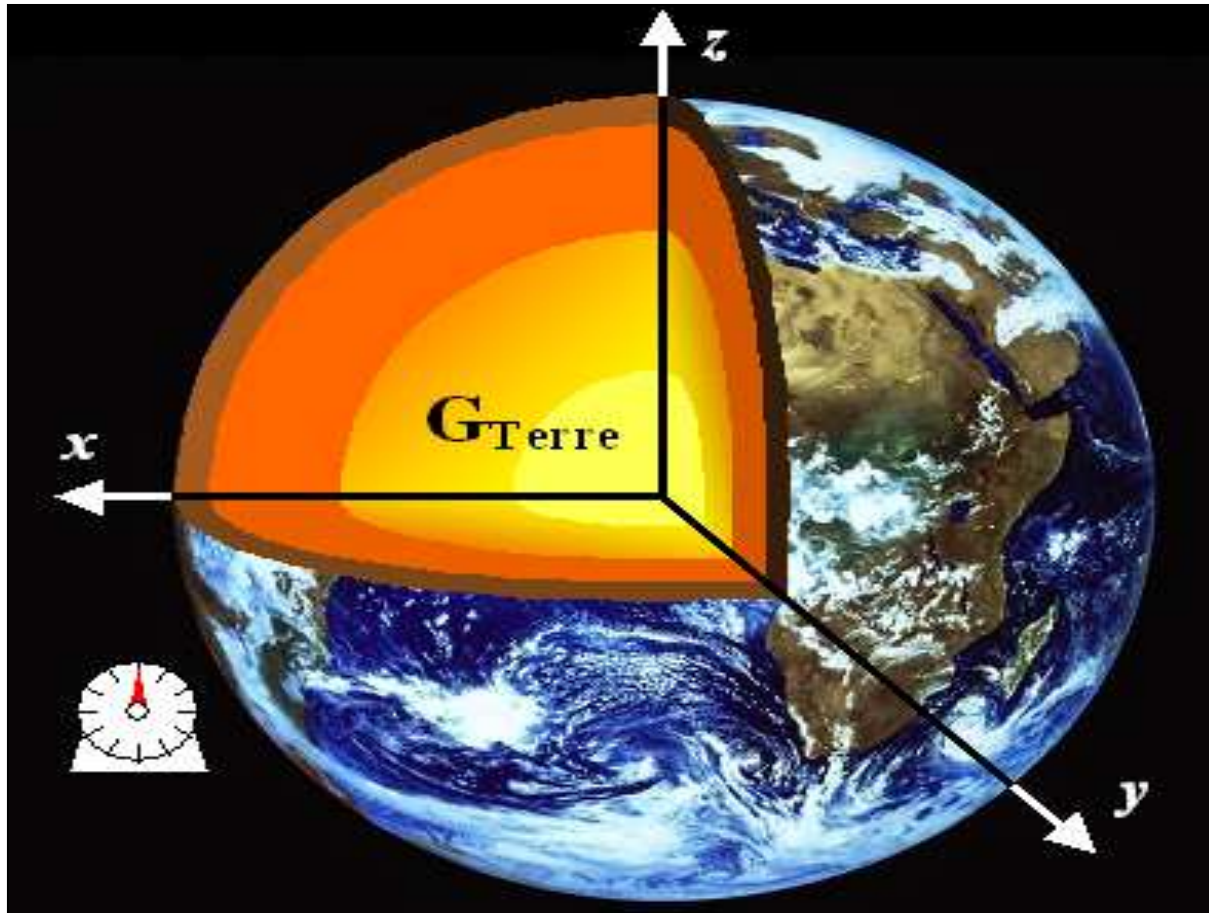
4. Importance du référentiel

- On appelle **repère galiléen (g)** tout repère par rapport auquel le vecteur accélération d'un point est le même que celui qu'il aurait par rapport au repère absolu.
- Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel la première loi de Newton est vérifiée.

➤ Il existe une famille de référentiels, appelés **galiléens** ou **inertiels**, tels que, par rapport à l'un de ces référentiels, tout point matériel isolé (qui n'est soumis à aucune action extérieure) est soit au repos, soit animé d'un mouvement rectiligne et uniforme.

Les lois de Newton ne sont valables que dans un référentiel galiléen. Exemples de référentiels galiléens :

- ✓ un référentiel **terrestre** pour nos expériences,
- ✓ le référentiel **géocentrique** pour les satellites,
- ✓ le référentiel **héliocentrique** pour les planètes.



