

## La spécificité du renforcement musculaire

Jacques Duchateau

---

### Citer ce document / Cite this document :

Duchateau Jacques. La spécificité du renforcement musculaire. In: Les Cahiers de l'INSEP, n°21, 1997. Entraînement de la force. Spécificité et planification. Actes du 1<sup>er</sup> stage international de formation continue pour entraîneurs de sportifs de haut niveau. Eurathlon 95. pp. 87-124;

doi : <https://doi.org/10.3406/insep.1997.2057>

[https://www.persee.fr/doc/insep\\_1241-0691\\_1997\\_num\\_21\\_1\\_2057](https://www.persee.fr/doc/insep_1241-0691_1997_num_21_1_2057)

---

Fichier pdf généré le 25/11/2019

## ASPECTS THÉORIQUES

**J. DUCHATEAU** - *Professeur à l'Université Libre de Bruxelles. Ancien athlète, lanceur de javelot de niveau international et entraîneur d'athlétisme. Cadre de la fédération francophone belge d'athlétisme et responsable de la cellule scientifique.*

### LA SPÉCIFICITÉ DU RENFORCEMENT MUSCULAIRE

La spécificité du renforcement musculaire est un problème d'actualité. Mais, si l'on se réfère à certains écrits, il semblerait que, durant la Grèce antique, on se préoccupait déjà de la gestuelle de la performance durant l'entraînement. En effet, à cette époque, certains lanceurs s'entraînaient avec des engins identiques à ceux utilisés le jour de la compétition, mais alourdis. Ils réalisaient donc un travail de renforcement musculaire de type spécifique. Dans le monde du sport contemporain, la question de la spécificité du renforcement musculaire n'est apparue que tardivement. Avant les années 50, la musculation était essentiellement pratiquée sous une forme générale car on pensait que le transfert de force se faisait efficacement vers le geste de compétition. Par la suite, on s'est aperçu que ce transfert n'était pas aussi automatique que cela. Depuis lors, les entraîneurs ont cherché à prendre en compte la spécificité des adaptations à la musculation dans leurs programmes d'entraînement et ce n'est que depuis 15-20 ans que des recherches scientifiques ont été menées activement dans ce domaine. L'objectif de cet exposé est de synthétiser les connaissances actuelles relatives à la spécificité du renforcement musculaire.

Avant toute chose, il convient de situer la musculation spécifique au sein de la problématique de la musculation dans son ensemble. Le schéma (fig. 1) proposé par Jean Pierre EGGER (1992) est à cet égard très explicite et reflète parfaitement ce qui se fait dans la pratique. La première étape de tout programme d'entraînement commence par la musculation générale. Il s'agit d'un travail de type foncier, au cours duquel l'accroissement du volume musculaire et l'amélioration des points faibles ou des déséquilibres

entre les différents groupes musculaires constituent une priorité. Dans ces conditions, on s'écarte des gestes qui correspondent à ceux de la compétition, autrement dit, on néglige volontairement un certain nombre de paramètres spécifiques qui seront envisagés par la suite. La musculation est dite « multiforme orientée » lorsque l'on se dirige davantage vers le geste de la discipline sportive. Dans ce cas, il y a une mise en jeu des groupes musculaires impliqués dans la discipline. Des paramètres tels que le mouvement et la posture, le régime de contraction musculaire et l'importance de la charge entrent alors en ligne de compte dans le choix des modalités d'exécution. La musculation devient très spécifique lorsque l'on s'entraîne de manière pointue pour la compétition. C'est la recherche de la force dans le mouvement de compétition que l'on vise à ce stade de la préparation, le paramètre vitesse d'exécution devient alors très important.

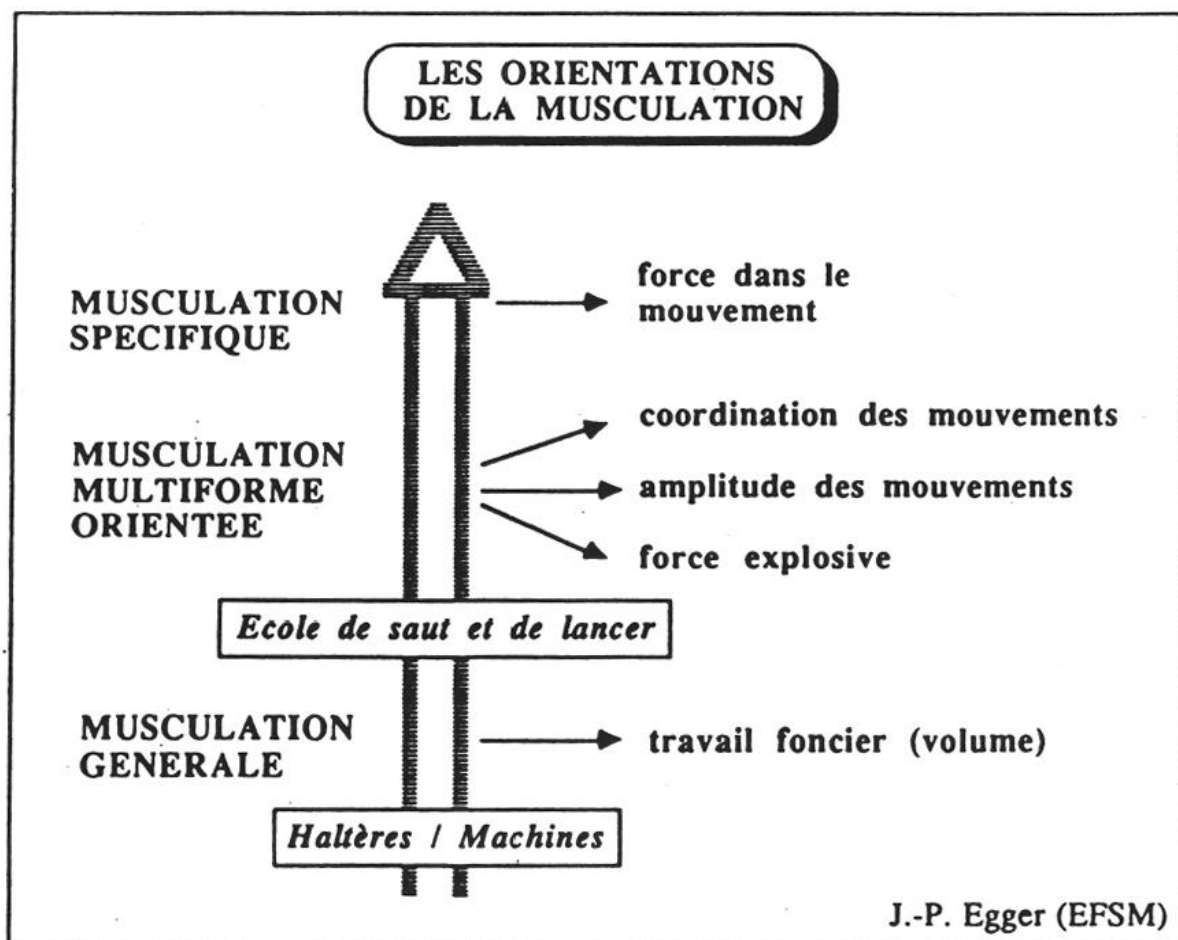


Figure 1

Ma présentation englobe la musculation spécifique et la musculation multiforme orientée car il est difficile de séparer les deux notions.

Lorsque l'on évoque la musculation spécifique, il convient de prendre en compte un certain nombre de paramètres. Ceux habituellement envisagés dans la littérature correspondent au mouvement et à la posture, au régime de contraction, à la charge et à la vitesse d'exécution. À ces paramètres, j'ajouterais le mode d'activation musculaire. Cela me paraît important dans la mesure où l'électrostimulation fait depuis quelques années partie intégrante des pratiques d'entraînement. Dès lors, une différence d'activation musculaire entre la contraction volontaire et l'électrostimulation est susceptible de générer des adaptations spécifiques. De plus, pour cette dernière modalité d'activation, la fréquence de stimulation est un paramètre à prendre en compte dans le cadre de la spécificité.

### *1 - Spécificité en fonction du type de mouvement ou de la posture*

De nombreuses études ont montré qu'il existe une spécificité en fonction du mouvement ou de la posture. On peut en effet augmenter sa force maximale sans que ce gain ne se transfère automatiquement dans le geste de compétition. Pour illustrer mes propos, j'ai repris les résultats de travaux publiés par THORSTENSSON et coll. (1976) rapportés par SALE (1988). Ceux-ci ont comparé les effets d'un entraînement en squat à charge élevée (80 % du maximum), d'une durée de 8 semaines, sur le gain en force. Ces effets ont été observés sur deux tests différents (en fonction de la posture adoptée), mais sollicitant les mêmes groupes musculaires dans leur globalité. En plus du squat (qui était l'exercice d'entraînement), « la presse horizontale » a été retenue en tant que test. On peut remarquer (fig. 2) que les gains en force obtenus sont doublés lorsque l'exercice-test effectué correspond à l'exercice d'entraînement. Manifestement, il y a là une spécificité due à la posture puisque, si l'on sollicite les mêmes groupes musculaires, le transfert de force est très limité lorsque le geste est différent. Avec la prudence qui s'impose, on peut considérer que le gain obtenu pour la presse reflète le gain réel de force musculaire, tandis que l'amélioration enregistrée en squat représente non seulement un gain au niveau musculaire, mais également au niveau de la commande nerveuse du mouvement. Il serait sans doute intéressant de pratiquer les deux types de tests

pour mieux estimer la part relative entre les mécanismes nerveux et musculaires dans les adaptations enregistrées par l'entraînement.

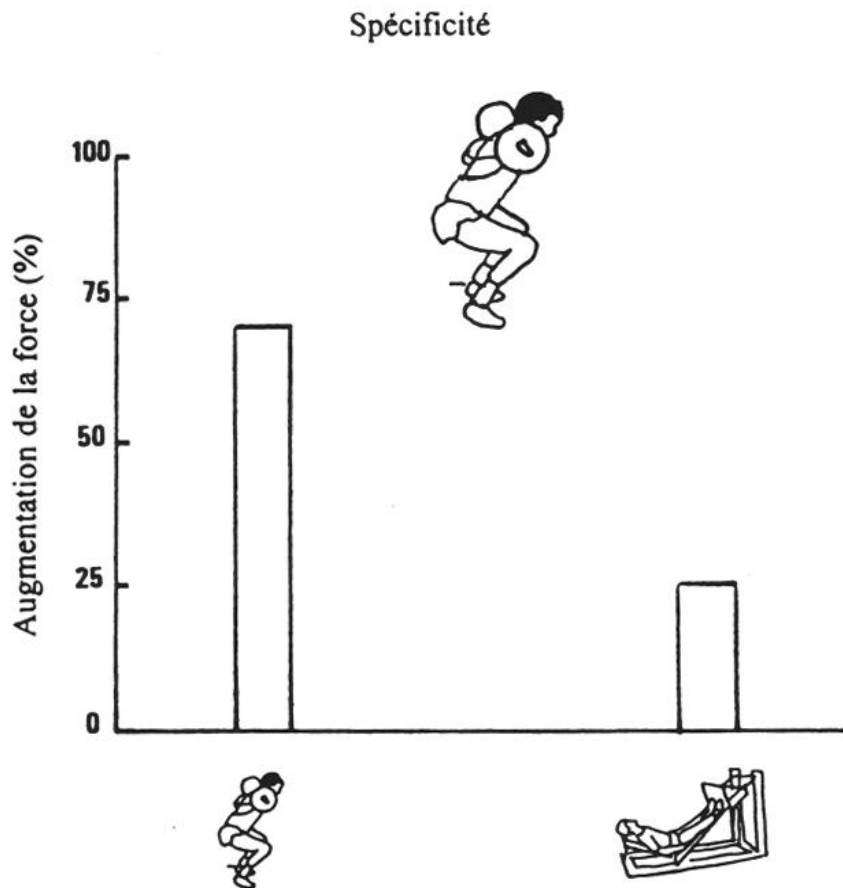
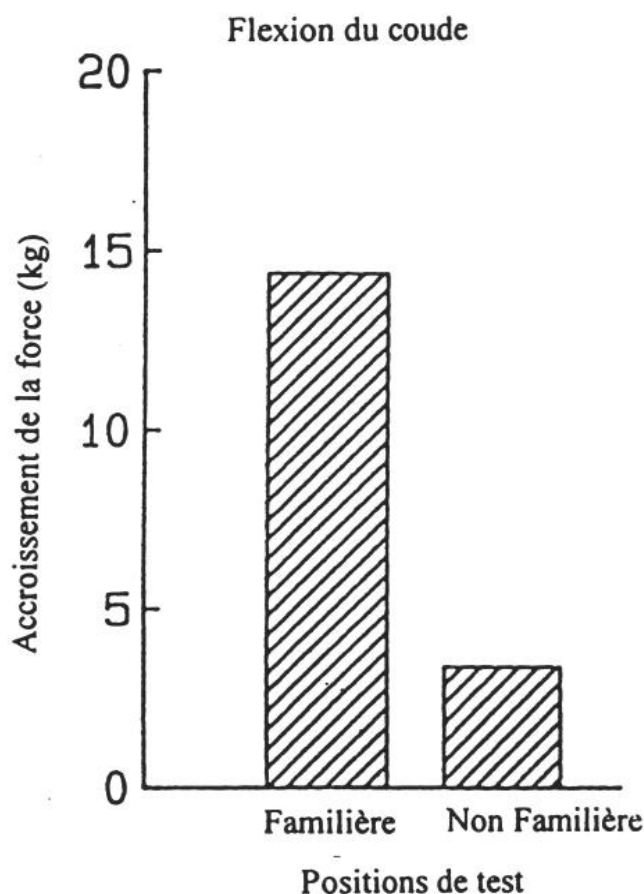


Figure 2 (d'après SALE)

Dans l'exemple précédent, il peut être remarqué que les deux tests mettent en jeu principalement les quadriceps, mais malgré tout dans une gestuelle quelque peu différente. Cependant, lors d'expérimentations où la gestuelle a été préservée, il a été montré une spécificité des gains de force par rapport à la posture d'entraînement. Par exemple, RASCH et MOREHOUSE (1957) ont entraîné les fléchisseurs (biceps) des bras dans une posture où le tronc était vertical. Les tests consistaient à évaluer, avant et après entraînement, les progrès en force dans la même position que celle adoptée à l'entraînement, mais également dans une position différente, à savoir le tronc à l'horizontale (fig. 3). Cette approche était possible grâce à un dispositif avec poulies qui permettait de mobiliser le même système de charge

dans les deux conditions de test. La conclusion de cette étude est que les gains en force étaient largement supérieurs lorsqu'ils étaient mesurés dans la position d'entraînement (fam.) comparativement à une position différente (non fam.), bien que les autres paramètres (régime de contraction, plage articulaire balayée, charges et répétitions) étaient rigoureusement identiques.



