



DEPARTEMENT DES SCIENCES DU SPORT

Laboratoire de Biomécanique et de Physiologie

**Effets immédiats d'un effort concentrique quasi maximal
sur les performances de type explosif.**

Rapport

Dossier scientifique dirigé et présenté par :

Christian MILLER *

Collaborateurs scientifiques : Jacques QUIEVRE*, Antoine COUTURIER*, Bruno GAJER*,
Anne MICHAUT*, Julie FELER*.

Collaborateurs fédéraux : Eric BOUCHARIN**, Claude COLOMBO**, M. Angeline
COLSON**, Yves KIEFER**, Frank LEGRAS**.

Travail effectué par :

* Laboratoire de Biomécanique et de Physiologie de l'INSEP

En collaboration avec :

** Fédération Française de Gymnastique
(Pôles France et Espoirs de Créteil, Dijon, INSEP, Marseille et Saint Etienne).

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
METHODOLOGIE	2
I/ Population	3
II/ Techniques et protocoles	3
1/ Protocole 1 : contraste de charge lourd-léger	4
1.1/ Techniques	5
1.1.1/ Technique ergométrique	
a/ Dispositif ergométrique et positionnement du sujet	
b/ Appareil d'enregistrement des variables mécaniques	
1.1.2/ Techniques électromyographiques :	
a/ Détection des signaux électromyographiques	
b/ Enregistrement des signaux électromyographiques	
1.2/ Déroulement des tests du protocole 1	6
1.3/ Analyse des données	7
1.3.1/ Traitement des données mécaniques	
1.3.2/ Traitement des données EMG	
2/ Protocole 2 : contraste lourd-plométrie	9
2.1/ Techniques	9
2.1.1/ Technique ergométrique	
a/ Plate-forme de force	
b/ Enregistrement des variables mécaniques	
2.1.2/ Techniques électromyographiques :	
2.2/ Déroulement des tests du protocole 2	10
2.3/ Analyse des données	11
2.3.1/ Traitement des données mécaniques	
2.3.2/ Traitement des données EMG	
3/ Protocole 3 : contraste lourd-technique	13
3.1/ Techniques	13
3.1.1/ Technique cinématographique : les outils	13
a/ La caméra	
b/ La carte Micro DC30+	
c/ Le logiciel Adobe première 4.2	
d/ Le Logiciel 3D Vision	
3.1.2/ La procédure d'acquisition	14
a/ préparation des gymnastes	
b/ Installation de la caméra	
c/ le cube de référence	
3.1.3/ Traitement des données	16
a/ Production des films	
1/ Visualisation	
<i>Liaison caméra/carte</i>	
<i>Acquisition vidéo</i>	
2/ production des fichiers AVI	
<i>Opération de débramage</i>	
b/ Réalisation des fichiers 2D : digitalisation des cibles	
c/ Exploitation des fichiers 2D :	
<i>Visualisation</i>	
<i>Calcul des paramètres cinématiques</i>	

3.2/ Déroulement des tests du protocole 3	18
3.3/ Analyse des données	20
a/ analyse du passément filé	
b/ paramètres cinématiques retenus	
III/ Analyse statistique	21
RESULTATS	22
I/ Contraste de « charge lourd-léger »	22
1/ Résultats mécaniques.....	22
2/ Résultats EMG.....	23
II/ Contraste « lourd-plométrie »	24
1/ Résultats mécaniques.....	24
2/ Résultats EMG.....	25
III/ Contraste « lourd-Technique »	26
1/ Résultats mécaniques : vitesse ouverture de l'angle bras-tronc	26
2/ Résultats mécaniques : vitesse de rotation au début de la phase ascendante.....	27
DISCUSSION – CONCLUSION	28
BIBLIOGRAPHIE	30

INTRODUCTION

Dans de nombreux sports et en particulier en gymnastique sportive, la performance est étroitement liée à la capacité de l'athlète à modifier sa propre quantité de mouvement. Pour cela, il doit produire au niveau de ses appuis, des impulsions qui se caractérisent par des temps d'action, généralement très brefs, pendant lesquels il faut générer les niveaux de force les plus élevés possibles. Cette modalité d'expression de la force peut être qualifiée d'explosive. En outre, ces actions impulsives se produisent, le plus souvent, dans des

situations techniques complexes et donc très spécifiques. Ainsi, dans le cadre de la préparation musculaire, une des problématiques essentielles de l'entraîneur est de mettre en place des situations permettant d'améliorer l'explosivité des impulsions spécifiques, c'est à dire proches des situations techniques. Dès lors se pose la question de savoir quelle méthode de musculation utiliser pour améliorer l'explosivité de la réponse musculaire, et in fine, développer les qualités impulsives explosives spécifiques.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude sur les méthodes dites « combinées » en musculation. Le principe général de ces méthodes est d'enchaîner, sans délai de récupération, un effort « quasi-maximal » réalisé contre une charge résistante correspondant à plus de 80% de la force maximale concentrique volontaire (1 RM), avec un effort dynamique à grande vitesse effectué contre une charge résistante dite « légère » c'est à dire inférieure à 30% du 1 RM. Empiriquement, de nombreux athlètes et entraîneurs ont constaté que l'explosivité de la force pouvait être améliorée après avoir réalisé quelques contractions volontaires maximales. Dès les années soixante-dix, l'école bulgare propose, pour améliorer la vitesse gestuelle, de réaliser des séries d'efforts à vitesse maximale (contre une charge résistante très légère), immédiatement après avoir soulevé une charge quasi-maximale. Selon ces auteurs, cette méthode, connue initialement sous le nom de "Méthode Bulgare", serait susceptible de provoquer à partir d'un effet de contraste sensoriel, une amélioration de l'explosivité de la réponse gestuelle. Il faut noter que, dans ce cas, l'effort pré-activant (lourd) et l'effort pré-activé (léger) sont réalisés à partir de mouvements identiques, c'est à dire avec des modalités de contraction et une posture semblables. Depuis, d'autres combinaisons d'efforts ont couramment été utilisées. En particulier, de nombreux entraîneurs proposent de combiner différentes modalités de contraction : il s'agit, par exemple, de réaliser un travail pliométrique juste après un travail concentrique à charge quasi maximale. Enfin, plus récemment, et selon le même principe, l'association de gestes techniques et d'efforts quasi-maximaux a semble-t-il, rencontré un large écho auprès des entraîneurs. Cependant, les effets réels engendrés par cette combinaison d'efforts, ne font pas l'unanimité auprès des utilisateurs : certains voient dans l'effort quasi maximal l'occasion de créer une pré-fatigue des chaînes musculaires principalement impliquées dans l'effort dynamique, et ainsi d'améliorer secondairement l'endurance à ce type d'effort. D'autres utilisent cette méthode en termes de pré-activation pour dynamiser l'effort dynamique.

Le fondement théorique de ces méthodes repose sur l'idée que le premier effort (quasi maximal) pourrait pré-activer le système neuro-musculaire et ainsi secondairement potentialiser la réponse dynamique. Sur le muscle isolé, il est connu depuis longtemps que la tension générée au cours de la secousse musculaire peut être augmentée après une contraction tétanique quasi-maximale : ce phénomène décrit par Brown et coll. (1938) est appelée Potentiation Post Tétanique (PPT). Chez l'homme, la PPT peut être provoquée, soit par une contraction tétanique électro-induite, soit par une contraction volontaire maximale. Dans ce dernier cas le terme de PostActivation est plus fréquemment utilisé (PA). Ces phénomènes de potentiation (PPT ou PA) ont été observés sur différents muscles ou groupes musculaires, comprenant des petits muscles de la main (Hughes et Morrell, 1971) et des masses musculaires plus importantes telles que les extenseurs du genou (Hamada T. et coll., 2000) et les dorsiflexeurs de la cheville (O'Leary et coll., 1997). La PPT se traduit souvent par un raccourcissement du temps de contraction et du demi temps de relaxation, et une augmentation de la vitesse d'établissement de la force. (O'Leary et coll., 1997). L'amplitude de la PA est affectée par la durée, l'intensité de l'effort préactivant, mais également par les caractéristiques des muscles testés. Une meilleure PTP est souvent obtenue sur les muscles présentant une plus grande proportion de fibres rapides (Hamada T. et coll., 2000). La PPT est

plus importante immédiatement après le tétanos et décroît rapidement, tout en restant sensible dans un délai de 10 minutes (Vandervoort et coll., 1983). Il faut cependant noter que la PPT et la PA sont généralement étudiées à partir des modifications de la secousse musculaire. Un nombre limité d'études, ont analysé ces phénomènes sur la réponse musculaire globale (Gullich et Schmidtbleicher, 1996) et encore moins sur la performance sportive. Ainsi les effets réels de ce type de méthode, chez l'homme et dans des mouvements complexes, restent encore à démontrer.

Le but de ce travail est d'évaluer l'effet immédiat d'un effort concentrique quasi-maximal sur trois types d'effort dynamique : un effort concentrique, un effort pliométrique et un geste technique (le passement filé remonté à l'appui tendu renversé).

