



DEPARTEMENT DES SCIENCES DU SPORT

Laboratoire de Biomécanique et de Physiologie

**EFFET D'UN PROGRAMME ANNUEL DE RENFORCEMENT
MUSCULAIRE SUR LE DEVELOPPEMENT DES QUALITES
MUSCULAIRES DES ESCRIMEURS D'ELITE.**

Christian BAUER* ;Christian MILLER ; Jacques QUIEVRE****

** Fédération Française d'Escrime*

*** Laboratoire de Biomécanique et de Physiologie de l'INSEP*

RAPPORT DE RECHERCHE

**Pour le Ministère de la Jeunesse et des Sports
et la Fédération Française d'Escrime**

Novembre 2001

SOMMAIRE

	Page
1 - Introduction	2
2 – Méthodologie	2
<i>2.1 – Population</i>	
<i>2.2 - Protocole de test</i>	3
<i>2.3 - Protocole d'entraînement</i>	4
<i>2.3.1 - La planification</i>	4
<i>2.3.2 - Le dosage du travail</i>	5
3 - Résultats	6
<i>3.1 - Résultats du groupe entraîné sur l'ensemble de la saison</i>	6
<i>3.2 - Résultats du groupe entraîné : au cours de la saison évolution.</i>	7
<i>3.3 - Résultats du groupe témoin</i>	7
<i>3.4 - Résultats : comparaison groupe entraîné vs groupe témoin</i>	7
4 - Discussion, conclusion	8
5 - Annexes	
Annexes 1a	10
Annexes 1b	11
Annexes 1c	12
Annexes 1d	13
Annexes 2a	14
Annexes 2b	15

1 - Introduction :

Le renforcement musculaire est devenu aujourd'hui une composante incontournable dans la préparation des escrimeurs de haut-niveau.

Quelques précurseurs ont, dans un passé récent, introduit la musculation dans le cadre de la préparation physique générale (PPG) des escrimeurs. Il apparaît, aujourd'hui, indispensable de dépasser ce cadre, et de préciser les contenus d'une musculation répondant mieux, à la spécificité des contraintes musculaires de l'escrime moderne. Dès lors la question se pose de savoir quelles sont les qualités musculaires qu'il faut développer à travers la musculation, chez les escrimeurs. Une analyse vidéo avec reconstitution 2D, réalisée préalablement à ce travail sur des assauts en sabre, a permis, en le quantifiant, de confirmer ce que l'observation de terrain suggérait, à savoir que les qualités d'explosivité de la force exprimée à grande vitesse sont déterminantes pour l'efficacité technique de l'assaut.

D'autre part, une série de test préliminaire, réalisée à l'INSEP, a révélé chez les sabreurs d'élite non-pratiquants la musculation, des qualités de force à grande vitesse, sur les membres inférieurs, assez satisfaisantes. En revanche, les niveaux de force maximaux, exprimés aux vitesses lentes, apparaissent très inférieurs comparativement à des populations de sprinters d'élite.

L'hypothèse de ce travail est que le niveau relativement faible, de force maximale observé chez les sabreurs d'élite de l'INSEP (et les escrimeurs en général), pourrait constitué un facteur limitant à d'éventuels progrès dans le secteur de la force à grande vitesse. Car, il a, par ailleurs, pu être montré qu'il existe un lien fonctionnel entre la force maximale et la vitesse gestuelle maximale, tel que les sujets possédant les meilleurs niveaux de force maximale sont également ceux qui affichent les meilleures qualités de vitesse gestuelle.

La pertinence de l'introduction d'un programme de musculation incluant un travail systématique de l'ensemble des qualités de force, de puissance et de force vitesse, dans la préparation des escrimeurs pour optimiser le développement leurs qualités d'explosivité, se trouve donc posée.

Le but de ce travail est de quantifier l'effet d'un tel programme de renforcement musculaire sur les qualités de force, de puissance et de force vitesse du train inférieur

2 - Méthodologie :

2.1 – Population

Les sabreurs du pôle France de l'INSEP ont composé la population de cette expérimentation. La moitié du groupe (n=7), composé des sabreurs préparant les Championnats du Monde de La Haye, a suivi un programme de musculation (GE). Ce programme a été inséré dans le cadre général du programme de préparation aux Championnats du Monde. Pour l'autre moitié du groupe (n=6), le programme de musculation, a été remplacé par des séances de PPG. Le reste du programme de préparation est commun au deux groupes. Ce groupe non entraîné (GT) en

musculature a donc servi de groupe témoin. Les caractéristiques anthropométriques des sujets sont reportées au tableau 1.

	Age (année)	Taille (cm)	Poids (Kg)
GE	22 +/- 3	181 +/- 6	78 +/- 5
GT	20 +/- 2	179 +/- 8	75 +/- 5

Tableau 1 : caractéristiques anthropométriques des sujets.

2.2 - Protocole de test

Les tests ont été réalisés dans le dispositif ergométrique ARIEL Multifunction CES 5000. Pour chacun des groupes, ces tests ont été réitérés, dans les mêmes conditions, avant et à la fin des programmes de préparation. Pour le groupe entraîné en musculation un test intermédiaire a été réalisé à la mi-programme. Les épreuves tests consistent en une série de 9 efforts maximaux isocinétiques en Squat, réalisés à 2 minutes d'intervalle. Au cours de ces 9 efforts d'extension du membre inférieur, la vitesse de déplacement de la barre est successivement limitée à, 2.00, 1.50, 1.00; 0.70, 0.50, 0.32, 0.16 et 0.08 m.s⁻¹. Les conditions de réalisation des Squats ont été standardisées pour tous les sujets (figure 1).