5. Types de forces

5.1. La force de frottement

- La force externe la plus répandue est probablement la force de frottement ou de résistance au mouvement.
- Qu'il s'agisse de la résistance de l'air sur un cycliste ou l'adhérence de la piste de course, le frottement intervient pour freiner le mouvement.
- La force de frottement ne nuit au mouvement, elle est un des principaux artisans.

- Si la force de propulsion contre le sol durant la marche est supérieure à la force de frottement, le sujet glisse tout simplement.
- **Le coefficient de frottement** indique la qualité de l'adhérence entre deux surface. Plus le coefficient est élevé, plus la force de frottement va l'être.
- La vitesse de déplacement intervient aussi. Il est plus facile de pousser un chariot lourd une fois qu'il est en mouvement qu'immobile. Cela est dû au fait que le frottement est plus important.

- On distingue deux coefficients de frottement :
 - Un coefficient statique (objet immobile),
 - Un coefficient dynamique (objet en mouvement).

$$f = \mu \cdot N$$

La force de frottement **f**, est le produit du coefficient de frottement **μ** par la force normale **N**.

- La force normale est la force de réaction de la résultante (somme des forces) perpendiculaires à la surface de contact.


➤ Dans le cas le plus simple, c'est le poids de la personne qui se tient debout ou de l'objet qui repose sur le sol.

➤ Quelle force doit-on vaincre pour pousser un chariot de 1000N ? Les roues du chariot sont en caoutchouc et la surface est en bois. Le coefficient de frottement pour une surface caoutchouc / bois est de 0,75.

$$\text{Donc } f = 0,75 \cdot 1000 = 750 \text{ N}$$

- **Suivant état (nature) des corps en contact**
- **Solide - solide** : permet de marcher, rouler, tenir un livre
- **Solide - liquide** : réduction de la vitesse du sang, rend balles peu efficaces sous eau
- **Solide - gaz** : rends possible la chute libre, ralentissement des avions et des autos (à 110 km/h 70% du carburant est consacré à vaincre les forces de l'air)
- **Gaz - liquide** : ralentissement des gouttes de pluie
- **Liquide - liquide** : viscosité => ralentissement du sang

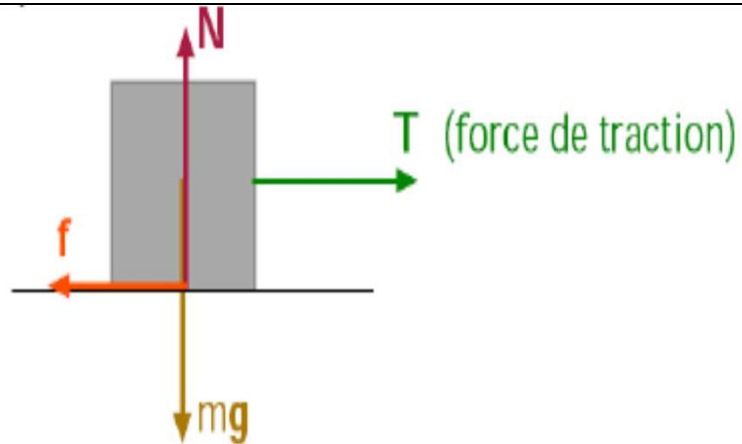
- **Suivant état (nature) de mouvement des corps**

- **Corps au repos**  frottement statique

Exemples : bloc au repos sur plan incliné,

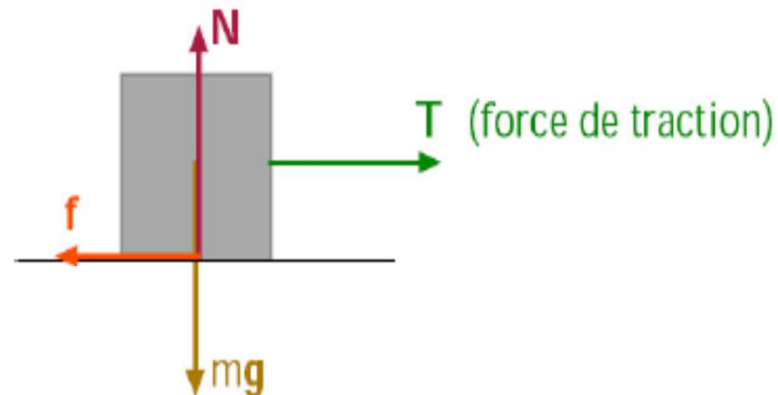
- **Corps en mouvement**  frottement cinétique

Exemples : bloc en mouvement sur plan incliné, air sur voiture en mouvement, etc.



