

Ressources physiques Cours n° 2

La notion de Force et ses relations avec la vitesse et l'endurance

A l'issu du 1^{er} cours, nous avons émis l'hypothèse que la force est une qualité physique essentielle.

Mais quelle force utile ? Quel type de force faut-il valoriser ? Quelles conséquences au niveau des méthodes de musculation ?

Pour répondre à ces questions, il faut étudier les relations entre la force et la vitesse, la force et le temps (l'endurance)

Introduction : la notion de force

Définition : « Faculté de vaincre des résistances extérieures ou de s'y opposer grâce à des efforts musculaires » Zatsiorsky, 1966.

Dans les APSA ces résistances peuvent être incarnées par :

- le corps lui-même (saut, escalade, gymnastique...)
- un engin (lancers en athlétisme, charges en musculation...)
- la friction, les frottements (aviron, cyclisme...)
- un adversaire (combat).

Le moyen essentiel pour développer la force dans notre domaine est la musculation, l'organe du corps principalement concerné : le muscle. Celui-ci produit de la force en se contractant de façon différente selon le contexte, l'objectif recherché :

Il y a 4 types de contraction :

- isométrique : contraction sans modification de la longueur du muscle, exercice statique (exemple : planche de gainage, bras de fer en maintenant son coude à 90°)
- concentrique : le muscle se raccourcit, les insertions se rapprochent (exemple : développer coucher (DC) dans la phase ascendante en parlant du muscle moteur principal le triceps brachial)
- excentrique : le muscle s'allonge, il résiste à la charge, les insertions s'éloignent (phase descendante du DC, toujours en parlant du triceps)
- pliométrique : alternance rapide d'une phase excentrique et concentrique en restituant l'énergie élastique emmagasinée (correspond à tous les sauts effectués de façon dynamique, les rebonds, la course...)

Par défaut, sans précision, nous partons du principe que nous parlons dans un premier temps uniquement du mode concentrique dans les premiers cours : nous aborderons des autres modes successivement au cours du semestre...

Le mode concentrique est le plus facile à intégrer : il correspond au mouvement moteur d'un muscle et le « ventre » du muscle se gonfle, par exemple le biceps brachial lorsque nous plions le bras...

La force dépend de trois facteurs :

- structuraux : le muscle lui-même, ses composants physiologiques (objet du 3^{ème} cours)
- nerveux : la commande motrice et les réflexes
- les qualités d'élasticité du muscle

Nous verrons que ces 3 aspects sont importants, que le muscle n'est pas un organe « passif », inerte mais que la dimension neuro-musculaire est importante à prendre en compte...

Les différents auteurs s'accordent sur trois dimensions, trois domaines d'expression de la force :

- la force maxi
- la force vitesse (donc la puissance)
- la force endurance (ou endurance de force)

1^{ère} partie : relation force / vitesse

Que se passe-t-il lorsque nous mettons en relation ces deux facteurs du mouvement ? Autrement dit : comment interagissent ces deux qualités physiques (QP) ? Comment évolue la vitesse lorsque nous devons mobiliser de la force ?

Demandons à un pratiquant de soulever des charges (exemple au développé couché) de plus en plus lourdes à sa vitesse maximum...

Qu'observe-t-on ? plus la charge est lourde et moins la vitesse est élevée... Dit autrement, à l'inverse, pour réussir à faire un mouvement rapide, il faut une charge légère...

Modéliser de façon mathématique, sous forme de courbe, on obtient une courbe « en creux » qui montre que force et vitesse ont une relation inversement proportionnelles. (voir courbe dans document d'accompagnement) : la **relation** reliant la **force** de contraction à la **vitesse** de raccourcissement est une **relation** hyperbolique dans laquelle la **force** est maximale lorsque la **vitesse** est nulle (on est alors en contraction isométrique) et la **force** est (quasi) nulle à partir de la **vitesse** maximale de raccourcissement.

Etre très fort, c'est être très lent : c'est ce que montre la nature, c'est le résultat de l'adaptation... on pense à l'image d'un éléphant capable de soulever de très lourdes charges mais n'est pas très rapide. (illustration donnée par M. Dufour)

A l'inverse, pour exprimer de la vitesse, la charge doit être légère.

