

COURS GENERAUX

« Moniteur sportif éducateur »

THEMATIQUE 3

**Facteurs déterminants de l'activité
et de la performance**

MODULE 3

**Introduction à l'analyse du
mouvement et du geste sportif**

Cours généraux de la formation « Moniteur Sportif Educateur »

Thématique 3 : Facteurs déterminants de l'activité et de la performance

Module 3 : Introduction à l'analyse du mouvement et du geste sportif

CORDONNIER Caroline, Département des Sciences de la Motricité, Université de Liège
ccordonnier@ulg.ac.be

CROISIER Jean-Louis, Département des Sciences de la Motricité, Université de Liège
jlcroisier@ulg.ac.be

SCHWARTZ Cédric, Département des Sciences de la Motricité, Université de Liège
cedric.schwartz@ulg.ac.be

Fédération Wallonie-Bruxelles, Administration Générale d'Aide à la Jeunesse, de la Santé et du Sport,
Direction Générale du Sport (Adeps), Service « Etudes et développements de projets ».
adeps.formationdecadres@cfwb.be

⇒ **RESUME :**

L'intérêt des moniteurs sportifs pour l'analyse du mouvement, pour l'analyse des gestes techniques est un fait avéré. Cet intérêt est d'autant plus important pour les disciplines sportives à forte connotation technique. La nécessité d'enseigner, d'apprendre, d'entraîner, ... des mouvements corrects, des gestes justes revêt une importance capitale pour une meilleure efficacité de l'entraînement, de la performance sportive, mais aussi pour la prévention des blessures. A ce sujet, ce module de formation trouvera un prolongement dans le module CG2_Th4_Mod2_ *Prévention des blessures du geste sportif*.

Le contenu de formation dont question dans ce module-ci permet d'aborder les premières notions de base d'analyse du geste sportif.

Au terme de ce module, le candidat moniteur sportif éducateur devra donc appréhender et connaître entre autres, les différents plans de l'espace, les repères anatomiques de base, les mouvements permis par les différentes articulations, les types de contractions musculaires et les facteurs limitant le mouvement.

Ce module devra être approfondi dans le cadre des cours spécifiques de chaque discipline sportive, notamment par l'analyse précise de/des technique(s) de la discipline en question, mais aussi par des exercices pratiques d'intégration de ces éléments dans les interventions du moniteur sportif sur le terrain.

⇒ **METHODOLOGIE :**

- Exposé magistral
- Séance « questions-réponses »

⇒ **SUPPORTS DE COURS :**

- Syllabus
- Foire aux questions (FAQ)
- Présentation assistée par ordinateur (PAO)

⇒ **MODALITES D'EVALUATION :**

- Questionnaire à choix multiple (QCM)

⇒ **CHARGE THEORIQUE DE TRAVAIL POUR LE CANDIDAT :**

- En présentiel :
 - 3 heures de cours magistral
 - 30 minutes d'évaluation
- En non présentiel :
 - 6 heures d'étude indépendante et personnelle en guise de préparation à l'évaluation

Ce module de formation apportera des réponses aux questions suivantes :

- ✓ **Quels repères peut-on utiliser pour décrire un mouvement dans l'espace ?** (p 4)
- ✓ **Quels mouvements peuvent réaliser les articulations ?** (p 6)
- ✓ **Quels sont les repères anatomiques de base ?** (p 9)
- ✓ **Quelles sont les caractéristiques des différentes vertèbres ? Cela a-t-il une influence sur la mobilité du rachis ?** (p 10)
- ✓ **Quelles sont les différentes modalités de contraction musculaire ?** (p 11)
- ✓ **Dans la relation tension-longueur, quelles sont les différences entre une contraction concentrique et une contraction excentrique ?** (p 11)
- ✓ **Dans la relation force-vitesse, quelles sont les différences entre une contraction isométrique, concentrique et excentrique ?** (p 12)
- ✓ **Quel est l'intérêt de distinguer muscle mono et poly-articulaires ?** (p 12)
- ✓ **Qu'est-ce qu'un muscle mono-articulaire et poly-articulaire ?** (p 12)
- ✓ **Qu'est-ce qu'une chaîne musculaire ?** (p 15)
- ✓ **Quels sont les facteurs limitants du mouvement ?** (p 16)
- ✓ **Quelle est l'importance de la fixation du bassin dans le geste athlétique ?** (p 19)

Méthodologie d'analyse par des exemples : la course

- ✓ **Quelles sont les différentes phases du cycle de la course ?** (p 20)
- ✓ **Quel est le rôle du pied à la course ?** (p 21)
- ✓ **Quels sont les différents types d'appuis lors de la course ?** (p 22)
- ✓ **De quels moyens dispose-t-on pour réduire les forces d'impact ?** (p 23)

Méthodologie d'analyse par des exemples : le lancer

- ✓ **Quelles sont les phases qui caractérisent le lancer ?** (p 24)

✓ **Quels repères peut-on utiliser pour décrire un mouvement dans l'espace ?**

Afin de décrire la position ou le mouvement du corps humain, une nomenclature (Fig. 1) a été mise en place en médecine. La même nomenclature est utilisée en biomécanique. Elle est particulièrement utile pour nous orienter dans l'espace lors de la description de mouvements. Nous en rappelons ici les principaux éléments.

Les 3 principaux plans de l'anatomie sont :

- **le plan sagittal** (ou médian) sépare les parties droite et gauche du corps - exemple de mouvement : course, saut en longueur,
- **le plan frontal** (ou coronal) sépare les parties avant et arrière du corps – exemple de mouvement : haltérophilie, balancement des épaules sur le côté lors d'une course à vélo,
- **le plan transversal** (ou axial) sépare les parties haute et basse du corps – exemple de mouvement : mouvement de rotation/torsion des épaules par rapport au bassin par exemple lors de l'armé du bras au handball ou lors du service au tennis.

Les 3 principaux axes anatomiques sont définis comme suit :

- **l'axe vertical** est longitudinal au corps – exemple de mouvement : axe autour duquel tourne un athlète lors d'un saut en patinage artistique,
- **l'axe transverse** est l'axe horizontal allant de la gauche à la droite – exemple de mouvement : axe autour duquel tourne un athlète lors d'un salto,
- **l'axe sagittal** est l'axe horizontal allant de l'arrière à l'avant – exemple de mouvement : axe autour duquel tourne un gymnaste lorsqu'il réalise une roue.

Les 3 principaux couples de direction sont :

- **les directions proximales** (proche de la racine du membre) **et distales** (proche de l'extrémité du membre) – exemple : pour l'humérus, l'extrémité proximale est l'épaule et celle distale est le coude,
- **les directions latérales** (vers l'extérieur) **et médiales** (vers le plan médian) - exemple : pour la cheville, on parle de malléole latérale (ou externe) et de malléole médiale (ou interne),
- **les directions antérieures** (vers l'avant) **et postérieures** (vers l'arrière) – pour la cuisse : la face antérieure se situe à l'avant est constituée du quadriceps alors que la face postérieure est située à l'arrière et est constituée des ischio-jambiers.