Ceci nous conduit à analyser successivement trois formes de combinaison d'effort en contraste, à savoir :

- une combinaison d'un effort concentrique lourd avec un effort concentrique léger,
- une combinaison d'un effort concentrique lourd avec un effort de type pliométrique
- une combinaison d'un effort concentrique lourd avec un geste technique.

Les éventuels effets immédiats de ces trois combinaisons d'effort, seront recherchés en analysant les variations de la performance et de l'activité myoélectrique, avant et après préactivation. La question étant de savoir si, et, dans quelle mesure un phénomène de potentiation de la réponse musculaire, induit par un effort volontaire préalable quasi maximal, peut être observé dans des gestes sportifs complexes.

METHODOLOGIE

I/ Population

23 gymnastes féminines, appartenant aux pôles France et Espoirs de Créteil, Dijon, INSEP, Marseille et St Etienne ont participé à cette étude.

Les caractéristiques anthropométriques des gymnastes sont reportées dans le tableau 1.

	âge (an)	taille (cm)	poids (Kg)
Moyenne (n = 23)	14.5	150.2	40.5
Dév. Std.	2	7.2	6.3

Tableau 1 : données anthropométriques

II/ Techniques et protocoles

Cette étude comprend trois épreuve-tests correspondant respectivement aux trois combinaisons d'effort analysées. Le schéma expérimental mis en place est reproduit à l'identique pour les trois méthodes analysées : la variable dépendante analysée (effort dynamique explosif) est testée avant et après un effort concentrique quasi maximal (variable indépendante) correspondant à 85% du 1 RM.

Le passage des trois épreuve-tests s'est déroulé à l'INSEP, en une journée. A raison de deux épreuves en matinée séparées par un repos d'heure, et d'une épreuve l'après-midi. L'ordre de passage des épreuve-tests a été randomisé afin d'éviter tout effet d'ordre de passage des tests sur les résultats.

Chaque épreuve-test est composée de 3 blocs.

Au cours de chaque bloc les sujets réalisent successivement :

- 1 – l'effort dynamique qui servira de référence
- 2 – après 2 minutes de repos, l'effort concentrique quasi-maximal
- 3 – après 10 secondes, de nouveau l'effort dynamique test, réalisé dans des conditions identiques à celles mises en place en 1.

Les techniques et schémas expérimentaux de ces trois protocoles sont maintenant présentés.

1/ Protocole 1 : contraste de « charge lourd-léger »

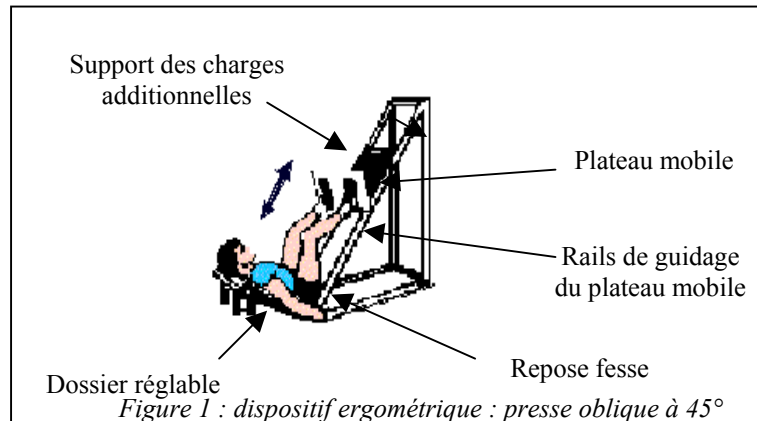
Dans ce protocole l'effort testé est un $\frac{1}{2}$ squat réalisé dans une presse oblique (décrite ci-après) chargée à 30% du 1RM. L'effort quasi-maximal est également un $\frac{1}{2}$ squat réalisé dans la même presse oblique chargée à 85% du 1RM.

1.1/ Techniques :

1.1.1/ Technique ergométrique

a/ Dispositif ergométrique et positionnement du sujet (figure 1)

Le dispositif ergométrique utilisé pour le protocole 1 est une presse oblique



équipée d'un plateau mobile et d'un siège oblique. Le déplacement du plateau mobile est guidé par deux rails parallèles dont l'obliquité est de 45° par rapport à la verticale. Ce plateau mobile dont le poids est de 45 Kg peut être chargé à volonté à l'aide de disques en fonte, au kilo près. Le siège est composé d'un dossier et d'un « repose fesses » dont l'obliquité est également de 45° par rapport à la verticale. L'angle entre le dossier et le « repose fesses » est réglable de façon à assurer le meilleur confort possible au sujet.

Dans la position de départ, le sujet est installé en position assise dos et fesses plaqués dans le siège de la presse. La hauteur du plateau est alors réglée pour que, les pieds reposant à plat sur le plateau, les genoux soient fléchis à 90° . A partir de cette position le sujet est invité à effectuer une extension explosive des membres inférieurs projetant ainsi vers le haut le plateau mobile.

b/ Appareil d'enregistrement des variables mécaniques

La variable mécanique prise en compte est la vitesse de déplacement du plateau du début à la fin de la montée. Lors de son déplacement le plateau mobile entraîne, grâce à un système de poulies et de câbles, une réglette se déplaçant dans une gorge horizontale, positionnée au sol, à côté de la presse. Ce système permet de transformer le déplacement linéaire et oblique du plateau mobile en un mouvement linéaire et horizontal de la réglette, sans délai et sans déperdition, de sorte que la lecture du mouvement de la réglette équivaut à la lecture du mouvement du plateau mobile. Des bandes noires et blanches, de largeur connue, sont dessinées sur la réglette. Celle-ci se déplace sous un capteur opto-électrique de contraste (Sensick KT5-Ti) fixé sur les bords de la gorge horizontale. A chaque changement de contraste, correspondant au passage d'une bande blanche à une bande noire et/ou inversement, le capteur émet un signal électrique carré (0-10V) dont la période varie avec la vitesse de déplacement de la réglette. Ce signal est enregistré sur un ordinateur équipé d'une carte d'acquisition (DT 9800 Series Data Translation). Un programme conçu spécialement à partir du logiciel Origin 6.0, permet, à partir de ces données, de reconstituer une courbe de déplacement du plateau mobile en fonction du temps

1.1.2/ Techniques électromyographiques :

a/ Détection des signaux électromyographiques

La détection de l'activité EMG est assurée au moyen d'électrodes de surface de marque 3M, modèle Red Dot. Une paire d'électrode, autocollante et jetable, est appliquée suivant l'axe des fibres musculaires au niveau des

ventres de chacun des muscles investigués : vastus medialis droit (VM) et gastrocnemius caput laterale droit (Gs).

Une distance de 2 cm sépare le centre de chaque électrode d'une même paire.

Avant l'application des électrodes, la peau a été préparée, rasée, poncée et dégraissée, afin de réduire la résistance inter-électrodes à des valeurs inférieures à 5Kohms.

Chaque paire d'électrodes de détection est équipée d'une électrode de référence positionnée sur une partie osseuse (malléole externe droite et épiphyse péronéale supérieure droite).

Les signaux sont amplifiés par un conditionneur-amplificateur (Mazet électronique) dont l'impédance d'entrée est de 2Gohms et le gain, à 100Hz, est de 600. Ils sont ensuite filtrés suivant une bande passante de 6 à 1500Hz.

b/ Enregistrement des signaux électromyographiques

Les signaux EMG, après amplification et filtrage, sont transférés sur ordinateur grâce à une carte d'acquisition (DT 9800 Series Data Translation).

La fréquence d'échantillonnage a été fixée à 10 kHz, pour les signaux mécaniques et électromyographiques.

1.2/ Déroulement des tests du protocole 1 (Figure 2)

Le déroulement du test comprend dans un premier temps une phase d'échauffement où le sujet réalise 3 séries de 10 répétitions contre une résistance équivalente au poids de son corps. Puis après 5 minutes de repos le sujet effectue un test de détermination de force maximale concentrique (1RM) par la méthode indirecte du 10RM (Berger, 1961).

Après un repos de 5 minutes le test proprement dit démarre. Il est composé de 3 blocs de 3 épreuves. Chaque bloc débute par un 1^{er} demi-squat explosif réalisé contre une charge résistante correspondant à 30% du 1RM, qui servira de référence (fig. 2A). Un repos de 2 minutes est alors ménagé avant la réalisation d'une série de 3 répétitions de demi-squat, pour lesquelles le plateau est chargé à 85% du 1RM (fig. 2B). Cette série constitue l'effort quasi maximal servant de pré-activation. Puis, juste 10 secondes après la fin de cette série, un nouveau demi-squat à 30% du 1RM est réitéré (fig. 2C).

La figure 2 présente le protocole d'un bloc de ce test.