**Figure 3**

Un autre élément important de spécificité relative au mouvement, insuffisamment pris en compte dans les milieux sportifs, est ce qu'on appelle le déficit bilatéral. Ce déficit qui a été plus particulièrement étudié au niveau des membres inférieurs est en réalité défini comme étant la différence entre la force que l'on peut développer, par exemple lors d'un mouvement simultané des deux jambes, par rapport à l'addition des forces exercées par chacune des jambes isolément. Ainsi, lors d'un mouvement bilatéral d'extension des jambes, on constate par rapport à la somme des pous-

sées unilatérales (gauche puis droite), un déficit moyen chez les sédentaires évalué à 10 % (fig. 4 ; HOWARD et ENOKA, 1991). De façon intéressante, ce déficit est également présent chez des cyclistes dont le mouvement se caractérise par une action alternative des jambes, alors qu'il n'existe pas chez les haltérophiles pour lesquels les jambes agissent simultanément. On peut même parler, chez ces derniers, d'une facilitation bilatérale puisqu'ils sont capables d'exercer davantage de force dans ces conditions. Il existe donc des différences, quant à l'importance du déficit bilatéral, en fonction des disciplines sportives pratiquées. La question est de savoir s'il s'agit d'un facteur héréditaire ou si c'est le résultat de l'entraînement, comme tend à la prouver l'étude de COYLE et coll. (1981). Ces auteurs ont en effet montré que l'entraînement pouvait être responsable de modifications au niveau du déficit bilatéral (fig. 5). L'étude portait sur des sujets qui développaient leurs quadriceps, dans une action simultanée d'extension des jambes, pendant 6 semaines à raison de 3 entraînements par semaine. Les résultats ont mis en évidence que les gains étaient plus importants pour les tests exécutés en extension simultanée des deux jambes que pour ceux obtenus lors d'une action unilatérale. En conclusion, il y a donc une spécificité en fonction du type de mouvement (action uni ou bilatérale) qu'il convient de prendre en compte dans les programmes de musculation.

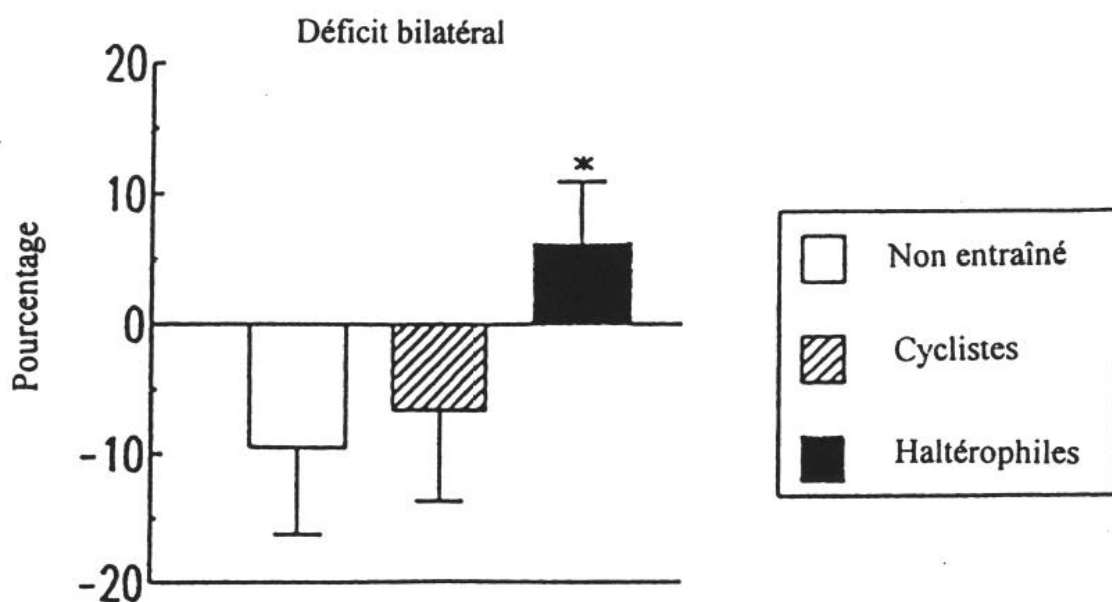


Figure 4 (d'après HOWARD et ENOKA)

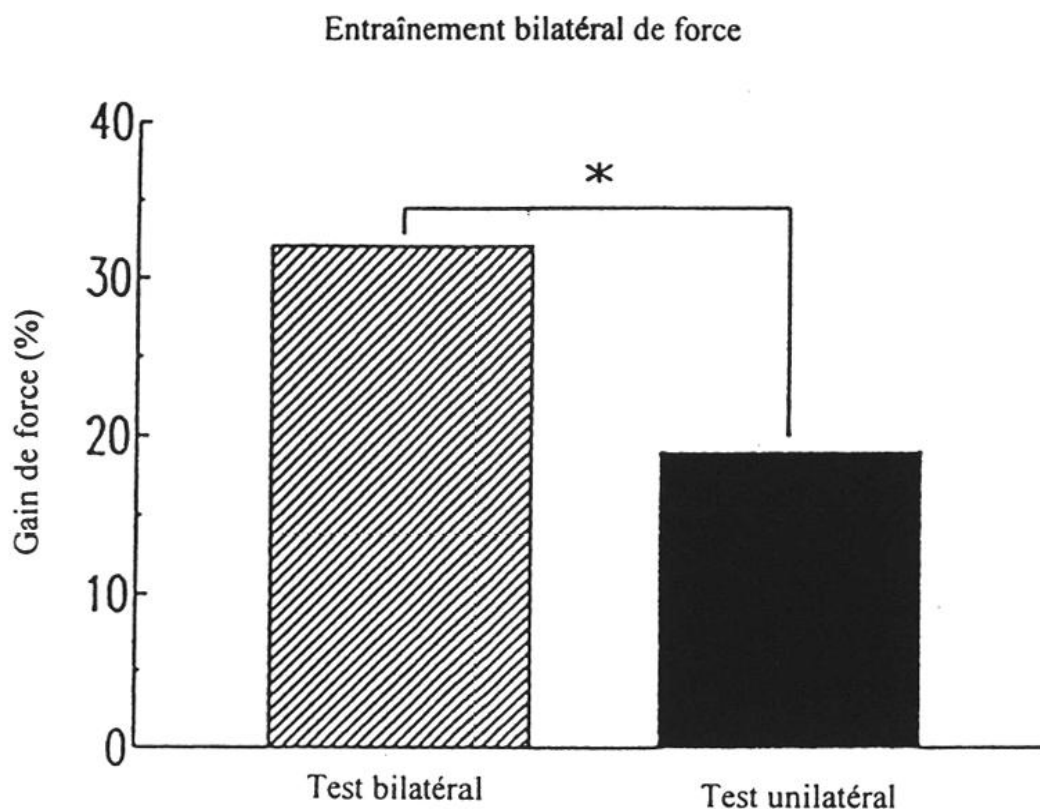


Figure 5 (d'après COYLE et coll.)

Un autre aspect de la spécificité concernant la posture est lié à l'angle d'entraînement lors d'un renforcement musculaire pratiqué sous forme de contractions isométriques. Une étude de THÉPAUT-MATHIEU et coll. (1988) traite de ce problème (fig. 6). Quatre groupes de sujets ont été constitués, dont trois ont entraîné les fléchisseurs des bras pendant 5 semaines à raison de 3 entraînements par semaine. Chacun de ces trois groupes s'est entraîné à 80% de ses possibilités maximales et avec un angle particulier du coude : fermé ( $120^\circ$ ), ouvert ( $25^\circ$ ) et intermédiaire ( $80^\circ$ ). Le quatrième groupe ne s'est pas entraîné et servait de témoin afin de s'assurer que les variations de force pour les groupes entraînés n'étaient pas dues à des variations biologiques ou aux procédures de test. Les couples de force maximale ont été mesurés avant et après entraînement à différents angles d'ouverture du coude. Cette étude montre que les gains en force sont très spécifiques aux conditions angulaires d'entraînement. Ainsi, les sujets entraînés dans une angulation fermée ( $S_{120}$ ) accroissent surtout leur



force pour l'angle d'entraînement ainsi que pour les angles adjacents, mais très peu pour les angles plus ouverts. Pour ceux qui se sont entraînés à un angle ouvert ( $L_{25}$ ), les gains sont importants dans cette position mais s'ame-  
nuisent progressivement lorsqu'on s'en écarte. Le groupe, qui s'est entraîné dans une condition angulaire intermédiaire ( $M_{80}$ ), enregistre les gains les plus importants dans la plage angulaire correspondante. Le transfert de force diminue donc progressivement au fur et à mesure qu'on s'écarte de l'angle d'entraînement. D'autres auteurs ont confirmé ces résultats, ce qui montre très clairement une spécificité des gains en force en fonction de l'angle d'entraînement en régime isométrique.

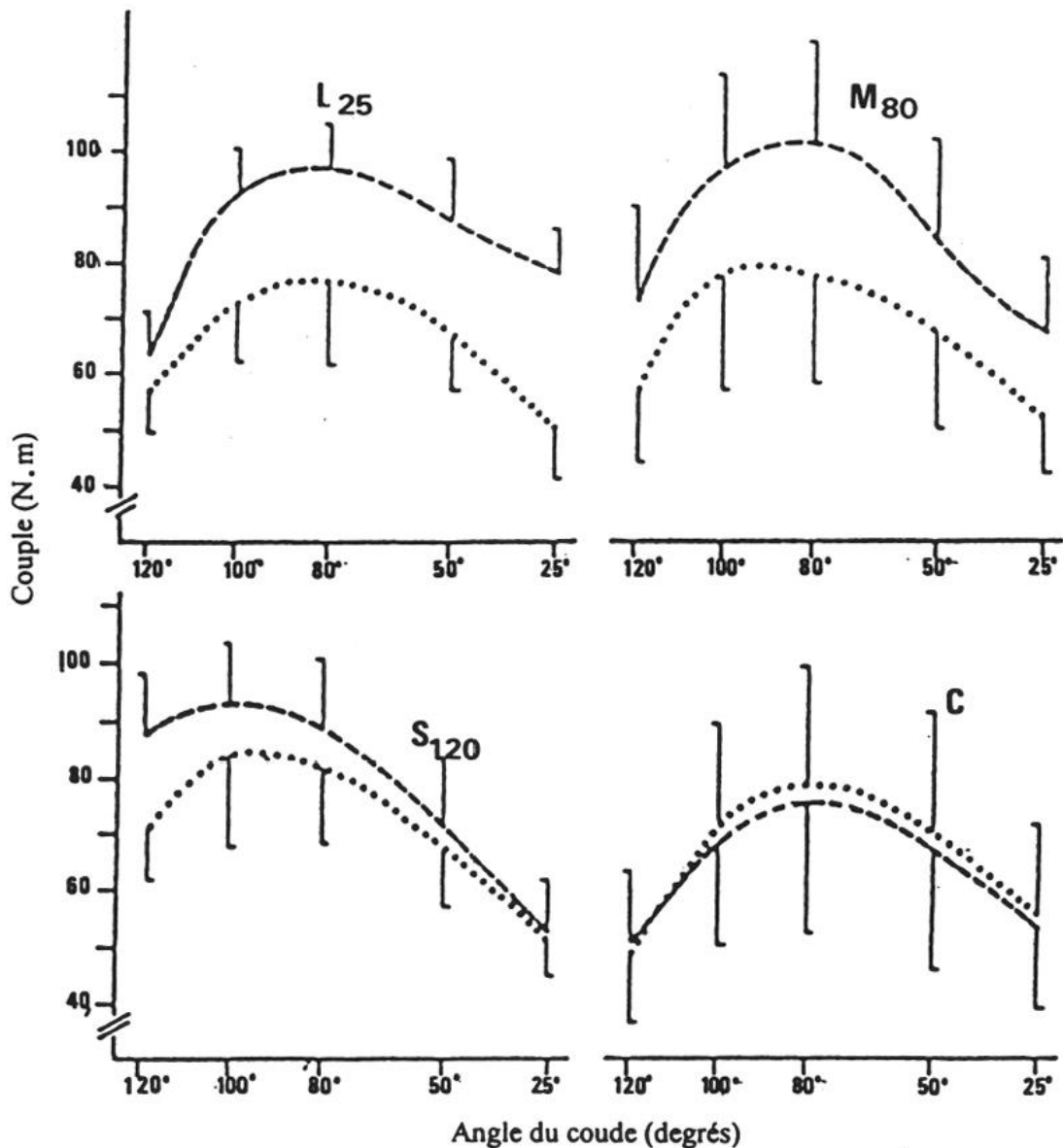


Figure 6 (d'après Ch. THÉPAULT-MATHIEU et coll.).