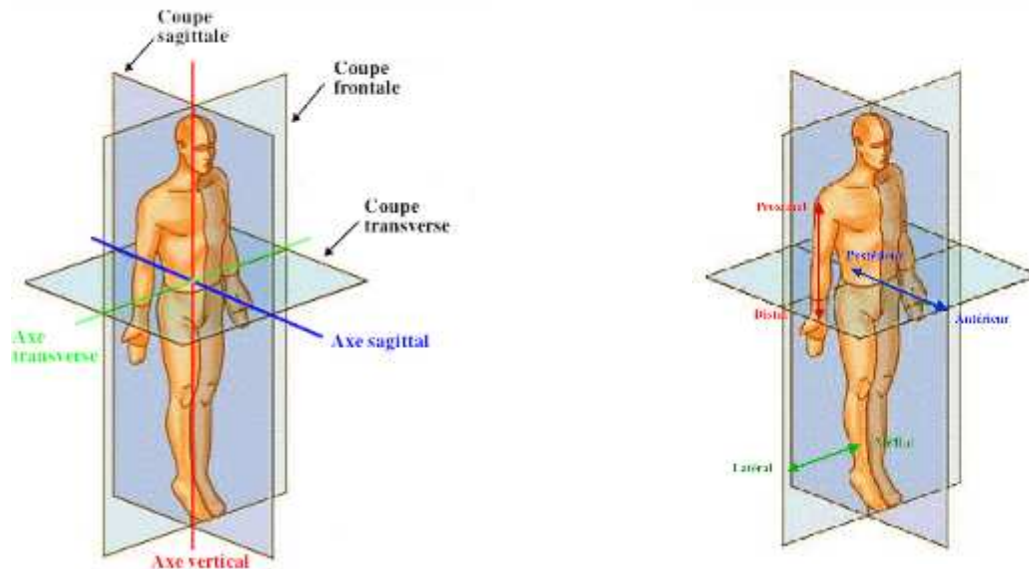


Figure 1- Axes, plans et directions en anatomie (adapté de [Wikipedia_axes, 2013]).

Dans certains sports, les mouvements sont réalisés préférentiellement dans un plan.

Par exemple :

- Lors de la course, les mouvements des bras et des jambes s'effectuent dans le plan sagittal. Au contraire d'autres sports comme le tennis où les gestes ont lieu dans l'ensemble des directions de l'espace.
- Le mouvement de rotation interne/externe de l'épaule qui est d'une grande importance pour la réalisation d'un service performant est la rotation autour de l'axe proximal/distal de l'humérus.
- La bascule des épaules lors du lancé de javelot peut être décrit comme une rotation autour de l'axe sagittal.

Cette nomenclature permet donc de décrire efficacement des mouvements complexes en les décomposant comme un ensemble de mouvements dans divers plans où directions. La communication autour de la réalisation d'un geste s'en trouve ainsi facilitée.

A retenir :

- Les plans, axes et directions anatomiques servent à la fois à décrire la direction des mouvements et à localiser la position des parties du corps.
- Certains mouvements se font majoritairement dans un seul plan (la course se fait dans le plan sagittal) alors que d'autres, plus complexe, se font dans plusieurs plans (lancer de javelot, service au tennis). Cela est lié aux mouvements que peuvent réaliser les articulations.

✓ **Quels mouvements peuvent réaliser les articulations ?**

Les articulations constituent les liaisons entre les segments osseux du corps humain. En tant que liaison l'articulation doit réaliser le compromis entre deux fonctions essentielles :

- **la mobilité**, c'est-à-dire le mouvement relatif des os les uns par rapport aux autres
- **la stabilité**, c'est-à-dire le maintien de la cohésion et de l'intégrité du squelette.

Les caractéristiques d'une articulation et en particulier les mouvements qu'elle peut réaliser dépendent de divers facteurs :

- **la forme des surfaces articulaires** : il s'agit de la forme des surfaces osseuses en vis-à-vis qui peuvent être recouvertes de cartilage et autres éléments d'adaptation (ménisque, ...). Les éléments cartilagineux, outre leur rôle facilitateur dans le glissement des surfaces et d'amortissement des pressions, augmentent parfois les surfaces de contacts et la stabilité de l'articulation. C'est le cas pour le genou avec les ménisques et pour l'épaule avec le labrum (cartilage fibreux entourant l'articulation scapulo-humérale).
- **les tissus mous enveloppants l'articulation** : les membranes, les ligaments, les tendons jouent un rôle de maintien en assurant la cohésion et la stabilité de l'articulation.

En biomécanique, **un degré de liberté**, indique la possibilité pour un corps de se déplacer librement selon une direction.

Un corps complètement libre a 6 degrés de liberté (6 transformations géométriques indépendantes) dont 3 rotations et 3 translations. Au niveau d'une articulation, le nombre de degré de liberté correspondent aux mouvements relatifs indépendants d'un os par rapport à un autre. Le nombre de degré de liberté d'une articulation est donc toujours inférieur à six.

Le tableau suivant (Tableau 1) reprend les principaux types d'articulations que l'on trouve dans le corps humain en fonction de leur nombre de degré de liberté en rotation et de la forme des surfaces articulaires.

La connaissance des possibilités de mouvement de chaque articulation est importante pour comprendre comment est réalisé un mouvement et comprendre les limitations qu'imposent l'anatomie du corps humain !

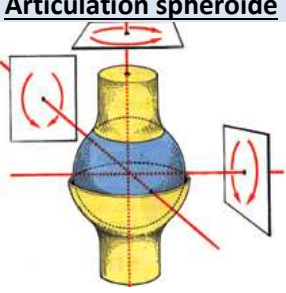
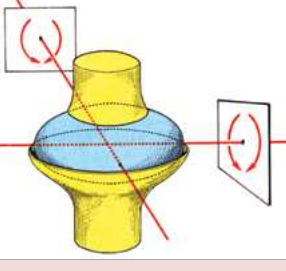
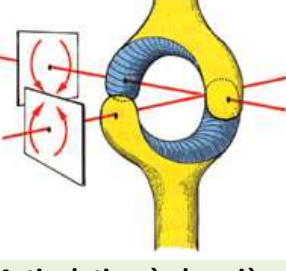
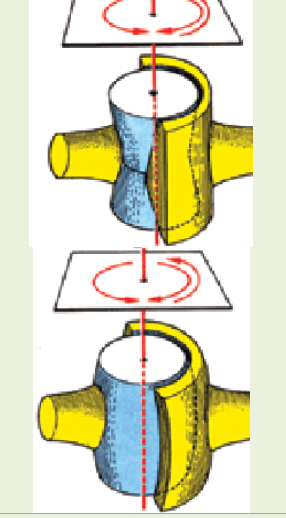
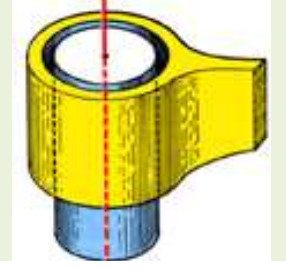
Les descriptions des articulations qui sont présentes dans le tableau 1 correspondent au modèles généraux des articulations c'est-à-dire à leurs principaux degrés de liberté (là où les amplitudes de mouvement sont les plus grandes).