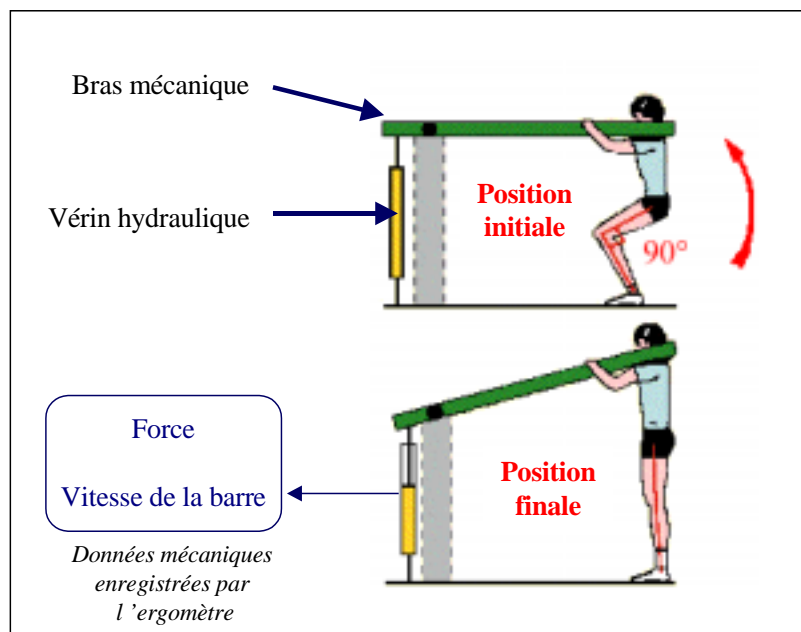


Figure 1 : schéma représentant la réalisation d'un squat dans le dispositif ergométrique ARIEL Multifunction CES 5000.

A chaque essai, le sujet se tient debout dans l'ergomètre, le bras mécanique du dispositif ergométrique reposant sur ses épaules. Dans un premier temps, il est demandé au sujet d'effectuer une flexion du membre inférieur jusqu'à la position « genoux fléchis à 90° » (position initiale). A partir de la position initiale, il effectue un effort d'extension du membre inférieur, jusqu'à la position finale, « jambes complètement tendues », avec comme intention d'exercer la pression maximale sur le bras mécanique. C'est la force

exercée dans le bras mécanique, au cours de cet effort d'extension qui est prise en compte.

Au total, en prenant en compte les 9 vitesses d'exécution testées cette exploration fonctionnelle nous permet de sonder les qualités de :

- **force maximale** grâce aux mesures réalisées sur les vitesses les plus faibles
- **puissance maximale** en retenant le meilleur produit force (appliquée dans l'ergomètre) x vitesse de mobilisation du bras mécanique de l'ergomètre
- **force à grande vitesse** mesurée aux vitesses les plus élevées : cette valeur est retenue comme un indice d'évaluation de **l'explosivité de la force**.

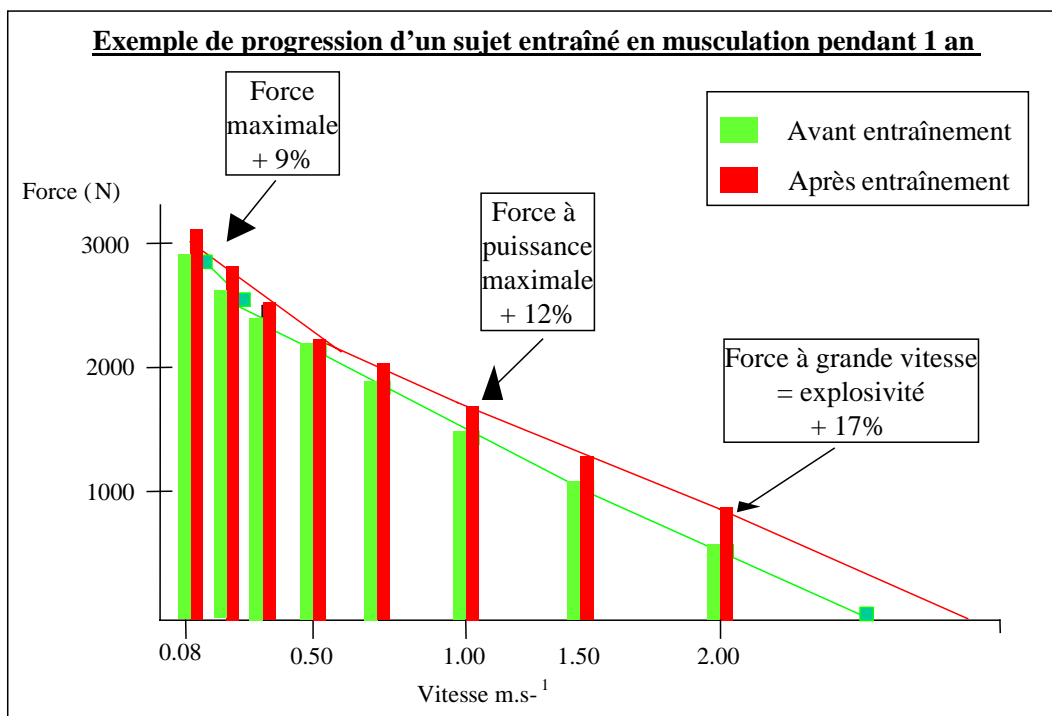


Figure 2 : représentation graphique des mesures de force réalisées aux 9 vitesses testées, avant et après entraînement pour un sujet.

Les variations pré-post entraînement de la force exprimée à chacune des 9 vitesses testées ont été quantifiées et analysées pour déterminer les effets du programme d'entraînement. La figure 2 présente les résultats pour un sujet, avant et après entraînement.

2.3 - Protocole d'entraînement :

2.3.1 - La planification :

Cette étude a été planifiée dans le cadre de la préparation des Championnats du Monde de La Haye. Le programme s'est prolongé sur une période de 8 mois. Cette période a été divisée en 8 cycles de 4 semaines chacun. Chaque cycle est consacré au développement d'une qualité musculaire dominante et d'une qualité musculaire en sous-dominante. Le tableau 2 présente l'ensemble du programme tel qu'il a été prévu.