La présence d'une spécificité des adaptations à l'entraînement pose le problème des mécanismes physiologiques sous-jacents. Classiquement, on distingue deux grandes adaptations : l'une de type musculaire, l'autre de type nerveuse et neuro-physiologique. En laboratoire, ces deux mécanismes peuvent être distingués rigoureusement l'un de l'autre, en comparant les gains en force observés sous contraction maximale volontaire ou induite par stimulation électrique. C'est un travail que nous avons réalisé il y a quelques années. Dans cette étude, 6 sujets se sont entraînés pendant 6 semaines à raison de 5 séances par semaine en contraction volontaire. Les gains en force testés par la contraction volontaire étaient de 19% alors qu'ils n'atteignaient que 13% lorsqu'ils étaient mesurés après électrostimulation. Cette dernière approche est intéressante car elle « court-circuite » l'activation volontaire et teste donc essentiellement les adaptations musculaires. La comparaison des gains en force mesurés par les deux modalités d'activation permet donc de conclure que 13% de l'augmentation en force étaient dus à des modifications siégeant au niveau musculaire, tandis que les autres 6 % correspondaient à des améliorations localisées au niveau du système nerveux, c'est-à-dire de la commande et de la régulation de la contraction.

• Quels sont les sites d'adaptation de ces mécanismes ?

Il est actuellement admis que l'augmentation de force au niveau périphérique se fait principalement par une hypertrophie musculaire, c'est-à-dire une augmentation de la taille des fibres sans réelle augmentation de leur nombre. L'accroissement de tension maximale est consécutive à une augmentation du taux de protéines contractiles au sein de chacune des cellules musculaires. Au niveau nerveux, les phénomènes sont plus complexes. Différentes hypothèses ont été avancées :

- Un recrutement plus complet des unités motrices (UM) du muscle s'installerait progressivement avec l'entraînement, pouvant être considéré plutôt comme un apprentissage.

- Une augmentation des fréquences de décharges au niveau des plus grandes UM. En effet, l'homme ne semble pas capable de faire pulser ses grandes UM à des fréquences de décharges très élevées, du moins lors

de contractions maintenues. On pensait pouvoir observer des fréquences de l'ordre de 50-60 Hz lors d'une contraction isométrique maximale. Ces fréquences sont rarement atteintes, surtout chez le sujet non entraîné.

- Un mécanisme d'inhibition au niveau du système neuro-musculaire, et notamment celui dû à l'excitation des Organes Tendineux de Golgi (OTG). Il s'agit d'un mécanisme réflexe déclenché à partir d'organites situés à la jonction musculo-tendineuse. Ces récepteurs OTG sont très sensibles aux tensions musculaires. Lors de contractions intenses, ils produiraient une inhibition des motoneurones des muscles en activité (inhibition homonyme), ce qui limiterait le niveau de tension musculaire. Nous pouvons concevoir cela comme un mécanisme de protection permettant de maintenir l'intégrité de l'individu. Lors de contractions non maximales, l'intervention de ce mécanisme serait négligeable et se produirait surtout lors de tensions extrêmement élevées, notamment lors de contractions excentriques (AMIRIDIS et coll, 1996). Des indices permettent de penser que l'entraînement aboutirait à « désinhiber » progressivement ce système inhibiteur (SCHMIDBLEICHER et GOLLHOFER, 1982). On pourrait donc atteindre des niveaux de tensions supérieurs après entraînement, puisque ce mécanisme réflexe ne serait mis en jeu que pour des seuils de tension plus élevés.

- Une désinhibition des mécanismes réflexes liés à l'inhibition réciproque, c'est-à-dire entre muscles agoniste et antagoniste. Depuis les travaux de SHERRINGTON au début du siècle, nous savons qu'un muscle en contraction inhibe son antagoniste. Chez des sujets non entraînés, des contractions parasites au niveau de la musculature antagoniste ne sont pas rares et peuvent entraver la performance de l'agoniste. Il semble que le renforcement musculaire soit susceptible d'agir plus fortement sur l'inhibition de l'antagoniste (CAROLAN et CAFARELLI, 1992), favorisant ainsi l'expression mécanique de la contraction de la musculature agoniste.

- Une modification de la synergie musculaire. Il peut exister en effet une modification de la sollicitation respective des muscles mis en jeu. Cet aspect a été étudié dans le cas de l'activation du groupe musculaire soléaire-jumeaux (triceps sural). Il n'est peut être pas inutile de rappeler que le soléaire est un muscle lent et monoarticulaire qui s'insère d'une part sur

le calcaneum et d'autre part sur la partie proximale du tibia. Les jumeaux sont des muscles rapides et ont les mêmes insertions distales que celles du soléaire sur le calcaneum, tandis qu'au niveau proximal chacun des jumeaux s'insère sur un des condyles du fémur. Ces chefs musculaires sont donc bi-articulaires. Notre propos a été d'étudier l'importance relative de la contribution de ces différents muscles dans le cas de mouvements exécutés à différentes vitesses d'extension du pied ( $120^{\circ} \cdot s^{-1}$  et à vitesse maximale). Cette contribution a été étudiée par le biais de l'analyse de l'activité électromyographique (EMG) dont l'intensité est à peu près proportionnelle à la tension exercée. Le rapport entre la contribution EMG du soléaire et celle des jumeaux, dans une position « genou fléchi » ou « genou tendu », est différente selon la vitesse de mouvement (fig. 7 ; CARPENTIER et coll., 1996). À vitesse lente, « genou fléchi », c'est essentiellement le soléaire qui apporte sa contribution au mouvement. Par contre, pour un mouvement exécuté à une même vitesse mais genou tendu, la participation du soléaire diminue et celle des jumeaux devient plus importante. Si l'on considère des vitesses maximales, le rapport des contributions est relativement comparable dans les deux positions articulaires.

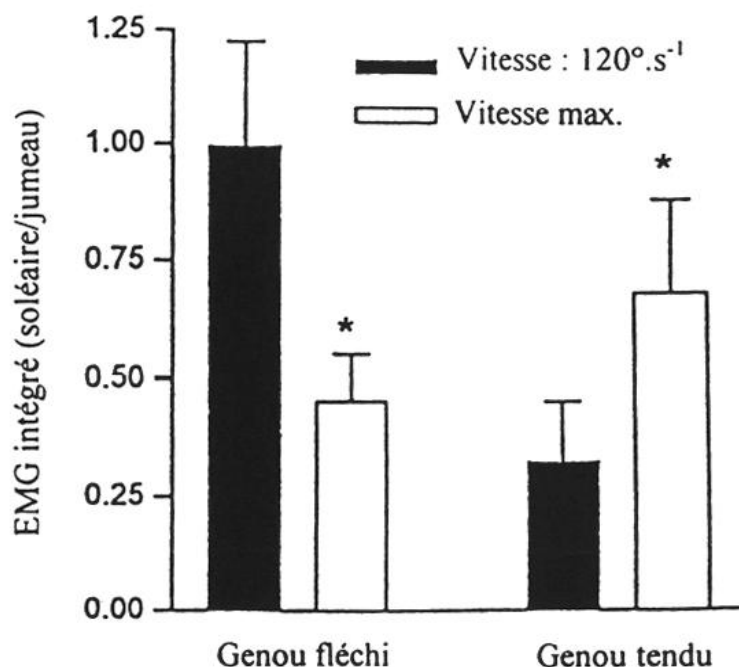


Figure 7

Ce travail présente des implications intéressantes : si la position articulaire d'entraînement a été mal choisie, le degré de participation des différents chefs musculaires risque de ne pas être adapté à la spécialité. L'entraînement perdra donc de son efficacité. La coopération des muscles fixateurs est aussi considérée comme une action « synergiste » car la fixation de certaines articulations favorise l'action d'autres groupes musculaires. Dans ce cas aussi, si l'exercice d'entraînement n'est pas suffisamment ressemblant à la discipline sportive, il se peut qu'on n'entraîne pas les muscles fixateurs dans des situations optimales.

En conclusion, les paramètres liés au type de mouvement ou de posture sont extrêmement importants dans le contexte de la musculation spécifiques.

## *2 - Spécificité en fonction du régime de contraction*

En physiologie musculaire, on distingue trois grands régimes de contraction : isométrique, dynamique concentrique et dynamique excentrique. Au cours de la majorité des activités sportives, on rencontre des situations où une contraction concentrique succède immédiatement à une contraction excentrique. C'est ce qu'on appelle le cycle « étirement-détente ». D'autres modalités de contraction plus artificielles se rencontrent également mais nécessitent un appareillage spécial. C'est le cas de contractions « isocinétiques » qui sont caractérisées par une vitesse constante du déplacement segmentaire. Ce genre d'appareil est intéressant pour tester les caractéristiques musculaires mais ne représente pas un outil d'entraînement universel. Il existe en effet très peu de disciplines sportives au cours desquelles les gestes s'effectuent à vitesse constante, à l'exception de la natation, du kayak et de l'aviron où l'on se rapproche de l'iso-vélocité. Pour des sports plus « explosifs », présentant une accélération importante au cours du mouvement, ce type de contraction n'est certainement pas un outil d'entraînement spécifique. Des recherches sont actuellement en cours afin de réaliser des machines permettant de programmer des accélérations constantes au cours du mouvement. La possibilité de régler le niveau d'accélération devrait permettre de mimer le geste sportif de façon très spécifique. Ces machines sont, à ma connaissance, à l'heure actuelle, à l'état de prototype, mais elles devraient bientôt sortir sur le marché.

La spécificité en fonction du régime de contraction est souvent révélée en comparant les gains en force testés en laboratoire (souvent en isométrique) avec l'accroissement de la charge mobilisée (contraction dynamique) sur l'appareillage d'entraînement. Le tableau 1, issu d'une publication de MARINI et coll. (1984), résume plusieurs études de la littérature dans ce domaine. Il ressort de ce tableau que, dans le cas d'un entraînement en régime isométrique, on observe des gains en force supérieurs à un entraînement en contraction dynamique lorsque ceux-ci sont testés par une contraction isométrique maximale. Inversement, pour un entraînement dynamique, les gains sont plus importants qu'en isométrique lorsque les tests sont effectués au moyen d'une contraction dynamique. Des études plus récentes vont dans le même sens : celui d'une spécificité en fonction du régime de contraction (RUTHERFORD et JONES, 1986).

	Contrôle isométrique		Contrôle dynamique	
	Entraînement isométrique	Entraînement dynamique	Entraînement isométrique	Entraînement dynamique
Baer et coll. (1955) (fléchisseurs poignet)	++	+		
Mathews et Kruse (1957) (fléchisseurs coude)	++	+		
Leach et coll. (1965) (extenseurs genou)			+	++
Berger (1961) (extenseurs tronc)	++	+	+	++
Ward et Fisk (1964) (extenseurs genou)	+++	+	+	+
(fléchisseurs coude)	+++	+	+	+ (+)
Billowitt (1968) (extenseurs du coude)	+	0	0	+

**Tableau 1** (d'après Ch. THÉPAUT-MATHIEU)

Il serait intéressant de savoir si un gain de force acquis sous entraînement isométrique est transférable à des effets dynamiques, et si l'import-

tance du transfert est liée à la vitesse de contraction du muscle. Les résultats de LINDH (1979) apportent des éléments de réponse (fig. 8). Dans ce travail, deux groupes de sujets se sont entraînés en isométrique (quadriceps), mais à des angles différents : un premier groupe à un angle de  $15^\circ$  (genoux en extension), l'autre groupe à un angle de  $60^\circ$ . Les résultats de cette étude confirment ceux de THÉPAUT-MATHIEU et coll. (1988), à savoir que les gains en force les plus importants sont obtenus pour l'angle d'entraînement. À cette étude de transfert inter-angulaire de la force, a été associée une étude sur la possibilité d'un transfert d'un régime de contraction à un autre. À cette fin, le niveau de force maximale au cours de contractions isocinétiques effectuées à des vitesses de  $30^\circ.s^{-1}$  et  $180^\circ.s^{-1}$  a été testé avant et après les entraînements précédemment décrits. Ces transferts d'un régime de contraction à un autre sont très mauvais : le gain en force se réduit à environ 1/3 pour un mouvement réalisé à vitesse lente ( $30^\circ.s^{-1}$ ) et devient très faible à plus grande vitesse ( $180^\circ.s^{-1}$ ).