Par exemple, le genou est ici représenté comme une articulation à un degré de liberté : la flexion-extension du genou. En réalité, lors de la flexion du genou, il se produit également une rotation axiale (rotation interne). De plus lors de la flexion du genou, il ne s'effectue pas un simple roulement des surfaces articulaires les unes sur les autres mais également un glissement, ou autrement dit une translation (translation postérieure).

A retenir :

- *Toutes les articulations n'autorisent pas les mêmes directions de mouvement et ont des limites qu'il convient de prendre en compte lors de la réalisation de gestes sportifs.*
- *Certaines articulations offrent plusieurs degrés de liberté (l'épaule) alors que d'autre n'en offre qu'un seul (le genou).*
- *La connaissance des possibilités de mouvement de chaque articulation est importante pour comprendre comment est réalisé un mouvement et comprendre les limitations qu'impose l'anatomie du corps humain !*

Tableau 1- Principaux types d'articulation (adapté de [Allaire, 2006]).

Liaison biomécanique	Liaison anatomique articulation synoviale	Formes de surfaces articulaires	Occurrence dans le corps humain	Nature des mouvements
3 degrés de liberté	Articulation sphéroïde 	2 segments de sphères : la tête (pleine) et la cavité (creux)	gléno-humérale (épaule), coxo-fémorale (hanche)	Flexion-extension Abduction-adduction Rotation axiale
	Articulation ellipsoïde 	2 segments d'ellipsoïdes : un condyle (plein) et un cotyle (creux)	radio-carpienne (poignet), metacarpo-phalangienne (doigts longs)	Flexion-extension Abduction-adduction
2 degrés de liberté	Articulation en selle 	2 pièces concaves dans un sens et convexes dans l'autre	Sterno-claviculaire (épaule), trapézo-métacarpienne (pouce)	
	Articulation à charnière 	1 trochlée (gorge et 2 versants) et 1 incisure trochléaire (crête et 2 facettes)	Huméro-ulnaire (coude) Fémoro-patellaire (genou)	Flexion-extension
1 degré de liberté	Articulation à pivot 	2 segments transversaux d'ellipsoïde : l'un plein l'autre creux	Temporaux-mandibulaire (mâchoire)	
		2 segments longitudinaux de cylindre : l'un plein l'autre creux	Radio-ulnaire (avant-bras)	Rotation axiale

✓ Quels sont les repères anatomiques de base ?

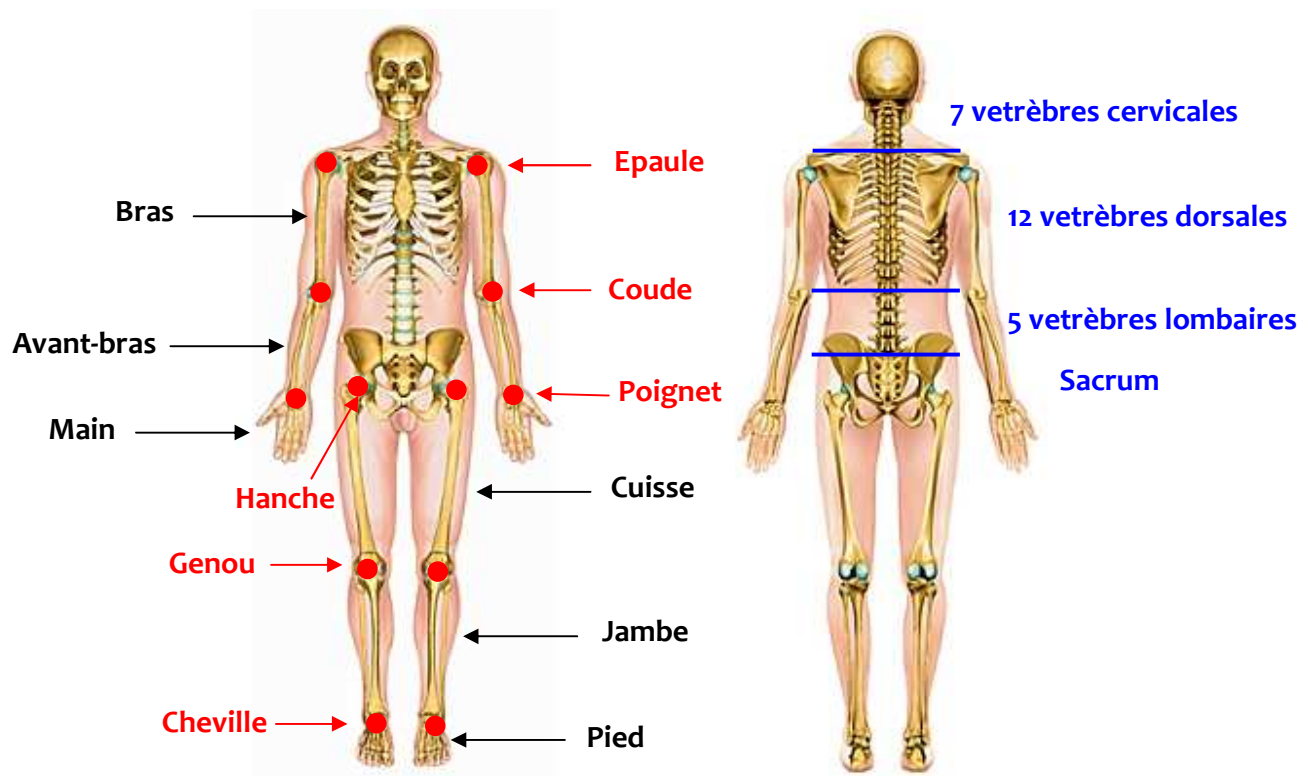
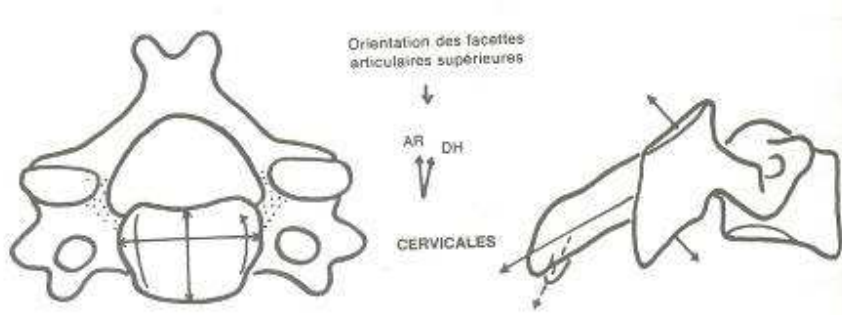
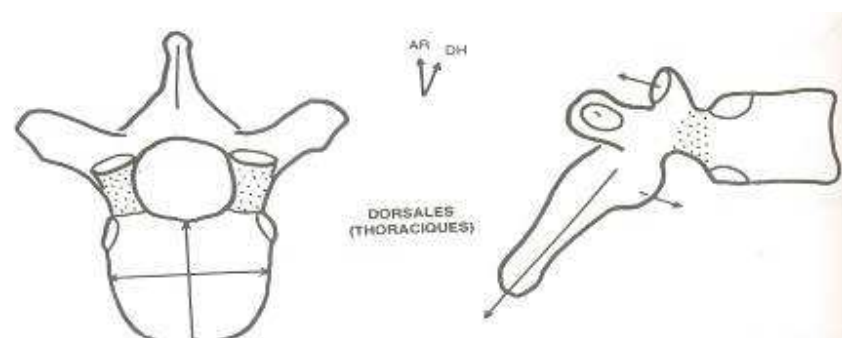
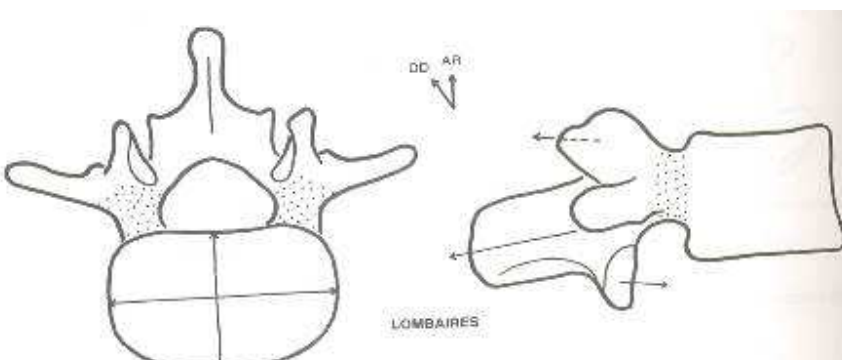