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6	Cycle 7	Cycle 8
Type de cycle	Reprise	DéVELO	DéVELO	DéVELO	DéVELO	DéVELO	DéVELO	Pré-comp
Forme de travail	Générale	Générale	Générale	Orientée	Orientée	Spécifique	Spécifique	Spécifique
Durée	4 sem	4 sem	4 sem	4 sem	4 sem	4 sem	4 sem	4 sem
Objectif dominant	PUISSANCE SOUS-MAXIMALE	PUISSANCE MAXIMALE	FORCE MAXIMALE	EXPLOSIVI.	FORCE MAXIMALE	PUISSANCE MAXIMALE	EXPLOSIVI.	
Objectif secondaire			Puissance maximale.	Force maximale	Explosivité	Explosivité	Puissance maximale	

Tableau 2 : Programme annuel de musculation réalisé par le groupe entraîné

Schématiquement, il est possible de diviser ce programme en 2 phases successives. Le test intermédiaire a pris place entre ces deux phases.

Au cours de la phase 1, comprenant les 4 premiers cycles, l'ensemble des qualités musculaires a été travaillé. L'objectif général de cette phase est de parvenir à travailler avec des charges de plus en plus lourdes (mais toujours adaptées au niveau de l'athlète).

Dans la deuxième phase, une insistance particulière est portée sur le développement des qualités d'explosivité. Notre stratégie est de mobiliser le système musculaire sur des registres de vitesses de plus en plus élevés, grâce à des séances de plus en plus spécifiques (cycles 6-7-8).

2.3.2 - Le dosage du travail

Deux à trois séances de renforcement musculaire par semaine ont été proposées, suivant les périodes.

Nous avons organisé le programme autour de trois types de séance. Dans un premier temps, des séances dites de « musculation générale » ont été proposées (cycles 1-2-3). Le but de ces séances est d'obtenir un développement aussi complet que possible des chaînes musculaires anti-gravitaires. Ainsi, le choix des exercices relatif à ce type de séance s'oriente-t-il sur des mouvements globaux et segmentaires des membres supérieurs, du tronc et des membres inférieurs. Un exemple des principaux exercices choisis figure en annexe 1a du document.

Pour les cycles 4 et 5, des séances dites « orientées » ont été mises en place. Le choix des exercices (globaux, segmentaires et articulaires) s'est porté, principalement, vers les chaînes musculaires plus particulièrement impliquées dans le sabre, c'est à dire, vers les membres inférieurs. (cf. annexe 1b) Enfin pour les cycles 6-7-8, des séances de « musculation « spécifiques » organisées autour de thèmes techniques propres à l'activité ont été élaborées. Il s'agit dans ce cas de construire une séance en réalisant un choix d'exercices de musculation (globaux, segmentaires et articulaires) guidé par une analyse biomécanique des contraintes musculaires spécifiquement engagées dans la séquence technique visée (cf. annexe 1c). Toutefois, l'exercice ne précise pas la façon dont les

chaînes musculaires seront sollicitées. C'est à travers le choix du procédé que le dosage du travail et la modalité de mobilisation de la charge sont précisés. Le dosage du travail a varié, au cours de l'année en fonction des objectifs poursuivis, cycle après cycle.

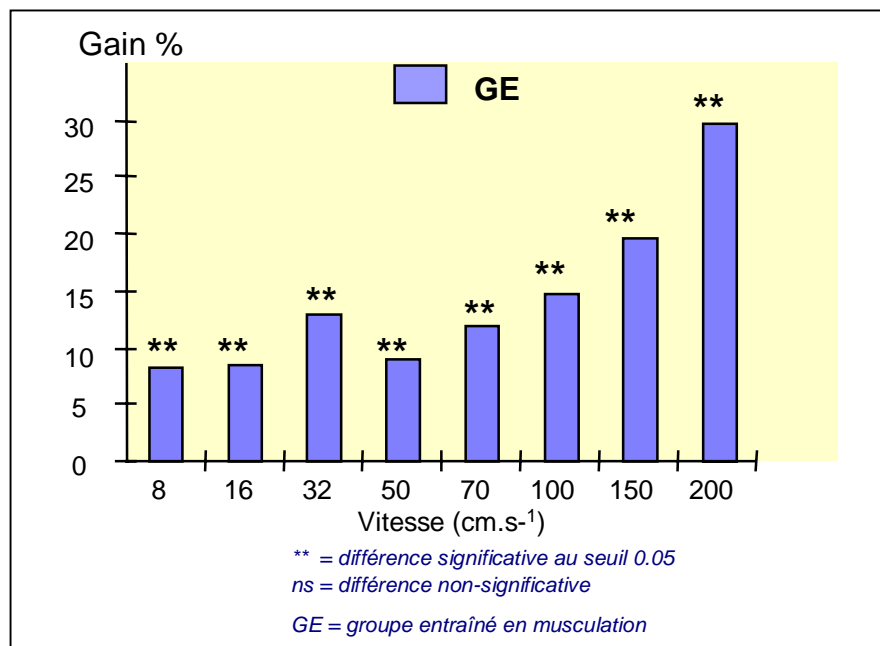
Les principaux procédés utilisés dans le programme d'entraînement sont reportés en annexes 2a et 2b.

Le groupe témoin, a suivi un programme de préparation spécifique identique à celui du groupe entraîné. Des séances de préparation physique générale ont été proposées, à ce groupe, au lieu et place des séances de musculation réalisées par le groupe entraîné. De sorte que, le volume total de travail par semaine était sensiblement le même pour les deux groupes.