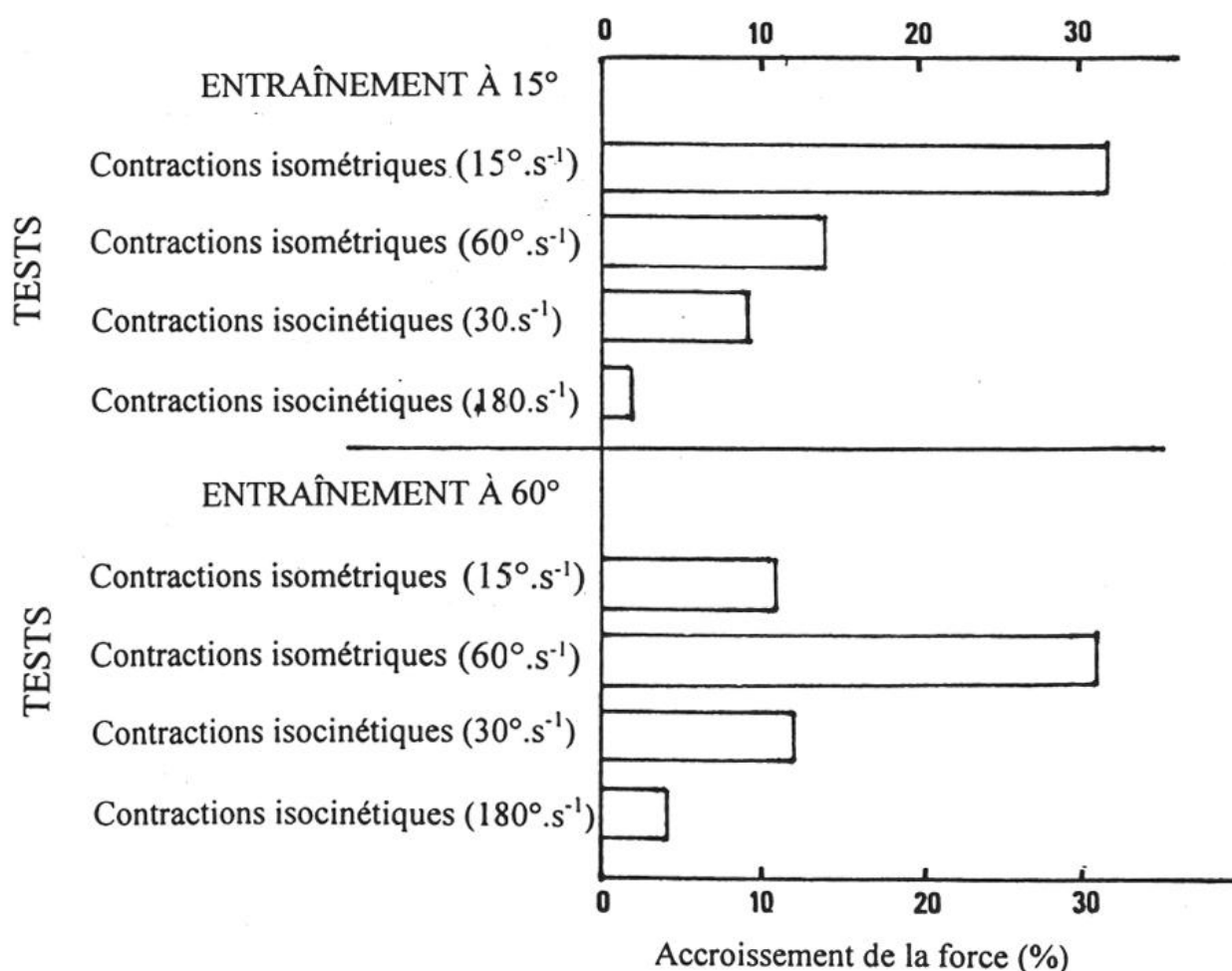


Figure 8

Il y a donc un mauvais transfert de la force acquise en isométrique vers une contraction dynamique qui est d'autant plus faible que la vitesse de mouvement est élevée.

La diversité des formes de contractions dynamiques pose cependant le problème d'une spécificité propre à cette modalité. Les contractions dynamiques s'effectuent soit à charge constante, soit à charge ajustée.

- À charge constante : la résistance reste constante pendant toute l'exécution du mouvement.

- À charge ajustée : la résistance offerte au mouvement s'adapte constamment en fonction de la position articulaire du sujet. En position favorable, la résistance devient plus importante. En position défavorable, l'importance de la charge sera moindre. Ainsi, la résistance représente, sur toute la phase du mouvement, à peu près le même pourcentage de la force maximale que peut développer le sujet. Cette modalité de travail nécessite des machines adaptées. PIPES (1978) s'est proposé d'analyser les gains en force obtenus après des entraînements pratiqués sous l'une ou l'autre de ces variantes au travers de quatre exercices différents (tableau n° 2). Une certaine spécificité est retrouvée : les gains en force sont plus importants lorsque tests et entraînements sont pratiqués avec un même système de résistance.

	Contrôle charge constante			Contrôle charge ajustée		
	Entr. charge constante	Entr. charge ajustée	Groupe Contrôle	Entr. charge constante	Entr. charge ajustée	Groupe Contrôle
Leg press	+ 28.9 %	+ 7.5 %	+ 0.1 %	+ 7.5 %	+ 27.0 %	+ 0.2 %
Pull-down	+ 25.4 %	+ 9.5 %	+ 0.2 %	+ 10.5 %	+ 24.5 %	+ 0.3 %
Military press	+ 21.9 %	+ 9.4 %	+ 0.1 %	+ 12.3 %	+ 27.3 %	- 2.5 %
Biceps curl	+ 25.5 %	+ 9.1 %	- 1.7 %	+ 7.8 %	+ 23.2 %	+ 2.3 %

**Tableau 2** (d'après PIPES)



Il existe cependant un transfert du gain en force dans les efforts développés à l'aide d'un système de charges différent de celui de l'entraînement, mais celui-ci est moins élevé (environ de moitié). En conclusion, même en régime dynamique concentrique, le type de résistance opposée à la contraction peut influencer les gains en force.

Les contractions dynamiques se différencient aussi en fonction du rapprochement ou de l'éloignement des insertions musculaires pendant la contraction : il s'agit respectivement de contractions concentrique et excentrique. Quelques études ont été menées afin d'analyser l'éventuelle spécificité en fonction de ces deux régimes de contraction. Parmi celles-ci, il convient de rapporter celle de TOMBERLIN et coll. (1991). Trois groupes de sujets ont été comparés : un groupe entraîné en concentrique, un groupe entraîné en excentrique et un groupe contrôle. Les gains en force ont été testés selon les deux modalités de contraction : concentrique et excentrique (fig. 9). C'est le groupe entraîné en régime concentrique (CT) qui a obtenu les gains en force les plus importants (+ 17%). Le groupe entraîné sous le mode excentrique (ET) a présenté des gains de moitié par rapport au premier. Le groupe contrôle (Ctr) n'a pas modifié significativement son niveau de force. Par contre, le groupe entraîné en régime excentrique présente les gains les plus importants sous le même mode de test (53%). À noter cependant que, dans ce cas, le groupe contrôle montre une augmentation relativement importante à l'occasion du deuxième test en mode excentrique. Il s'agit probablement d'un apprentissage au niveau de l'appareil. Les résultats de ces travaux confirment ceux plus antérieurs menés par KOMI et coll. (1972). Ces auteurs avaient en effet constaté que l'entraînement concentrique provoquait une augmentation de la force dès le début du programme d'entraînement pour ensuite plafonner très progressivement. Au contraire, l'entraînement excentrique induisait une diminution initiale de la force, probablement suite à des micro-déchirures du tissu musculaire provoquées par les tensions importantes induites par ce régime de contraction. Après cette baisse momentanée du potentiel musculaire, l'augmentation de force se faisait ensuite très régulièrement. À la fin du programme d'entraînement de 8 semaines, les gains en force étaient supérieurs en excentrique par rapport à ceux obtenus en concentrique.

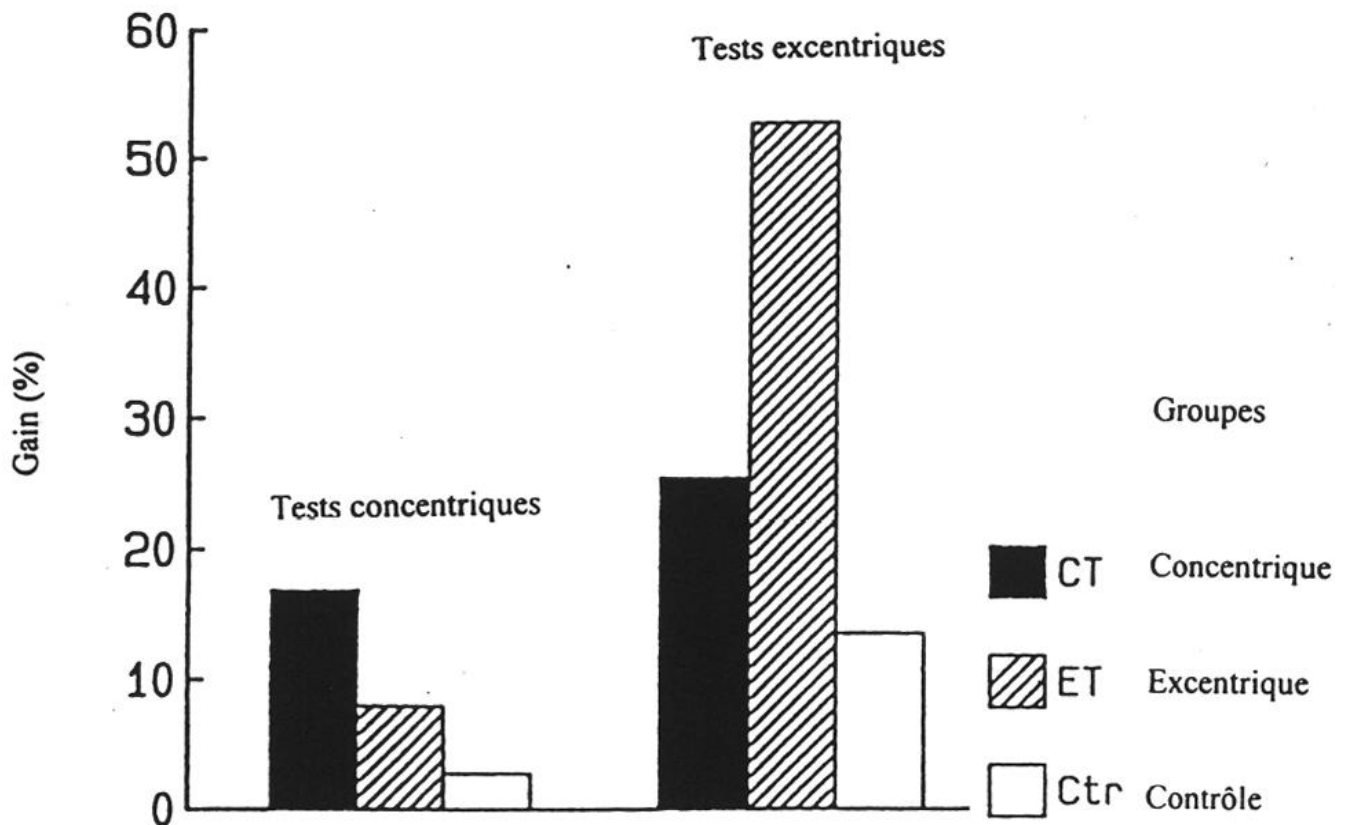


Figure 9 (d'après THOMBERLIN et coll.)

Comment expliquer l'efficacité supérieure des contractions excentriques par rapport aux contractions concentriques ? L'étude publiée par WESTING et coll. (1990) permet de répondre partiellement à cette question (fig. 10). Ces auteurs ont en effet établi la relation force-vitesse (en régime concentrique et excentrique) au niveau des muscles du quadriceps lors de différentes modalités d'activation : (a) en contraction volontaire (triangle) ; (b) en stimulation électrique (cercle vide) ; en contraction volontaire superposée d'une stimulation électrique (cercle plein). On remarque qu'une force moins importante est développée sous électrostimulation, car les sujets ne toléraient pas une stimulation maximale. Il est intéressant de constater que, pour une contraction concentrique, les plus grandes forces sont développées pour l'activation volontaire, quelle que soit la vitesse, et que la superposition de la stimulation électrique n'augmente pas le niveau de force.

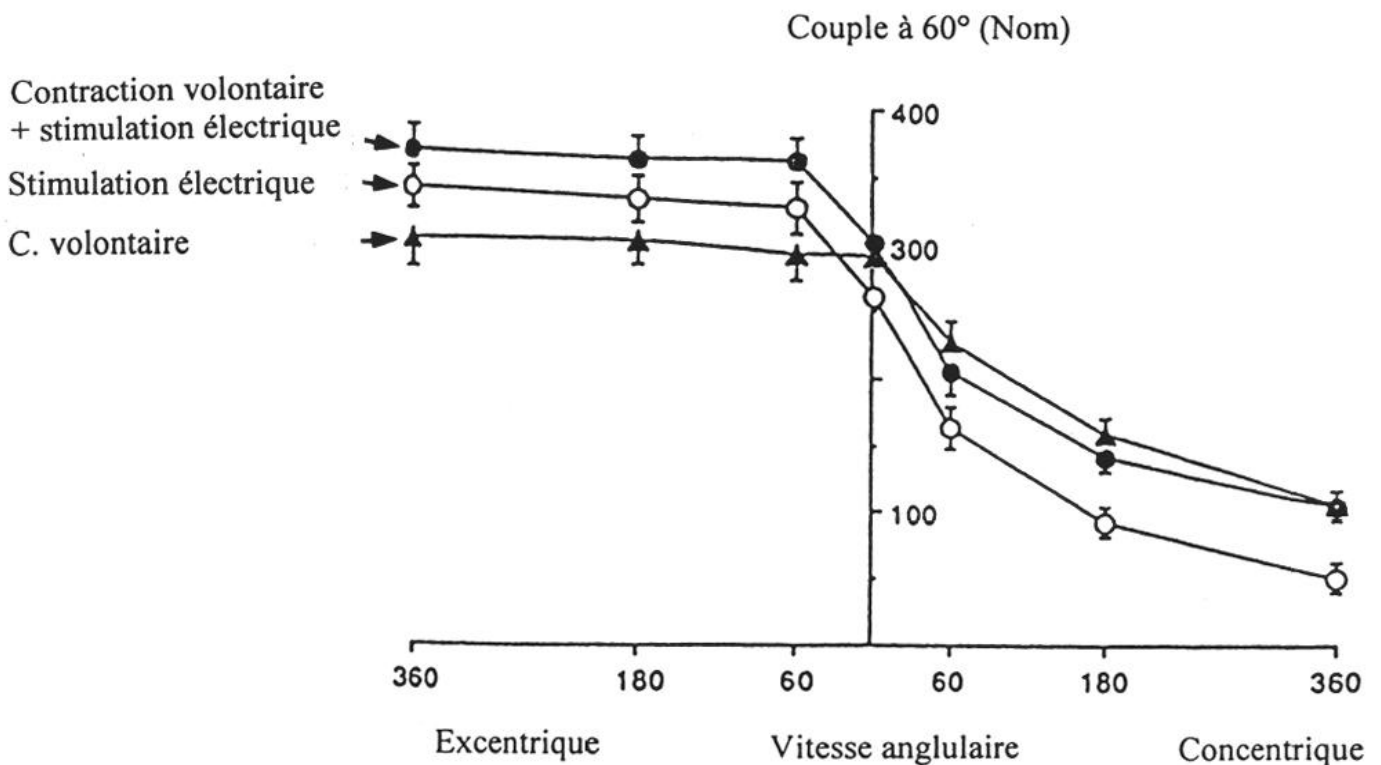


Figure 10 (d'après WESTING)

Par contre, en ce qui concerne le régime excentrique, la contraction volontaire engendre des niveaux de force moindres uniquement lorsque la stimulation électrique lui est superposée. L'explication la plus plausible est que l'activation volontaire est maximale en régime concentrique. Dès lors, la stimulation électrique ne permet pas d'accroître la force maximale développée par le muscle puisque l'ensemble des UM serait déjà recruté et déchargerait à leur fréquence maximale. Par contre, ce ne serait pas le cas lors des contractions excentriques pour lesquelles l'activation volontaire n'atteint pas un niveau maximal, comme en témoigne l'accroissement significatif de force lorsque l'on superpose une stimulation électrique. Ce mécanisme d'inhibition, comme nous l'avons envisagé précédemment, serait déclenché par les OTG et servirait à préserver l'intégrité physique de l'individu en évitant des niveaux de tension musculaire trop élevés. Ce mécanisme serait d'autant plus marqué que les sujets n'ont pas l'habitude de travailler en régime excentrique (AMIRIDIS et coll., 1996).