- Force de traction T et bloc au repos : \sum Forces exercées sur le bloc = 0
 Selon la verticale : $N = - m g$
 Selon l'horizontale : $f = f_s = - T$, mais
- il existe une valeur maximale de f_s : $f_s(\text{max}) = \mu_s N$ **scalaires**
- μ_s est appelé le *coefficient de frottement statique*,
 il dépend de la nature des deux surfaces en contact
- $\mu_s < 1$ (presque toujours)

- Que se passe t'il si la force de traction met le bloc en mouvement ?

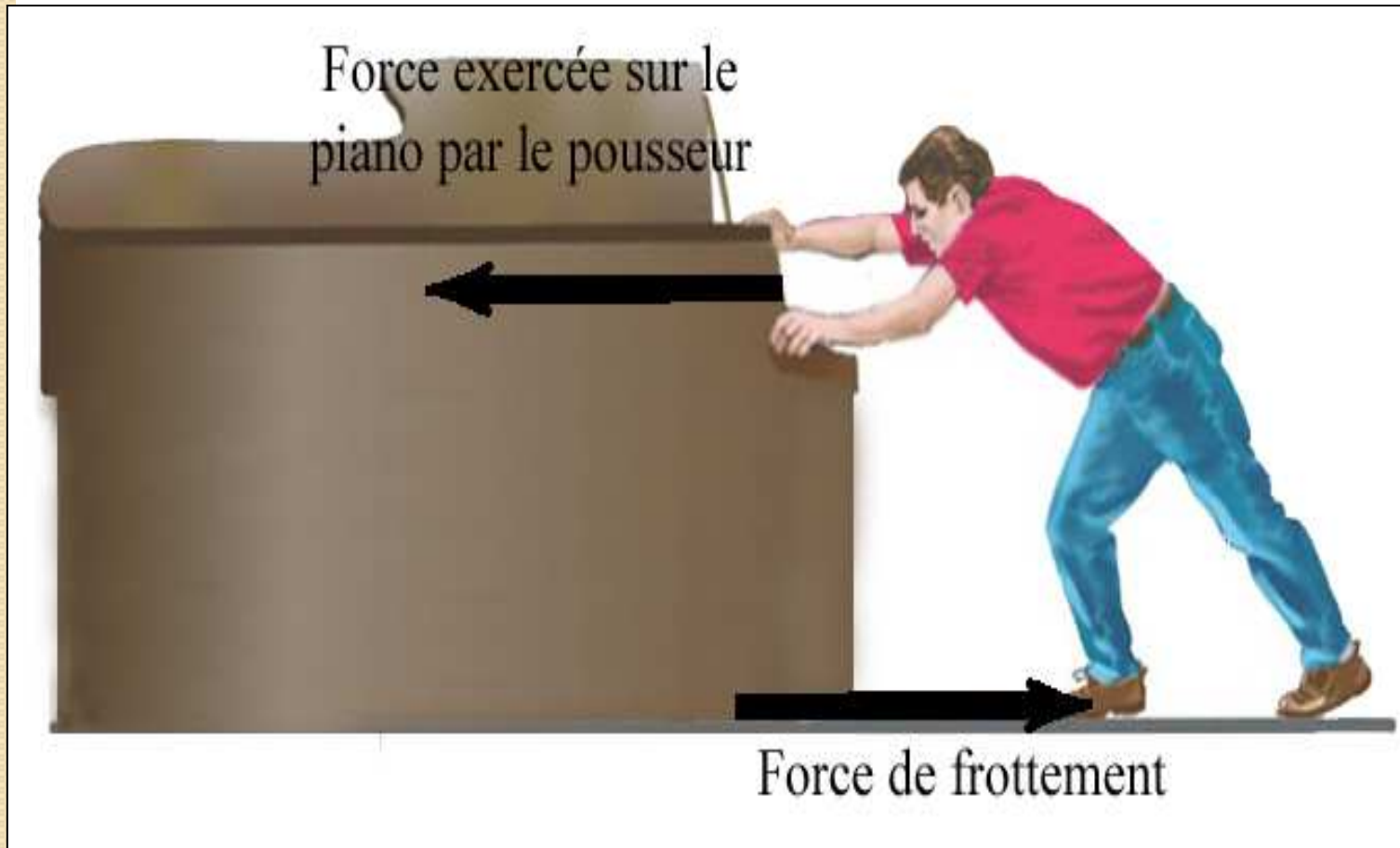


- Force de traction T et bloc en mouvement :

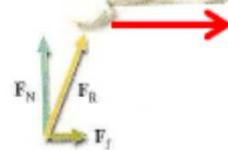
$$N = - m g$$

$$f = f_c = \mu_c N$$

- μ_c est appelé le *coefficient de frottement cinétique*,
- Il dépend de la nature des deux surfaces en contact, mais est pratiquement indépendant de la vitesse de glissement relative entre les 2 corps en contact.