Figure 2- Repères anatomiques de base (adapté de [www.larousse.fr encyclopédie, squelette, 2013]).

- ✓ Quelles sont les caractéristiques des différentes vertèbres ? Cela a-t-il une influence sur la mobilité du rachis ?

Tableau 2- Caractéristiques des vertèbres cervicales, thoraciques et lombaires

Vertèbres cervicales	
	<p>Le rôle principal des vertèbres cervicales est d'assurer la mobilité de la tête dans tous les plans. Leur structure permet les mouvements de flexion-extension, rotation et inclinaison (rapprocher l'oreille de l'épaule).</p>
Vertèbres thoraciques	
	<p>Les vertèbres thoraciques autorisent les mouvements du tronc en rotation, flexion-extension et latéro-flexion mais la mobilité est moindre que pour la colonne cervicale. Les rotations sont limitées par la cage thoracique et l'extension par les apophyses épineuses</p>
Vertèbres lombaires	
	<p>Les vertèbres lombaires sont robustes et trappues. Elles doivent supporter le poids du corps. Ce sont celles qui permettent le moins de mobilité.. Les mouvements de rotation ne sont pas possibles au contraire de la flexion-extension et de la latéro-flexion.</p>

✓ **Quelles sont les différentes modalités de contraction musculaire ?**

Tableau 3- Modalités de contraction musculaires.

Isométrique	Contraction sans mouvement articulaire et sans variation de la longueur du muscle
Concentrique	Contraction musculaire avec mobilisation de l'articulation dans le sens d'un raccourcissement du muscle. Le muscle développe un rôle dynamique moteur. C'est le rôle des rotateurs internes d'épaule lors de la frappe de balle dans le service au volley-ball
Excentrique	Contraction musculaire qui associe le développement d'une tension musculaire et l'allongement de la structure myo-tendineuse. C'est un rôle freinateur protecteur qui caractérise certains groupes musculaires comme les rotateurs externes d'épaule lors de la frappe de balle dans le service au volley-ball.

✓ **Dans la relation tension-longueur, quelles sont les différences entre une contraction concentrique et une contraction excentrique?**

La contraction excentrique permet le développement d'une tension plus élevée que l'effort concentrique du même muscle. De plus, cette performance maximale apparaît en piste externe (rôle protecteur) contre intermédiaire pour la contraction concentrique (rôle moteur).

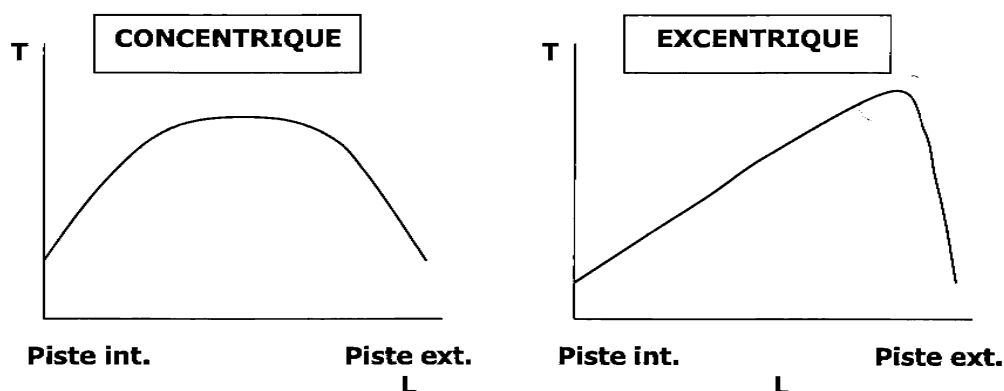


Figure 3- Relation tension-longueur pour les contractions concentriques et excentriques

- * Piste interne : position articulaire pour laquelle le muscle se trouve en position raccourcie
- * Piste externe : idem mais position d'allongement

- ✓ Dans la relation force-vitesse, quelles sont les différences entre une contraction isométrique, concentrique et excentrique?

La force développée en excentrique est supérieure à la force en isométrique elle-même supérieure à la force développée en concentrique. En concentrique, la force se réduit quand la vitesse augmente.

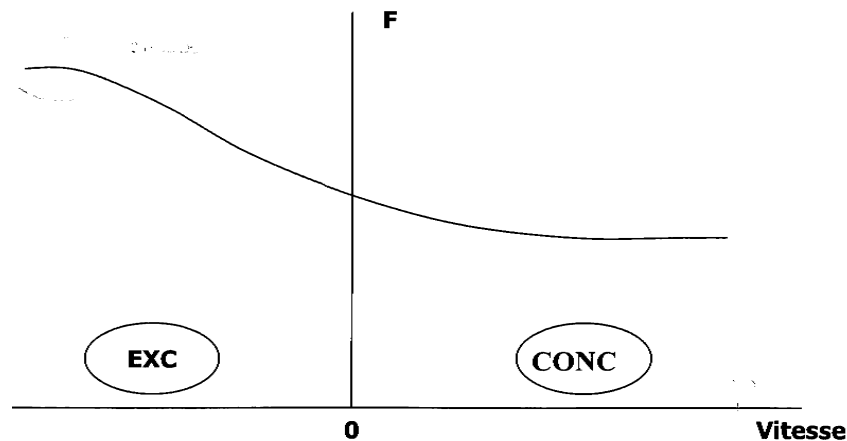


Figure 4- Relation force-vitesse pour les contractions isométriques, concentriques et excentriques

A retenir :

Il existe trois modes de contractions :

- La contraction excentrique permet le développement d'une tension plus élevée que l'effort concentrique du même muscle
- La contraction concentrique a un rôle dynamique moteur
- La contraction excentrique a un rôle freinateur protecteur

- ✓ Quel est l'intérêt de distinguer muscle mono et poly-articulaires ?