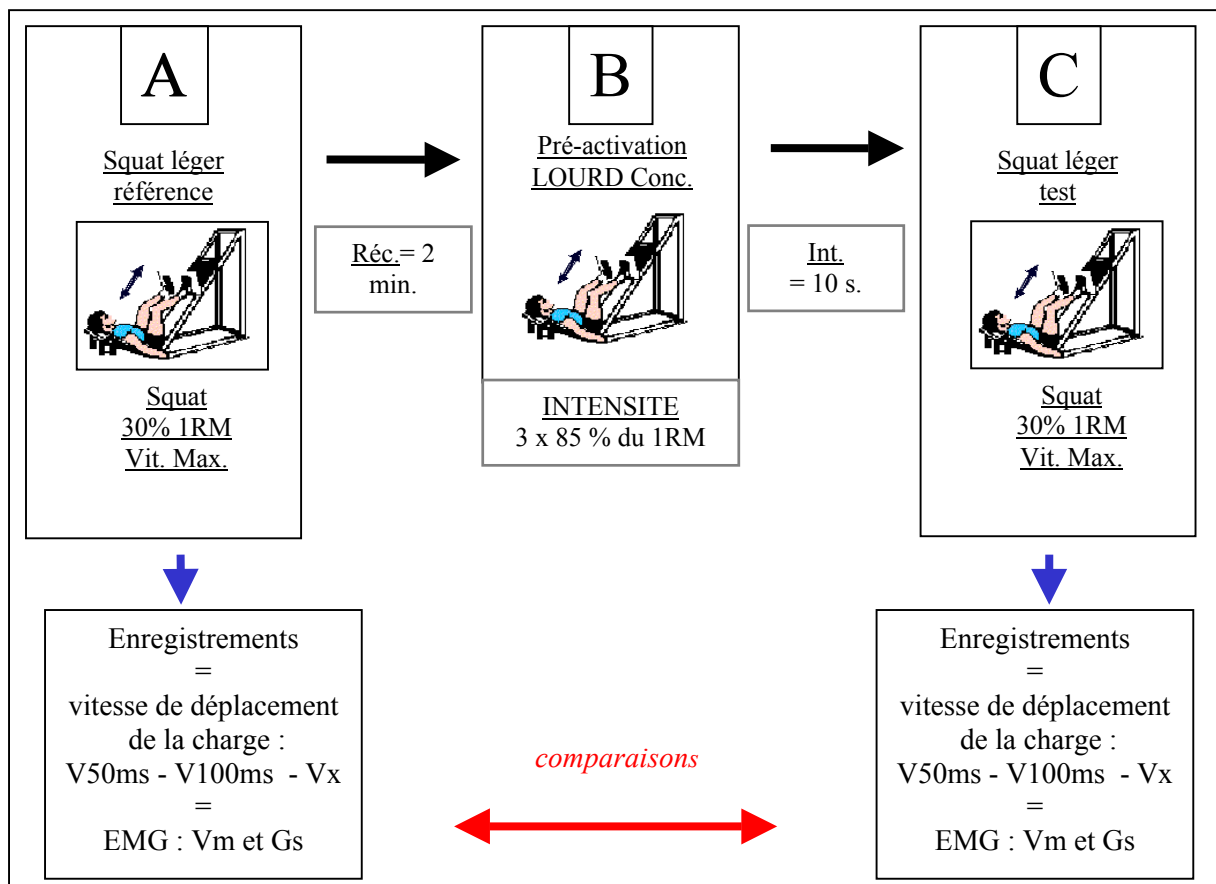


Figure 2 : schéma expérimental d'un bloc du protocole 1

1.3/ Analyse des données

1.3.1/ Traitement des paramètres mécaniques

Les données de déplacement recueillies (courbes du déplacement du plateau mobile en fonction du temps) sont lissées à partir d'un filtre FFT (filtrage passe-bas à 7Hz). La courbe de déplacement en fonction du temps est dérivée par calcul une fois pour obtenir les valeurs de vitesse à chaque instant. (figure 3)

Trois valeurs de vitesse sont retenues comme indice de performance pour l'analyse :

- la vitesse du plateau mobile 50 ms après le début du mouvement
- la vitesse du plateau mobile après 100 ms
- la vitesse maximale atteinte par le plateau mobile.

Ce sont les variations respectives, pré et post activation, de ces mesures, qui sont analysées pour déterminer l'effet de l'effort maximal sur la réponse explosive.

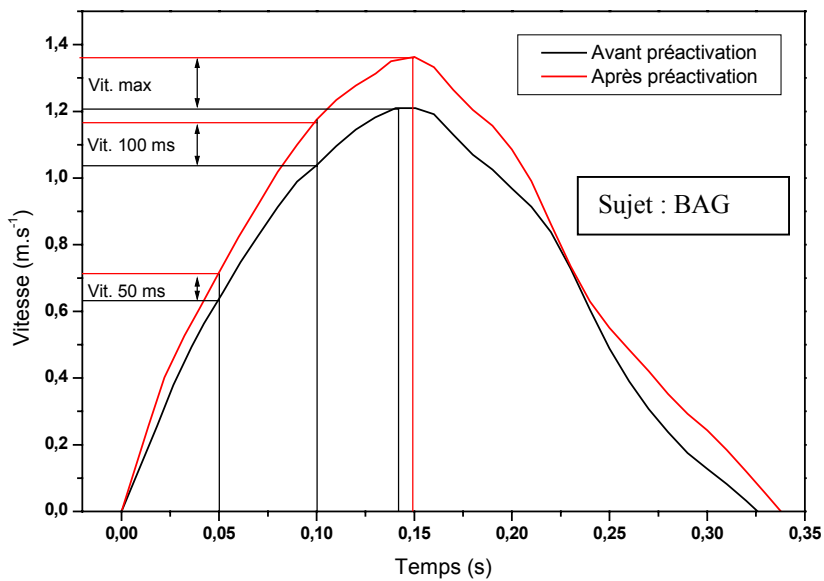


Figure 3 : exemple pour 1 sujet de l'évolution de la courbe de la vitesse de déplacement du plateau mobile en fonction du temps, avant et après pré-activation.



Indique les variations de la vitesse à 50 ms, 100ms et de la vitesse maximale.

1.3.2/ Traitement des données EMG (figure 4) :

La quantification des niveaux d'activation a été réalisée en utilisant la valeur RMS, calculée par intégration du signal brut redressé, par intervalle de temps correspondant aux :

- 100 ms avant le début de la mise en mouvement du plateau mobile (-100 à 0 ms)
- 100 ms après le début du mouvement (0 à +100ms)
- et enfin, à partir de 100ms jusqu' à l'instant du pic de vitesse.

Un programme de calcul spécifiquement créé sur le logiciel Origin 6.1 nous a permis de réaliser l'ensemble de ces calculs.

Ce sont les variations respectives, pré et post activation, de ces valeurs intégrées, qui sont analysées pour déterminer l'effet de l'effort maximal sur la réponse explosive.

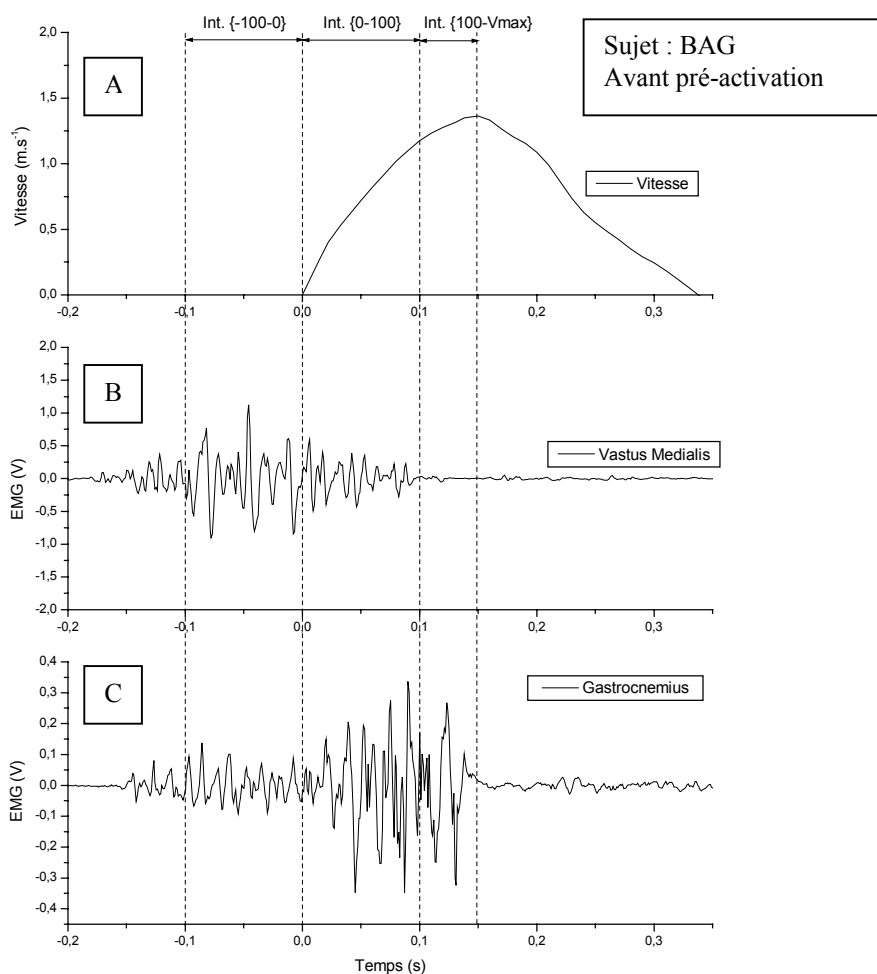


Figure 4 : exemple pour 1 sujet, d'un enregistrement de l'activité myoélectrique du Vastus Medialis (B) et du Gastrocnemius (C), synchronisée avec les données mécaniques de déplacement du plateau (A).