- **Force de frottement** : Force qui agit toujours pour s'opposer au mouvement d'un objet qui glisse sur un autre



égale au
male ast
haut, di
vous mi



Les frottements statique et cinétique

- Quelques valeurs de μ_c et μ_s :
- Dépendent de la nature de l'objet qui glisse
- Dépendant de la nature de la surface sur laquelle l'objet glisse

TABLEAU 5.3 Coefficients de frottement

Matériaux	μ_s	μ_c
Acier sur glace	0,1	0,05
Acier sur acier - sec	0,6	0,4
Acier sur acier - graissé	0,1	0,05
Corde sur bois	0,5	0,3
Téflon sur acier	0,04	0,04
Chaussure sur glace	0,1	0,05
Bottes de montagne sur rocher	1,0	0,8
Semelles de cuir sur tapis	0,6	0,5
Semelles de cuir sur bois	0,3	0,2
Semelles de caoutchouc sur bois	0,9	0,7
Pneus de voiture sur béton sec	1,0	0,7-0,8
Pneus de voiture sur béton mouillé	0,7	0,5
Pneus de voiture sur béton verglacé	0,3	0,02
Caoutchouc sur asphalte	0,60	0,40
Téflon sur téflon	0,04	0,04
Bois sur bois	0,5	0,3
Glace sur glace	0,05-0,15	0,02
Verre sur verre	0,9	0,4

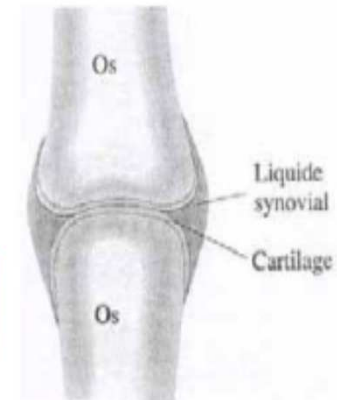
* La première colonne donne la valeur approchée du coefficient de frottement statique. La seconde colonne donne la valeur du coefficient de frottement cinétique qui sera discuté dans la suite.

- **Solutions :**

- Les roulements qui rendent le glissement des surfaces plus aisée.



- Les fluides où les frottements sont faibles comparés aux frottements solide-solide (Articulations : *fluide synovial*)



- Coussins d'air (aéroglisseurs)



5.2. La pression

- Lorsqu'on masse un muscle endolori, on le fait souvent avec la paume de main; par contre, pour un mal de tête lancinant on va se frotter le front avec l'extrémité des doigts. Dans les deux cas, on applique à peu près la même force mais on ne la ressent pas de la même manière.
- D'une part, on la répartit sur toute la main pour ne pas blesser davantage le muscle et d'autre part on la focalise sur le bout des doigts pour écraser la douleur au front. En fait, on change la surface d'application de la force et on varie la pression exercée.

La pression est exprimée en N/m² ou Pascal.

$$P = F/A$$

- Lorsque l'on se tient debout, la surface des pieds supportant notre poids est de 0,69 m². La pression de notre poids (70kg) sur les pieds est de 1015 N/m² ou 1,015 kPa (kilo Pascal).
- Couché sur le dos, la surface portante augmente considérablement à 4,6 m². La pression est réduite à $(700/4,6) = 152 \text{ Pa}$





Méthodes de mesure

Dr. Amar Ait Ali Yahia Maître de conférences A

Conférence 2.3

INFSSTS Abdellah Fadhel

Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Décrire l'analyse vidéo,
- Expliquer l'analyse optoélectronique,
- Concevoir un lissage des données,
- Comprendre l'objectif de l'accéléromètre,
- Illustrer l'intérêt de la plaque de force,
- Justifier le rôle de l'électromyogramme,
- Décrire l'utilité du dynamomètre isocinétique.