Les muscles mono-articulaires intéressent une seule articulation et ont une action unique sur cette dernière. Ils sont donc exclusivement adaptés aux mouvements de cette articulation. Parmi les plus connus, nous pouvons citer le vaste interne et le vaste externe du quadriceps qui participent à l'extension du genou.

Les muscles poly-articulaires mettent en relation deux articulations bien distinctes et successives. Lors de leur contraction, ils influencent ainsi le mouvement de ces deux articulations.

Pour bien comprendre leur action, nous allons nous baser sur les muscles ischio-jambiers qui sont poly-articulaires et du droit antérieur du quadriceps. Les ischio-jambiers sont fléchisseurs du genou et extenseurs de hanche tandis que le droit antérieur est fléchisseur de hanche et extenseur du genou.



Figure 5- Illustration du fonctionnement des muscles poly-articulaires dans le mouvement de shoot (adapté de [footballfreakymania.blogspot.be 2013]).

Cela implique que la position du genou et de la hanche vont avoir une influence sur l'état de tension de ces muscles. En effet, quand la hanche est en extension et le genou en flexion, les ischio-jambiers se trouvent en piste interne (raccourcis) et le droit antérieur en piste externe. A l'inverse, quand on a une flexion de hanche et une extension de genou, le droit antérieur est en piste interne et les ischio-jambiers sont en piste externe. Cela va avoir des répercussions sur les gestes sportifs.

Prenons l'exemple du shoot au football qui implique un mouvement au niveau de la hanche et du genou : en début de mouvement, le joueur réalise une extension de hanche et une flexion de genou. Les ischio-jambiers sont agonistes du mouvement et le droit antérieur le freine. Quand le joueur entame son mouvement de shoot, le droit antérieur devient agoniste et les ischio-jambiers antagonistes du mouvement. Les muscles antagonistes ont un rôle protecteur freinateur. Toutefois, il arrive que suite à une trop grande force développée par le quadriceps ou une faiblesse des ischio-jambiers, la capacité des ischio-jambiers soit dépassée. C'est la déchirure.

Parmi les muscles poly-articulaires les plus connus, nous pouvons citer pour le membre inférieur : le droit antérieur partie intégrante du quadriceps, les jumeaux internes et externes, les ischio-jambiers (semi-tendineux, semi-membraneux et biceps fémoral). Au niveau du membre supérieur, nous pouvons citer le biceps brachial.

A retenir :

- Les muscles mono-articulaires intéressent une seule articulation et ont une action unique sur cette dernière. Ils sont donc exclusivement adaptés aux mouvements de cette articulation.
- Les muscles poly-articulaires mettent en relation et agissent sur deux articulations bien distinctes. Lors de leur contraction, ils influencent ainsi le mouvement de ces deux articulations

✓ **Qu'est-ce qu'une chaîne musculaire ?**

Le terme de chaîne évoque l'idée de succession. La résistance de la chaîne est déterminée par le maillon le plus faible. Elle est composée de plusieurs muscles et articulations additionnant leur mobilité au cours du mouvement donné. Plus la chaîne articulée est longue, moins la participation de chaque maillon est importante.

Tableau 4- Différenciation chaîne musculaire en série et chaîne musculaire parallèle

Chaîne musculaire en série	Composée de muscles alignés en succession tout au long d'une chaîne articulée et située du même côté que les axes de mobilité. Cela permet une activation rapide et ample du point distal. Cela privilégie la vitesse et l'amplitude (l'accélération). L'action s'oriente généralement en une trajectoire curviligne, centrée sur un pivot proximal, généralement la scapulo-humérale ou la coxo-fémorale. Exemple : dans une frappe de ballon avec le pied, les muscles du membre inférieur de frappe travaillent en chaîne série (la vitesse d'impact permet une frappe efficace du ballon)
Chaîne musculaire parallèle	Les muscles s'associent en parallèle, se situant de part et d'autre des axes de mobilité des différents segments. Cela donne à chacun un bras de levier relativement constant qui s'additionne avec celui des autres muscles, privilégiant ainsi la puissance et l'exécution en force au détriment de la vitesse. La trajectoire s'oriente généralement vers une résultante rectiligne, chaque segment étant également sollicité sans compensation possible. Exemple : dans une frappe de ballon avec le pied, les muscles du membre inférieur d'appui travaillent en chaîne parallèle (la puissance est au service de la stabilité)

Tableau 5- Différenciation chaîne musculaire ouverte et fermée

Chaîne musculaire ouverte	Une chaîne est dite ouverte lorsque une de ses extrémités au moins est libre ou suffisamment peu résistante pour que le mouvement s'opère sans difficulté.
Chaîne musculaire fermée	Une chaîne est dite fermée lorsque ses deux extrémités sont fixées ou suffisamment résistantes pour que le mouvement s'opère entre celles-ci. C'est l'exemple de l'ATR en gymnastique

A retenir :

- Le terme de chaîne évoque l'idée de succession. Elle est composée de plusieurs articulations additionnant leur mobilité au cours du mouvement donné. La plus grande résistance est celle du maillon le plus faible.
- Une chaîne est dite ouverte lorsque l'une de ses extrémités au moins est libre ou suffisamment peu résistante pour que le mouvement s'opère sans difficulté.
- Une chaîne est dite fermée lorsque ses deux extrémités sont fixées ou suffisamment résistantes pour que le mouvement s'opère entre celles-ci.

✓ Quels sont les facteurs limitants du mouvement?

Facteurs physiologiques

Les facteurs limitant le mouvement interviennent dans un ordre bien structuré. La première limitation est d'ordre musculaire. La seconde implique le facteur capsulo-ligamentaire et la troisième concerne les butées osseuses.

▪ Rencontre des masses musculaires

L'exemple le plus parlant pour illustrer le facteur limitant « rencontre des masses musculaires » est celui du biceps brachial lors d'une flexion de l'avant-bras sur le bras. Il est aisé de concevoir qu'un body-builder avec un biceps hypertrophié aura une amplitude physiologique de flexion du coude diminuée par rapport à une personne qui présente une masse musculaire normale.