On peut donc légitimement penser qu'une partie des progrès enregistrés dans les premiers mois ou les premières années d'entraînement, et plus particulièrement en régime excentrique, seraient dus à une levée progressive de ce mécanisme d'inhibition. Cette hypothèse a également été proposée pour expliquer une partie des progrès lors de sauts en profondeur (pliométrie). En effet, SCHMIDBLEICHER et GOLLHOFER (1982) ont comparé l'activité électromyographique (EMG) des muscles jumeaux entre des sujets non habitués à effectuer ce type de saut et des athlètes confirmés. D'après la figure 11, une activité EMG plus importante est détectée juste après la réception au sol chez les sujets experts (b) comparativement aux sujets sédentaires (a) : il s'agit plus particulièrement du moment où les muscles extenseurs sont dans une phase de contraction excentrique suite à l'impact subi lors du contact au sol.

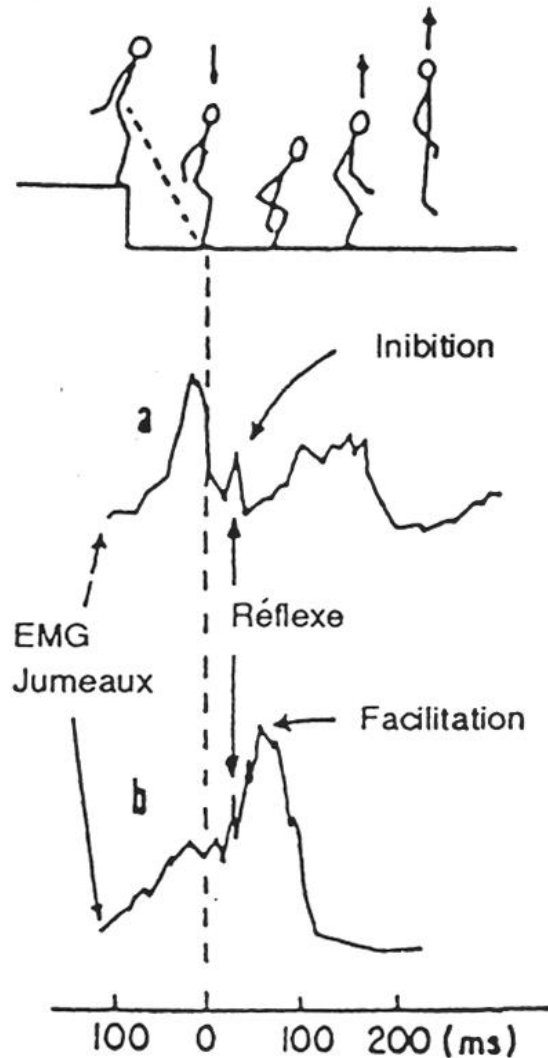


Figure 11 (d'après SCHMIDTBLEICHER)

Il existe une autre adaptation intéressante siégeant au niveau musculaire dont je n'ai pas encore parlé, c'est la modification possible de la composante « élastique série » du muscle. En effet, le muscle est non seulement une machine contractile permettant de générer une tension, mais c'est aussi un système qui présente une certaine élasticité. La vitesse avec laquelle la tension musculaire va se transmettre aux segments osseux dé-

pend, tout au moins partiellement, des caractéristiques de cette composante « élastique série ». Il est donc important d'envisager la possibilité d'une adaptation spécifique des éléments élastiques à l'entraînement. Une étude menée par POULAIN et PERTUZON (1988) a comparé les indices de compliance, c'est-à-dire la capacité du muscle à se laisser étirer, avant et après entraînement, pour différents régimes de contraction. Les résultats sont présentés par la figure 12.

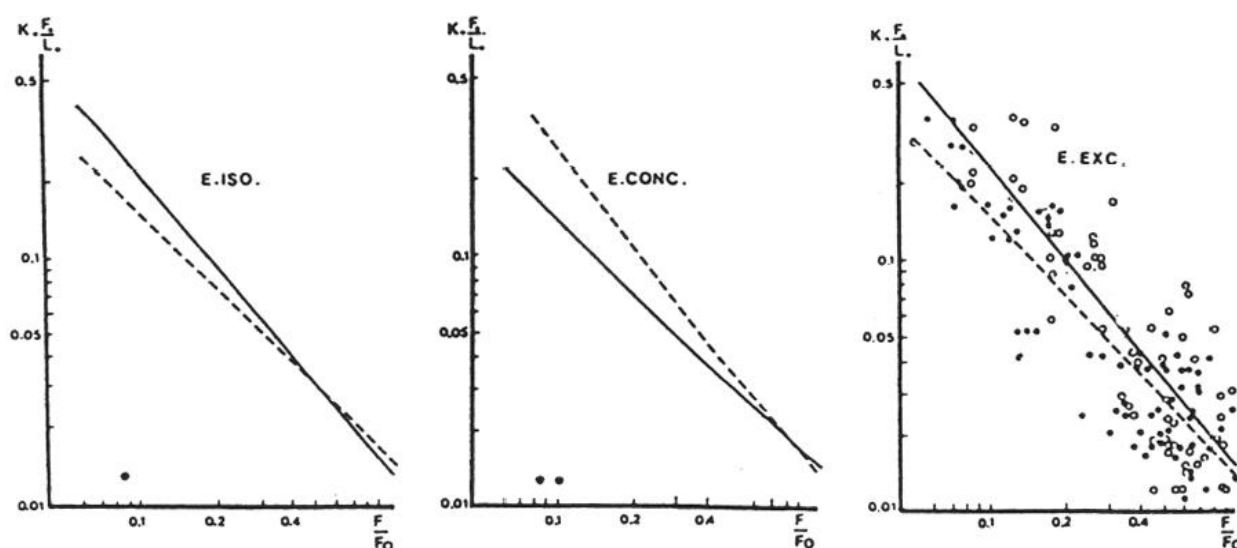


Figure 12 (d'après POULAIN)

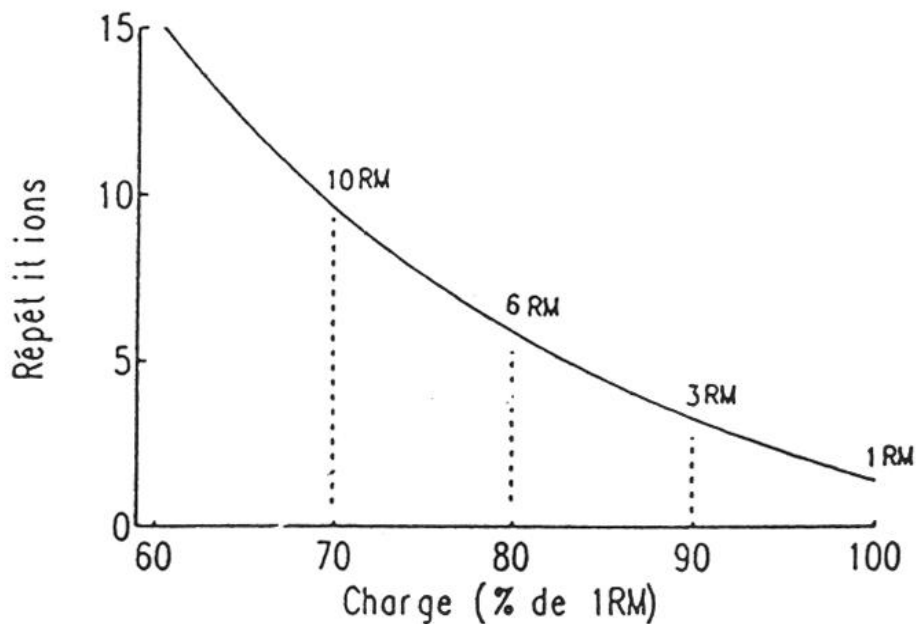
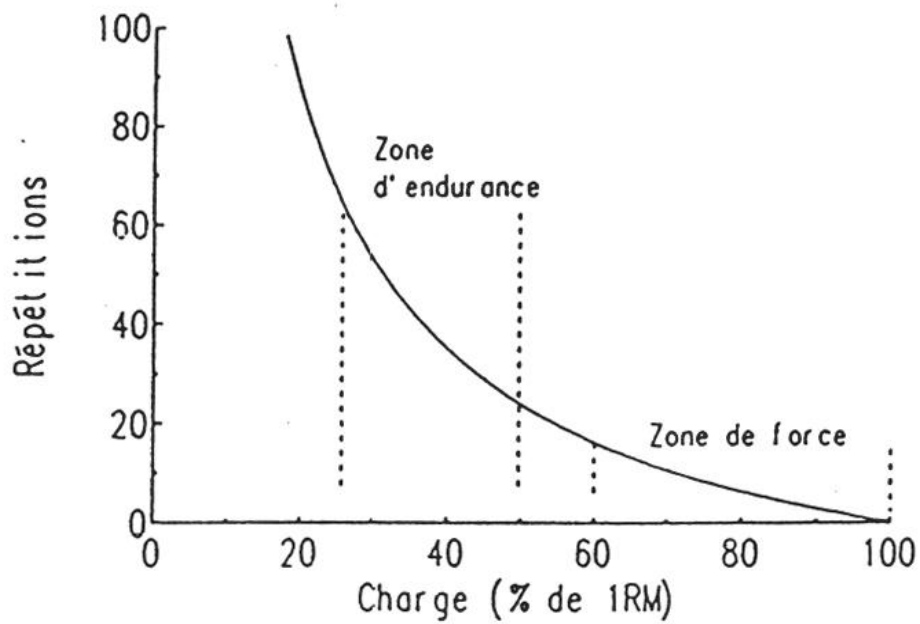
Figure 12 (d'après POULAIN et PERTUZON-Annales de Kinésithérapie-Masson-Éditeur).

Après un entraînement isométrique (E. ISO.), la relation entre la compliance ( $K \cdot \frac{F}{L}$ ) et le niveau de force exercé (exprimé en % de la force maximale) se déplace vers le bas, surtout pour les faibles valeurs de force. En d'autres termes, un entraînement en régime isométrique induit une diminution de la compliance du muscle, ce qui signifie que sa raideur augmente. A la suite de l'entraînement excentrique (E. EXC.), le muscle devient également moins compliant. Par contre, l'effet inverse est constaté après l'entraînement concentrique (E. CONC.) : le muscle évolue vers une moindre raideur. Cette évolution de la raideur après entraînement excentrique a été confirmée par POUSSON et coll., (1990). Plus récemment (1995), ces auteurs ont également constaté que la relation compliance-niveau de force après entraînement pliométrique évolue dans la même direction que l'entraîne-

ment excentrique, à savoir une augmentation de la raideur musculaire. Ces travaux expérimentaux montrent donc que les éléments élastiques du muscle s'adaptent également spécifiquement en fonction du régime de contraction utilisé à l'entraînement. La conséquence pratique est la suivante : l'accroissement de raideur après entraînement sous contractions excentriques, isométriques et pliométriques, permet au système musculaire de transmettre la tension musculaire plus rapidement à ses insertions sur le squelette contribuant ainsi à l'augmentation de la vitesse de mouvement. À noter qu'une transmission rapide de la force engendrée par la machinerie contractile est un facteur favorable à l'expression des capacités contractiles musculaires, et plus particulièrement pour les mouvements de type « étirement-détente ». Par contre, après entraînement en régime concentrique – sous lequel le muscle devient plus compliant –, ce facteur d'expression de la force deviendra moins favorable. La question relative à l'intérêt d'accroître la compliance d'un muscle trouve une réponse dans la constatation que dans ces conditions, celui-ci peut stocker davantage d'énergie élastique que dans un système musculo-tendineux plus raide. Néanmoins, la question de l'utilité de ce type d'adaptation, au regard des besoins de la plupart des disciplines sportives, reste posée et des expérimentations complémentaires s'avèrent nécessaires.

### *3 - Spécificité en fonction de la charge*

La spécificité en fonction de la charge peut s'envisager de deux manières. La première, indépendante de la vitesse, est liée au nombre de répétitions que l'on peut réaliser pour une charge donnée. Cette relation entre la charge et le nombre de répétitions se présente sous la forme d'une exponentielle décroissante (fig. 13) et permet de déterminer deux grandes zones d'entraînement. La première, dont les charges sont comprises entre 60 et 100 % du maximum, est utilisée pour le développement de la force. La seconde, dont les charges sont comprises entre 25 et 50 % du maximum, sert principalement au développement de l'endurance musculaire. Je n'évoquerai pas ce dernier aspect, mais l'on peut quand même préciser que, dans ce cas, il n'y a que des modifications d'ordre métabolique.