1. Analyse vidéo

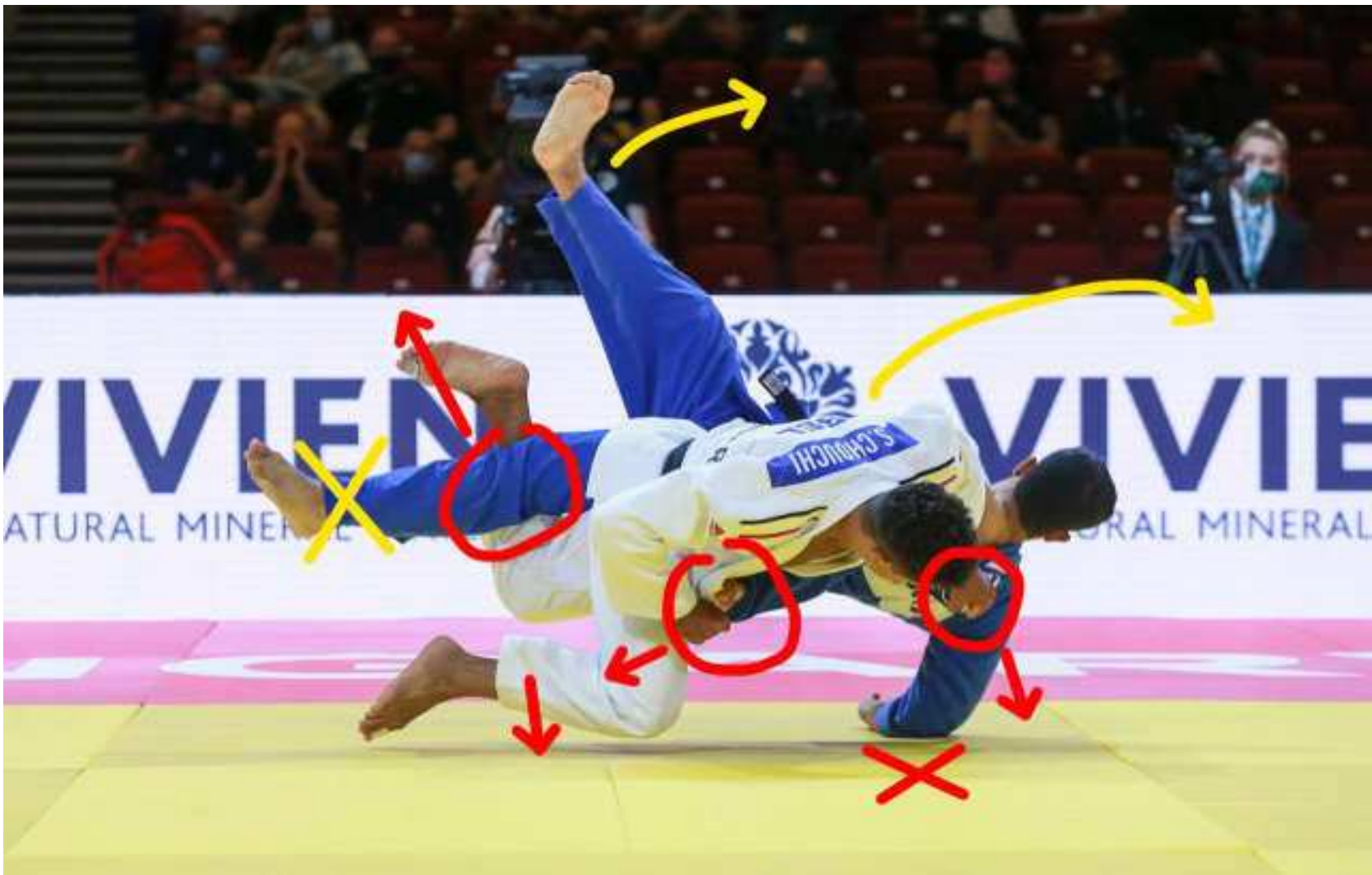
- L'analyse vidéo peut être qualitative et/ou quantitative, selon l'objectif de l'étude.
- **L'analyse qualitative** consiste en l'observation de l'enregistrement vidéo pour déterminer quel geste technique peut être amélioré (prévention du risque de blessure ou amélioration des performances). C'est une analyse subjective qui ne nécessite pas un positionnement particulier de la caméra ou un équipement complexe.

- **L'analyse quantitative** consiste à déterminer les variables cinématiques du mouvement à partir de l'enregistrement vidéo : position, vitesses et accélérations linéaires des extrémités des segments du corps et positions, vitesses et accélérations angulaires des segments du corps.
- Ces informations seront étudiées pour améliorer un geste technique pour prévenir le risque de blessure ou améliorer les performances.

