

# ***COURS GÉNÉRAUX***

## ***« Moniteur Sportif Entraîneur »***

### **THÉMATIQUE 3**

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

### **MODULE 4**

**Optimisation des facteurs neuro-  
musculaires de l'activité et de la  
performance sportive**

## Cours généraux de la formation « Moniteur Sportif Entraîneur »

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

#### Module 4 : Optimisation des facteurs neuro-musculaires de l'activité et de la performance sportive

---

**CARPENTIER Alain**, Centre d'Aide à la performance Sportive (CAPS), ULB  
[acarpentier@ulb.ac.be](mailto:acarpentier@ulb.ac.be)

**DUCHATEAU Jacques**, Centre d'Aide à la Performance Sportive (CAPS), ULB  
[jduchat@ulb.ac.be](mailto:jduchat@ulb.ac.be)

**LAURENT Cédric**, Centre d'Aide à la Performance Sportive (CAPS), ULB  
[ced2082@hotmail.com](mailto:ced2082@hotmail.com)

**Fédération Wallonie-Bruxelles**, Administration Générale d'Aide à la Jeunesse, de la Santé et du Sport,  
Direction Générale du Sport (Adeps), Service « Formation de cadres ».  
[adeps.formationdecadres@cfwb.be](mailto:adeps.formationdecadres@cfwb.be)

---

#### ⇒ RESUME :

Ce module de formation est le prolongement du module *CG2\_Th3\_Mod2\_La machine humaine à l'effort*. Pour rappel, dans le cadre d'une formation dont l'objectif est de préparer de futurs moniteurs qui auront comme vocation l'entraînement de sportifs en vue de les faire performer, la compréhension de la « machine » dont l'individu va se servir pour pratiquer son sport est indispensable.

Au premier stade de formation (MS Initiateur), la « machine humaine » a été décrite de façon très générale.

Au deuxième stade de formation (MS Educateur), la « machine humaine » a été appréhendée lors de l'activité et de l'exercice physique.

Au regard des différents facteurs déterminants de la performance sportive (voir *CG2\_Th3\_Mod1\_Définition des facteurs de la performance sportive*), l'objectif de ce module du troisième stade de formation est d'appréhender plus en profondeur les facteurs neuro-musculaires en vue d'optimiser la performance.

L'analyse et l'étude du développement et de « l'entraînabilité » du système neuro-musculaire qui intervient à l'effort constituera le sujet central de cette unité de formation.

Au terme de cette unité de formation, le candidat « moniteur sportif entraîneur » devrait donc pouvoir comprendre et connaître en profondeur les fondamentaux du fonctionnement du système neuro-musculaire du corps humain à l'effort, et de là envisager les voies et moyens de le développer en vue d'optimiser la performance.

⇒ **METHODOLOGIE :**

- Exposé magistral
- Séance « questions-réponses »

⇒ **SUPPORTS DE COURS :**

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

⇒ **NORME D'ENCADREMENT :**

- Exposé magistral en salle de classe ou auditoire
- 100 candidats par session de formation et chargés de cours

⇒ **MODALITES D'EVALUATION :**

- Evaluation de type sommative / certificative
- Forme : Questionnaire à choix multiple (QCM)
- Pondérations :
  - o La Thématique 3 « *Facteurs déterminants de l'activité et de la performance* » représente 40 % dans le cursus de formation des cours généraux du niveau MS Entraîneur ;
  - o Le Module 4 « *Optimisation des facteurs neuro-musculaires de l'activité et de la performance sportive* » représente 20 % de la thématique 3 ;

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

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

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Ce qu'il faut connaître pour comprendre la musculation</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Comment développer la force maximale?</b>	<b>8</b>
2.1	<i>Méthode isométrique</i>	8
	Définition	8
	Modalités de travail	9
	Adaptations	9
	Sports concernés	9
2.2	<i>Méthode dynamique</i>	9
2.2.1	Exercices aux haltères	11
	Définition	11
	Modalités de travail	11
	Principales modalités de travail	12
	Charge constante	12
	Paliers	13
	Pyramidal	13
	Doublés ou triplés	14
	Alternance de régimes de contraction	14
2.2.2	Exercices aux machines	15
2.2.2.1	Machine "classique"	15
	Définition	15
	Modalités de travail	15
2.2.2.2	Machine avec résistance "ajustée"	15
	Définition	15
	Modalités de travail	16
	Sports concernés	16
2.2.2.3	Machine isocinétique	16
	Définition	16
	Modalités de travail	17
	Sports concernés	17
2.2.3	L'entraînement aux machines est-il préférable à un entraînement avec haltères?	17
<hr/>		
CG334_ Optimisation des facteurs neuro-musculaires de l'activité et de la performance		3

2.2.4	Y a-t-il d'autres moyens pour augmenter la force maximale?	19
2.2.5	Quel est le rôle des exercices de stabilisation?	19
<b>3</b>	<b>Comment développer la force explosive?</b>	<b>20</b>
	Définition	20
3.1	<i>Méthode dynamique concentrique</i>	20
	Définition	20
	Modalités de travail	20
3.2	<i>Méthode par contraste de charges (méthode bulgare)</i>	22
	Définition	22
	Modalités de travail	22
3.2	<i>Méthode pliométrique</i>	23
	Définition	23
	Modalités de travail	24
	Conseils pratiques	24
	Sports concernés	25
<b>4</b>	<b>Comment développer la force endurance?</b>	<b>26</b>
	Définition	26
	Conception "classique" vs "actuelle"	26
	Modalités de travail	27
<b>5</b>	<b>Les adaptations neuromusculaires sont-elles spécifiques?</b>	<b>28</b>
5.1	<i>Quels sont les paramètres de spécificité?</i>	29
5.1.1	Le type de mouvement et la posture adoptée	29
5.1.2	Le type de contraction	29
5.1.3	La charge	29
5.1.4	La vitesse de mouvement	30
<b>6</b>	<b>Faut-il faire de la musculation chez le jeune ?</b>	<b>31</b>
6.1	<i>Comment la force évolue-t-elle pendant la croissance?</i>	31

6.2	<i>La musculation permet-elle d'augmenter la force pendant la croissance?</i>	33
6.3	<i>Y a-t-il des risques associés à l'entraînement de musculation?</i>	34
6.4	<i>Quelles sont les recommandations pour la pratique du renforcement musculaire chez le jeune</i>	35
7	<b>La musculation est-elle différente chez la femme ?</b>	36
8	<b>Références</b>	38

## Introduction

La réalisation d'une performance sportive ne peut se faire sans une préparation physique adéquate. Quel que soit le niveau de performance envisagé, l'objectif de cet entraînement est d'élever le niveau du sportif afin de faciliter la réalisation de la performance. Cet entraînement est multiforme et inclut la musculation générale et spécifique.

Au cours de ce module, nous envisagerons les différentes modalités de renforcement musculaire en fonction des différents déterminants de la performance qui ont été énoncés dans les modules abordés dans les cours généraux du niveau MS Initiateur et MS Educateur, mais aussi dans les autres modules de la thématique 3 " Facteurs déterminants de l'activité et de la performance" de ce niveau de formation. Ainsi, nous évoquerons successivement le développement de la force maximale, de la force explosive et de la force endurance ainsi que les paramètres conduisant à la spécificité des adaptations neuromusculaires. Pour terminer, nous discuterons brièvement de la musculation chez le jeune et la femme.

Comme déjà évoqué, ce module fait largement et très fréquemment référence aux sections des modules CG131\_ " Un support à l'activité physique : la « machine humaine » et CG232\_ " La "machine humaine" à l'effort" qui abordent des notions de physiologie musculaire.

### 1 Ce qu'il faut connaître pour comprendre la musculation

Comme expliqué dans une des sections du module "la machine humaine à l'effort" <sup>1</sup>, la force musculaire développée par un muscle est fonction du nombre d'unités motrices activées (recrutement), de la fréquence des impulsions nerveuses générées par le neurone moteur (codage en fréquence) ainsi que de la force que peut produire chacune des fibres qui constituent ces unités motrices. Le mécanisme de recrutement des unités motrices est limité, en tout cas pour les principaux muscles, à environ 80% de la force maximale, ce qui signifie que le recrutement des unités motrices est responsable de ~80% de la force maximale exprimée. Les 20% restant sont dus à l'activation répétitive ; c'est-à-dire à l'augmentation de la fréquence des impulsions nerveuses, principalement des dernières unités motrices

---

<sup>1</sup> Pour rappel, voir CG2\_TH3\_Mod2\_ " La "machine humaine" à l'effort"

recrutées (celles qui permettent de développer des forces importantes mais qui sont aussi les plus fatigables).