3 - Résultats :

3.1 - Résultats du groupe entraîné sur l'ensemble de la saison

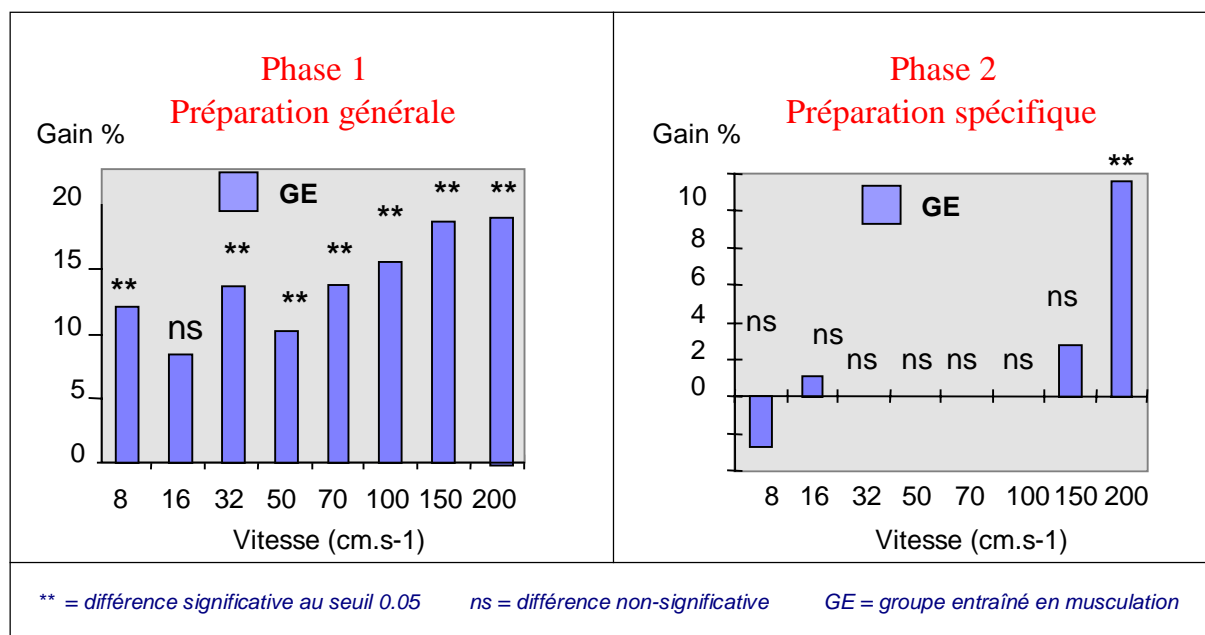
Au terme de ce programme, le groupe entraîné en musculation a amélioré l'ensemble de ses performances en force maximale, en puissance maximale et en explosivité de façon importante. Les analyses statistiques appliquées aux comparaisons pré-post entraînement pour ce groupe, révèlent des différences significatives pour les performances en force maximale, en puissance maximale et en force vitesse (graphique 1).



Graphique 1 : gain de force, exprimés en % de valeurs pré-entraînement à chacune des vitesses testées, sur l'ensemble du programme (phase 1 et phase 2).

3.2 - Résultats du groupe entraîné : au cours de la saison évolution

Une analyse plus fine de ces résultats fait apparaître que ces progrès peuvent être divisés en deux phases. Suite à la première phase, consacrée à un travail général (phase 1 de la programmation) un progrès de l'ensemble des qualités musculaire a été obtenu (Graphique 2a). Dans la deuxième phase, orientée vers un travail de musculation spécifique une amélioration très marquée de l'explosivité a pu être observée. La qualité de puissance ne semble pas avoir profité de cette partie du programme. De plus une légère régression de la force maximale semble avoir pris place (Graphique 2b).



Graphique 2.: Comparaisons des gains de force avant et après entraînement en phase 1 (graph.2a) et après la phase 2 (graph. 2b).