- Ces deux types d'analyse sont souvent combinées. De nombreux programmes informatiques permettent d'afficher plusieurs vidéos sur le même écran pour pouvoir les comparer et avoir une vision globale du mouvement.
- Les variables issues de l'analyse quantitative peuvent être utilisées pour le calcul de la position du centre de gravité du corps, l'énergie et le travail des segments du corps, les forces et les moments de force s'exerçant sur les articulations.

- Les formats vidéo et les réglages de caméra sont les mêmes en analyse 2D qu'en analyse 3D.
- En analyse 2D, une seule caméra suffit pour enregistrer le mouvement, à condition que le plan de mouvement coïncide avec le plan caméra (c'est-à-dire le plan à 90° de l'axe optique de la caméra).
- En analyse 3D, deux caméras ou plus permettent d'enregistrer un mouvement se produisant dans plusieurs plans.

- La numérisation consiste à déterminer les coordonnées verticales et horizontales des repères anatomiques présents sur les images de l'enregistrement vidéo.
- On utilise généralement une résolution de 768*576 mais une résolution plus élevée permet d'améliorer la précision des coordonnées.
- La numérisation du repère d'échelle donne un facteur d'échelle qui permet de rétablir l'image à sa taille réelle.



2. Analyse optoélectronique du mouvement

- La numérisation manuelle est un processus long et complexe. L'analyse optoélectronique du mouvement est un processus automatisé qui rend plus simple et plus rapide le recueil des données.
- Cette analyse utilise plusieurs caméras projetant des infrarouges sur des sphères réfléchissantes (appelées cibles). La lumière réfléchie est enregistrée par les caméras et convertie électroniquement pour donner les coordonnées spatiales des cibles.

- L'analyse optoélectronique est automatisée. Elle est plus rapide que les méthodes d'analyse traditionnelle. Il est possible d'obtenir des coordonnées 3D en utilisant un nombre suffisant de caméras.
- Le principal avantage de cette analyse est la simplicité du recueil de données.
- Ses principaux inconvénients sont les coûts élevés des caméras et des programmes informatiques nécessaires à l'analyse.

- Les caméras utilisées sont des caméras vidéo comportant des diodes émettrices d'infrarouges autour de leur objectif. La lumière infrarouge n'est pas perceptible par l'œil humain et ne gêne donc pas le sujet.
- Le flash des diodes est réfléchi par les cibles et enregistré par les caméras. L'image enregistrée est ensuite transmise sur ordinateur sous forme de données numériques.
- La fréquence d'échantillonnage des caméras est généralement de 240 Hz. Certains systèmes utilisent des fréquences de 1000 Hz.

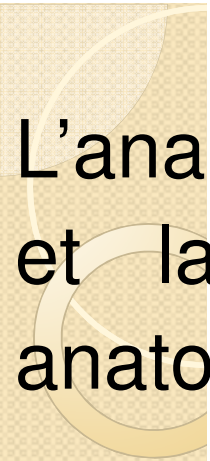
- Les cibles sont généralement des boules de polystyrène recouvertes d'un film réfléchissant. Le diamètre des cibles dépend de l'analyse mais elles doivent représenter environ $1/200^e$ du champ des caméras.
- Pour un champ large de 3m (3000 mm), le diamètre des cibles doit être d'environ 15 mm. Le diamètre des cibles disponibles varie entre 3 et 30 mm.
- Le nombre de cibles dépend de l'application. L'analyse du mouvement du corps requiert généralement 16 cibles.

- Ces 16 cibles fournissent un modèle biomécanique composé de 12 segments: deux pieds, deux jambes, deux cuisses, deux bras (de l'épaule au coude), deux avant-bras, deux mains, le tronc et la tête.
- Les cibles sont censées représenter les articulations mais elles sont placées à la surface de la peau (et non au centre des articulations).
- Le programme informatique d'analyse devra prendre en compte et corriger cette approximation.