Un entraînement de la force maximale nécessite donc l'utilisation de charges qui mobilisent au moins 80% des capacités de force des athlètes afin de recruter l'ensemble des unités motrices du muscle. Néanmoins, l'utilisation de charges plus faibles (60 à 80% du maximum) permet également de développer la force maximale. Dans ce cas, toutes les unités motrices ne sont pas utilisées dès le départ mais au fur et à mesure des répétitions, un certain nombre d'unités motrices mises en jeu se fatiguent et des unités motrices supplémentaires sont recrutées progressivement (unités plus rapides et plus fatigables) afin d'achever les répétitions prévues. Lorsque l'athlète ne peut plus effectuer de répétition, l'ensemble des unités motrices seront mises en jeu.

Un paramètre qui module le niveau de force pour lequel une unité motrice est recrutée est la vitesse de contraction ou de mouvement. Lorsque l'athlète réalise ou a l'**intention** de produire une force rapidement, chaque unité motrice est recrutée à un niveau de force plus faible. Ainsi, il a été montré scientifiquement que pour une intention de vitesse maximale, toutes les unités motrices d'un muscle sont déjà recrutées pour un niveau de force (charge) valant 30-40% du maximum. En outre, c'est pour ce type de contraction que la fréquence maximale de pulsation des unités motrices est obtenue et dépasse largement celle atteinte lors de contractions maximales lentes (100 à 200 pulsations/sec vs. ~50 pulsations/sec). C'est cette capacité à faire pulser les unités motrices à une fréquence élevée qui est le déterminant majeur de la vitesse d'installation de la force (force explosive).

La compréhension physiologique de la gradation de la force et la rigidité de l'ordre de recrutement des unités motrices est donc capitale<sup>2</sup> pour l'organisation de la charge de travail en musculation.

Pour résumer, toutes les unités motrices d'un muscle peuvent être recrutées selon les modalités suivantes :

- des **charges maximales** ou **très proches du maximum** (80 à 100%). C'est la méthode des "efforts maximaux" utilisée dans certaines spécialités sportives et qui permet de développer la **force maximale**.

---

<sup>2</sup> Pour rappel, voir CG2\_TH3\_Mod2\_'' La "machine humaine" à l'effort''



- des **charges non maximales** (60 à 80%) que l'on peut répéter un nombre de fois plus important (8 à 15). C'est la méthode des "efforts répétés" qui permet de mobiliser l'ensemble des unités motrices d'un muscle par les répétitions. Elle contribue également au développement de la **force maximale** et est favorable au développement de l'**hypertrophie musculaire**.
- des **charges non maximales** (30 à 80%, voire plus) mobilisées à **vitesse maximale** qui permettent un recrutement total des unités motrices par l'abaissement de leur seuil de recrutement. C'est la méthode des "efforts explosifs" qui correspond dans la pratique au développement de la **force explosive (puissance)**.
- des **charges non maximales** (30 à 80%) dont les mouvements sont répétés jusqu'à épuisement permettent, en fonction de la charge utilisée et la vitesse d'exécution (voir ci-dessous) d'améliorer la capacité de résistance à la fatigue. Cette modalité de travail est liée à la notion de **force endurance**.

### **A retenir**

La conjugaison de la charge additionnelle, du nombre de répétitions et de la vitesse d'exécution génèrent des procédés de travail qui permettent le recrutement de l'ensemble des unités motrices des muscles sollicités. En fonction du niveau du sportif, le nombre de séries ainsi que la durée de récupération entre chacune d'elles, contribueront à optimiser les adaptations. Toutefois, les adaptations structurales et fonctionnelles de ces muscles seront différentes suivant les modalités d'exécution (voir ci-dessous).

## **2 Comment développer la force maximale?**

Différentes méthodes sont utilisées pour développer la force maximale.

### **2.1 Méthode isométrique**

#### **Définition**

Contraction réalisée contre un objet inamovible ou une charge impossible à mobiliser. Ce type de contraction n'engendre aucun mouvement et correspond à une contraction statique.

## Modalités de travail

- Intensité maximale ou légèrement sous maximale de façon à recruter l'ensemble des unités motrices
- Durée: 5 à 6 sec
- Nombre de répétitions: 3 à 8 par groupe musculaire
- Récupération: 1.30 à 2 min

## Adaptations

- Augmentation de la force pour des contractions statiques car il y a peu de transfert du gain en force vers des gestes dynamiques dû entre-autre à une absence de coordination intermusculaire (synergie).
- Adaptation spécifique en fonction de l'angulation d'entraînement. Cela nécessite de travailler à différentes angulations si le souhait est d'augmenter la force maximale isométrique sur toute l'amplitude de la plage angulaire. Par contre, si l'objectif est d'augmenter la force pour une plage angulaire précise (ex. positions de maintien en gymnastique), il convient de travailler à un angle précis.

*NB: cette méthode peut être utilisée chez des débutants dans la mesure où elle est sans danger.*

## Sports concernés

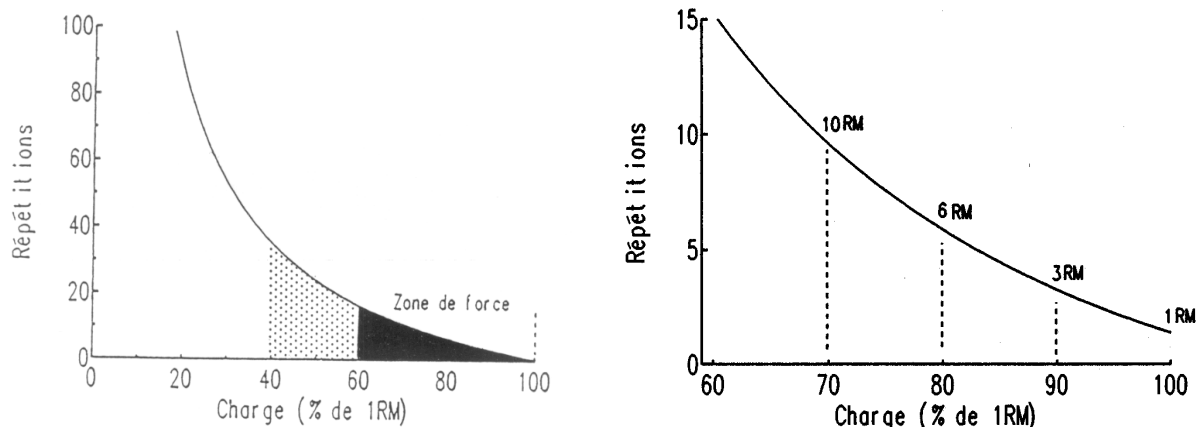
- Dans de nombreux sports, cette méthode n'est généralement utilisée que comme complément à la méthode dynamique ou pour le travail du "gainage".
- Elle peut-être spécifique pour des sports tels que la gymnastique (maintien de positions), escalade, planche à voile, position de recherche de vitesse en ski,...

### 2.2 Méthode dynamique

Le développement de la force maximale par la méthode dynamique nécessite de prendre en compte des paramètres complémentaires à la méthode isométrique comme *la charge, le nombre de répétitions, le régime de contraction ainsi que la diversité des modalités de travail.*

**Charge et nombre de répétitions :** la charge nécessaire pour obtenir un accroissement en force maximale est comprise entre 60 et 100% de la charge que l'on peut mobiliser une seule fois (1 RM). Comme l'illustre la **figure 1**, le nombre de répétitions que l'on est capable d'exécuter est fonction de la charge utilisée. Une charge valant 70 % de 1 RM permet en moyenne 10 à 12 répétitions tandis qu'une charge de 90% ne permet que 3 répétitions tout au plus.

*NB: pour certains exercices, le poids du corps peut représenter une surcharge suffisante.*



**Figure 1**

**Régime de contraction :** il existe deux modalités de contraction lors de mouvements (**Figure 2**) :

- concentrique: lorsqu'il y a raccourcissement du muscle
- excentrique: lorsqu'il y a allongement du muscle

Ces deux modalités de contraction sont combinées lors de mouvements répétitifs. Cependant comme la force maximale développée en contraction excentrique est supérieure à celle développée en concentrique<sup>3</sup>, la force exercée lors de la phase excentrique d'un mouvement est habituellement trop faible que pour produire des adaptations neuromusculaires conséquentes. C'est pour cela que certains athlètes utilisent des contractions excentriques isolées avec des charges de 120-130% de 1 RM quantifié pendant une contraction concentrique. Certaines machines permettent même de moduler la charge pendant les phases concentriques et excentriques du mouvement de façon à optimiser les adaptations.

<sup>3</sup> Pour rappel, voir CG232\_ "La "machine humaine" à l'effort"

La méthode excentrique nécessite néanmoins une évolution progressive et une très grande prudence étant donné les risques potentiels de blessure.