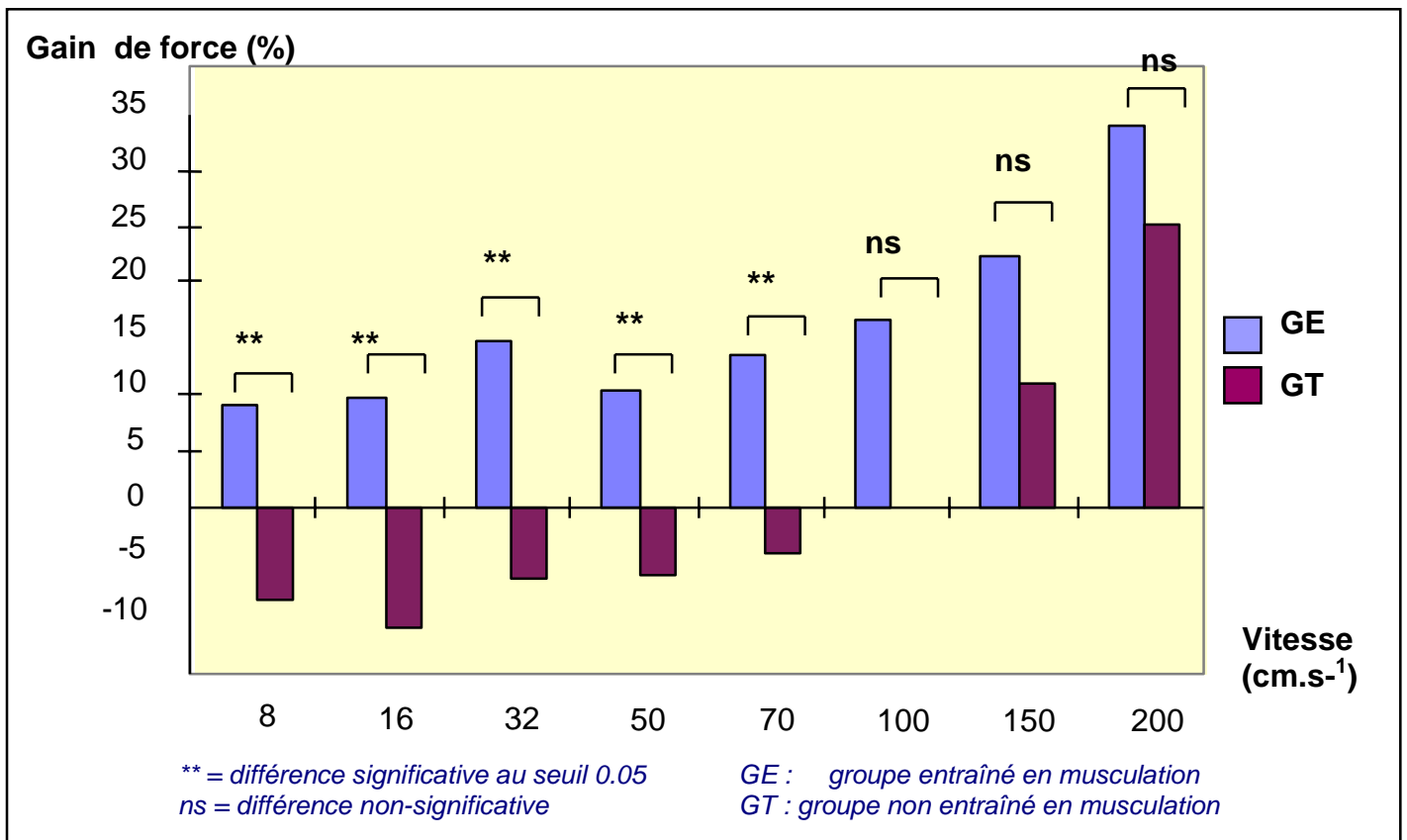
3.3 - Résultats du groupe témoin

Le groupe témoin (GT), non-entraîné en musculation, affiche une stagnation des qualités de force maximale et de puissance maximale, et une progression marquée de la force explosive (+25%).

3.4 - Résultats : comparaison groupe entraîné vs groupe témoin

La comparaison entre les deux groupes fait apparaître un effet bénéfique du programme de musculation proposé, sur l'ensemble des vitesses testées (Graphique 3). Cette comparaison révèle des différences significatives, en faveur du groupe entraîné en musculation, pour les mesures de la force maximale et de la puissance. Pour la force

mesurée à grande vitesse, sans être significatifs, les écarts montrent que les gains demeurent plus importants pour le groupe entraîné en musculation (+34% versus +25%).



Graphique 3 : Comparaison des gains de force entre le groupe entraîné (GE) et le groupe témoin, non-entraîné (GT), pour chacune des vitesses testées, au terme d'un an d'entraînement.

4 - Discussion, conclusion :

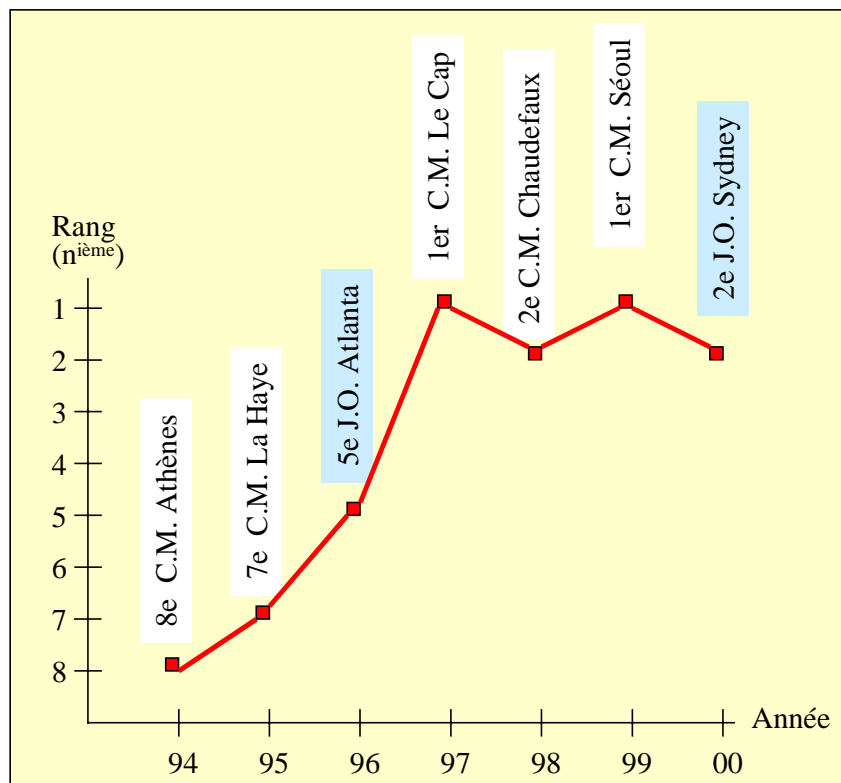
Les résultats obtenus par le groupe témoin montrent que l'activité sabre contribue en elle-même au développement des qualités d'explosivité. Cependant, cette pratique hautement spécifique semble inapte à faire progresser les autres qualités musculaires (force maximale et puissance).

Il est remarquable de constater que le groupe senior (entraîné en musculation) affiche, non seulement, un progrès de toutes les qualités musculaires (force maximale, puissance maximale et force à grande vitesse), mais a, de plus, obtenu des gains plus importants de la force explosive que le groupe ayant pratiqué exclusivement de l'escrime.

Notre hypothèse de travail initiale, selon laquelle le développement des qualités de force et de puissance favoriserait l'amélioration de la force à grande vitesse est confortée par nos résultats. Ces résultats constituent un argument en faveur de l'introduction de programme de musculation visant à développer l'ensemble des qualités musculaires, dans la préparation de escrimeurs d'élite.

Il est possible, aujourd'hui, d'apprécier l'impact de ce programme de musculation sur la performance, en analysant les résultats de l'équipe de France de sabre dans les grandes rencontres internationales ces dernières années. Ces résultats sont présentés sur le graphique 4.

L'équipe de France de sabre se maintient depuis 4 saisons au tout premier rang mondial. Elle a accédé à la première place mondiale, précisément l'année où ce programme de musculation a été mis en place. Bien que corrélation ne soit pas raison, il semble admis par l'ensemble des spécialistes internationaux que la préparation musculaire des sabreurs français est un élément, sans être le seul, incontestable de leur succès sur la scène internationale.