3. Lissage des données

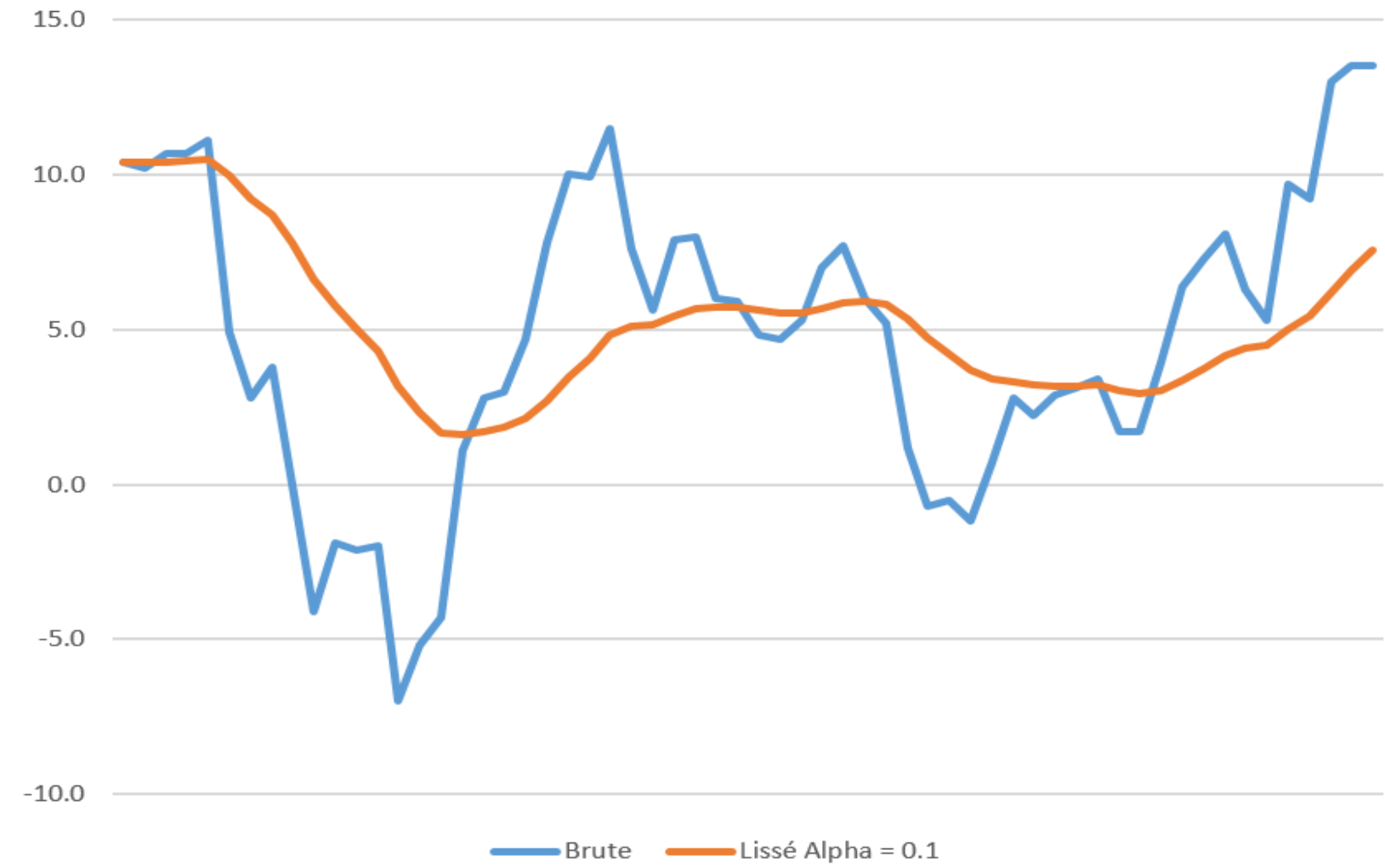
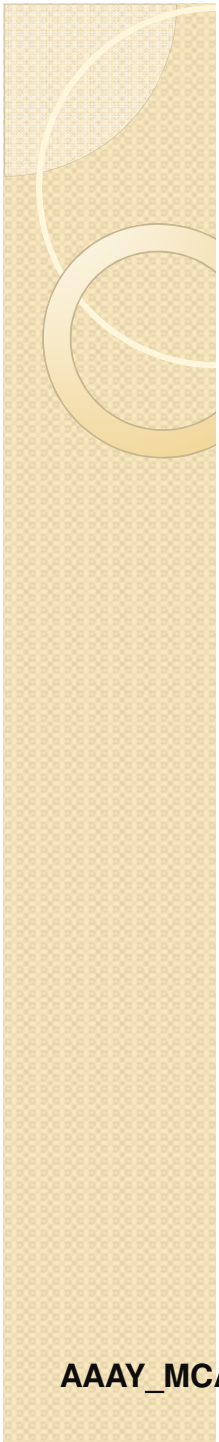
- Le lissage des données permet de réduire les erreurs survenant au cours du recueil de données. Ces erreurs prennent une importance particulière lors des opérations de dérivation au premier ou au second degré (calcul de la vitesse ou de l'accélération par exemple).
- Les programmes informatiques utilisent divers algorithmes de lissage de données. Un des plus courants étant l'algorithme de Hanning.