Nous verrons dans le 3^{ème} cours l'explication physiologique : pour déployer de la force, le muscle a besoin de temps pour établir les ponts d'actine / myosine au sein des fibres musculaires...

Remarques sur la courbe Force / vitesse :

- sur le pôle de la force : il y a intersection entre la courbe et la verticale (l'ordonnée) ce qui correspond à la force maximale... ceci veut bien dire que l'on arrive à un extrême où la vitesse est nulle, le mouvement est arrêté : on développe une force isométrique.
- Sur le pôle de la vitesse : il n'y a pas intersection car une charge nulle n'existe pas (sauf peut-être en apesanteur)... Concrètement, cela veut dire que même dans les activités de vitesse extrême (lancer de javelot, smash du tennis de table, sprint), une force minimum est mobilisée...

Conclusions pratiques : en terme d'expression de la force

- il est difficile de développer force et vitesse en même temps : il y a un choix à faire
- développer la force avec des charges lourdes (ce que l'on appelle la force maxi) se fait au détriment de la vitesse d'exécution
- développer la vitesse maxi ne peut se faire qu'avec des charges légères : poids de corps, engins de propulsion légers (exemples : balles lestées en lancer, gilets lestés en sprint...)
- il y a un domaine intermédiaire où force et vitesse sont combinées, où l'on cherche à les exprimer de façon conjointe : c'est la puissance... cela correspond à la partie centrale de la courbe.

2^{ème} partie : la notion de puissance

Définition : « Capacité à des efforts au plus haut niveau d'intensité possible pendant un laps de temps très court ».

C'est le produit de la force par la vitesse ou quantité de travail produite par unité de temps (Dufour)

La puissance est un compromis entre la force et la vitesse :

- l'objectif est de réussir à fournir un effort important, exprimer un niveau de force conséquent avec une contrainte de vitesse

exemple : montée d'un col en cyclisme, gagner un duel au « corps à corps » en sport-co (on loue la puissance de N. Karabatic au Hand pour gagner ses duels...)

- on peut dégager deux sous objectifs, deux profils :

1- Exprimer plus de force à vitesse constante (par exemple dans une mêlée de rugby)

= Profil Puissance force

$$P = F \times v \text{ (ex: rugby, haltérophilie)}$$

2 - Exprimer autant de force à une vitesse supérieure (par exemple sur un tir de Hand)

= Profil Puissance vitesse

$$P = f \times V \text{ (ex: tennis, boxe, foot...)}$$

Qui vont correspondre à deux façons de travailler en musculation :

Pour profil 1 : augmenter la charge en conservant sa vitesse d'exécution

Pour profil 2 : garder une même charge mais chercher à exécuter plus vite le mouvement

Commentaires de la courbe Puissance :

- la capacité de la force de la contraction concentrique (CONC) diminue avec vitesse
- la puissance maxi est obtenue pour des valeurs de force et vitesse de l'ordre de 30 % du maximum (Puissance max= 1/3 force+1/3 vitesse).

Remarque : Lorsque la force devient importante (> 60%), la perte de vitesse est proportionnellement plus importante que l'augmentation de la masse et que le gain de force...
C'est l'inconvénient des charges lourdes...

Mais la recherche de vitesse qui devient prépondérante dans le sport de Haut niveau à amener une notion encore plus pertinente que la puissance : l'explosivité...

3^{ème} partie : la notion d'explosivité

Les exigences du haut niveau montrent qu'il faut aller plus loin : la variable temporelle devient prépondérante = « fenêtre temporelle d'application de la force » (M. Dufour)

Définition explosivité : capacité de l'athlète à faire varier brusquement sa propre quantité de mouvement

= capacité du système neuromusculaire à augmenter brusquement le niveau de force (voir courbe explosivité / montée de force)

Distinction puissance et explosivité :

Si vitesse nulle, puissance nulle (contraction ISO)

Or, l'explosivité peut s'exprimer sans mouvement : il y a un taux de montée de force sur effort ISO

L'explosivité se joue au niveau neuromusculaire, pas seulement musculaire...L'aspect neuromusculaire doit être valorisé dans les exercices de musculation :

Exemple : concentration et intention de vitesse d'exécution des mouvements, optimisation des réflexes en pliométrie...