Figure les intervalles d'intégration des EMG bruts.

2/ Protocole 2 : contraste « lourd – pliométrie »

2.1/ Techniques

2.1.1/ Technique ergométrique:

a/ Plate-forme de force : les enregistrements de force seront réalisés sur une plate-forme de force de marque Kistler type 9281B. Elle permet des mesures de force et de moment selon 3 axes. Les capteurs piéso-électriques émettent un signal électrique converti en courant continu dirigé vers un amplificateur.

b/ Enregistrement des variables mécaniques : le signal électrique issu de la plate-forme est enregistré sur un ordinateur équipé d'une carte d'acquisition analogique : DT 9800 Series Data Translation.

2.1.2/ Technique électromyographique :

Les techniques de détection, d'enregistrement, et de traitement des signaux électromyographiques utilisés pour le protocole 2 sont identiques à celles mises en place pour le protocole 1 (cf. chapitre 1.1.2).

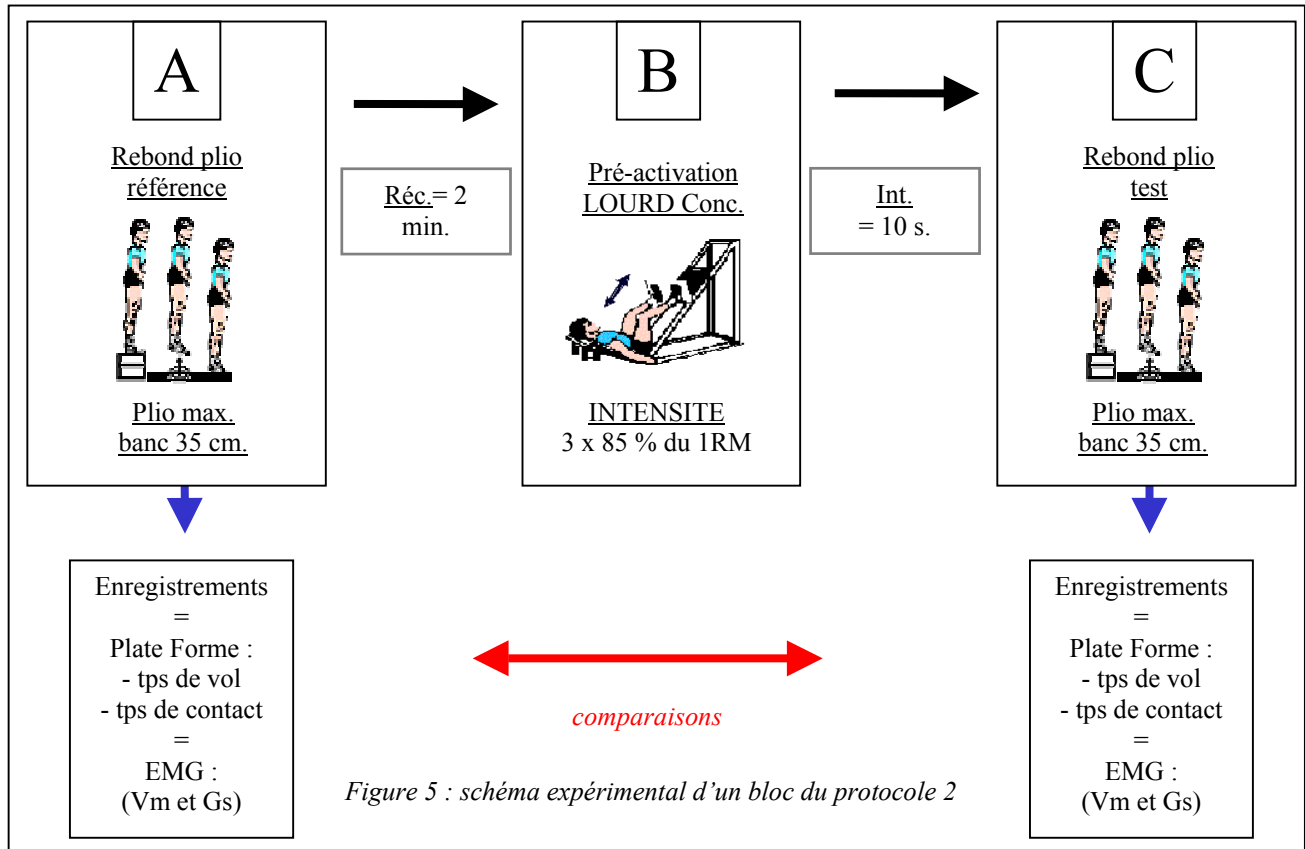
La fréquence d'échantillonnage a été fixée à 1 kHz, pour les signaux mécaniques et électromyographiques.

2.2/ Déroulement des tests du protocole 2

Réalisé, sur le même schéma expérimental que le protocole 1, ce test débute (après échauffement) par un 1^{er} rebond pliométrique à partir d'un banc d'une hauteur de 35 cm, servant de référence (A). Afin d'éviter toute prise d'élan lors de l'initiation de la chute à partir du banc, le sujet est instruit de quitter le banc en effectuant un pas dans le vide. Le sujet est invité à réaliser un rebond aussi haut que possible tout en minimisant le temps de contact avec le sol. Après un repos de 2 minutes un effort quasi-maximal, servant de pré-activation, identique à celui décrit pour le protocole 1 est proposé. Il s'agit d'une série de 3 répétitions de demi- squat dans la presse oblique chargée à 85% du 1RM du jour (B).

Puis 10 secondes après, le sujet effectue un 2ème rebond pliométrique (C) dans des conditions strictement identiques à celles décrites précédemment.

La figure 5 présente le protocole de ce test.



2.3/ Analyse des données de plate-forme

2.3.1/ Traitement des paramètres mécaniques

Un programme conçu spécialement à l'aide du logiciel Origin 6.0, permet, à partir des données issues de la plate-forme de force, de reconstituer une courbe des forces de réaction au sol en fonction du temps. Seules les forces de réaction, selon l'axe vertical (Rz) ont été retenues pour l'analyse (figure 6A).

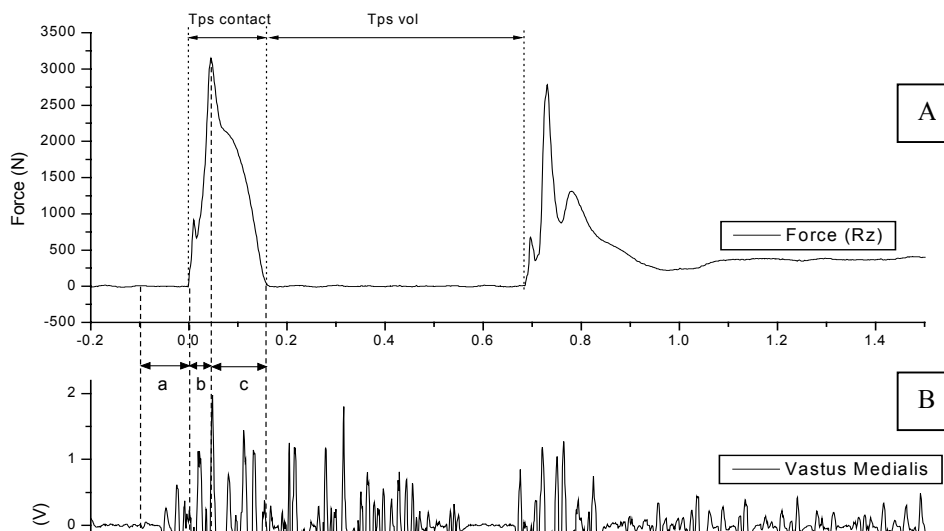


Figure 6 : *A : courbe force/temps, enregistrée sur plate-forme, pour un sujet.
B et C : enregistrement de l'activité myoélectrique du Vastus Medialis et du
Gastrocnemius, au cours d'une rebond pliométrique.*

*N.B. : les zones a, b et c correspondent aux intervalles d'intégration des signaux
EMG.*

Les trois critères retenus pour l'analyse sont :

- la durée du vol (ms) : elle représente l'expression directe de la performance.
- la durée du temps de contact (ms)
- le rapport temps de vol/temps de contact : il constitue un indice de réactivité.