L'analyse du mouvement nécessite l'enregistrement et la numérisation des positions des repères anatomiques (généralement les articulations).

Cette numérisation peut engendrer trois types d'erreurs:

- 1) Erreurs d'image (raccourcissement, grossissement et obliquité);
- 2) Erreurs de numérisation (localisation et de résolution);
- 3) Erreurs de minutage.



4. Accéléromètres

- Les accéléromètres sont des appareils permettant de mesurer directement l'accélération d'un corps.
- Les accéléromètres les plus utilisés en biomécanique sont de type capacitif ou piézoélectrique. Ces derniers sont plus chers que les capacitifs.
- La plupart des accéléromètres emploient le principe masse-ressort mais ils diffèrent par la façon dont est détecté le déplacement de la masse.

- L'accélération n'est mesurée que dans la direction de l'allongement du ressort. Cela signifie que l'accéléromètre ne peut mesurer l'accélération que dans une seule dimension.
- Il faut trois accéléromètres perpendiculaires entre eux pour connaître l'accélération d'un corps dans les trois directions. Certains appareils permettent de mesurer directement l'accélération en 3D.
- On peut comparer les accélérations en différents endroits du corps pour mettre en évidence les capacités d'absorption de choc du corps humain.



5. Plaque de force

- La plaque de force mesure la force de réaction du sol (FRS), laquelle selon la troisième loi de Newton est égale et opposée à la force d'action s'exerçant sur la plaque.
- La composante verticale de la FRS est F_z et les deux composantes horizontales F_y et F_x .
- En biomécanique, les capteurs des plaques de force sont le plus souvent piézoélectriques ou à jauge de contrainte, et offrent une bonne linéarité, une faible hystérésis et une bonne séparation des signaux selon les axes.

- La plaque de force permet d'identifier les pics de force, leur fréquence et les impulsions, ainsi que d'autres variables.
- Le centre de pression est le point d'application de la FRS résultante dans un plan parallèle à la surface de la plaque. Les coordonnées (A_x et A_y) du centre de pression sont exprimés par rapport au centre géométrique de la plaque.
- Le moment M_z' est le moment de force qui s'exerce autour d'un axe vertical passant par le centre de pression.



6. Électromyographie

- L'électromyogramme (EMG) est l'enregistrement des potentiels électriques émis par les fibres musculaires avant leur contraction.
- L'électromyographie de surface employée en biomécanique du sport enregistre les potentiels de fibres musculaires appartenant à différentes unités motrices.
- L'EMG est enregistré à l'aide d'une paire d'électrodes reliées à un amplificateur différentiel.

- L'amplificateur est relié directement à un PC pour enregistrer les EMG (système câblé). Les signaux amplifiés peuvent également être transmis sous forme d'ondes radios à un récepteur relié au PC (système télémétrique) ou stockés sur une carte mémoire avant d'être enregistrées sur PC (système de stockage des données).
- Divers calculs sont nécessaires pour analyser l'activité musculaire au cours du temps à partir de l'EMG brut: la Valeur Moyenne corrigée (VMC), la Moyenne Quadratique (MQ), et l'Enveloppe Linéaire.



7. Dynamométrie isocinétique

- C'est un appareil capable de mesurer la force des muscles agonistes et antagonistes des articulations et de les faire travailler. Il peut être utilisé sur presque toutes les articulations du corps humain.
- Le dynamomètre isocinétique assure une vitesse angulaire constante présélectionnée au mouvement. Le membre utilisé déplace le levier du dynamomètre à cette vitesse angulaire. La résistance du dynamomètre s'adapte tout au long du mouvement pour rester égale et opposée à la force exercée sur le levier.

- Il existe divers types de dynamomètres isocinétiques; la plupart servent d'appareils de rééducation dans les hôpitaux ou les centres spécialisés.
- Ces appareils permettent d'évaluer l'efficacité des exercices de rééducation prescrits après une blessure ou une chirurgie articulaire.
- Les dynamomètres isocinétiques modernes peuvent être réglés sur diverses vitesses et disposent de plusieurs modes de mesure: isocinétique, isométrique ou isotonique.

- Les dynamomètres sont utilisés en sport pour la musculation ou en médecine pour évaluer le déficit musculaire faisant suite à une blessure ou à une chirurgie d'un membre ou une articulation.
- Les différents réglages (modes et vitesses angulaires) permettent de réaliser une large gamme d'exercices et de mesures.