4^{ème} partie : la relation Force / endurance

Au sens commun, l'endurance est la capacité de maintenir un effort sur une durée longue : on pense d'emblée en terme physiologique à la filière aérobie et aux notions de puissance maximale aérobie (PMA)...

Au sein de ce court, nous ne développerons pas cet aspect qui sera abordé dans les courts de physiologie.

Nous limitons notre étude à la relation force / endurance : que se passe-t-il lorsque nous devons maintenir un effort musculaire sur la durée ?

De la même façon que pour la vitesse, nous obtenons une courbe (voir document d'accompagnement) en « creux » montrant une relation hyperbolique, c'est-à-dire que la force est inversement proportionnelle à l'endurance :

- nous ne pouvons soulever une charge lourde que sur un temps court (image de l'haltérophile qui ne peut maintenir son record que quelques secondes)
- pour maintenir un effort musculaire longtemps, la charge doit être légère

En musculation, le temps correspond au nombre de répétitions :

- nous ne pouvons faire que quelques répétitions avec des charges lourdes (avec à l'extrême une seule répétition correspondant à notre record, c'est le 1 RM = une répétition maxi)
- avec des charges légères, nous pouvons faire de nombreuses répétitions (exemple : 30 abdos avec juste le poids du haut du corps)

Cette relation mathématique nous permettra de planifier le nombre de répétition qui doit être proportionnel à la charge.

Quel est alors l'intérêt de développer sa force, autrement dit, sur la courbe, faire déplacer la courbe sur l'axe de la force : toute la courbe se déplace vers la droite et de façon plus importante sur le pôle de la force (courbe pointillée) ;

- concrètement, le 1 RM augmente (F max 2)
- les progrès se traduisent de deux façons différentes :

Points d'intersection F2 : correspond à l'amélioration de la force F1 mais le nombre de répétition reste identique

Point d'intersection T2 : correspond à l'amélioration du nombre de répétition de la force F1

Cela correspond aux deux axes de progrès possible :

- dans le premier cas (F2) : exprimer plus de force pour le même durée (exemple : dans une mêlée de rugby)
- dans le deuxième cas (T2) : maintenir une force sur une durée plus importante, autrement dit répéter plus longtemps une même force (refaire cette mêlée jusqu'à la fin du match...)

On donne alors un autre sens à la notion d'endurance :

« Capacité de réitération des efforts, sans baisse d'intensité, durant le temps d'une épreuve » (Aubert)

Réitérer veut dire répéter...C'est un enjeu majeur dans le sport de Haut niveau : les épreuves de jouent au finish (fin d'un marathon sur des allures de plus de 20 km / heure, fin d'un match de tennis en 5 sets, de sport-co...)

Les points F3 / T4 et F4 / T3 correspondent aux deux axes de progrès de l'endurance de force : d'un côté on cherche le progrès sur le pôle de la force (F4 supérieur à F3 mais le nombre de répétition sera inférieur : T3 inférieur à T4), de l'autre, on cherche le progrès sur le pôle du temps, du nombre de répétition (mais en déployant une force moins importante). Dans les deux cas, il y a progrès de l'endurance de force...

On observe la même chose sur le plan de la vitesse lorsque l'on développe la force :

Voir courbe force / vitesse avec la courbe en pointillé qui traduit les progrès obtenus

- d'une façon logique : les progrès se traduisent surtout vers l'axe de la force, moins sur celui de la vitesse (point F3 / V3) mais toute la courbe évolue quand même
- il y a amélioration de la force maxi : correspond au point F max 2 supérieur à F max 1
- Les points F1 et F2 correspondent aux deux types de progrès de la puissance avec les deux profils que nous avons évoqué dans la partie 2 :

Point F1 / V2 : progrès au niveau de la vitesse mais la force reste constante (profil puissance vitesse)

Point F2 / V1 : progrès au niveau de la force mais la vitesse reste constante (profil puissance force)

5^{ème} partie : la notion de Force maxi

C'est une notion qui correspond à une réalité physiologique : notre organisme nous permet de déployer une force importante mais limitée, et à un axe, un objectif en musculation : travailler avec des charges lourdes, améliorer notre record en musculation (le 1 RM).