Ce sont les modifications respectives de ces indices qui seront analysées pour déterminer l'effet de l'effort quasi maximal sur la performance explosive de type pliométrique.

2.3.2/ Traitement des données EMG (figure 6B et 6C)

La quantification des niveaux d'activation a été réalisée en utilisant la valeur RMS, calculée par intégration du signal brut redressé, par intervalle de temps correspondant aux :

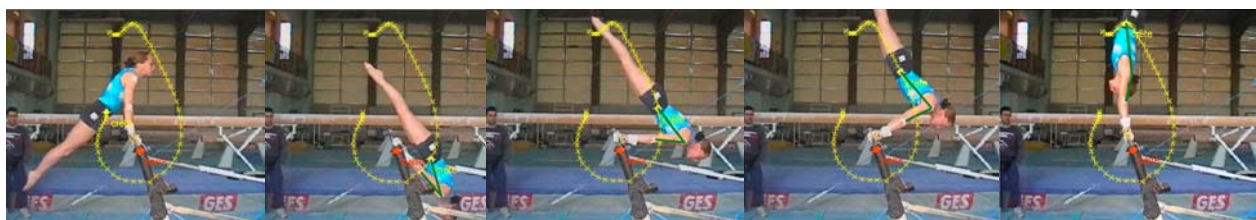
- 100 ms avant le contact sur la plate-forme (-100 à 0 ms) (a).
- du début du contact au pic de force (b).
- et enfin, du pic de force à l'instant du décollage (c).

Un programme de calcul spécifiquement créée sur le logiciel Origin 6.1 nous a permis de réaliser l'ensemble de ces calculs.

Ce sont les variations respectives, pré et post activation, de ces valeurs intégrées, qui sont analysées pour déterminer l'effet de l'effort maximal sur la réponse explosive.

3/ Protocole 3 : contraste « lourd-technique »

Le geste technique analysé est un « passément filé remonté à l'appui tendu renversé », réalisé sur une barre fixe basse, avec la prise de main sécurisée par des sangles. Le cliché 1 présente une chronophotographie en 5 photos du passément filé, de la fin de la prise d'élan (photo 1) jusqu'au passage à l'appui tendu renversé (photo 5). La trajectoire de la hanche est sur-marquée en jaune.



1 2 3 4 5
Cliché 1 : chronophotographie du passément filé remonté à l'appui tendu renversé

3.1/ Techniques

3.1.1/ Technique cinématographique : les outils

a/ La caméra

Une seule caméra a été utilisée. Elle est de type numérique de marque PANASONIC.

La capture d'image est réalisée avec des dispositifs à Transfert de Charge (DTC de 1/3 pouces).

Format d'enregistrement Mini DV (format vidéo numérique) utilisant une bande vidéo de 6.35mm.

L'objectif se caractérise par un diaphragme automatique de F14 et une variation de la focale de 4.7 à 47mm.

La sensibilité se traduit par un éclairage minimal requis de 1 lux.

L'obturateur électronique (shutter) : la vitesse d'obturateur choisie est 1/1000^{ème}, son réglage est accessible lorsqu'on règle manuellement la vitesse d'obturation. Le signal de sortie est de type S-Vidéo (Y/C) luminance et chrominance séparées.

b/ La carte Miro DC30+

La carte Miro DC30+ est un système composé de matériels et de logiciels de numérisation, compression, traitement et production de séquences vidéo au format AVI pour PC IBM et compatibles équipés d'un bus PCI. Cette carte numérise des séquences vidéo dans un format compréhensible par l'ordinateur. Les caractéristiques techniques principales sont les suivantes : cartes PCI 32 bits-bus Master, Processeur JPEG ZORAN ZR 36050, norme PAL, NTSC, SECAM, couleur 24 bits RGB. Les sorties vidéos sont de type S-vidéo et composite.

c/ Le logiciel Adobe première 4.2

Ce logiciel permet le montage vidéo assisté par ordinateur. Il gère les différentes étapes qui conduisent à la production d'un film : la capture du signal vidéo présenté à la carte Miro, le traitement de l'élément ainsi obtenu, puis le montage de ces éléments entre eux afin de permettre la production du film souhaité. Un compresseur universel est utilisé pour transporter les fichiers (format .AVI) vers d'autres ordinateurs.

d/ Le Logiciel 3D Vision

Nous avons utilisé deux modules du logiciel 3D Vision. Le premier est le module SNAP 32 qui permet la saisie automatique et manuelle de cibles à partir d'images vidéo contenues dans le fichier AVI créé par la carte d'acquisition et le logiciel Adobe. Et le second, est le module View 3D qui est un programme de visualisation de données et de calcul des différents paramètres cinématiques et cinétiques du mouvement étudié.

3.1.2/ La procédure d'acquisition

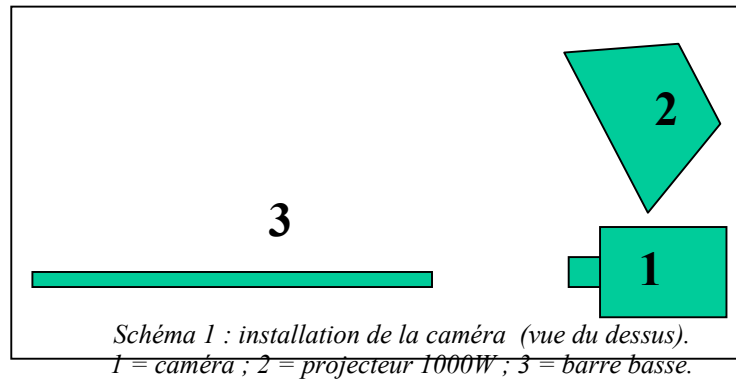
a/ préparation des gymnastes

Les gymnastes sont équipées de marqueurs fluorescents placés au niveau des articulations du poignet droit (épiphyse cubitale inférieure), du coude (épicondyle droit), de l'épaule droite zone d'insertion supérieure du faisceau médian du deltoïde) et de la crête iliaque supéro-externe droite. Une autre cible a été placée sur la barre, afin de matérialiser l'axe de rotation principal du mouvement. Le modèle étudié est donc constitué de 5 cibles. (Cf. photo 1)



b/ Installation de la caméra

La caméra est placée latéralement avec un recul de 2 mètres environ, de telle sorte que le mouvement puisse être filmé, dans son ensemble, dans le plan sagittal du sujet (cf. schéma 1). L'objectif est placé dans le prolongement de la barre. Un projecteur de 1000W, orienté vers la barre, est placé au dessus de la caméra.



c/ le cube de référence : calibrage de l'espace

Ce cube permet de calibrer l'espace de prise de vue. Il est constitué de 12 tubes d'aluminium, chacun équipé de 3 bagues, sur lesquelles a été apposé un matériau réfléchissant. Les bagues constituent des repères d'espace dont les coordonnées selon les trois axes $\{x,y,z\}$ sont connues dans le référentiel cube dont l'origine est fixée arbitrairement à l'un des coins du cube. Avant chaque passage, le cube est placé devant la barre basse pour réaliser un enregistrement vidéo. La structure de calibrage est ensuite retirée. Dès lors la caméra doit rester rigoureusement immobile.

3.1.3/ Traitement des données

a/ Production des films

1/ Visualisation/capture

Liaison caméra/carte

Le caméscope, réglé en mode VCR, est connecté à la carte d'acquisition Miro DC30+, installé sur un PC dont le disque dur est de type SCSI (rapide).

Acquisition numérique de la vidéo

L'acquisition numérique de la séquence vidéo préalablement sélectionnée est réalisée avec le logiciel Adobe Première 4.2. Les options d'enregistrement utilisées sont les suivantes : 25 images par seconde (25 ips), image en pleine résolution horizontale, et en 2 demi images verticales. Le standard utilisé est le standard PAL, enfin le type d'échantillonnage est de type quadratique.

2/ production des fichiers AVI

Opération de détramage et compression

Pour obtenir une fréquence d'image de 50Hz le film préalablement numérisé à 25ips est détramé (chaque image est dédoublée), puis compressé. L'opération de production est alors achevée, un film de 50 ips, sous forme d'un fichier AVI est ainsi obtenu.

b/ Réalisation des fichiers 2D : digitalisation des cibles

Les fichiers 2D sont construits à partir du module SNAP 32 du logiciel 3D View.

Après la déclaration des paramètres de digitalisation, trois étapes principales sont nécessaires à la construction des fichiers.

Etape 1 : ouverture du fichier et détermination du début de la séquence analysée :

Après ouverture du fichier, un réglage préalable de la qualité de l'image peut être opéré à ce stade de la procédure (contraste et luminosité). A partir de là, le repérage de la première image de la séquence analysée doit être réalisé : dans notre cas, il s'agit de la première image, où la « cible épaulement » redevient visible, après le passage à la verticale basse (passage masqué par le poteau de soutien de la barre basse). Par rapport à cette image, un recul de 3 images est effectué pour fixer l'image d'origine de la séquence. Les opérations suivantes, initialisation des cibles et digitalisation peuvent dès lors commencer.