▪ Rôle protecteur freinateur

Le plus bel exemple pour illustrer ce rôle protecteur freinateur est celui des ischio-jambiers, muscles situés à la face postérieure de la cuisse, dans le mouvement de shoot. Ce mouvement (extension de la jambe sur la cuisse) fait intervenir le quadriceps (muscle agoniste) et les ischio-jambiers (muscles antagonistes). Les ischio-jambiers se contractent de manière excentrique pour freiner le segment jambier et éviter la lésion articulaire

Nous pouvons également prendre comme exemple le biceps brachial lors d'un saut de lune en gymnastique. En fin du mouvement d'extension, il va se contracter de manière excentrique pour freiner le mouvement et empêcher la luxation. Plus le mouvement est rapide, plus le recrutement augmente.

- Capsule articulaire

La capsule est un mécanisme de stabilisation passive au contraire des muscles qui sont un système de stabilisation actif. Au-delà de l'amplitude physiologique, cette structure freine. Ce sont donc les fibres opposées au mouvement qui sont mises sous tension. Si c'est trop violent, il y a lésion.

Les caractéristiques de cette capsule sont variables. Nous ne disposons pas tous des mêmes caractéristiques individuelles. Il existe des différences inter-sexuelles. En raison des hormones féminines, la capsule des femmes est souvent plus lax.

- Les ligaments

Les ligaments sont des structures péri-articulaires qui contribuent également au système de stabilisation passive. De par leur structure, ce sont eux les véritables facteurs limitants. Ils sont constitués majoritairement de collagène très peu extensible. Nous pouvons prendre comme exemple les ligaments croisés. Ils assurent la stabilité antéro-postérieure du genou. Ils se mettent en tension lors de l'extension et après les ischio-jambiers, ils empêchent le mouvement délétère d'hyper-extension lors d'un shoot. Lorsque le pied est fixé au niveau du sol et que le genou est amené en hyper extension, la capacité de résistance des ligaments croisés peut-être dépassée. C'est la rupture.



Figure 6- Illustration d'une rupture du ligament croisé (adapté de [orthopedie-royan.eu,2013]).

Ils ont aussi des affinités particulières avec certains groupes musculaires. Pour exemple, on peut citer le LCA et les ischio-jambier mais aussi le LLE de la cheville et les péroniers latéraux.

- les butées osseuses

C'est le dernier facteur limitant, le dernier arrêt du mouvement avant la fracture. Nous pouvons prendre comme exemple la fracture de la malléole interne lors du mouvement d'inversion forcée (entorse de cheville). Dans un premier temps, ce sont les péroniers latéraux qui vont freiner le mouvement.



Figure 7- Illustration du mouvement d'inversion forcée

Si l'énergie est trop importante, les ligaments latéraux externes prennent le relais et peuvent se déchirer et le mouvement d'inversion se poursuit. La butée osseuse de la malléole interne finit par arrêter le mouvement de l'astragale. Cela peut conduire à la fracture.

Facteurs pathologiques

- Insuffisance fonctionnelle du muscle agoniste au mouvement

Reprenons l'exemple de la flexion de hanche genou tendu. Si on demande une flexion active au sportif et qu'il atteint une valeur inférieure à celle obtenue en passif, il existe une insuffisance fonctionnelle du muscle agoniste au mouvement. Un travail en musculation sera nécessaire pour combler le déficit.

- Tension dans le muscle antagoniste au mouvement

Prenons l'exemple de la flexion de hanche genou tendu. Si en mobilisant passivement on observe un arrêt à 90° ou au-delà, l'extensibilité des ischio-jambiers est normale. Par contre, si l'arrêt s'effectue avant 90°, il existe une rétraction qui limite le mouvement et qui peut s'avérer potentiellement délétère sur le plan lésionnel.

- Atteinte traumatique et cicatrice

Lors d'un démarrage trop violent au tennis, il peut y avoir une déchirure au niveau du jumeau interne. L'hématome ou l'œdème peuvent laisser place à de la fibrose. On a une cicatrisation musculaire de faible qualité qui diminue la mobilité

- Inflammation

Elle conduit à la rétraction de certains tissus. C'est l'exemple de la capsulite rétractile. La plus fréquente se produit au niveau de l'épaule. La fibrose fait suite à l'inflammation

A retenir :

- *Les facteurs limitant le mouvement sont de deux ordres : physiologiques et pathologiques*
- *Concernant les limitations physiologiques, si ces dernières sont dépassées, cela conduit à la lésion de la structure concernée*

✓ **Quelle est l'importance de la fixation du bassin dans le geste athlétique?**

La fixation du bassin est un élément capital dans la transmission des forces lors de beaucoup de gestes athlétiques. L'objectif est la rentabilité maximale. Pour ce faire, on recherche l'étirement et l'alignement du corps à la fin de toute impulsion.

On peut donc assimiler l'attitude de l'athlète en fin d'impulsion à une chaîne tendue allant :

- Du pied vers l'épaule côté opposé pied d'appel (sauts) ;
- Du pied vers l'épaule opposée (lancers).

Méthodologie d'analyse par des exemples : la course

✓ Quelles sont les différentes phases du cycle de la course ?

La course comporte une phase d'appui ou support (pied en contact avec le sol) et une phase oscillante (pied en l'air) et se caractérise par des phases de simple appui séparant des phases d'envol au contraire de la marche qui comporte des périodes de **double appui**. La phase d'appui à la course représente environ 40% de la durée totale du cycle et la phase oscillante représente 60%.

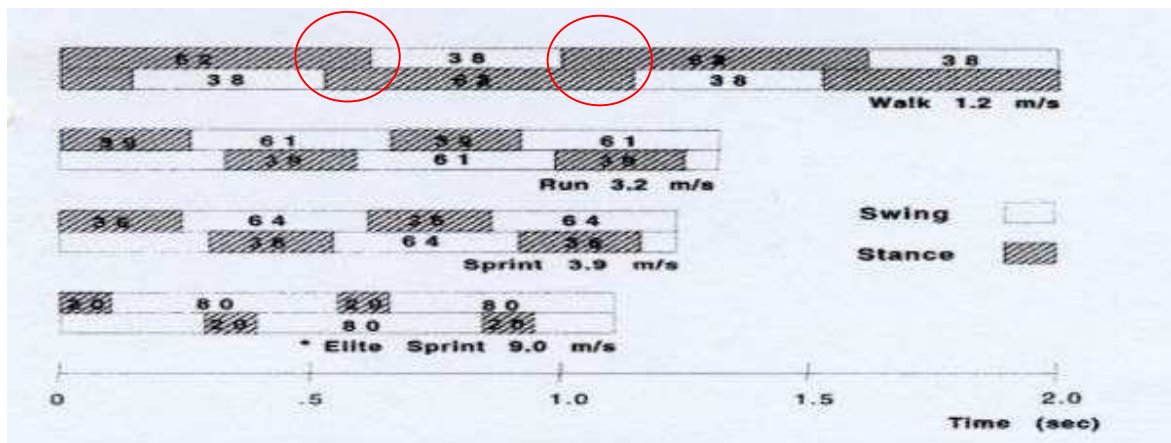


Figure 8- Représentation des phases d'appui et d'oscillation de deux foulées consécutives pour différentes vitesses de déplacement.