Si le paramètre vitesse est pris en compte et si, pour chaque répétition, la charge est mobilisée le plus rapidement possible, des modifications des caractéristiques force-vitesse du muscle peuvent être enregistrées. Ainsi, plusieurs études réalisées par HAKKINEN et coll. (1985), et présentées par SALE (1988) selon la figure 14, montrent que les montées en force

lors d'une contraction isométrique peuvent être différentes après entraînement en fonction de la charge utilisée. La force s'installe plus rapidement après un travail de type explosif (bondissements variés), mais le gain en force maximale est relativement limité. Par contre, après un entraînement avec charges lourdes (70-100 % du maximum), la vitesse de développement de la tension n'est pas modifiée, alors que la force maximale augmente de manière plus conséquente. Dans ce cas, il y a donc une spécificité en fonction de la charge.

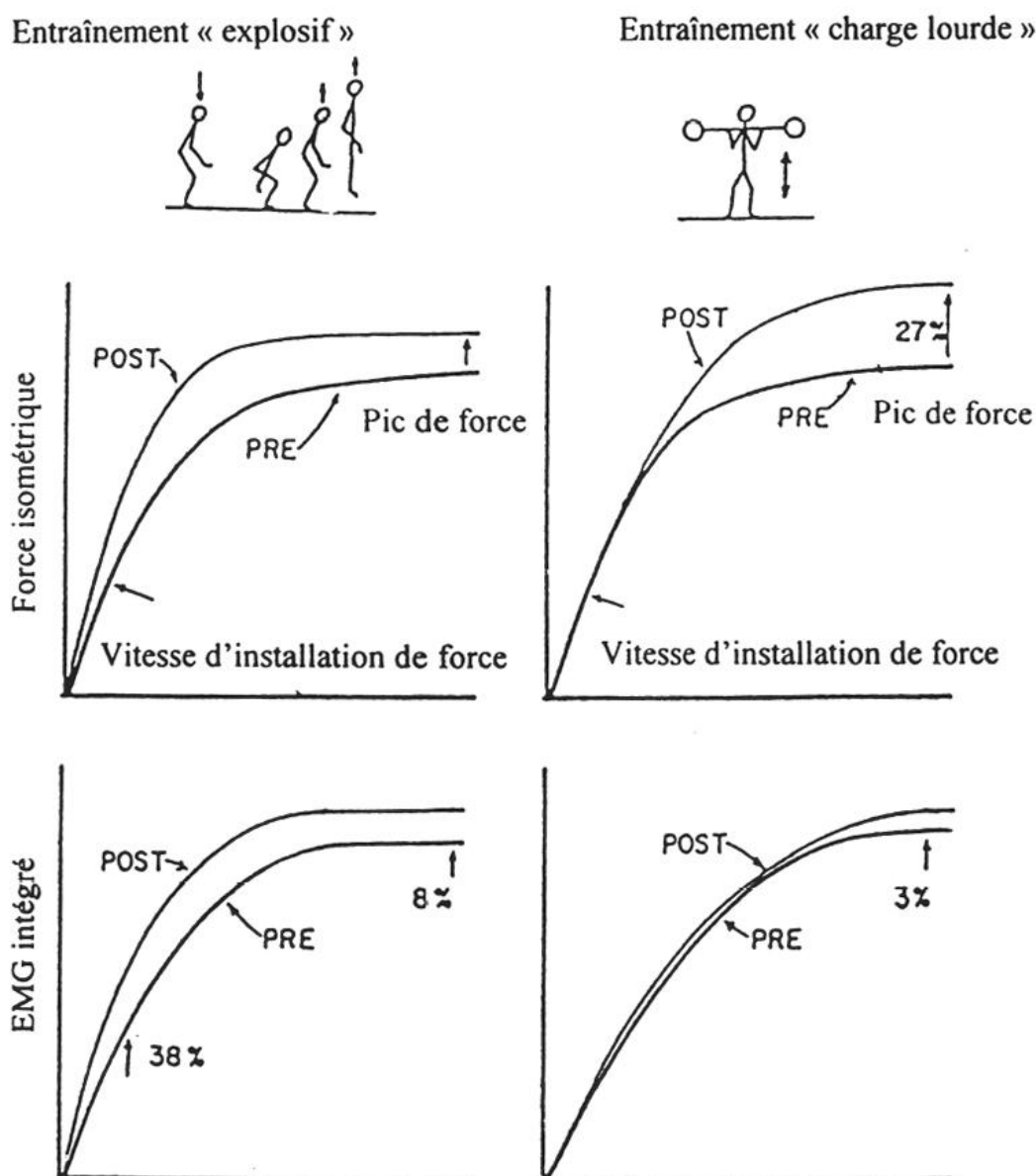


Figure 14 (d'après HAKKINEN)



Cette spécificité est retrouvée pour les niveaux d'activation musculaire. En effet, après entraînement à vitesses élevées (type explosif), l'activité EMG (I EMG) devient plus importante dans la phase précoce de la contraction isométrique. Après un travail avec des charges lourdes réalisé à vitesse plus lente, aucune augmentation de l'activation musculaire n'est observée lors de l'installation de la force. Une même adaptation est également rencontrée lorsque le muscle est stimulé électriquement à intensité maximale (DUCHATEAU et HAINAUT, 1984). La comparaison de ces deux études permet de conclure que des adaptations nerveuses, mais aussi musculaires, permettent de rendre compte des modifications observées. Nous y reviendrons dans le chapitre suivant.

#### *4 - Spécificité par rapport à la vitesse*

Si la notion de spécificité du régime de contraction et de la charge, en fonction du mouvement et de la posture, est bien admise par la plupart des chercheurs, il n'en est pas de même de celle concernant la spécificité en fonction de la vitesse. Je vais pourtant essayer de montrer qu'il existe un certain nombre d'éléments permettant d'admettre une spécificité en fonction de la vitesse.

La première constatation est la suivante : si l'on compare la force développée lors d'un mouvement d'extension du genou sur un appareil isocinétique entre des pratiquants de bodybuilding et des personnes peu sportives, des différences importantes apparaissent en fonction de la vitesse de mouvement. En effet, à une vitesse de  $180^{\circ}.s^{-1}$ , ce qui correspond à peu près à la vitesse du mouvement des bodybuilders dans leur exercice d'entraînement, la force développée est largement supérieure (35 %) chez ceux-ci par rapport à l'autre population. Par contre, cette différence est nettement moindre (7 %) si la force est enregistrée à vitesse plus rapide ( $300^{\circ}.s^{-1}$ ). Cette première étude semble donc indiquer une certaine adaptation liée à la vitesse d'entraînement. Dans la même optique, KANEHISA et MIYASHITA (1983) ont évalué les effets d'un entraînement de huit semaines sur l'accroissement de la force du quadriceps. Trois groupes de sujets se sont entraînés sur un appareil isocinétique à des vitesses différentes (lente, rapide et intermédiaire). Chacun des groupes a été testé avant et

après entraînement à cinq vitesses différentes (fig.15). Le constat est que le gain en force (puissance) est spécifique à la vitesse d'entraînement. En effet, le groupe qui s'est entraîné à vitesse lente (groupe L) a surtout augmenté sa force pour des vitesses lentes et de façon progressivement moins marquée au fur et à mesure que la vitesse de test devenait plus rapide. Par contre, le groupe entraîné à vitesse rapide (groupe R) a progressé à vitesse rapide et de façon moins marquée lorsque la vitesse diminuait. Enfin, le groupe intermédiaire (groupe I) présentait des gains assez similaires à toutes les vitesses de test, mais moins prononcés que pour les deux autres groupes. Une autre étude (COYLE et FEIRING, 1980) va dans le même sens, mais précise que la force acquise à vitesse rapide se transfère mieux à vitesse lente que dans le cas contraire.

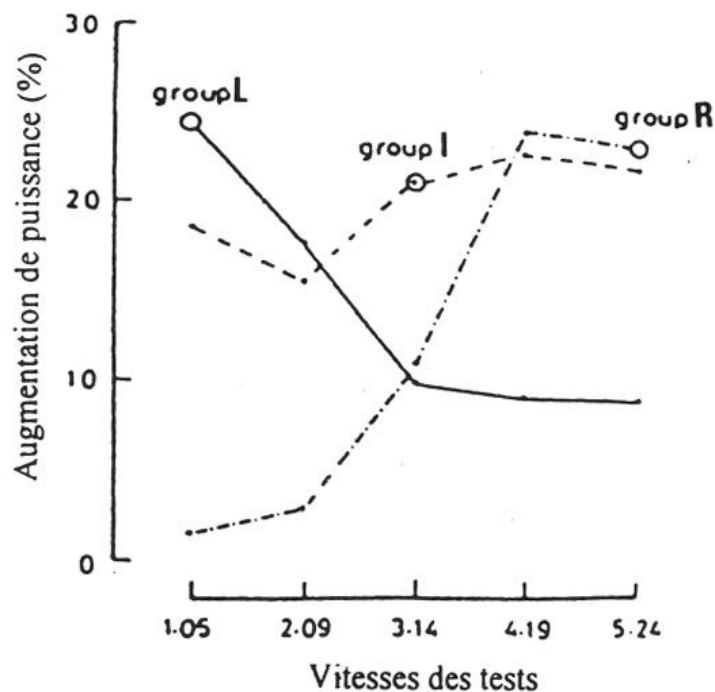


Figure 15 (d'après KANEIHSAN)

L'explication habituellement avancée, afin de rendre compte de la spécificité à la vitesse, est d'origine nerveuse. On constate en effet que, dans un muscle entraîné de façon explosive, l'activité EMG est augmentée

et plus particulièrement au moment de l'installation de la force (cf. fig. 14 ; KOMI, 1986). Parmi les hypothèses avancées pour expliquer cette activité EMG accrue, il faut signaler un recrutement plus précoce et plus synchrone dans le temps des différentes UM. Une tendance à une plus grande synchronisation des UM a été mise en évidence chez des haltérophiles par rapport à des sujets sédentaires ainsi qu'après un programme d'entraînement de force de 6 semaines (MILNER-BROWN et coll., 1975). D'autre part, il semblerait qu'une augmentation de la fréquence de décharge des UM puisse expliquer, du moins en partie, l'accroissement de vitesse d'installation de la force. Par contre, une possible modification de l'ordre de recrutement des UM par l'entraînement ne semble pas devoir être retenue (DUCHATEAU, 1992). En plus de ces adaptations nerveuses, des modifications siégeant au niveau du muscle lui-même peuvent également intervenir. En effet, dans l'une de nos études, nous avons enregistré la vitesse de mouvement contre des charges différentes en réponse à une stimulation électrique maximale. Dans ces conditions, la commande volontaire est « court-circuitée » et la relation charge-vitesse intrinsèque du muscle a pu être déterminée. Comme le montre clairement la figure 16, la relation s'adapte spécifiquement à la charge d'entraînement, puisque l'utilisation des charges maximales (ou très proches du maximum ; A) augmente surtout la vitesse de mouvement pour des charges lourdes tandis que la mobilisation la plus rapide possible de charges légères (30 à 40 % de la force maximale ; B) accroît surtout la vitesse pour des charges légères. La normalisation de la charge en fonction de la force maximale montre une superposition quasi parfaite des courbes avant et après entraînement à charge maximale (C) : ceci signifie que le gain en vitesse est essentiellement lié à l'accroissement de la force. Par contre, ces courbes restent différentes dans le cas de l'entraînement dynamique (D), ce qui suggère que des adaptations intrinsèques de la cinétique contractile du muscle sont présentes. Ceci est cohérent avec l'observation d'une diminution du temps de contraction des UM après entraînement dynamique (DUCHATEAU et HAINAUT, 1981). Des mécanismes liés à l'accroissement de l'activité de la myosine ATPase et/ou de la cinétique du  $\text{Ca}^{2+}$  sont susceptibles de rendre compte de cette plasticité musculaire à la vitesse.