Etape 2 : initialisation des cibles

Cette étape consiste à définir les coordonnées écran de chaque cible et les modalités avec lesquelles ces cibles seront reconnues. Les coordonnées « images » ainsi obtenues sont ensuite transformées en coordonnées « terrain » grâce aux paramètres de calibration de l'espace dans lequel les mouvements sont exécutés.

Etape 3 : digitalisation

La détection des cibles se fait sur le mode manuel, pour toutes les cibles, sur toutes les images de la séquence retenue, c'est à dire, de la première image où la « cible épaulement » redevient visible après le passage à la verticale basse (cf. photo 2), jusqu'à la première image après le passage de la « cible épaulement » au delà de la verticale haute (cf. photo 3). Cette phase est longue et délicate, les sources d'approximation y sont nombreuses.



Photo 2 : début de séquence



Photo 3 : fin de séquence

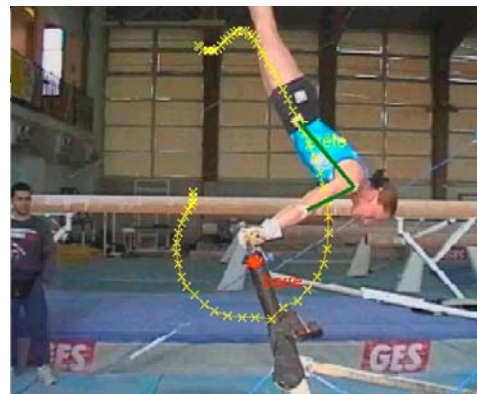
b/ Exploitation des fichiers 2D

Visualisation

A partir du module Visu 3D, le travail de digitalisation précédemment réalisé peut être visualisé selon différents modes : animation de la figurine, affichages des traces des différentes figurines (cf. photo 4) ou des trajectoires des cibles (cf. photo 5). Cette visualisation est réalisée immédiatement afin de vérifier la qualité du travail de digitalisation. Toutes anomalies dans les trajectoires ainsi observées, conduit l'élimination et à la reconstruction intégrale du fichier considéré.



Photo 4 : traces des figurines



*Photo 5 : trajectoire de la cible
« crête iliaque »*

Calcul des paramètres cinématiques : trajectoires, vitesses

La cinématique des points (cibles), la cinématique angulaire (angle inter-segmentaires) et la cinématique des angles (angles segments / axes) sont dès lors accessibles par le calcul.

3.2/ Déroulement des tests du protocole 3

Réalisé, sur le même schéma expérimental que les protocoles 1 et 2, ce test débute (après échauffement sur les barres) par une épreuve de détermination de la force maximale concentrique (1RM) d'antépulsion des bras (référence I.A. Kapandji), en position debout dos calé contre un mur, genoux fléchis à 30° (0° = extension complète) (cf. schéma 2).

La méthode indirecte du 10 RM (Berger, 1961) est utilisée pour déterminer la 1 RM.

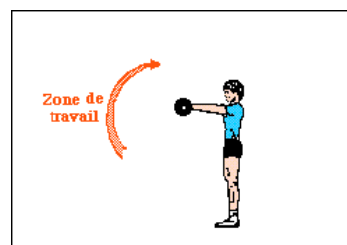


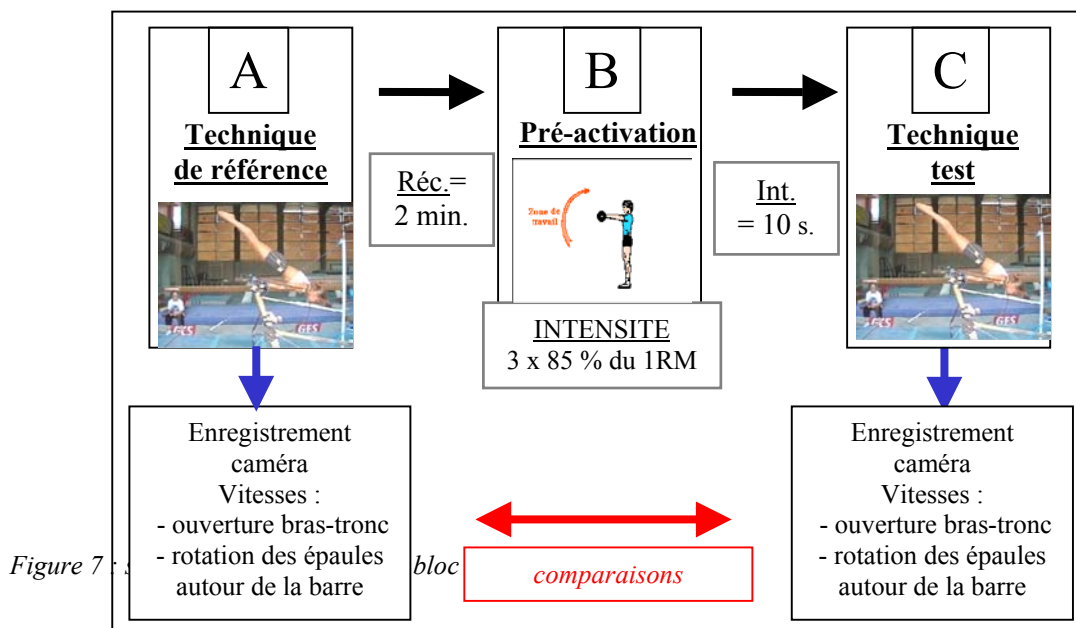
Schéma 2 : mouvement effectué pour déterminer le 1 RM pour l'antéimpulsion des bras

Après un repos de 5 minutes le test proprement dit démarre : il est composé de 6 blocs de 3 épreuves. Les trois premiers blocs débutent par un 1^{er} passément filé filmé, qui servira de référence (A). Un repos de 2 minutes est alors ménagé avant la réalisation d'une série de 3 répétitions d'antéimpulsion des bras, haltère chargée à 85% du 1RM (B). Cette série constitue l'effort quasi maximal servant de pré-activation. Puis, juste 10 secondes après la fin de cette série, un nouveau passément filé filmé est réitéré (C).

Le passément filé est réalisé, sur une barre fixe basse, avec des sangles aux poignets, assurant une meilleure préhension de la barre. Les consignes principales de réalisation sont les suivantes :

- concernant la prise d'élan : elle est libre (pas de hauteur imposée) mais elle doit être renouvelée à l'identique pour tous les essais
- la remontée vers l'appui tendu renversé doit être réalisée de façon la plus dynamique possible, sans se soucier du maintien de la position à l'équilibre.

La figure 7 présente un bloc du protocole 3a.



Pour les trois derniers blocs l'effort pré-activant (anté-pulsion des bras) est remplacé par un passément filé non filmé.
Cette série d'épreuve a pour objet de servir de contrôle.

La figure 8 présente un bloc du protocole 3b.

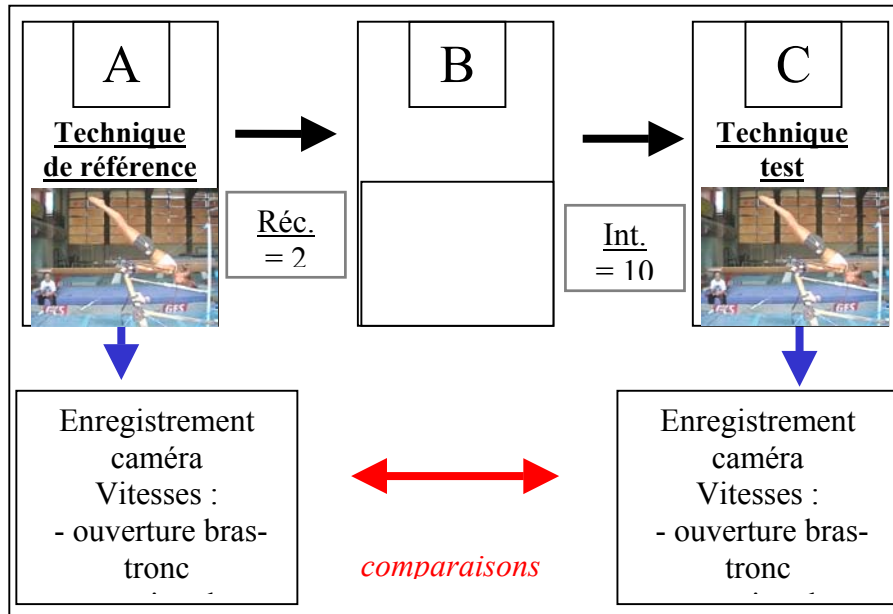


Figure 8 : schéma expérimental d'un bloc du protocole 3b.
Noter que l'effort quasi-maximal du protocole 3a,
est ici remplacé par un passément filé (B)

3.1.4/ Analyse des données

a/ analyse du passément filé

Dans le plan sagittal, le passément filé peut être assimilé à une combinaison de deux mouvements pendulaires inverses. En effet, au cours de la réalisation du passément filé, le grand axe du corps décrit, d'une part, une rotation dans le sens trigonométrique, autour de l'axe de la barre (cf. flèche verte de la photo 6). Cette rotation comprend une phase descendante (non analysée dans notre étude) et une phase ascendante. D'autre part, pendant la phase ascendante de ce mouvement pendulaire, une rotation du corps autour de l'axe transversal des épaules est déclenchée, dans le sens horaire, conduisant ainsi à l'ouverture de l'angle bras/tronc (cf. flèche rouge de la photo 6).