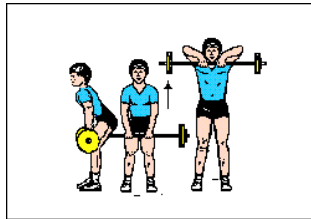
Graphique 4 : progression de l'équipe de France de sabre dans les rencontres internationales majeures depuis 1994. On peut noter une courbe de progression très marquée depuis l'introduction de la musculation (à partir de 1996), dans le programme de préparation.

ANNEXE 1a

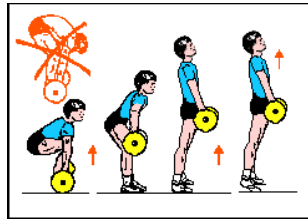
Exercices utilisés

- dans les séances de musculation générale (cycles 1, 2 et 3) :

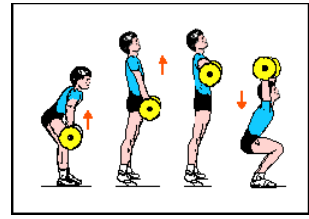
Les exercices globaux



Tirage barre

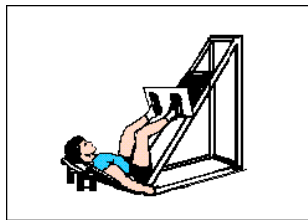


Soulever de terre

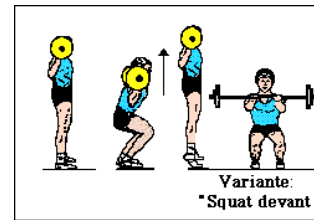


Arracher (barre cuisse)

Les exercices segmentaires du membre inférieur

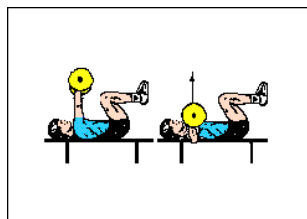


Squat presse oblique

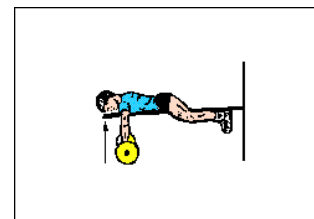


$\frac{1}{2}$ Squat (genoux 90°)

Les exercices segmentaires du membre supérieur



Développer-couché

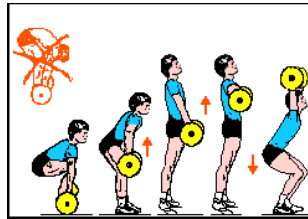


Tirage banc

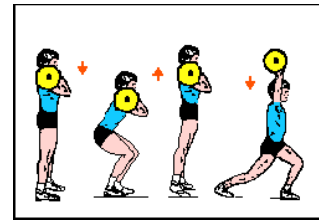
ANNEXE 1b

- dans les séances de musculation orientée (cycles 4 et 5) :

Les exercices globaux

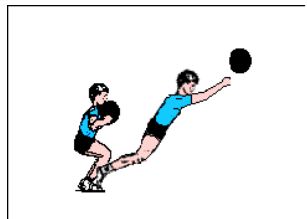


Arracher « athlétique »

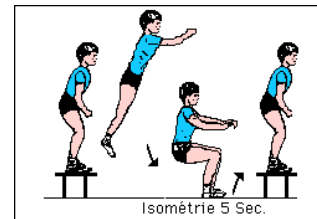


Jeter –fente

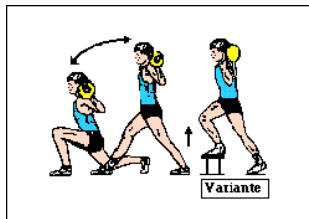
Les exercices segmentaires du membre inférieur



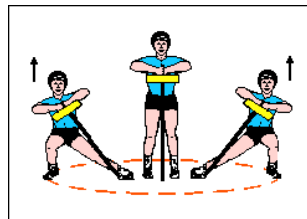
Saut vers l'avant
Medecin-ball



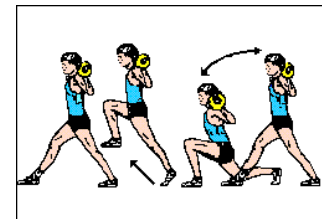
Saut en contre-bas
freinage excentrique



Fente avant

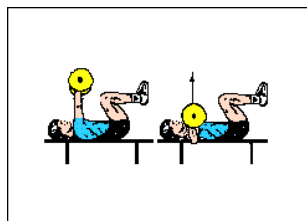


Fente latérale

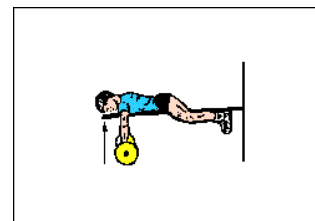


Fente avant marchée

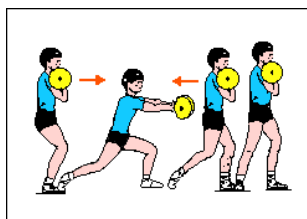
Les exercices segmentaires du membre supérieur