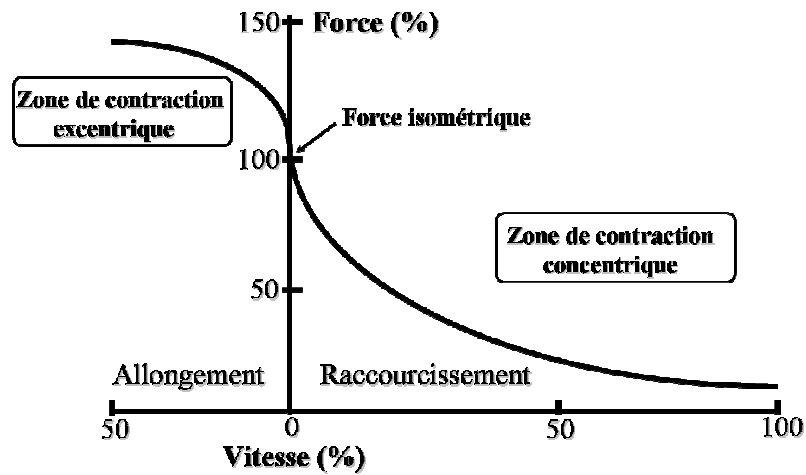


Figure 2

Type de résistance : les exercices d'entraînement peuvent être effectués soit avec haltères (charge libre), soit au moyen de machines (charge guidée). Dans certains cas, le poids du corps ou d'un segment ainsi que des bandes élastiques ou des ressorts peuvent également servir de résistance.

### 2.2.1 Exercices aux haltères

#### Définition

Exercice utilisant une charge constante tout au long du mouvement. Cela signifie que la tension musculaire varie pendant le mouvement et n'est maximale que dans la position articulaire la plus défavorable. Par exemple pour l'exercice de flexion du coude (travail des biceps) avec le tronc à la verticale, la force musculaire développée est la plus élevée lorsque la flexion est de  $90^\circ$ . Pour les angles inférieurs ou supérieurs, la force produite est moins élevée. Ceci oblige parfois l'entraîneur à faire varier la plage articulaire afin de produire les adaptations souhaitées : Ex. :  $\frac{1}{2}$  squat à la place du squat complet pour développer la force maximale d'extension des cuisses pour une angulation supérieure à  $90^\circ$ .

#### Modalités de travail

- Charge: 60 à 100% de 1 RM

- Nombre de répétitions: 1 à 15
- Nombre de séries: 3 à 6 et + (cf ci-dessous)
- Récupération: minimum 2 à 3 min entre chaque série

Ce temps de repos est nécessaire pour assurer la restauration des réserves en substrat énergétique (phosphocréatine) ainsi qu'une récupération nerveuse et de permettre ainsi la réalisation de la série suivante dans des conditions de fatigue minimale. D'une manière générale, des mouvements pluri-articulaires nécessitent plus de récupération que les exercices mono-articulaires.

NB: Le nombre de séries par exercice est donné à titre indicatif et dépend du niveau d'entraînement de l'athlète. Néanmoins, un total de 30 à 50 répétitions d'un même exercice par séance est habituellement nécessaire pour obtenir une adaptation substantielle. Dans les disciplines nécessitant une hypertrophie très importante (bodybuilding), 80 à 100 répétitions (8 à 10 x 10 répétitions à 70-80% de 1RM) sont même utilisées pour les principaux exercices du programme d'entraînement.

Lorsqu'on travaille en excentrique, l'athlète doit être capable de freiner suffisamment le mouvement pour obtenir une adaptation. Dans ces conditions, la charge utilisée peut atteindre 120-130% de 1 RM est mobilisée pendant 3 à 6 séries de 6 à 10 répétitions.

## Principales modalités de travail

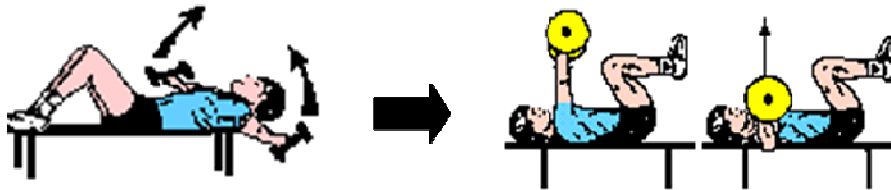
### Charge constante

Ex : 5 x 8 x 70% (5 séries de 8 répétitions à 70% de 1 RM)

Cette méthode consiste à répéter plusieurs séries utilisant une charge identique et un même nombre de répétitions. Elle est également la modalité d'exécution par excellence du débutant ou de la reprise du travail de musculation. Il s'agit en quelque sorte d'un travail de type bodybuilding ou de prise de volume qui permet une hypertrophie musculaire. Le désavantage de cette modalité de travail est les premières séries ne sont pas réalisées avec la même intensité que les dernières qui se font quant à elles sur un fond de fatigue.

Variantes : lanceurs et culturistes utilisent également des méthodes appelées "pré- ou post-fatigue". Il s'agit d'un travail alterné d'un exercice pluri-articulaire, précédé ou suivi d'un exercice mono-articulaire

(donc sélectif) d'un muscle important de l'ensemble des muscles concernés par l'exercice pluri-articulaire (ex. de pré-fatigue : faire un exercice de pectoraux avant d'effectuer un développé couché). Cette modalité de travail semble majorer l'effet d'hypertrophie (**Figure 3**).



**Figure 3** (les figurines sont issues du programme RHEA®)

### Paliers

Ex : 2 x 10 x 60% ; 2 x 7 x 70% ; 2 x 5 x 80%

Cette méthode consiste à augmenter progressivement la charge tout en diminuant le nombre de répétitions par série. Cette modalité de travail permet d'habituer la musculature à des charges d'entraînement de plus en plus élevées. Elle constitue une étape dans la progression du travail à charge constante vers le travail pyramidal.

NB: Cette méthode évite partiellement les problèmes posés par la méthode par séries.

### Pyramidal

Ex : 10 x 50% ; 8 x 60% ; 6 x 70% ; 4 x 80% ; 2 x 90% ; 4 x 80% ; 6 x 70% ; 8 x 60% ; 10 x 50%

Cette méthode doit son nom au fait que la charge augmente au cours des séries successives avant de diminuer ensuite progressivement, le nombre de répétitions par série évoluant de manière opposée à la charge. Cette modalité d'entraînement permet d'effectuer un gros volume d'entraînement tout en utilisant également des charges élevées propices au développement de la force maximale.

### Variantes:

- Uniquement phase ascendante (proche du travail par paliers) ou phase descendante
- Base large (seules les séries à charges moins élevées sont effectuées) ou base étroite (seules les séries à charges élevées sont effectuées)

**NB:** - les modalités de travail proposées précédemment (séries, paliers, pyramidal) sont également adaptables au travail de type excentrique. Les charges, répétitions et nombre de séries seront ajustés en conséquence. Le sportif débutera avec une charge inférieure à 100% et peu de répétitions pour augmenter ensuite progressivement la charge jusqu'à 120-130% de 1 RM ainsi que le nombre de séries.

- Le renforcement musculaire en excentrique est plus "traumatisant" (courbatures musculaires) surtout lorsqu'on débute ce type de travail et il est donc nécessaire de l'entreprendre avec prudence.

### Doublés ou triplés

Ex : 5 x 3 x 90% (triplés) ou 5 x 2 x 95% (doublés)

Cette méthode consiste à répéter plusieurs séries de 2 (doublés) ou 3 (triplés) répétitions et est principalement utilisée en haltérophilie ou à l'approche de la compétition dans les sports qui demandent une force maximale très importante (lancers).

### Alternance de régimes de contraction

Cette méthode, mise au point par un certain Pletnev, consiste à réaliser un exercice donné en alternant lors de chaque série, différents régimes de contraction musculaire (isométrique, concentrique, excentrique et même pliométrique) (cf **Figure 4**).

Cette méthode est un atout précieux pour la préparation physique des sports orientés vers des gestes nécessitant de fréquents changements de régimes de contraction musculaire (sports collectifs ou nécessitant des déplacements variés (tennis, badminton, gymnastique, ski alpin, ...)).

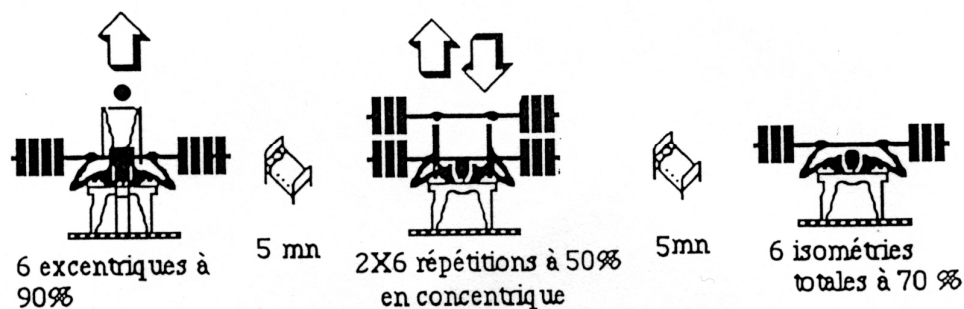


Figure 4 - D'après Cometti (1988)

## 2.2.2 Exercices aux machines

### 2.2.2.1 Machine "classique"

#### Définition

Les machines classiques permettent de mobiliser une charge par l'intermédiaire d'un bras de levier. Les haltères et les machines de musculation ont chacun leurs avantages et inconvénients (cf ci-dessous).