Photos 6 : modélisation du passément filé

b/ paramètres cinématiques retenus :

les paramètres cinématiques retenus pour l'analyse sont :

- la vitesse angulaire de rotation de l'épaule autour de l'axe de la barre, comme indice de la vitesse d'entrée (V_e), dans la phase ascendante du mouvement pendulaire.
- la vitesse maximale (V_x) d'ouverture de l'angle bras/tronc dans la phase de remontée.

III/ Analyse statistique

Pour l'ensemble des paramètres mécaniques et électromyographiques recueilli, une analyse de variance (ANOVA) par mesures répétées à deux facteurs (série * avant/après) a été appliquée pour détecter l'existence de différences significatives. Lorsque l'analyse de variance révèle une différence significative, un t de Student a servi de test pour une analyse post-hoc, afin de déterminer la significabilité des différences entre les valeurs avant et après potentiation.

Pour l'ensemble des paramètres étudiés les moyennes et les déviations standards sont reportées dans le texte et sur les figures.

Le niveau de significabilité a été retenu au seuil $p < 0.05$ pour toutes les analyses.

RESULTATS

I/ Contraste de charge lourd-léger

1/ Résultats mécaniques

La figure 9 présente, sous forme d'histogramme, les vitesses de déplacement du plateau mobile, avant et après activation.

Ces résultats font apparaître une augmentation significative de la vitesse aux trois instants de mesure. Exprimée en pourcentage des valeurs mesurées avant la pré-activation, cette augmentation se révèle sensiblement plus importante dans la phase initiale du mouvement.

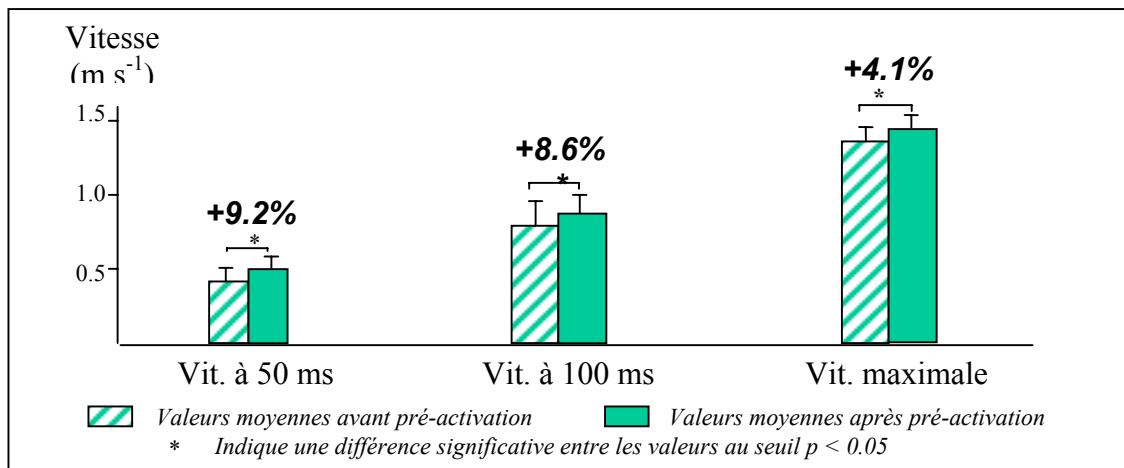


Figure 9 : valeurs moyennes pour l'ensemble du groupe, des vitesses de déplacement du plateau mobile de la presse, avant et après pré-activation.

2/ Résultats EMG

L'activité myoélectrique du Gastrocnemius et du Vastus medialis, avant et après activation sont présentées sur la figure 10.

L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas de variation significative de l'EMGi de ces deux muscles, quelle que soit la phase de la poussée analysée. L'effort pré-activant ne semble pas avoir modifié le recrutement musculaire.

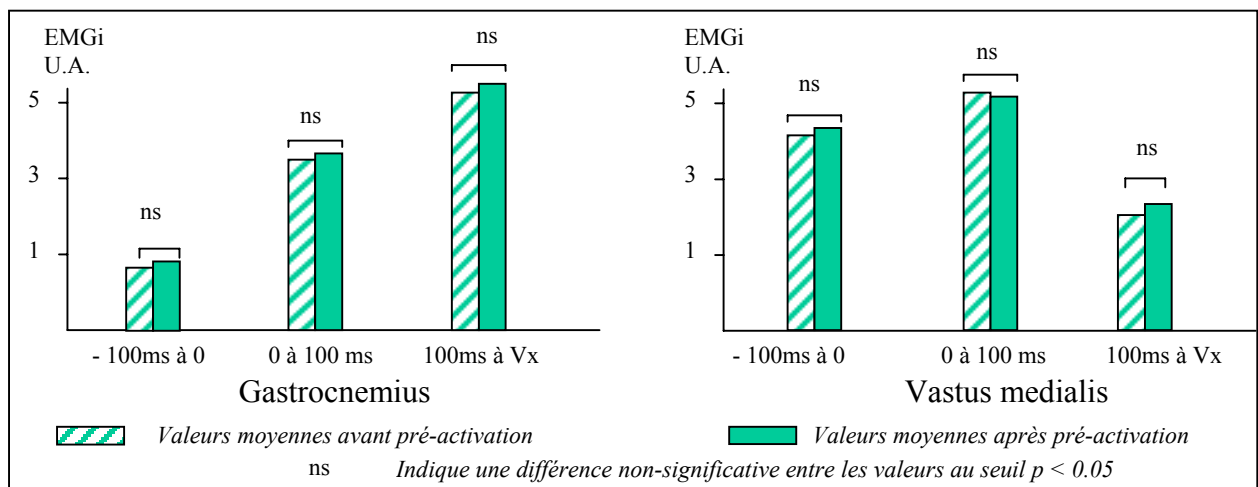


Figure 10 : moyennes de l'EMGi du Gastrocnemius et du Vastus Medialis, avant et après pré-activation, pendant la poussée dans la presse oblique.

II/ Contraste lourd-plométrie

1/ Résultats mécaniques

La figure 11 présente, sous forme d'histogramme, les temps de contact au sol et les temps de vol, enregistrés lors des rebonds pliométriques, avant et après pré-activation.

L'analyse statistique permet de mettre en évidence, une diminution significative du temps de contact, sans augmentation significative du temps de vol. Dans ces conditions, le rapport temps de vol/temps de contact augmente significativement.

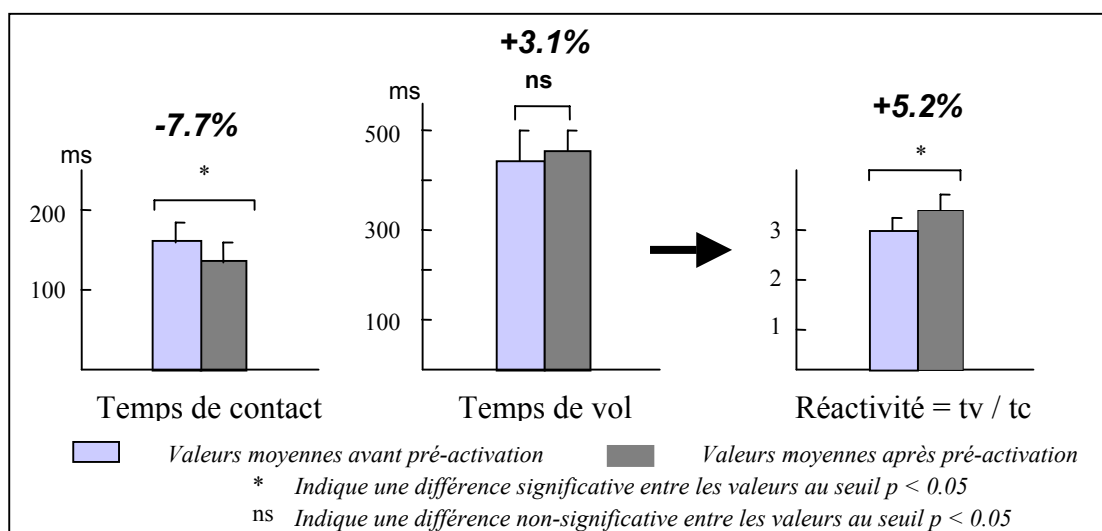


Figure 11 : valeurs moyennes pour l'ensemble du groupe, des temps de contact, temps de vol, et indices de réactivité, avant et après pré-activation, lors du rebond pliométrique

2/ Résultats EMG

Les variations pré-post activation, de l'activité myoélectrique du Gastrocnemius et du Vastus medialis, pendant le rebond pliométrique sont présentées sur la figure 12.