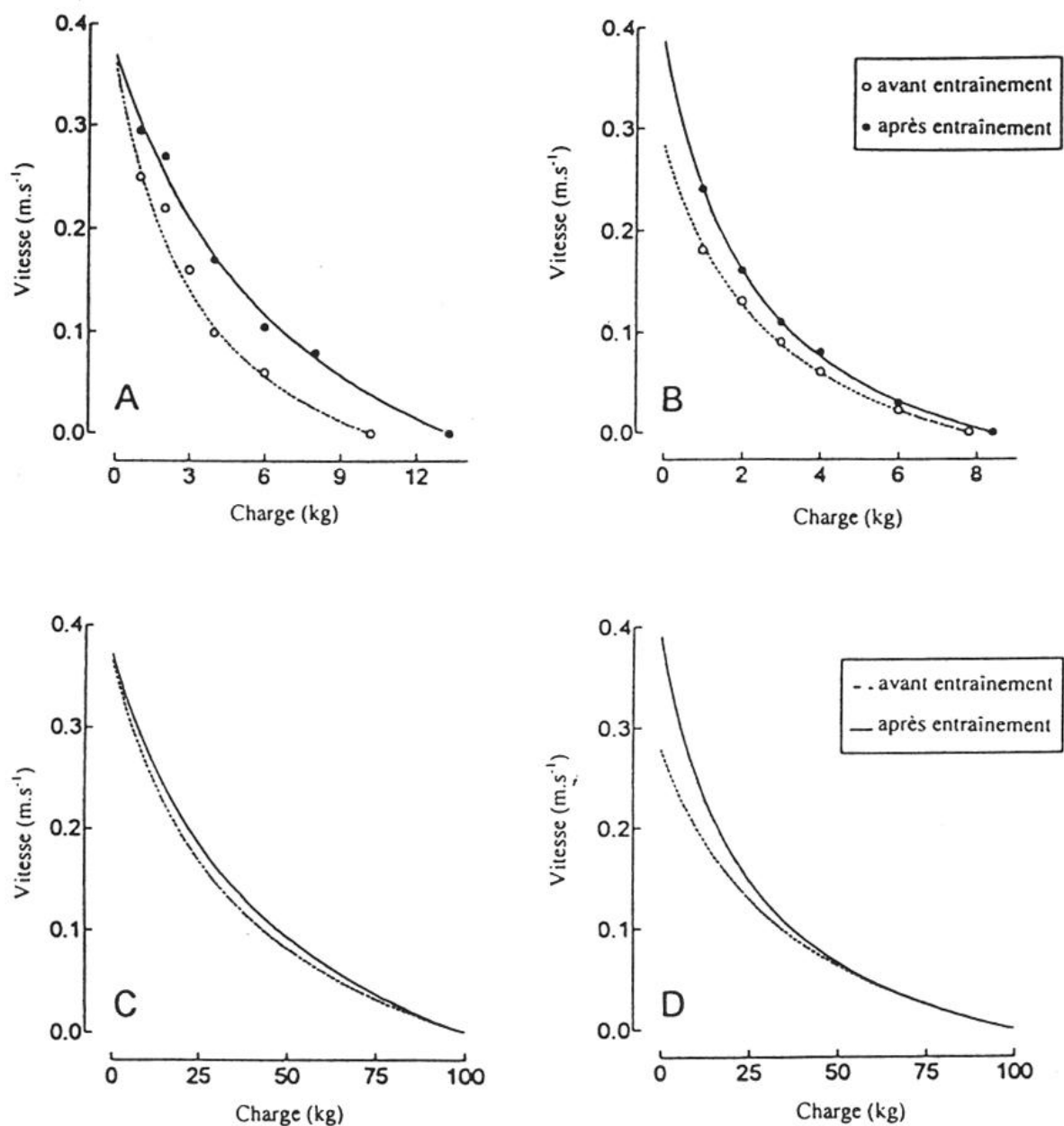


Figure 16

### 5 - La spécificité en fonction du mode d'activation

Il devient nécessaire de prendre en compte ce paramètre, puisque l'électrostimulation devient de plus en plus populaire dans le monde sportif. Avant d'envisager une éventuelle spécificité en fonction du mode d'acti-

tion, il convient d'envisager la question de savoir si l'électrostimulation est supérieure à la contraction volontaire. L'analyse de la littérature comparant, dans des conditions de travail à peu près identiques, les gains en force obtenus après entraînement par contraction volontaire ou sous stimulation électrique (tableau 3), ne permet pas de conclure de façon unanime. En effet, si certaines études ne montrent pas de différence entre ces deux modes d'activation, d'autres mettent en évidence des gains moindres sous électrostimulation par rapport à la contraction volontaire. Aucune étude n'a cependant montré à ce jour des gains supérieurs sous électrostimulation. Le rendement moindre de l'électrostimulation peut s'expliquer par les niveaux de tension plus faibles atteints lors des entraînements en électrostimulation par rapport aux contractions volontaires. Cela dépend en réalité de la capacité des sujets à supporter une intensité de courant permettant d'obtenir des niveaux de force suffisants pour engendrer une amélioration de la force, mais ce n'est pas toujours le cas (DUCHATEAU et HAINAUT, 1988). On peut en effet supposer qu'un recrutement différent des UM dans ces deux modalités d'activation pourrait rendre compte d'adaptations spécifiques, ceci d'autant plus que les niveaux de force utilisés à l'entraînement sont sous-maximaux.

Références	Muscles entraînés (*)	Gains de force		Comparaisons
		E.S	C.V	E.S / C.V
ERIKSSON et coll. (1981)	QF	14	16	ES = CV
LAUGHMAN et coll. (1983)	QF	22	18	ES = CV
MCKEN et coll. (1983)	QF	22	25	ES = CV
MILLER et THEPAUT-MATHIEU (1990)	BB	30	28	ES = CV
CANNON et CAFARELLI (1987)	AP	15	15	ES = CV
CURRIER et MANN (1983)	QF	16	30	ES = CV
KUBIA et coll. (1977)	QF	33	43	CV > ES
HALBACH et STRAUSS (1980)	QF	22	42	CV > ES
MOHR et coll. (1985)	QF	1	15	CV > ES
DAVIES et coll. (1985)	ID	-1	33	CV > ES
DUCHATEAU et HAINAUT (1988)	AP	13	21	CV > ES

(\*) QF : quadriceps fémoral, BB : biceps brachial, ID : 1er interosseux, AP : adducteur du pouce

Tableau 3

Lors d'une contraction volontaire, on sait que la mise en jeu des UM se fait selon une séquence bien déterminée, les petites UM lentes étant activées à un faible niveau de contraction. Lorsque le niveau de force augmente progressivement, ce sont les UM rapides, résistantes à la fatigue, qui sont recrutées. Ensuite, pour terminer, les grandes UM, les plus rapides mais aussi les plus fatigables, entrent en activité. Il s'agit donc d'un ordre immuable, tout au moins en régime isométrique et dynamique concentrique, et ce, quelle que soit la vitesse de mouvement.

Qu'en est-il en électrostimulation ? Il semble bien que ce soit le contraire. En effet, si on stimule un muscle par un choc électrique isolé, dont on augmente progressivement l'intensité, on constate que le temps de contraction de la réponse musculaire s'allonge progressivement (fig. 17).

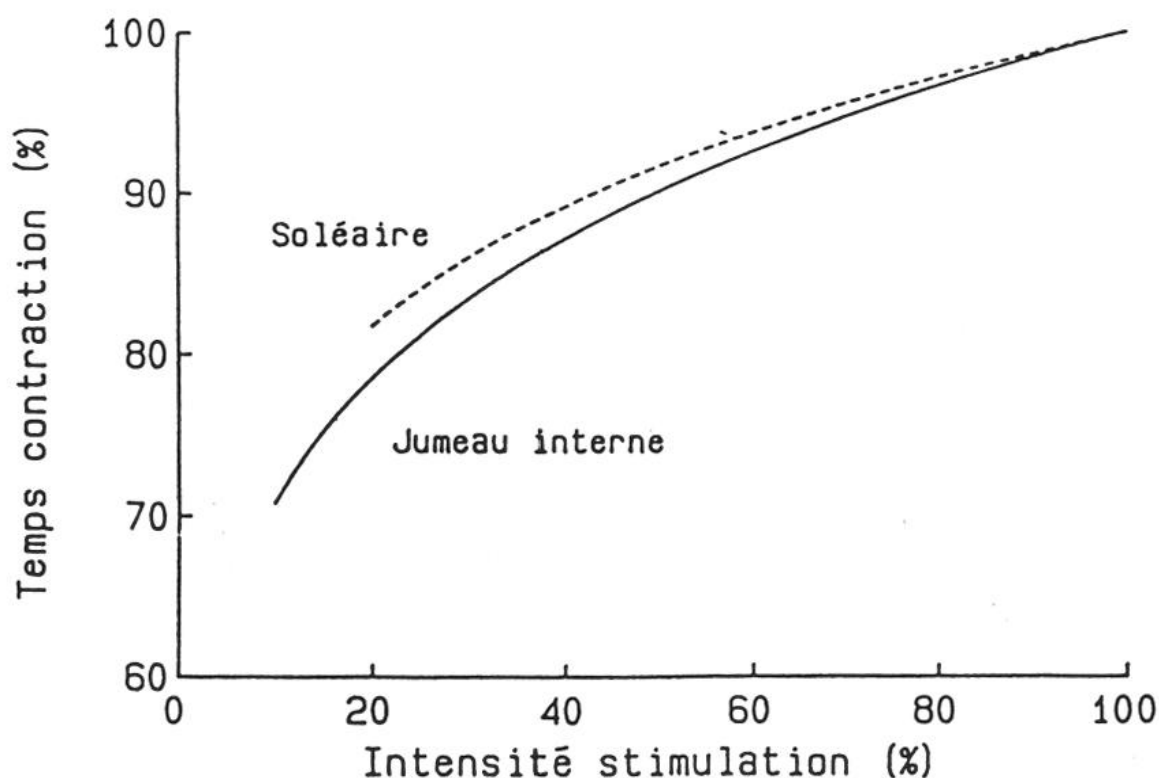


Figure 17

Cette évolution laisse penser qu'à faible intensité de stimulation ce sont des UM à temps de contraction court (UM rapides) qui sont mises en jeu, tandis que pour des intensités de stimulation plus importantes, des UM à temps de

contraction long (UM lentes) sont également recrutées permettant ainsi d'expliquer pourquoi la réponse globale s'allonge (HEYTERS et coll., 1994). La conclusion de cette approche indirecte est validée par des expérimentations réalisées chez l'animal, mais aussi par une étude que nous menons actuellement dans notre laboratoire. Celle-ci consiste à enregistrer chez l'homme le recrutement direct d'UM dans le jambier antérieur, et à comparer leur ordre de recrutement en contraction volontaire et en stimulation électrique (fig. 18 ; DUCHATEAU et coll., 1995). Nous enregistrons l'activité électrique d'UM isolées au moyen d'une électrode-fil insérée dans la masse musculaire et enregistrons la force développée par chacune d'elles au moyen d'une méthode de moyennage (méthode du « spike triggered averaging » ; voir MILNER-BROWN et coll., 1973).

La figure 18 permet de comparer les caractéristiques contractiles de deux UM très différentes. L'amplitude de la force est faible pour l'UM1 par rapport à l'UM2 tandis que le temps pour arriver au sommet (temps de contraction) est beaucoup plus long pour la première. Lorsque l'on examine l'ordre de recrutement de ces UM, lors d'une contraction volontaire d'intensité croissante, on constate que l'UM1 (lente) est recrutée avant l'UM2 (rapide). L'ordre de recrutement se fait donc bien en fonction de la taille de l'UM, mais aussi selon l'ordre inverse de leur temps de contraction. En stimulation électrique (courant rectangulaire), l'UM2 est activée pour une intensité faible de stimulation (5 milliampères) alors que l'UM1 est seulement recrutée lorsque l'intensité de stimulation est deux fois et demi plus élevée. Manifestement, on est en présence d'une inversion de l'ordre de recrutement des UM en stimulation électrique. Il convient néanmoins de souligner que ces inversions ne se produisent pas systématiquement pour la totalité des paires d'UM enregistrées. Le taux d'inversion varie d'un sujet à l'autre et également en fonction du muscle considéré. Pour certains muscles, on obtient des inversions extrêmement importantes de l'ordre de recrutement. Pour d'autres, comme le jambier antérieur, l'inversion est moins complète (30-40 %). En conclusion, quelle que soit l'importance de l'inversion, il apparaît que, sous électrostimulation, l'ordre de recrutement est différent de celui rencontré en contraction volontaire. Cette constatation a

donc des implications pratiques importantes pour l'entraînement, comme le souligne une étude réalisée par CABRIC et coll., (1988). Ces chercheurs ont en effet constaté que, suite à un entraînement en stimulation électrique à intensité sous-maximale, le volume nucléaire ainsi que la fraction mitochondriale (témoin de l'activité métabolique au sein de la cellule musculaire) augmentent davantage pour les fibres musculaires de type II (rapides) que pour les fibres de type I (lentes). Cette constatation corrobore la notion de spécificité en fonction du mode d'activation.

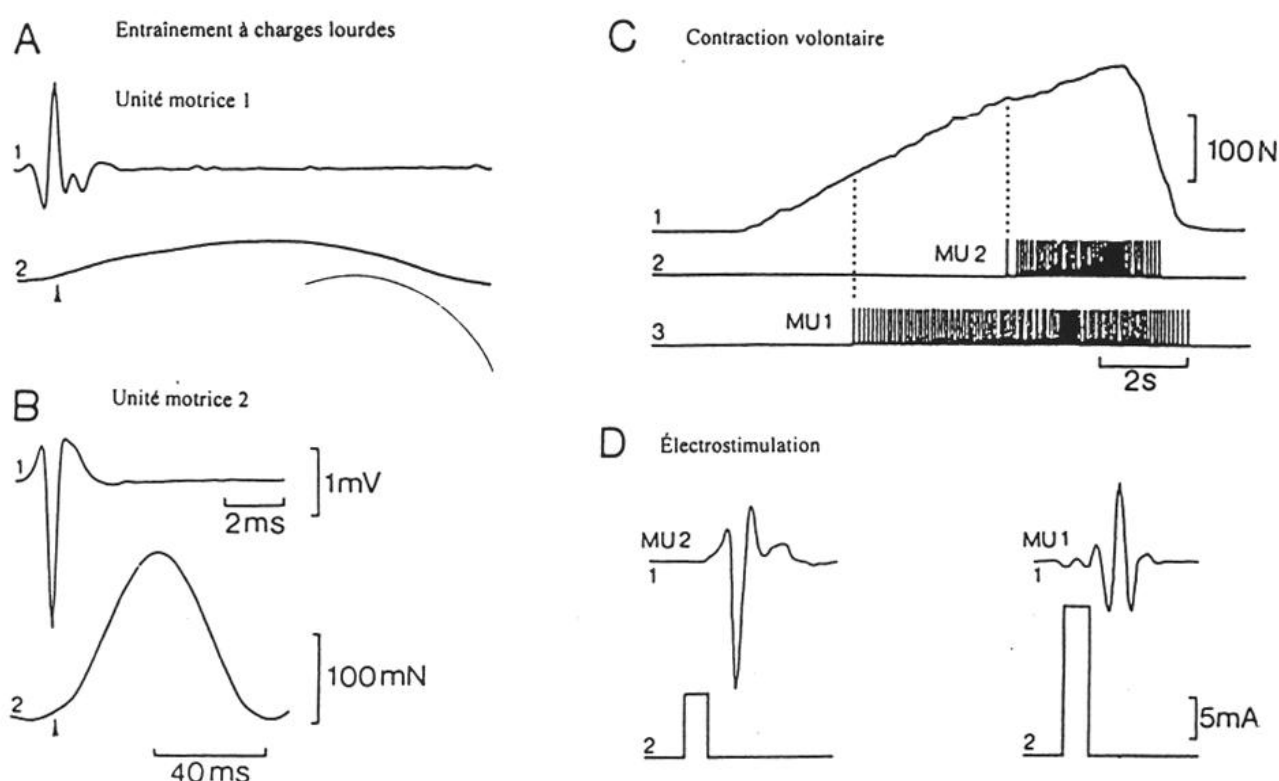


Figure 18 (d'après DUCHATEAU et coll.)