#### Modalités de travail

Les modalités de travail développées pour le travail aux haltères peuvent-être réalisées aux machines de musculation.

### 2.2.2.2 Machine avec résistance "ajustée"

#### Définition

Machine permettant de réaliser un effort contre une résistance dont l'intensité est constamment ajustée de manière à ce que le muscle développe une tension  $\pm$  constante tout au long du



mouvement. Cette méthode de travail nécessite un matériel particulier (poulie excentrée) qui augmente le bras de levier sur lequel la charge est fixée lorsque le muscle se trouve dans une situation biomécanique favorable et vice versa.

Présente l'avantage:

- par rapport aux contractions isométriques, de développer la force du muscle de façon proportionnelle sur toute l'étendue de la plage articulaire
- par rapport aux exercices à charge constante, d'éviter la diminution de tension musculaire dès que l'inertie de départ du mouvement a été vaincue.

### **Modalités de travail**

Identiques à la méthode avec haltères ou aux machines classiques

### **Sports concernés**

Ce type de travail peut être intéressant dans un contexte préventif (correction des déficiences sur une partie de l'amplitude musculaire) ou lorsque la spécialité sportive l'exige (ex.: aviron, kayak, ...).

#### **2.2.2.3 Machine isocinétique**

### **Définition**

Machine permettant de réaliser un effort contre une résistance qui se déplace à une vitesse constante. Cette modalité de mouvement nécessite des machines adaptées (type cybex, Ariel,...) qui ajustent constamment la résistance à la force développée par le sujet de manière à éviter toute accélération pendant le mouvement. Dans ce cas, la force développée par l'athlète est fonction de la vitesse du mouvement et non de la charge comme c'est le cas pour les exercices à charges constantes.

**NB:** - Comme pour les machines avec résistance ajustée, la tension musculaire est relativement proportionnelle à la force maximale durant tout le mouvement.

- Les progrès sont faciles à contrôler au moyen du dynamomètre incorporé à l'appareil. Ces machines sont intéressantes pour le testing musculaire<sup>4</sup>

### Modalités de travail

- La force produite par les groupes musculaires mis en jeu est fonction de la volonté du sujet à exercer une force maximale et de la vitesse du mouvement. Plus la vitesse programmée est lente, plus la force produite sera élevée.
- Les modalités de travail sont identiques à la méthode dynamique

### Sports concernés

Les sports concernés par ce type d'entraînement sont ceux pour lesquels la vitesse gestuelle lors des actions motrices est relativement constante tel que la natation, l'aviron, le kayak, ... Cette modalité est également intéressante lors de la rééducation des athlètes après blessure<sup>5</sup>. Elle permet notamment d'adapter la force produite en fonction des sensations douloureuses.

*NB : Les machines de type Cybex ne permettent la réalisation que de mouvements mono-articulaires (Ex.: flexion-extension du genou) dans les deux régimes de contractions (concentrique et excentrique). La machine type Ariel, en revanche, permet la réalisation d'un mouvement pluri-articulaire (ex.: squat, développé couché) mais uniquement en régime de contraction concentrique.*

#### 2.2.3 L'entraînement aux machines est-il préférable à un entraînement avec haltères?

Comme envisagé ci-dessus les exercices peuvent être réalisés soit avec haltères, soit aux machines. Quels sont les avantages et les inconvénients de ces deux conditions de travail?

---

<sup>4</sup> Pour rappel, voir CG221\_ " Introduction à l'évaluation des facteurs de performance"

<sup>5</sup> Voir aussi CG341\_ " Rôles de l'entraîneur dans les diagnostics, les traitements et le suivi de pathologies sportives"

## **Les haltères**

### **Avantages:**

- Les exercices sont souvent plus proches des mouvements exécutés dans la pratique réelle de la discipline surtout dans le cas de mouvements pluri-articulaires.
- L'éventail des possibilités de mouvements est plus large et varié.
- Certains exercices contribuent à améliorer l'équilibre et la proprioception en même temps que la force.
- Les exercices avec haltères sont plus adaptés pour développer les plus petits groupes musculaires.

### **Inconvénients:**

- S'entraîner seul peut présenter un danger si les exercices et les charges ne sont pas adaptés et notamment chez le débutant et le jeune sportif.
- Certains exercices exigent de grandes capacités techniques, si bien qu'un accompagnement ou un contrôle visuel (miroir) est impérativement nécessaire.

## **Les machines**

### **Avantages:**

- Les machines présentent moins de danger notamment pour le jeune et le débutant
- Il est plus facile d'utiliser les machines que les haltères et le temps d'apprentissage est donc plus court
- Cette forme d'entraînement est plus propice pour travailler un groupe musculaire de façon isolée

### **Inconvénients:**

- Il existe très peu d'appareils qui permettent de faire travailler les petits groupes musculaires de façon optimale
- Le mouvement est guidé par la machine et par conséquent les adaptations se font selon un plan et une action bien précise
- Les appareils de musculation qui permettent d'exécuter un mouvement correct d'un point de vue fonctionnel sont rares ou très chers !

#### 2.2.4 Y a-t-il d'autres moyens pour augmenter la force maximale?

Des bandes élastiques (sandows) ou des ressorts sont parfois utilisés afin de développer la force maximale. Si ces méthodes sont intéressantes chez le débutant et le jeune sportif ou dans le contexte de la réadaptation, dans la mesure où elles minimisent les risques de blessure, elles ne sont cependant pas adaptées à la majorité des disciplines sportives (voir notions de spécificité). Lors d'un exercice avec un élastique ou un ressort, la résistance offerte augmente progressivement et freine par conséquent le mouvement. Par contre, lors de mouvements en sport c'est l'inverse qui se produit puisque lorsque l'inertie de départ est vaincue, le mouvement s'accélère progressivement.

#### 2.2.5 Quel est le rôle des exercices de stabilisation?

Depuis quelques années, des exercices relativement spécifiques à la discipline sportive sont réalisés en situations instables (gros ballons, plateforme et mousse d'équilibre, ...). Ils impliquent soit le poids du corps, soit de petites résistances (haltères, bandes élastiques, ...) dont le but est de déstabiliser le sportif. Excepté chez le débutant, ces exercices ne permettent pas vraiment de développer la force maximale surtout lorsque les tensions musculaires produites restent relativement faibles. Au contraire, ces exercices, qui font appel à ce que l'on appelle familièrement la "**proprioception**", sont destinés à permettre au sportif d'utiliser une plus grande partie de son potentiel musculaire lors d'une action motrice donnée en augmentant la stabilité des appuis et le gainage du bassin et du tronc. Par exemple, un joueur de football qui n'est pas en appui stable sur son pied d'appui n'utilisera qu'une partie de son potentiel de force explosive lors d'un shoot. De même, une stabilisation (gainage) insuffisante du bassin et du tronc lors de la course ne permettra pas une transmission efficace des forces produites lors de l'impulsion dans la direction du déplacement. Dès lors, ces exercices ne doivent pas être considérés comme de la "musclature" en tant que telle mais davantage comme un moyen d'optimiser les actions musculaires dans la discipline sportive. Ils servent donc de transition entre le développement de la force (musclature) et l'entraînement technique proprement dit.

### **A retenir**

Le développement de la force maximale nécessite l'utilisation de charges ou de résistances  $\geq$  à 60% de 1RM. Différentes modalités de travail permettent une progression au cours du programme d'entraînement et d'obtenir des adaptations neuromusculaire en adéquation avec les besoins de la discipline sportive. Si le travail aux machines présente moins de risques que les exercices avec haltères, ces derniers permettent souvent une plus grande spécificité et par conséquent un meilleur transfert vers le geste de compétition. Dans ce contexte, les exercices de stabilisation jouent également un rôle important.

## **3 Comment développer la force explosive?**

### **Définition**

La force explosive est la capacité de l'athlète à pouvoir développer une force le plus rapidement possible. Elle est souvent associée à la notion de puissance. En fonction de la discipline sportive, elle s'exprime par la capacité à déplacer une charge variée (30 à 80% de 1 RM, voire maximale). Ainsi, un haltérophile doit être capable d'exprimer une force explosive contre une charge élevée (100% de 1RM), tandis le joueur de tennis doit développer une force explosive contre une charge relativement faible.