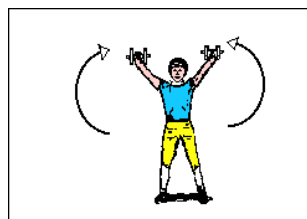
Développer-couché



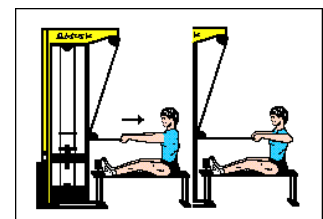
Tirage banc



Extension-flexion du coude-fente



Élévation latérale des bras

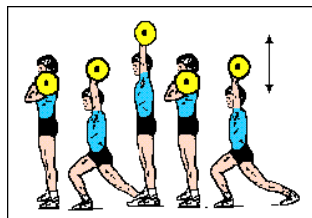


Tirage rowing 2 bras

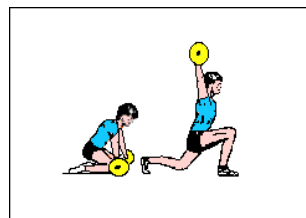
ANNEXE 1c

- dans les séances de musculation spécifique (cycles 6-7 et 8)

les exercices globaux



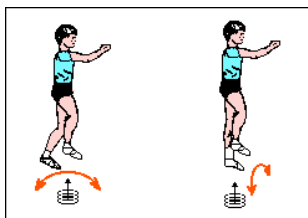
Jeter fente avant enchaîné



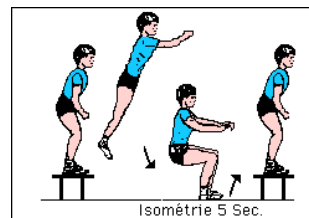
Arracher départ à genoux

Les exercices segmentaires du membre inférieur

« les rebonds »

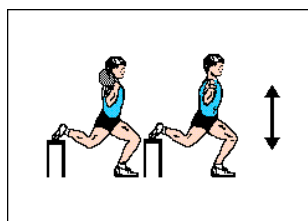


Sursaut cloche-pied avant-arrière ou latéral

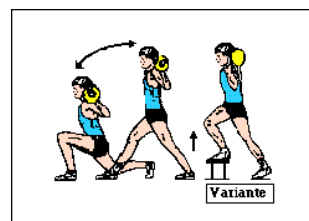


Saut en contre-bas freinage excentrique

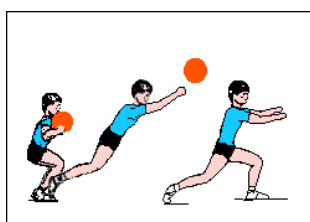
« les fentes »



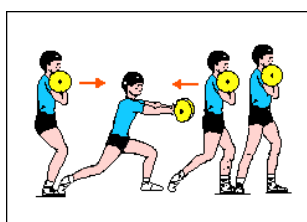
Squat fente avant



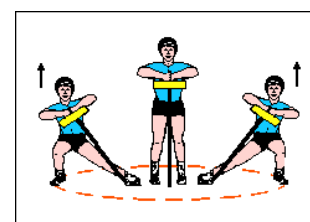
Fente avant



Saut vers l'avant-fente

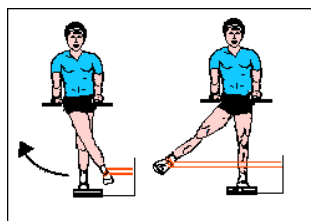


Ext-flex du coude-fente

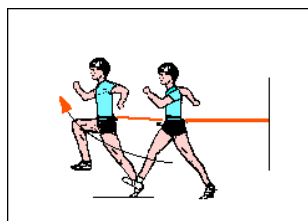


Fente latérale

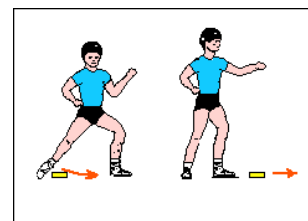
Les exercices articulaires de hanche



Abduction



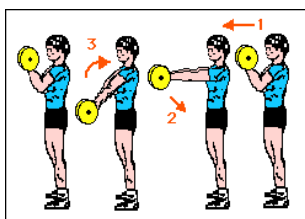
Extension



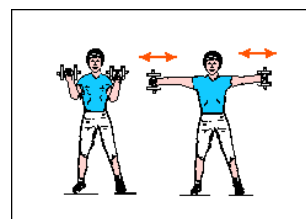
Adduction

ANNEXE 1c

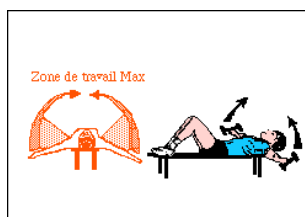
Les exercices articulaires du membre supérieur



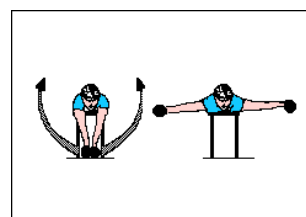
Flexion du coude



Ext.-Flex. du coude

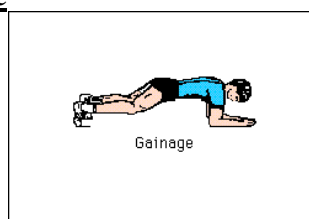


Adduction bras

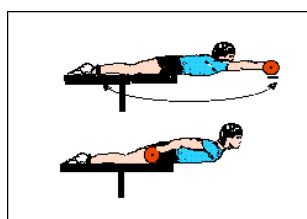


Abduction bras

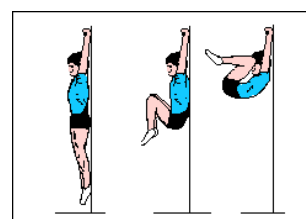
Les exercices du tronc



Gainage

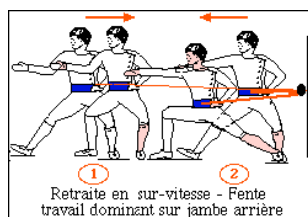


Extension du tronc

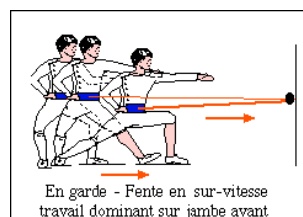


Renverser jambes fléchies

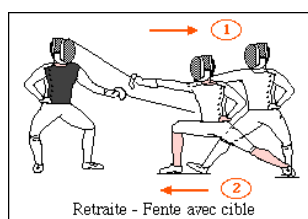
Les exercices spécifiques (utilisés en contraste avec les exercices de musculation)