L'étude des courbes traduisant les progrès sur la relation force / vitesse et force / temps nous a montré l'intérêt de ce travail en « force maxi » :

- améliorer son record (1 RM)
- améliorer sa puissance, au niveau des deux profils
- améliorer son endurance de force
- nous verrons lots du 3^{ème} cours que cela se traduit par une amélioration des qualités musculaires : des structures (os, fibres musculaires, tendons...), hypertrophie (le muscle gagne en volume), augmentation des fibres rapides, amélioration des facteurs nerveux...

Après se pose la question de la méthode en musculation : faut-il travailler (mettre l'accent) avec des charges lourdes ou des charges légères ?

Dans une optique d'endurance :

Préalables :

- Pour charge supérieur à 50% du maxi, le nombre de répétition dépend de la force maxi
- Par contre, pour charge légère, endurance liée à processus énergétique (aérobie)

Conclusion :

D'où choix de la charge en fonction de l'objectif / contraintes de l'APS :

- dans les APSA où la charge est légère (exemple courses athlétiques où charge = poids de corps), le travail en endurance se fait essentiellement sous forme de travail de course, sur la piste (travail aérobie, puissance aérobie...) et comprend un travail de renforcement musculaire plutôt avec des charges légères...
- dans les APSA où la charge est plus lourde (exemple en athlé lancer de poids, en sport-co dans les duels, en combat pour « déplacer » le corps de son adversaire), un travail en musculation avec des charges lourdes semble logique

Dans une optique de vitesse :

Un auteur fait référence : Jean Duchateau. Il a fait l'expérience de tester des sujets avec deux groupes témoin : les premiers s'entraînant avec des charges lourdes, les deuxièmes avec des charges légères (voir courbes de l'évolution force / vitesse dans ces deux cas, dans document d'accompagnement)

On remarque de façon assez logique :

- ceux s'étant entraîné avec des charges lourdes : la courbe se déplace plutôt près du pôle force (axe de la charge)
- ceux s'étant entraîné avec des charges légères : la courbe se déplace plutôt près du pôle vitesse (axe de la vitesse)

On peut donc en conclure qu'il y a des intérêts mais aussi des inconvénients dans les deux cas :

Travail avec des charges lourdes / force maxi :

Avantages	Inconvénients
Gain de force Gain de puissance Développement des muscles (hypertrophie, fibres rapides, améliorations structurelles au niveau	fatigue microlésions, risque de blessure modification de l'angle de pennation (ouverture) des fibres musculaires hypertrophie (prise de poids qui peut être un

des muscles, des os, des tendons...)	inconvéniént dans certaines APSA) période réfractaire pendant laquelle on ne peut plus développer d'autres qualités...
--------------------------------------	---

Travail avec des charges légères :

Avantages	Inconvénients
Gain vitesse	Tensions faibles (peu d'efficacité/force) Beaucoup de répétitions (fatigue et risques traumatiques)

Comme souvent, la solution est donc dans la complémentarité et le compromis :

Il est nécessaire d'alterner les deux : séances de force maxi, avec des charges lourdes et séances avec charges légères...

Un temps suffisant de récupération sera nécessaire après la séance charge lourde (1 à 2 jours minimum selon le niveau de condition physique)

Mais il est intéressant également d'alterner au sein même de la séance en optimisant ainsi avantages et inconvénients des deux méthodes : c'est ce que l'on appelle méthode par contraste ou méthode bulgare

Le principe est d'alterner, d'enchaîner dans un temps assez court un effort à charge/ tension maxi et un effort à charge /tension légère en jouant sur le contraste pour travailler l'explosivité.

Exemple : squat avec une charge à 80 % de sa 1 RM suivi de sauts verticaux au dessus de haies moyennes ou d'un sprint...

Conclusions :

- 3 formes de force incontournables à développer : la force maxi, puissance / explosivité et l'endurance de force pour la pratique sportive
- Dans le sport de Haut niveau, l'explosivité devient primordiale
- Et le travail de la force (musculature) est déterminant pour progresser

« Sans force, l'explosivité est limitée » Dufour

« La force est bien un déterminant majeur de l'explosivité / puissance » Dufour

Question en suspend : développer la force donc incontournable mais quelle méthode de musculature pour développer la force sans que ce soit préjudiciable aux autres qualités physiques ?