Différentes méthodes sont utilisées pour développer la force explosive.

### **3.1 Méthode dynamique concentrique**

#### **Définition**

L'athlète effectue un mouvement ou une série de mouvements avec l'intention d'une exécution la plus rapide possible.

#### **Modalités de travail**

- Charge: de 30 à 80-100% de 1RM en fonction de la discipline sportive

- Nombre de répétitions: 1 à 10 (+ si absence de diminution de vitesse)
- Nombre de séries: 3 à 8
- Récupération: minimum 2 à 3 min entre chaque série

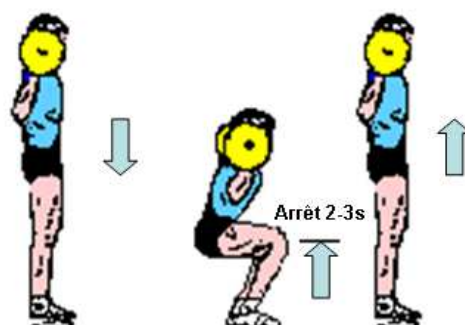
**NB:** - Le nombre de répétitions par série est relativement faible. Il dépend de la charge mobilisée et du type d'activité sportive (acyclique vs. cyclique) ainsi que de sa durée. Le nombre de répétitions et de séries est limité par la capacité de l'athlète à pouvoir conserver une vitesse gestuelle élevée sauf lorsque des charges lourdes sont utilisées. L'exercice devrait être interrompu dès qu'un ralentissement de la vitesse gestuelle est observé.

- Un temps de repos relativement long est nécessaire afin d'assurer non seulement la restauration des réserves en substrats énergétiques (phosphocréatine) mais aussi une récupération nerveuse. Celui-ci doit être suffisant pour permettre la réalisation de la série suivante dans des conditions d'explosivité maximale.

#### Variante

La méthode "**stato-dynamique**". Elle doit son nom au fait que le mouvement comprend une phase statique suivie d'une contraction dynamique concentrique.

Ex.: pour un exercice de squat: fléchir les jambes normalement avec une charge de 60-70% et s'arrêter pendant 2-3 sec à un angle donné de flexion (90° ou 120°). Terminer ensuite, de façon explosive, le mouvement par une extension des jambes (**Figure 5**).



**Figure 5** – (les figurines sont issues du programme RHEA®)

Le stato-dynamique est surtout utilisé pour des pratiques sportives nécessitant un effort explosif faisant suite à une position statique (ex.: départ en starting block en athlétisme ou en natation, plongeon en volley-ball, ...).

### 3.2 Méthode par contraste de charges (méthode bulgare)

#### Définition

Cette modalité de travail repose sur un principe de base de physiologie musculaire appelé potentiation de "post-activation". Cela signifie qu'après avoir réalisé un effort de courte durée et peu fatigant (<6 sec), le muscle est capable, pendant un court moment, de produire une contraction plus rapide. Cette capacité accrue de force explosive est optimale 1 à 2 min après une série effectuée à charge lourde. Cette méthode est utilisée dans le but d'améliorer le transfert de la force maximale vers la force explosive.

#### Modalités de travail

- Charge: alternance d'une série avec charge lourde (60–80%) et d'une série avec charge légère (poids du corps ou charge additionnelle valant 30–50%) exécutée à **vitesse maximale**. Un même exercice est utilisé pour les deux séries ou deux exercices faisant intervenir les mêmes groupes musculaires.
- Nombre de répétitions: 6 à 8 pour l'exercice de force; de 1 à 10 pour l'exercice explosif en fonction du caractère acyclique ou cyclique de la discipline sportive.
- Nombre de séries: 3 à 5 fois le "doublet" (exercice de force et exercice explosif)
- Récupération: 1 à 2 min entre les 2 exercices  
4 à 5 min entre chaque doublet

Ex. : 1/2 squats et bonds pieds joints au-dessus de haies (cf **Figure 6**)

NB: cette méthode induit une augmentation transitoire de la vitesse gestuelle et permet de réaliser l'exercice explosif dans des conditions de "survitesse".

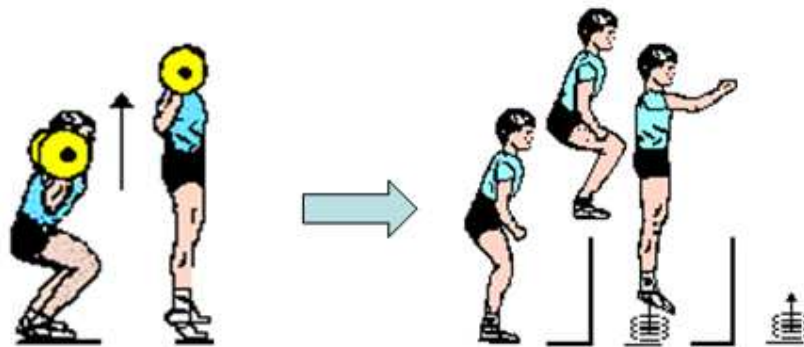


Figure 6 - (les figurines sont issues du programme RHEA®)

### 3.2 Méthode pliométrique

#### Définition

La "**pliométrie**" est une méthode d'entraînement qui se caractérise par une recherche systématique d'exercices provoquant un étirement rapide du muscle avant sa contraction dynamique ou cycle "étirement-raccourcissement". Elle contribue à améliorer le rapport entre la force maximale et la force explosive. En effet, certains athlètes, parfois dotés d'une force maximale importante, sont incapables de produire un pourcentage élevé de cette force dans des mouvements dynamiques. Les exercices "pliométriques" sont destinés à combler cette lacune. Le principe de ces exercices repose sur des notions de physiologie qui ont montré qu'un muscle préalablement étiré peut développer, pendant un court instant, une tension supérieure à celle obtenue lors d'une contraction isométrique maximale<sup>6</sup>. Cette situation de pré-étirement musculaire reflète exactement ce qui se passe lors de mouvements explosifs en sport où le poids du corps ou d'un segment produit une mise sous tension en chaîne des différents muscles. Même si la pliométrie est principalement utilisée pour développer la détente, elle est également utilisée pour d'autres groupes musculaires (muscles de la ceinture scapulaire et du tronc dans les lancers et en gymnastique, ...)

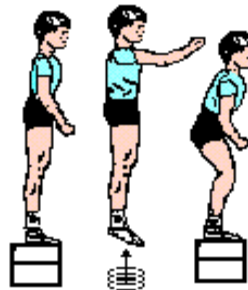
<sup>6</sup> Pour rappel, voir CG232\_ "Machine humaine à l'effort"



## Modalités de travail

- Utilisation de charges légères ou le poids du corps
- Nombre de répétitions:  $\pm$  10 par séries
- Nombre de séries par exercice: 3 à 5
- Récupération: 3 à 5 min entre chaque série
- Choix de 5 à 8 exercices mettant en jeu les principaux groupes musculaires spécifiques à la discipline sportive.

Ex. : saut en contrebas d'une hauteur de 40 à 60 cm suivi d'un rebond vers le haut (**Figure 7**) ou vers l'avant.



**Figure 7** - (les figurines sont issues du programme RHEA®)

## Conseils pratiques

- Les exercices de pliométrie doivent être utilisés avec prudence, surtout chez l'adolescent dont les cartilages de croissance ne sont pas arrivés à maturité et les points d'insertion des tendons pas encore suffisamment solidifiés. Ces exercices ne peuvent être utilisés qu'après un développement harmonieux de la musculature de soutien (abdominaux et lombaires) et un renforcement musculaire par les méthodes dites "classiques" (cf. précédemment) utilisant des contractions concentriques et excentriques. En plus des remarques précédentes, lors d'exercices de pliométrie des membres inférieurs (sauts), il faut soumettre le sportif à un long apprentissage technique sous peine de produire des traumatismes<sup>7</sup> de type lésions osseuses et/ou des douleurs lombaires suite à un mauvais gainage ou des réceptions mal effectuées

---

<sup>7</sup> Pour rappel, voir CG242\_ "Prévention des blessures du geste sportif"

engendrant des chocs et vibrations trop importants. Un nombre de répétitions excessif sur un sol dur ou avec des chaussures mal adaptées peut également conduire à des périostites et tendinopathies.

- Un échauffement préalable est également nécessaire vu les contraintes et sollicitations demandées par ce genre d'exercices.
- L'augmentation de la charge ou de la hauteur de chute doit être progressive (mettre l'accent au début sur la vitesse de réaction avant d'accroître la hauteur de chute et/ou la surcharge).
- Cette méthode est utilisée chez le sportif confirmé en période de préparation physique orientée, spécifique et de compétition.