Dans le cadre de ce chapitre, il faut aussi évoquer la spécificité par rapport à la fréquence utilisée sous électrostimulation. Pour l'entraînement de l'endurance musculaire, il convient d'utiliser une basse fréquence de stimulation (8-10 Hz) qui correspond à la fréquence naturelle des UM lors d'une contraction volontaire. Par contre, le développement de la force maximale nécessite des fréquences beaucoup plus élevées, de l'ordre de 50 à 100 Hz. Une étude a mis en évidence que la stimulation électrique



prolongée de basse fréquence est effectivement efficace pour l'amélioration de l'endurance musculaire, mais qu'elle induit aussi malheureusement une réduction simultanée de la force maximale. Alors, afin de maintenir le niveau de force initial, il convient d'introduire dans le programme d'entraînement des contractions plus intenses, soit sous la forme de stimulations à plus haute fréquence ou d'activations volontaires.

Au terme de cet exposé, on comprend que la spécificité du renforcement musculaire n'est pas un vain mot. Cependant, certains aspects nécessitent des investigations complémentaires. Si l'on désire obtenir un transfert optimal de la force vers le geste de compétition, il faudra donc tenir compte des différents paramètres évoqués. La prise en compte de ceux-ci doit conduire à une analyse rigoureuse de la gestuelle et des actions spécifiques des différents groupes musculaires. Les muscles proximaux et distaux doivent être « entraînés » différemment pour être mis en jeu de façon réellement spécifique par rapport à la discipline sportive considérée. Il est évident que, lors d'exercices de détente par exemple, les quadriceps agiront davantage en force que les mollets, qui, pour leur part, travailleront sur une inertie partiellement vaincue qui débouche sur une action plus dynamique.

En fait, en théorie, pour travailler d'une manière spécifique, le meilleur exercice est le geste de compétition. Toutefois, au niveau pratique, chacun sait que cela n'est pas suffisant. En fonction de la période de préparation, certains paramètres sont prioritaires par rapport à d'autres. Ainsi, lors de la période multiforme orientée, la gestuelle générale doit surtout correspondre au geste ou à la posture de compétition. A mon sens, le régime général de contraction (excentrique, concentrique, isométrique ou cycle étirement-détente) et le mode d'activation sont importants. Je ne focaliserais pas trop l'attention sur la vitesse du mouvement. Ce qui prime, c'est « l'intention » de mobiliser la charge le plus rapidement possible, et non pas la vitesse gestuelle en tant que telle. Par contre, dans la phase de musculation spécifique, ce paramètre prend de l'importance. L'objectif est alors de se rapprocher ou de dépasser la vitesse gestuelle de compétition.

## DISCUSSION

**QUESTION DE LA SALLE :** Vous avez parlé d'un entraînement bilatéral et unilatéral. Puisque dans certains sports on prend l'impulsion d'une seule jambe, il me semble beaucoup plus logique de faire des squats sur une jambe. D'autre part, y-a-t-il un transfert d'une jambe à l'autre ?

**J. DUCHATEAU :** Je suis d'accord avec votre déduction. C'est certainement le cas lors de la préparation spécifique où il convient de travailler chaque jambe isolément ou de façon alternative. On peut, comme vous le suggérez, réaliser des squats à une jambe ou effectuer des montées sur banc (stepping). À ce moment-là, les bondissements doivent être préférentiellement réalisés en alternance d'un pied sur l'autre ou à cloche pied. Des adaptations nerveuses permettent d'expliquer les transferts de force musculaire observés au niveau d'un membre non-entraîné suite à l'entraînement du côté contralatéral (pour une revue de la littérature voir THÉPAUT-MATHIEU, 1993). Ce mécanisme doit certainement jouer un rôle en début d'entraînement, mais il est difficile d'estimer avec précision l'importance de ce transfert, surtout à plus long terme dans la mesure où cette problématique n'a pas été précisément étudiée.

**J. QUIÈVRE :** Comment est-il possible d'imaginer que les paramètres de charges et de vitesse soient dissociés ? Autrement dit, si je mobilise une charge élevée, elle est systématiquement mobilisée à vitesse faible. Si je mobilise une charge faible, j'ai une plage de possible (vitesse faible ou élevée). Mais il me semble que la spécificité de la charge et la spécificité à la vitesse constituent une seule et même question.

**J. DUCHATEAU :** Ce n'est pas le cas si le problème de la spécificité liée à la charge est envisagée en fonction du nombre de répétitions, sans intention de la mobiliser à vitesse maximale. Si on envisage cette adaptation lorsque la charge est toujours déplacée à la plus grande vitesse possible, alors je suis d'accord avec vous. Si j'ai séparé, dans mon exposé, la spécificité liée à la charge de celle liée à la vitesse, c'est justement parce que l'approche

expérimentale est différente. La spécificité en fonction de la vitesse est habituellement étudiée en imposant ce paramètre (appareil isocinétique) et en enregistrant la force développée. Par contre, c'est l'inverse lorsqu'on examine le problème de la spécificité en fonction de la charge. Cette deuxième situation est d'ailleurs plus naturelle puisque dans la majorité des activités sportives la vitesse n'est pas constante, mais varie lors de l'exécution du mouvement. Cette distinction est donc essentiellement formelle et les adaptations sont globalement comparables, pour autant que l'intention soit de mobiliser la charge le plus rapidement possible.

**J. QUIÈVRE :** Pour compléter la question, que doit-on penser des exercices de survitesse ? Qu'en est-il des gains de vitesse qui seraient supérieurs à la vitesse spécifique de l'activité sportive ?

**J. DUCHATEAU :** J'y suis très favorable. Dans les lancers en athlétisme, par exemple, cela se fait systématiquement. On lance des engins plus légers. On touche plus la synergie quand on a une vitesse plus grande. D'autre part, un athlète n'a généralement pas la même vitesse gestuelle à l'entraînement qu'en compétition où la motivation joue un rôle important. Il est utile de prendre des charges légèrement plus faibles afin de retrouver, voire de dépasser, la vitesse gestuelle de compétition. Le travail en survitesse, au même titre que l'utilisation de surcharges (ceinture lestée, engins alourdis...) dans le geste de compétition, ont leur place dans le planning d'entraînement.

## **Bibliographie**

AMIRIDIS I.-G., MARTIN A., MORLON B. et coll., (1996) - Co-activation and tension regulating phenomena during isokinetic knee extension in sedentary and highly-skilled subjects.- *Eur. J. Appl. Physiol.* (sous presse).

BELL D.-G., JACOBS I., (1992) - Velocity specificity of training in bodybuilders.- *Can. J. Spt. Sci.* 17 : 28-33.

CABRIC M., APPELL H.-J., RESIC A., (1987) - Effects of electrical stimulation of different frequencies on the myonuclei and fiber size in human muscle.- *Int. J. Sports Med.* 8 : 323-326.

CAROLAN B., CAFARELLI B., (1992) - Adaptations in coactivation after isometric resistance training.- *J. Appl. Physiol.* 73 : 911-917.

CARPENTIER A., DUCHATEAU J., HAINAUT K., (1996) - Velocity-dependent muscle strategy during plantar flexions in humans.- *J. Electromyogr. Kinesiol.* (sous presse).

COYLE E.-F., FEIRING D., (1980) - Muscular power improvements : specificity of training velocity. *Med. Sci. Sports Ex.* 12 : 134.

COYLE E.-F., FEIRING D.-C., ROTKIS T.-C. et coll., (1981) - Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.* 51 : 1437-1442.

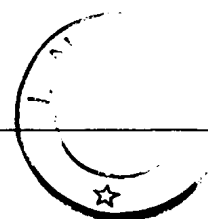
DUCHATEAU J., (1992) - L'entraînement de la force spécifique en sport : fondements physiologiques et applications pratiques.- *Les Cahiers de l'INSEP*, vol. 3.

DUCHATEAU J., HAINAUT K., (1981) - Adaptations biomécaniques du muscle humain à l'exercice.- *J. Fr. Biophys. Méd. Nucl.* 249-253.

DUCHATEAU J., HAINAUT K., (1984) - Isometric or dynamic training : differential effects on mechanical properties of a human muscle.- *J. Appl. Physiol.* 56 : 296-301.

DUCHATEAU J., HAINAUT K., (1988) - Training effects of submaximal electrostimulation in a human muscle.- *Med. Sci. Sports Exerc.* 20 : 99-104.

DUCHATEAU J., FEIREISEN P., HAINAUT K., (1995) - Motor unit activation order during electrical stimulation. XV<sup>th</sup> Congress of the International Society of Biomechanics (Jyväskylä). 238-239.



EGGER J.-P., (1992) - De l'entraînement de la force à la préparation spécifique en sport.- *Les Cahiers de L'INSEP*, vol. 1.

HAINAUT K., DUCHATEAU J., (1992) - Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med.* 14 : 100-113.

HAKKINEN K., ALLEN M., KOMI P.-V., (1985) - Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining.- *Acta. Physiol. Scand.* 125 : 573 - 585.

HAKKINEN K., ALLEN M., KOMI P.-V., (1985) - Effect of explosive type strength training on isometric force and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles.- *Acta. Physiol. Scand.* 125 : 587 - 600.

HEYTERS M., CARPENTIER A., DUCHATEAU J., HAINAUT K., (1994) - Twitch analysis as an approach to motor unit recruitment during electrical stimulation.- *Can. J. Appl. Physiol.* 19 : 456-467.

KANEHISA H., MIYASHITA M., (1983) - Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power.- *Eur. J. Appl. Physiol.* 50 : 365-371.

KOMI P.-V., BUSKIRK E.-R., (1972) - Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle.- *Ergonomics* 15 : 417 - 434.

KOMI P.-V., (1986) - Training of muscle strength and power interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors.- *Int. J. Sports Med.* 7 (Suppl.) : 10 - 15.

HOWARD J.-D., ENOKA R.-M., (1991) - Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects.- *J. Appl. Physiol.* 70 : 306-316.

LINDH M., (1979) - Increase of muscle strength from isometric quadriceps exercises at different knee angles.- *Scand. J. Rehab. Med.* 11 : 33-36.

MARINI J.-F., VAN HOECKE J., MATHIEU Ch., (1984) - Adaptation du muscle à l'entraînement. Le renforcement musculaire, Paris, Publication INSEP, 55-78.

MILNER-BROWN H.-S., STEIN R.-B., YEMM R., (1973) - The contractile properties of human motor units during voluntary isometric contractions.- *J. Physiol.* 230 : 288-306.

MILNER-BROWN H.-S., STEIN, R.-B., LEE, R.-G., ( 1975) - Synchronization of human motor units : possible roles of exercise and supraspinal reflexes.- *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 38 : 245-254.

POULAIN P., PERTUZON E., (1988) - Etude comparative des effets de trois méthodes de musculation sur les propriétés contractiles et élastiques du muscle.- *Ann. Kinésithér.* 4 : 167 - 177.

PIPES (1978) - Variable resistance versus constant resistance training in adult males.- *Eur. J. Appl. Physiol.* 39 : 27 - 35.

POUSSON M., VAN HOECKE J., GOUBEL F., (1990) - Changes in elastic characteristics of human muscle induced by eccentric exercise.- *J. Biomechanics* 23 : 343-348.

POUSSON M., LEGRAND J., BERJAND S., VAN HOECKE J., (1995) - Détente et élasticité : effets d'un entraînement plyométrique.- *Science et Motricité* 25 : 19-26.

RASCH P.-J., MOREHOUSE L.-E., (1957) - Effect of static and dynamic exercise of muscular strength and hypertrophy.- *J. Appl. Physiol.* 11 : 29-34.

RUTHERFORD O.-M., JONES D.-A., (1986) - The role of learning and co-ordination in strength training.- *Eur. J. Appl. Physiol.* 55 : 100-105.

SALE D., (1988) - Neural adaptation to resistance training.- *Med. Sci. Sports Exerc.* 20 : S135 - S145.

SCHMIDTBLEICHER D., GOLLHOFFER A., (1982) - Neuromuskuläre Untersuchungen zur Bestimmung individueller Belastungsgrößen für ein Tiefspruntraining.- *Leitungssport* 12 : 298-307.

THÉPAUT-MATHIEU Ch., (1993) - Renforcement musculaire unilatéral. Conséquences sur le côté non entraîné : amélioration de la force maximale.- *Science et Motricité* 20 : 15-34.

THÉPAUT-MATHIEU Ch., VAN HOECKE J., MATON B., (1988) - Myoelectrical and mechanical changes linked to length specificity during isometric training.- *J. Appl. Physiol.* 6 : 1500-1505.

THORSTENSSON A., HULTEN B., VON DOBELN W., KARLSSON J., (1976) - Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle.- *Acta. Physiol. Scand.* 96 : 392-398.

TOMBERLIN J.-P., BASFORD R.-R., SCHWEN E.-E. et coll., (1991) - Comparative study of isokinetic eccentric and concentric quadriceps training.- *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 14 : 31-35.

WESTING S.-H., SEGER J.-Y., THORSTENSSON A., (1990) - Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity during knee extension in man.- *Acta. Physiol. Scand.* 140 : 17-22.