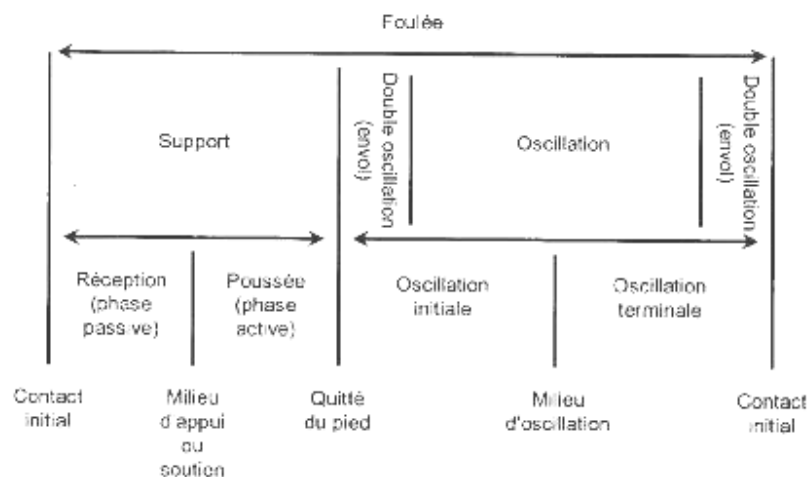


Fig 9- Les différentes séquences de la course.

La vitesse de course peut être augmentée soit en allongeant la foulée, soit en augmentant la fréquence d'appui. Le coureur qui souhaite augmenter sa vitesse de course va d'abord le faire en allongeant sa foulée car il existe une fréquence optimale pour laquelle le coût énergétique par unité de distance est minimal. Ce coût augmente de façon importante quand la fréquence augmente.

Le déplacement vertical du corps est plus important à la course qu'à la marche en raison des phases d'envol. La vitesse verticale à l'impact est plus importante car le corps tombe de plus haut. Les structures du pied sont ainsi plus rapidement mises en charge et subissent des contraintes plus importantes.

L'activité musculaire est maximale autour du moment de l'impact et plus particulièrement à l'impact que lors de la préparation de la phase d'envol. Quand la vitesse de course augmente, l'activité musculaire augmente aussi et contribue alors de manière importante à la phase oscillante. L'augmentation de l'amplitude des mouvements est due à un allongement de la période d'activité des muscles durant toutes les phases du cycle.

A retenir :

- La course comporte une phase d'appui ou support (pied en contact avec le sol) et une phase oscillante (pied en l'air) et se caractérise par des phases de simple appui séparant des phases d'envol.
- La vitesse de course peut être augmentée soit en allongeant la foulée, soit en augmentant la fréquence d'appui ou cadence.

✓ **Quel est le rôle du pied à la course?**

L'articulation du pied contribue à l'amortissement des impacts. Notamment car elle permet la réalisation des mouvements de pronation et supination. La pronation consiste à abaisser la voûte plantaire par une abduction, flexion dorsale, éversion. Elle s'accompagne d'une rotation interne du tibia. La supination consiste à élever la voûte plantaire par le biais d'une adduction, flexion plantaire, inversion. Elle s'accompagne d'une rotation externe du tibia. Lors de la course, l'articulation sous-talienne passe d'une supination de 10° à l'impact à une pronation de 10° en milieu d'appui.

Juste avant l'impact, le pied est en supination. C'est ainsi la partie latérale du pied qui entre en contact avec le sol en premier. Le pied passe en pronation juste après l'impact pour que l'ensemble du pied touche le sol. Il reste en pronation durant la phase du milieu d'appui puis repasse en supination pour prendre appui sur les orteils avant la phase d'envol.



Fig 10- Pose du pied neutre



Fig 11- Pose du pied en supination

Le pied perd sa fonction d'amortisseur si l'attaque se fait en pronation. Une pronation supérieure à 20° entraîne une rotation interne excessive du tibia et peut provoquer une douleur articulaire antérieure.

De nombreux facteurs influencent l'amplitude de la pronation/supination dans le cycle de course. Une surcharge pondérale tend à affaisser la voute plantaire et à provoquer une pronation plus importante.



Fig 12- Pose du pied en pronation

✓ **De quels moyens dispose t-on pour réduire les forces d'impact?**

Les chaussures de course modernes sont conçues pour amortir les chocs en allongeant la durée de l'impact. Cela permet de réduire la contrainte exercée sur le système musculo-squelettique.

Le revêtement du sol influence également l'importance des forces. Plus une surface est dure, plus les forces sont importantes. Les surfaces souples allongent la durée de contact et réduisent les forces d'impact. En revanche, la course sur surface souple consomme plus d'énergie. La cadence est plus faible et le coureur se fatigue plus rapidement.

Un mécanisme permet de réduire le coût énergétique total de la course. Il s'agit du stockage puis de l'utilisation de l'énergie potentielle élastique produite par la déformation des structures élastiques. Pendant la phase de freinage, la vitesse et la hauteur du centre de gravité diminue, l'énergie cinétique diminue et une partie de l'énergie est emmagasinée au niveau du tendon d'Achille sous forme d'énergie potentielle élastique. Durant la phase de propulsion, cette énergie est restituée pour augmenter la vitesse et la hauteur du centre de gravité. L'énergie élastique contribue au travail et permet d'économiser l'énergie métabolique consommée par la contraction musculaire.

✓ **Quels sont les différents types d'appuis lors de la course?**

Différents styles de course peuvent être définis en fonction de la portion du pied où se produit l'impact. On distingue les coureurs de l'arrière pied (atterrissage sur l'arrière pied) et les coureurs de l'avant pied. Environ 80% des coureurs atterrissent sur le talon. Les coureurs de l'avant pied et du moyen pied subissent une force d'impact moins importante car l'impact est amorti par la contraction des muscles du mollet.

A retenir :

- Les mouvements de l'articulation du pied contribuent à l'amortissement des impacts.
- Le pied perd sa fonction d'amortisseur si l'attaque se fait en pronation.
- Les chaussures de course modernes sont conçues pour amortir les chocs en allongeant la durée de l'impact et proposent des corrections en fonction du type d'attaque du sol du coureur.
- L'énergie élastique contribue au travail et permet d'économiser l'énergie métabolique consommée par la contraction musculaire.

Méthodologie d'analyse par des exemples : le lancer

✓ Quelles sont les phases qui caractérisent le lancer?

Les types de lancers diffèrent selon l'amplitude des mouvements et l'orientation des segments du corps. On peut ainsi distinguer les types de lancers suivants : bras tendu, bras cassé, à la cuillère, smash. Le lancer est un mouvement en chaîne ouverte. C'est-à-dire dont l'extrémité distale de la chaîne osseuse se déplace librement dans l'espace. Il comprend les phases suivantes : l'armer, l'accélération et l'accompagnement. La durée et l'amplitude du mouvement au cours de ces différentes phases varient en fonction du type de lancer.