*NB: Il est important de maintenir en parallèle à ces exercices, un travail classique de musculation afin d'augmenter la force maximale du muscle et de permettre par la suite de supporter des tensions plus importantes qui augmenteront encore davantage l'effet "pliométrique".*

## **Sports concernés**

Ces différentes méthodes sont utilisées dans la majorité des disciplines réclamant une force explosive élevée. La méthode pliométrique est surtout utilisée lorsque le cycle "étirement- raccourcissement" fait partie intégrante de la discipline sportive (course, bondissements, ...).

### **A retenir**

La force explosive est un facteur clé dans de très nombreuses disciplines sportives. Si l'intention de vitesse doit être présente lors de chaque répétition, le niveau de charge ainsi que le régime de contraction doivent être choisis en fonction du sport pratiqué. Certains exercices comme la pliométrie peuvent néanmoins présenter des risques de blessure et doivent donc faire l'objet d'une préparation préalable et être effectués avec prudence.

## 4 Comment développer la force endurance?

### Définition

La force endurance est la capacité de l'athlète à maintenir un niveau d'effort dans la durée (contraction maintenue ou nombre important de répétitions à une charge imposée, puissance ou cadence donnée). Elle est associée à la fatigabilité neuromusculaire et l'objectif de l'entraînement de force endurance est d'améliorer la capacité de résistance à la fatigue.

### Conception "classique" vs "actuelle"

La conception "classique" de l'entraînement de la force endurance préconise l'utilisation de charges légères (30-50% de 1RM) pour augmenter la capacité de résistance à la fatigue lors d'efforts prolongés (diminution de la fatigabilité; **Figure 8**). Une nouvelle conception de l'endurance de force a vu le jour ces dernières années. Celle-ci propose l'utilisation de charges supérieures à 50% de la capacité maximale. Ce concept provient du constat que l'endurance de force ne s'adresse pas uniquement aux disciplines d'efforts d'intensité faible et prolongée (course de 1/2 fond et de fond, cyclisme, ...) mais aussi à des disciplines dont l'intensité est élevée et de plus courte durée (course de 200-400m, cyclisme sur piste, ski de descente, ...). D'autre part, pour des disciplines sportives qui réclament une force ou une puissance élevée mais dont l'engagement moteur n'est pas toujours maximal dès le départ (course de 800m, aviron, ...), l'augmentation du potentiel maximum de force ou de puissance permet de réaliser un effort d'une intensité déterminée à un pourcentage plus faible de sa capacité maximale. Cela permet de réduire la fatigabilité pendant l'effort ou de la retarder, permettant ainsi de garder une "réserve" pour le sprint final.

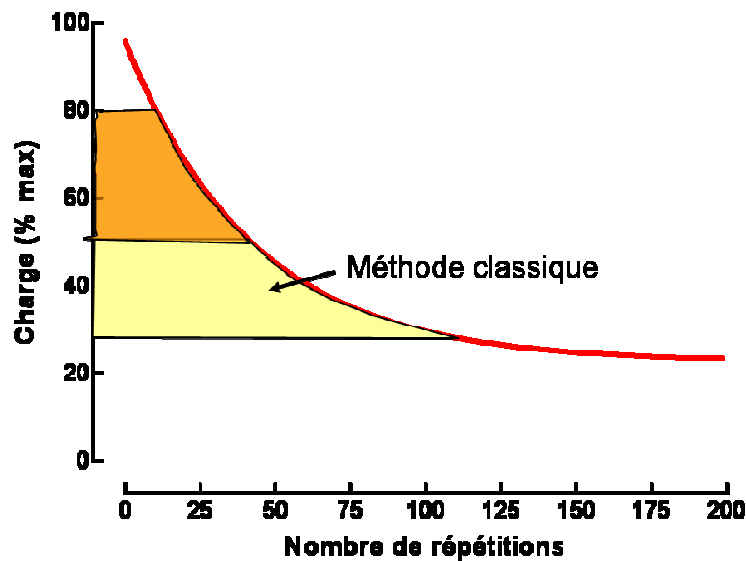


Figure 8

Dans certaines pratiques sportives (ex.: aviron), il faut également tenir compte de la charge imposée (intensité de l'effort), de la vitesse (cadence) et des régimes de contractions utilisés. Il paraît aujourd'hui évident que les adaptations de la résistance à la fatigue musculaire sont spécifiques aux paramètres utilisés lors de l'entraînement de la force endurance.

### Modalités de travail

- Charges "adaptées" aux besoins du sportif : 30 à 70-80% dans certains sports
- Nombre de répétitions: fonction de la charge (voir figure 8). Habituellement le travail est effectué jusqu'à épuisement ou jusqu'à un niveau de diminution de force, de vitesse ou de puissance préalablement déterminé.
- Nombre de séries: fonction de la discipline (ex.: nécessité de maintenir une action explosive dans certains cas) et du type de travail (continu, intermittent long ou court)
- Récupération: elle aussi est adaptée en fonction du but recherché (cf ci-dessus). Pour la méthode classique, la récupération est habituellement:
  - o ~ identique au temps de travail pour intermittent long (> 2 min)
  - o 2-3x > au temps de travail si intermittent court (< 2 min)

Ex. d'entraînements de force endurance (extenseurs des jambes):

- longue durée : 5 x 50 x 40% 1RM
- courte durée : 5 x 10 x 70% 1RM
- moyenne durée (cycle "étirement-raccourcissement"): 5 x 20 sauts verticaux en succession

### **A retenir**

L'endurance de force doit se travailler à un niveau de charge et selon une modalité d'action proche de celui de la discipline sportive (voir spécificité des adaptations). Ainsi, des études ont montré qu'il est plus efficace de travailler l'endurance de force chez un coureur en réalisant des séries de bondissements plutôt que d'effectuer des squats avec charges légères mobilisées un grand nombre de répétitions.

## **5 Les adaptations neuromusculaires sont-elles spécifiques?**

Dans la partie précédente de ce chapitre de l'entraînement de la force, différentes méthodes de travail ont été proposées. En réalité, aucune méthode n'est réellement supérieure à une autre mais leur efficacité respective dépend du type d'adaptation recherchée à un moment donné par l'entraîneur. La spécificité des adaptations neuromusculaires est un concept bien connu dans le domaine de l'entraînement. Il signifie que les progrès obtenus par l'entraînement se transfèrent plus efficacement dans la discipline sportive si les exercices utilisés et les modalités d'exécution sont relativement comparables. Cela ne veut pas dire que seuls les exercices spécifiques sont efficaces mais bien que ceux-ci doivent être progressivement intégrés au cours du programme annuel d'entraînement<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Voir CG321\_ " Concevoir, planifier et réguler l'entraînement à court, moyen et long terme "

## **5.1 Quels sont les paramètres de spécificité?**

### **5.1.1 Le type de mouvement et la posture adoptée**

Si un exercice de squat et d'extension des genoux au banc à quadriceps permettent tous deux d'accroître la force maximale des quadriceps, le transfert de force se fera plus efficacement pour le premier dans un geste sportif nécessitant une extension verticale des jambes. De même, l'utilisation de mouvements unilatéraux seront plus efficaces que des mouvements simultanés des deux membres pour l'amélioration de la performance lors de gestes unilatéraux (impulsion à une jambe) et inversement. Enfin, comme nous l'avons déjà évoqué pour les contractions isométriques, le gain en force est également spécifique à l'angle utilisé à l'entraînement.

### **5.1.2 Le type de contraction**

Différents types de contractions peuvent-être utilisés à l'entraînement (isométrique, concentrique, excentrique) ou une combinaison de deux types de contractions (pliométrie, stato-dynamique,...). Ici aussi, si tous ces régimes permettent d'augmenter la force maximale ou la force explosive, le meilleur transfert est observé lorsque le type de contraction utilisé à l'entraînement est similaire au type de contraction rencontré dans la discipline sportive. Ces adaptations spécifiques sont également valables lorsque le mouvement est réalisé à vitesse constante (isocinétique) ou à vitesse variable (travail avec charge constante). Ainsi pour un geste réalisé en accélération, le travail isocinétique est moins efficace que le travail avec charge constante mais l'inverse est vrai pour des gestes sportifs réalisés à vitesse relativement constante (natation, aviron, ...).

### **5.1.3 La charge**

Comme évoqué précédemment, des charges lourdes ( $\geq 60\%$  max) et un nombre limité de répétitions au sein d'une même série permettent d'augmenter la force maximale. Par contre, des charges plus faibles (30-50%) mobilisées jusqu'à épuisement, conduisent à une amélioration de la résistance à la fatigue. Des charges comprises entre 60 et 80% mobilisées jusqu'à épuisement améliorent à la fois la force maximale mais réduisent également la fatigabilité musculaire.