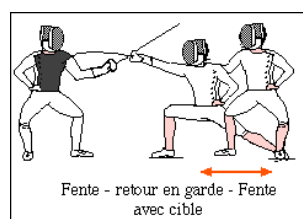
Jambe arrière sur-vitesse



Jambe avant sur-vitesse



Fente retour en garde



Travail sur cible de pied ferme

ANNEXE 2a

Procédés utilisés pendant les cycles de développement de la puissance maximale (cycles 2 et 6)

Mobiliser, à vitesse maximale, des niveaux de charge autorisant l'expression d'une puissance quasi maximale (supérieure à 75% de la puissance maximale)

Cycle 2 **puissance-force** **pyramide montante**

*Balayer une gamme de résistance moyenne-lourde :
« travail en pyramide montante »*

<u>INTENSITE</u> (% 1 RM)
50 % - 60% - 70%
<u>Nb de répétitions</u>
8 - 6 - 4
<u>Récupération</u>
r = 1 min. - R = 2 min.
<u>Nb de séries</u>
4

Cycle 6 **puissance-vitesse** **pyramide descendante**

*Balayer une gamme de résistance moyenne-légère :
« travail en pyramide descendante »*

<u>INTENSITE</u> (% 1 RM)
60 % - 40% - 20%
<u>Nb de répétitions</u>
6 - 7 - 8
<u>Récupération</u>
r = 1 min. - R = 2 min.
<u>Nb de séries</u>
4

Procédés utilisés pendant les cycles de développement de la force maximale (cycles 3 et 5)

Cycle 3 **Force maximale**

Mobiliser une charge quasi-maximale : travail concentrique

<u>INTENSITE</u> (% de 1RM)
90% à 95%
<u>Nb de Répétitions</u>
3
<u>Récupération</u>
5 min.
<u>Nb de séries</u>
5

Cycle 5 **Force maximale**

Mobiliser une charge supra-maximale : travail excentrique

<u>INTENSITE</u> (% de 1RM)
120%-80%
<u>Nb de Répétitions</u>
3 - 2
<u>Récupération</u>
1 min - 5 min.
<u>Nb de séries</u>
5

ANNEXE 2b

Procédés utilisés pendant les cycles de développement de l'explosivité (cycles 4 et 7)

La force-vitesse : cycle 4

Mobiliser une charge légère à vitesse maximale

<u>INTENSITE</u> 30% de 1 RM
<u>Nb de répétitions</u> 6
<u>Récupération</u> 1 à 2 min.
<u>Nb de séries :</u> 6

Le stato-dynamique : cycle 4

Mobiliser une charge moyenne-légère à vitesse maximale après un maintien isométrique de quelques secondes (3 à 5 sec.)

<u>INTENSITE</u> 60% de 1 RM
<u>Nb de répétitions</u> 6
<u>Récupération</u> 1 à 2 min.
<u>Nb de séries :</u> 5

Le contraste de charge : cycle 7

Mobiliser une charge légère à vitesse maximale juste après avoir mobilisé une charge lourde

<u>INTENSITE (% 1 RM)</u> 80 % - 30%
<u>Nb de répétitions</u> 3 - 5
<u>Récupération</u> r = 15 s. - R = 2 min.
<u>Nb de séries :</u> 4

La pliométrie : cycle 7

Inverser une quantité de mouvement contraire dans le minimum de temps

<u>INTENSITE</u> Banc = 20 à 40 cm
<u>Nb de répétitions</u> 6
<u>Récupération</u> 1 à 2 min.
<u>Nb de séries :</u> 4

Résumé

Le but de ce travail est d'évaluer la pertinence d'un programme de musculation incluant un travail systématique de l'ensemble des qualités de force maximale, de puissance et de force vitesse, dans la préparation des escrimeurs pour optimiser le développement leurs qualités d'explosivité.

Les sabreurs du pôle France de l'INSEP ont composé la population de cette expérimentation. Un programme de renforcement musculaire annuel a été proposé aux sabreurs préparant les Championnats du Monde de La Haye, soit la moitié du groupe. Ce programme a été inséré dans le cadre général du programme de préparation aux Championnats du Monde. Pour l'autre moitié du groupe le programme de musculation a été remplacé par des séances de préparation physique généralisée. Le reste du programme de préparation est commun au deux groupes. Ce groupe non entraîné en musculation a donc servi de groupe témoin

Des tests de force isocinétique ont été réalisés dans le dispositif ergométrique ARIEL Multifunction CES 5000, avant et après entraînement. Au total, cette exploration fonctionnelle nous permet de sonder les qualités de :

- force maximale grâce aux mesures réalisées sur les vitesses les plus faibles
- puissance maximale en retenant le meilleur produit force (appliquée dans l'ergomètre) x vitesse de mobilisation du bras mécanique de l'ergomètre
- force à grande vitesse mesurée aux vitesses les plus élevées : cette valeur est retenue comme un indice d'évaluation de l'explosivité de la force.

Les variations pré-post entraînement ont été analysées pour déterminer les effets du programme d'entraînement.

Au terme de ce programme, le groupe entraîné en musculation a amélioré l'ensemble de ses performances en force maximale, en puissance maximale et en explosivité de façon significative. Le groupe témoin, non-entraîné en musculation, affiche une stagnation des qualités de force maximale et de puissance maximale, et une progression significative de la force explosive. La comparaison entre les deux groupes révèle des différences significatives, en faveur du groupe entraîné en musculation, pour les mesures de la force maximale et de la puissance. Pour la force mesurée à grande vitesse, sans être significatifs, les écarts montrent que les gains demeurent plus importants pour le groupe entraîné en musculation (+34% versus +25%).

Notre hypothèse de travail initiale, selon laquelle le développement des qualités de force et de puissance favoriserait l'amélioration de la force à grande vitesse est confortée par nos résultats. Ces résultats constituent un argument en faveur de l'introduction de programme de musculation visant à développer l'ensemble des qualités musculaires, dans la préparation de escrimeurs d'élite.