Nous nous intéresserons à l'aspect général du mouvement sans s'intéresser aux spécificités de chaque type de lancer.

Les principales différences entre ces techniques résident dans l'orientation du tronc et le niveau d'abduction de l'épaule. Différents muscles seront impliqués en fonction des orientations des segments.

La phase d'armer commence au premier mouvement en arrière de la main et se finit quand on a une extension maximale de l'épaule. Elle positionne le corps de manière à augmenter l'amplitude de mouvement et à pré-étirer la musculature. La phase d'armé commence par une contraction concentrique de muscles agonistes au mouvement (extenseurs, abducteurs et rotateurs externes). Les muscles antagonistes à la face antérieure de l'épaule sont mis sous tension et se contractent de manière excentrique. Ce pré-étirement permettra de générer une force plus importante dans leur détente et produire une plus grande vitesse de mouvement.

Les différents mouvements sont les suivants :

- Tronc : flexion latérale vers la gauche, rotation vers la droite, extension
- Epaule : extension horizontale, abduction
- Coude : flexion
- Poignet : extension

La phase d'accélération permet l'augmentation de la vitesse du mouvement sous l'effet d'une accélération séquentielle du tronc et des articulations du bras en allant du proximal vers le distal. L'accélération comprend deux sous-phases : l'accélération précoce et l'accélération tardive.

La phase d'accélération précoce commence par l'extension maximale de l'épaule jusqu'à la rotation externe maximale d'épaule. La rotation du pelvis et du thorax accélère l'axe de l'épaule dans le plan horizontal et entraîne la rotation externe du bras fléchi en arrière. Les muscles pré-étirés durant la phase d'armé se détendent (contraction concentrique) et provoquent la flexion et la rotation du tronc. Les muscles antérieurs de l'épaule poursuivent leur contraction excentrique car le bras reste en arrière. Le triceps atteint son pic d'activité musculaire durant cette phase en isométrique car pas de mouvement du coude. Le coude doit rester à 90° de flexion pour conserver le moment d'inertie du bras et générer un moment angulaire important au niveau de l'épaule.

La phase d'accélération tardive commence de la rotation externe maximale d'épaule au lâché de l'objet. Le bras effectue une rotation interne autour de l'axe de l'épaule pendant que le coude est en extension. La vélocité angulaire du bras autour de l'épaule atteint son pic et le coude entre en extension. Cette extension ne fait pas intervenir le triceps car elle est due au transfert de la quantité de mouvement du tronc et du segment supérieur du bras vers le segment inférieur.

Les différents mouvements sont les suivants pour l'accélération précoce :

- Tronc : rotation vers la gauche, flexion
- Epaule : flexion horizontale, rotation externe
- Coude : pas de mouvement
- Poignet : pas de mouvement

Les différents mouvements sont les suivants pour l'accélération tardive :

- Tronc : rotation vers la gauche, flexion
- Epaule : rotation interne
- Coude : extension
- Poignet : flexion

La phase d'accompagnement correspond à la décélération du mouvement de lancer de manière contrôlée. Cette décélération est due à la contraction excentrique des muscles du bras. La contraction est d'autant plus forte que l'accompagnement est court.

La phase d'accompagnement est comprise entre le lâcher de l'objet et l'extension maximale de l'épaule vers l'avant.

Les mouvements sont ralentis par la contraction excentrique des muscles antagonistes au mouvement. Cette contraction est d'autant plus forte que l'arrêt est brutal, ce qui augmente le risque de lésions. Les différents mouvements sont les suivants:

- Tronc : rotation vers la gauche, flexion
- Epaule : adduction, extension, rotation interne
- Coude : flexion
- Poignet : flexion, pronation

A retenir :

- Le lancer est un mouvement en chaîne ouverte. Il comprend les phases suivantes : l'armer, l'accélération et l'accompagnement.
- La durée et l'amplitude du mouvement au cours des différentes phases varient en fonction du type de lancer.

Table des illustrations

FIGURES

- **Figure 1 :** Axes, plans et directions en anatomie (p 5)
- **Figure 2 :** Repères anatomiques de base (p 9)
- **Figure 3 :** Relation tension-longueur pour les contractions concentriques et excentriques (p 11)
- **Figure 4 :** Relation force-vitesse pour les contractions isométriques, concentriques et excentriques (p 12)
- **Figure 5 :** Illustration du fonctionnement des muscles poly-articulaires dans le mouvement de shoot (p 13)
- **Figure 6 :** Illustration d'une rupture du ligament croisé (p 17)
- **Figure 7 :** Illustration du mouvement d'inversion forcée (p 18)
- **Figure 8 :** Représentation des phases d'appui et d'oscillation de deux foulées consécutives pour différentes vitesses de déplacement (p 20)
- **Figure 9 :** Les différentes séquences de la course (p 20)
- **Figure 10 :** Pose du pied neutre (p 22)
- **Figure 11 :** Pose du pied en supination (p 22)
- **Figure 12 :** Pose du pied en pronation (p 22)

TABLEAUX

- **Tableau 1 :** Principaux types d'articulations (p 8)
- **Tableau 2 :** Caractéristiques des vertèbres cervicales, thoraciques et lombaires (p 10)
- **Tableau 3 :** Modalités de contractions musculaires (p 11)
- **Tableau 4 :** Différenciation chaîne musculaire en série et chaîne musculaire parallèle (p 15)
- **Tableau 5 :** Différenciation chaîne musculaire ouverte et fermée (p 15)

Références bibliographiques

- [Wikipedia_axes, 2013] : *Systèmes de référence en anatomie* (site visité en juin 2013)
https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_r%C3%A9f%C3%A9rence_en_anatomie
- [Allaire, 2006] : *Ajustement robuste de quadriques et coniques de types contraints appliqué à la morphométrie tridimensionnelle de structures osseuses*, Thèse de doctorat, Telecom Bretagne, 2006.
- [Larousse_encyclopédie, 2013] : repères anatomiques de base (site visité en juin 2013)
<http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/squelette/93584>
- <http://www.footballfrakymania.blogspot.be/2012/12/long-shot.html>
- <http://orthopedie-royan.eu/chirurgie-du-genou/chirurgie-ligamentaire/rupture-du-lca/>
- <http://santesportmag.wordpress.com/2011/09/29/l%E2%80%99autre-entorse-de-cheville/>
- <http://santesportmag.wordpress.com/2011/09/29/l%E2%80%99autre-entorse-de-cheville/>
- [Grimshaw, 2006] : *Biomécanique du sport et de l'exercice*, De Boeck collection Sciences et pratiques du sport.
- [Kapandji, 2002] : *Physiologie articulaire du membre supérieur*, Editions Maloine.
- [Kapandji, 2002] : *Physiologie articulaire du membre inférieur*, Editions Maloine.
- [Olivier, 2002] : *Schémas de travaux pratiques d'anatomie, le squelette axial*, Editions Vigot