#### 5.1.4 La vitesse de mouvement

La vitesse d'installation de la force (puissance) est principalement améliorée par l'utilisation de contractions explosives ou lorsque l'intension est de produire un mouvement le plus rapidement possible. Pour ce paramètre, la charge utilisée à l'entraînement est également importante. Des charges légères (< 50%) augmente la vitesse d'installation de la force pour des charges faibles tandis que des charges plus lourdes (>50%) améliorent ce paramètre pour des charges élevées. Le transfert des progrès d'entraînement vers le geste sportif est donc optimisé lorsque la charge est adaptée aux besoins de la discipline. Il convient néanmoins de souligner que pour des disciplines dont la charge est très élevée (haltérophilie), l'augmentation de la force maximale contribue également à la mobilisation plus rapide de la charge.

##### **A retenir**

Les progrès consécutifs à un programme de renforcement musculaire sont en grande partie liés à la spécificité des adaptations et par conséquent à l'importance du transfert vers le geste de compétition. Chez le jeune et le débutant, cet aspect de spécificité est moins important que chez le sportif de haut niveau car des adaptations sont néanmoins présentes sans la prise en compte de manière pointue des paramètres de spécificité. Chez ceux-ci un travail plus général doit-être également envisagé afin de varier les contraintes sur l'appareil musculo-squelettique et réduire ainsi le risque de blessures. Des facteurs nerveux (commande nerveuse et synergie musculaire) mais aussi musculo-tendineux expliquent ces adaptations spécifiques.

## 6 Faut-il faire de la musculation chez le jeune ?

### 6.1 Comment la force évolue-t-elle pendant la croissance?

La croissance se caractérise par une augmentation de la taille et une augmentation du poids corporel<sup>9</sup>. Cette évolution n'est pas linéaire, mais est très progressive jusqu'à la puberté, pour ensuite augmenter très fortement pendant la phase pubertaire. Elle diminue par la suite pour se stabiliser vers 15-16 ans chez la fille et vers 17-18 ans chez le garçon. Malgré des différences individuelles de l'ordre de deux ans, le début de la période pubertaire est atteint en moyenne à l'âge de 12 ans chez la fille et de 14 ans chez le garçon.

Une partie importante de l'augmentation du poids pendant la croissance est due à l'augmentation de la masse musculaire. L'augmentation rapide de celle-ci pendant la phase pubertaire, beaucoup plus importante chez le garçon que chez la fille, est due à des changements hormonaux liés à la maturité sexuelle. Chez le garçon, le taux de testostérone sanguin, hormone produite principalement par les testicules, est augmenté de 10 à 20 fois. En parallèle, la concentration en hormone de croissance secrétée par l'hypophyse est également accrue. Chez la jeune fille, seule cette dernière hormone augmente de manière substantielle et est responsable de l'accroissement de la masse musculaire. L'effet anabolique de l'hormone de croissance est cependant moins puissant que celui de la testostérone. Ces hormones jouent un rôle indirect en activant, au niveau musculaire, une autre hormone appelée IGF1 (Insulin-like Growth Factor) et dont la structure chimique est proche de celle de l'insuline. Bien que son rôle exact ne soit pas encore parfaitement élucidé, cette dernière contribuerait avec d'autres au processus de synthèse des protéines musculaires. Morphologiquement, cela se traduit par une hypertrophie de chaque fibre musculaire et donc du muscle. La force maximale est généralement atteinte vers 18 ans chez la fille et 25 ans chez le garçon. A noter que si le nombre de fibres musculaires n'est pas modifié au cours de la croissance, le pourcentage de fibres lentes et rapides semblerait se modifier mais uniquement dans les 2-3 premières années de la vie. Ainsi, on a constaté une augmentation du pourcentage de fibres lentes

---

<sup>9</sup> Pour rappel, voir aussi CG121\_ "Apprentissage et contenus en fonction de l'âge"



dans les muscles extenseurs des membres inférieurs, probablement liée au passage à la station debout.

Outre l'hypertrophie musculaire, d'autres facteurs contribuent à l'augmentation de la force et de la puissance au cours de la croissance. Ainsi, une intensification de la commande nerveuse et une amélioration de la coordination permettent d'activer plus complètement les muscles et de les mettre en jeu selon une séquence motrice plus efficace (amélioration des synergies musculaires). Ces améliorations sont liées à la maturation progressive du système nerveux qui se termine en moyenne vers l'âge de 12 ans. A noter toutefois que la commande nerveuse n'est pas maximale chez le jeune non entraîné et qu'une possibilité d'amélioration par l'entraînement est possible à ce niveau (voir ci-dessous). Cette période est d'ailleurs généralement considérée comme l'âge d'or pour le développement des conduites motrices. Une autre adaptation intéressante dans le contexte du développement de la force explosive (puissance) est celle d'une modification des structures élastiques du muscle (tendon, aponévroses, myofilaments et ponts d'interaction entre ceux-ci) qui permet de restituer plus rapidement l'énergie stockée pendant la phase excentrique de la contraction lors des mouvements de type "cycle étirement-raccourcissement". Enfin, des éléments indirects permettent de penser que le couplage entre l'influx nerveux et la contraction musculaire (couplage "excitation-contraction") serait progressivement intensifié pendant la croissance. Cette intensification serait due à une libération plus importante et/ou plus rapide du  $Ca^{2+}$  dans le cytosol de la fibre musculaire lors de chaque influx nerveux. Cette adaptation permettrait de produire une activation musculaire plus intense.

### **A retenir**

L'augmentation de la force pendant la croissance d'un enfant sédentaire est principalement due à l'augmentation de la masse musculaire en réponse à la maturation progressive de facteurs hormonaux. Néanmoins, d'autres paramètres contribuent également à son développement, à savoir: le système nerveux par une meilleure commande motrice, le système tendineux et aponévrotique par une transmission plus efficace de la force et le muscle par une intensification du couplage entre l'influx nerveux et la contraction musculaire.

## **6.2 La musculation permet-elle d'augmenter la force pendant la croissance?**

Jusqu'à la fin des années 1980, il était largement accepté dans le monde scientifique que l'entraînement de musculation ne devait débuter qu'après la puberté. Deux arguments majeurs étaient habituellement avancés pour supporter cette idée : (1) l'enfant n'étant pas arrivé à maturité, le niveau hormonal (testostérone et hormone de croissance) était insuffisant pour augmenter la masse musculaire dans des proportions substantielles; (2) cette activité pouvait présenter des risques importants pour l'intégrité du jeune sportif. Qu'en est-il objectivement ?

L'idée de l'inutilité d'un travail de force avant la puberté était basée sur quelques études qui avaient montré que la force maximale des muscles des membres n'était pas augmentée par un entraînement de musculation. Néanmoins, dans un souci légitime de prudence, ces expérimentations avaient utilisé des charges relativement faibles. Plus récemment, une série de travaux scientifiques, utilisant des charges plus importantes (> 60% du maximum) et des exercices ne présentant aucun risque pour l'intégrité jeune sportif, ont mis en évidence qu'une augmentation de la force (maximale et explosive) est parfaitement possible avant la puberté (voir Duchateau & Klass, 2008). Ces études ont cependant montré que cette amélioration n'est pas ou très peu associée à une hypertrophie musculaire. Par contre, l'augmentation de force était liée à une commande nerveuse accrue et une meilleure coordination ainsi qu'à une possible intensification du couplage "excitation-contraction". En outre, un entraînement de force explosive (pliométrie légère) semble améliorer la restitution de l'énergie stockée dans les éléments élastiques du muscle ainsi que la transmission de la force vers les segments osseux. Ces dernières adaptations contribuent au développement de la force explosive (puissance).

### **A retenir**

Si des améliorations de la force maximale et de la force explosive sont parfaitement possibles avant la puberté, une hypertrophie conséquente de la masse musculaire par la musculation ne peut-être obtenue qu'après la puberté.

### 6.3 Y a-t-il des risques associés à l'entraînement de musculation?

Les risques d'un entraînement de musculation pour l'intégrité de l'enfant et de l'adolescent ont été souvent avancés par certains pour éviter l'utilisation de cette activité de façon précoce. Si l'idée que la musculation limiterait la croissance est non fondée, néanmoins des charges inconsidérées peuvent produire des fractures et décollements au niveau des zones épiphysaires et apophysaires des os ainsi que des arcs vertébraux (spondylolyse), des atteintes au niveau des disques intervertébraux et des surfaces articulaires. Si les risques évoqués sont réels, il convient néanmoins de relativiser les choses puisque des études épidémiologiques ont montré que les activités sportives sont habituellement plus traumatisantes que la pratique de la musculation réalisée dans des conditions adéquates et contrôlées. Par exemple en gymnastique, les forces d'impact lors de la réception au sol d'une sortie à la barre fixe peuvent atteindre plus de 20 fois le poids du corps. Ce niveau de contrainte pour les systèmes ostéo-articulaires et musculo-tendineux n'est jamais atteint lors d'un travail "classique" de musculation. En outre, la musculation est souvent associée à haltérophilie et à l'utilisation de charges extrêmement lourdes. Dans ce contexte, le terme "**renforcement musculaire**" est probablement plus adéquat que celui de musculation dont la connotation est souvent perçue comme négative. Ainsi, les bienfaits d'un travail de préparation physique, incluant des exercices de force, permettent non seulement d'améliorer la force et la puissance du jeune sportif par les mécanismes décrits précédemment mais aussi la capacité d'endurance musculaire. D'autre part, il a également été montré que l'incidence des blessures (entorses, tendinopathies, ...) <sup>10</sup> dans les sports collectifs est réduite lorsqu'une préparation musculaire préalable a été effectuée.

#### **A retenir**

Le renforcement musculaire se justifie pleinement dans le cadre d'une préparation à la compétition mais celui-ci doit être effectué avec **prudence**.

---

<sup>10</sup> Pour rappel, voir CG242\_ "Prévention des blessures du geste sportif" et CG342\_ "Prévention et prophylaxie dans les gestes et les performances sportives"

#### **6.4 Quelles sont les recommandations pour la pratique du renforcement musculaire chez le jeune ?**

Des recommandations concernant la pratique du renforcement musculaire chez le jeune ont été émises par différents organismes comme par exemple l'American College of Sports Medicine ([www.acsm.org](http://www.acsm.org)). Les points principaux sont les suivants:

- En cas de doute, comme par exemple une malformation héréditaire, faites vérifier l'absence de contre-indications par un médecin.
- Commencez toujours par un apprentissage technique de l'exercice au moyen de charges légères. Certaines blessures sont simplement dues à un mauvais positionnement et à une technique déficiente.
- Chez le débutant, les exercices de renforcement musculaire peuvent être réalisés en utilisant uniquement le poids du corps ou celui des segments, avant même d'utiliser des charges additionnelles.
- Pour une question de sécurité, préférez des appareils à charges guidées (machines) avant des charges libres (haltères).
- Adoptez une évolution très progressive des charges utilisées à l'entraînement et de la quantité de travail. Commencez par utiliser des charges plus légères (~50% du max) et ~15 répétitions par série pour évoluer ensuite vers des charges plus lourdes (~70%) de 6-8 répétitions par série. Il est conseillé de ne pas utiliser des charges maximales avant l'âge de 16-17 ans, voire plus, notamment pour les exercices présentant des contraintes importantes pour la colonne vertébrale afin que l'ossification soit complètement terminée.
- N'exagérez pas le nombre de séries d'un même exercice (3 à 5 séries) mais variez surtout les exercices d'entraînement. L'utilisation répétitive d'un même exercice peut entraîner une usure prématurée de certaines parties du cartilage articulaire et produire des tensions répétitives très localisées sur les points d'attache des tendons sur les os. En d'autres termes, évitez les entraînements trop spécifiques pendant la croissance afin de varier les contraintes sur le système ostéo-articulaire.

- Il est conseillé de travailler l'ensemble des groupes musculaires importants et d'entraîner en parallèle les muscles agonistes et antagonistes afin d'éviter des déséquilibres entre groupes musculaires.
- La musculation n'affecte pas réellement la capacité de souplesse musculaire et articulaire, du moins si les mouvements sont effectués à amplitude maximale. Il est cependant conseillé d'associer un travail de souplesse à celui de musculation.
- Etant donné, les vitesses de croissance très différentes d'un jeune à l'autre et entre filles et garçons, il convient d'individualiser le programme d'entraînement en fonction du niveau de maturité.
- Alternez les périodes entraînement et de repos afin de prévenir tout surentraînement potentiel.
- Arrêtez les entraînements en cas de douleurs persistantes car elles peuvent indiquer des atteintes au niveau des structures ostéo-articulaires.

Outre ces recommandations permettant de minimiser les risques de blessures avant la puberté, il convient de proposer des entraînements ludiques et associés à un travail de proprioception (exercices avec ballon de proprioception, sur tapis souple ou plateforme d'équilibre,...).

### **A retenir**

Un travail de renforcement musculaire bien pensé permet d'améliorer les performances dans la spécialité du jeune athlète tout en minimisant le risque de blessure. Une certaine prudence et une adaptation des charges de travail en fonction du niveau de maturité physique sont néanmoins de mise.

## **7 La musculation est-elle différente chez la femme ?**

Dans la Grèce Antique, les femmes pouvaient avoir une pratique sportive, mais la pratique du sport de compétition était exclusivement réservée aux hommes. Cette exclusivité s'étendait même jusqu'aux tribunes desquelles les femmes étaient exclues. Ce n'est que vers le début du 20<sup>ème</sup> siècle

que la pratique s'est timidement ouverte aux femmes pour augmenter progressivement jusqu'à aujourd'hui. La participation croissante des femmes dans les disciplines sportives a dès lors engendré des interrogations légitimes quant à leur adaptation par rapport à cette pratique.

Au cours des paragraphes précédents, nous avons insisté sur l'évolution hormonale différente au passage de la puberté entre filles et garçons. Celle-ci explique en grande partie la différence de force maximale entre femmes et hommes à l'âge adulte. A noter cependant que des différences interindividuelles existent entre femmes au niveau du taux de testostérone. Celles qui possèdent un taux supérieur en testostérone sont susceptibles de développer une hypertrophie plus prononcée. D'autre part, il a été montré que si la différence entre force et puissance maximales est souvent importante entre femmes et hommes, la vitesse gestuelle à charge nulle ou faible n'est pas très différente entre les genres.

Dans le passé, dans un souci de prudence, certains entraîneurs préféraient utiliser des charges plus faibles et un nombre de répétitions plus important chez la femme que chez l'homme. En réalité, ce choix n'est pas justifié. En effet, même si le degré d'hypertrophie est plus limité chez la femme comparativement à l'homme, la force est néanmoins susceptible d'augmenter par l'intermédiaire d'autres paramètres comme nous l'avons rapporté chez le jeune prépubère. Parmi ceux-ci, les adaptations nerveuses ne sont présentes qu'à partir du moment où l'intensité de la contraction est proche de ses valeurs maximales. Même si une hypertrophie est possible chez la femme, il apparaît clairement qu'à long terme, l'augmentation de la force maximale plafonne plus rapidement que chez l'homme pour un programme de musculation comparable.

#### **A retenir**

Aucun argument scientifique ne permet de soutenir l'idée que les programmes de musculation chez la femme doivent être différents de ceux utilisés chez de l'homme. Au contraire, les habitudes actuelles du terrain indiquent que les programmes sont assez similaires. Le niveau des adaptations musculaires est simplement moins important que chez l'homme.

## 8 Références

**ACSM :** [www.acsm.org](http://www.acsm.org) (2007)

**Cometti G. :** La pliométrie. Chiron, Sport pratique, 2007.

**Duchateau J. :** L'entraînement de la force spécifique en sport : fondements physiologiques et applications pratiques. Les Cahiers de l'INSEP. vol. 3 : 95 pages, 1992.

**Duchateau J. :** La spécificité du renforcement musculaire. Dans "Entraînement de la force. Spécificité et planification". (Thépaut-Mathieu et coll., éd.). Les Cahiers de l'INSEP, vol. 21: 86-124, 1997.

**Duchateau J. et Baudry S. :** Training adaptation of the neuromuscular system. In "Neuromuscular Aspects of Sport Performance" (Komi P.V. ed.). Wiley-Blackwell, 216-253, 2011.

**Duchateau J. et Carpentier A. :** La musculation. 1<sup>ère</sup> partie : les principes de base. Bodytalk 190 : 9-12, 2000.

**Duchateau J. et Carpentier A. :** La musculation. 2<sup>ème</sup> partie : exemples de séances. Développement de la force maximale. Bodytalk 191 : 9-16, 2000.

**Duchateau J. et Carpentier A. :** La musculation. 3<sup>ème</sup> partie : exemples de séances. Développement de la force explosive. Bodytalk 192: 9-16, 2000.

**Duchateau J. et Carpentier A. :** La musculation. 4<sup>ème</sup> partie : exemples de séances. Développement de la force-endurance. Bodytalk 193: 9-16, 2000.

**Duchateau J. & Klass M.** Adaptations neuromusculaires chez l'enfant. Dans "Physiologie du Sport: Enfant et adolescent" (Van Praagh E. éd.), De Boeck Université, 73-95, 2008.

**Fleck S.J. & Kraemer W. J.** Designing Resistance Training Programs, 3<sup>rd</sup> edition. Human Kinetics, Champaign, Illinois, 2004.

**Weineck J :** Manuel d'entraînement. Physiologie de la performance et de son développement dans l'entraînement de l'enfant et de l'adolescent. Ed. Vigot, 1997.

**Van Praag E.** Physiologie du Sport: Enfant et adolescent. De Boeck Université, 2008.