L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas de variation significative de l'EMGi de ces deux muscles, quelle que soit la phase du rebond analysée. L'effort pré-actif ne semble pas avoir modifié le recrutement musculaire.

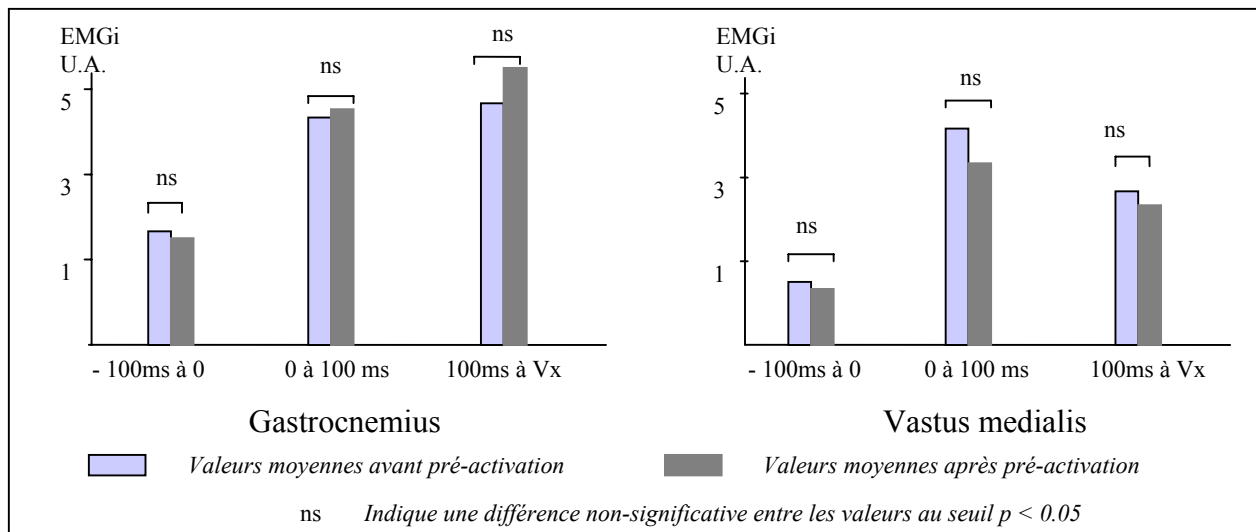


Figure 12 : valeurs moyennes pour l'ensemble du groupe, de l'EMGi du Gastrocnemius et du Vastus Medialis, avant et après pré-activation, lors du rebond pliométrique.

III/ Contraste lourd –technique

1/ Résultats mécaniques : vitesse ouverture de l'angle bras-tronc

La vitesse d'ouverture de l'angle bras-tronc au cours de la phase de remontée vers l'appui tendu renversé, avant et après pré-activation, sont représentées sur la figure 13.

Pour les épreuves test l'analyse statistique montre une augmentation significative de la vitesse d'ouverture de l'angle bras-tronc, après pré-activation par un effort quasi-maximal. Pour les épreuves contrôle aucune augmentation significative n'a pu être observée.

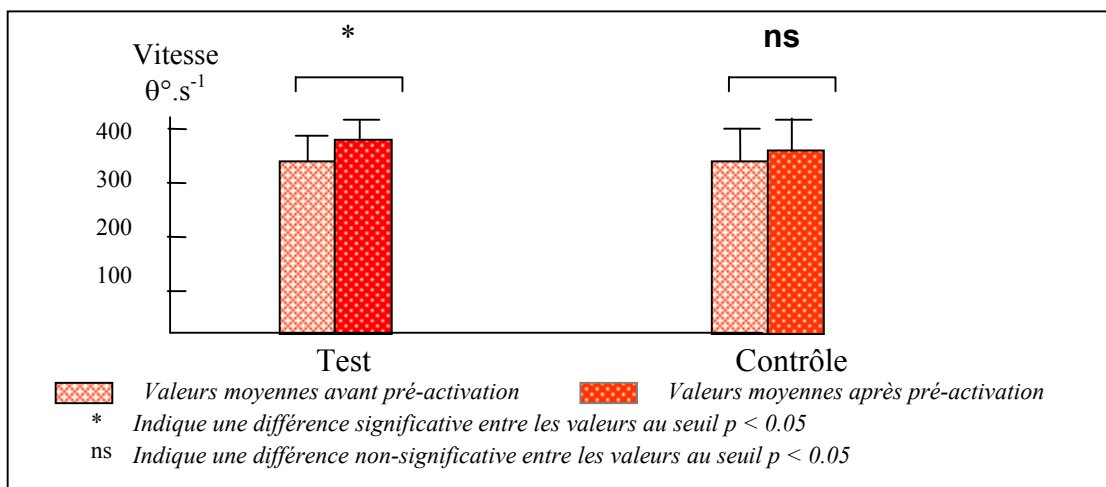


Figure 13 :moyennes pour les épreuves test et contrôle, de la vitesse d'ouverture de l'angle bras-tronc, avant et après pré-activation

2/ Résultats mécaniques : vitesse de rotation au début de la phase ascendante

La figure 14 présente la vitesse de rotation de l'épaule autour de la barre au début de la phase ascendante. Quelles que soient les conditions testées cette vitesse n'a pas variée statistiquement.

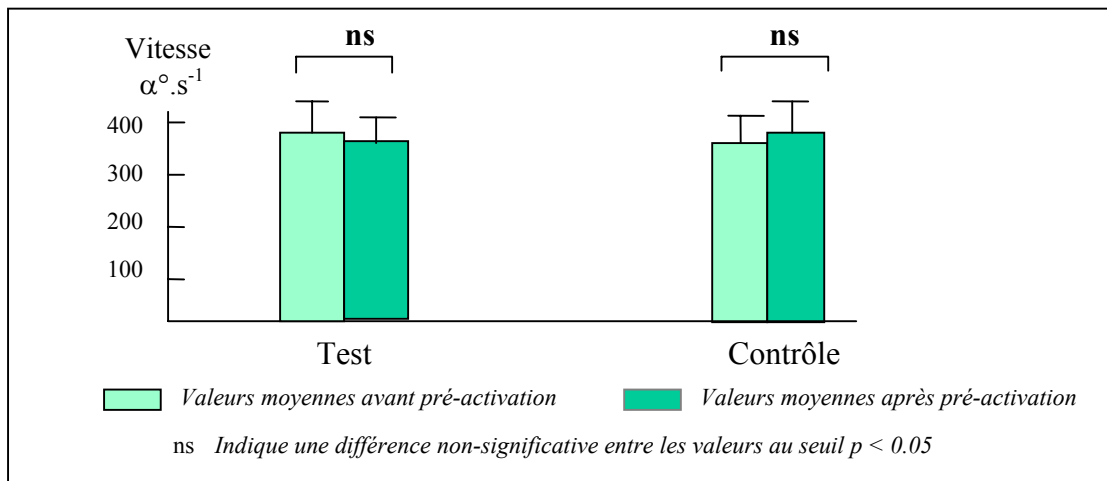


Figure 14 : moyennes pour les épreuves test et contrôle, de la vitesse de rotation de l'épaule autour de la barre au début de la phase ascendante, avant et après pré-activation.

DISCUSSION :

Le but de notre travail était de mettre en évidence, et de caractériser, un éventuel phénomène de potentiation de la réponse musculaire dans des gestes sportifs complexes et explosifs, induite par un effort volontaire préalable quasi maximal.

Nos résultats montrent qu'il est effectivement possible d'améliorer le dynamisme de la réponse musculaire dans des gestes sportifs complexes.

En ce qui concerne la première partie de notre travail que nous avons appelée « contraste lourd – léger » nos résultats sont en concordance avec ceux de Duthie et Young (2002) pour qui, l'effet bénéfique de la pré-activation se limite cependant aux sujets présentant initialement les niveaux de force les plus élevés. Notre population étant constituée de gymnastes d'élite très entraînées, affichant d'emblée, des valeurs de force élevée, il n'est donc pas étonnant que nous observions un effet positif homogène de la pré-activation sur notre population. Nous avons pu, en outre, mettre en évidence que l'effet bénéfique dominant se situait principalement dans la phase d'initialisation du mouvement.

Pour la seconde partie de notre expérimentation nommée « contraste lourd-plier » l'effort dynamique impliquait la mise en jeu du cycle étirement-raccourcissement dans le rebond pliométrique. A notre connaissance seule l'étude de Hrysonallis et Kidgell (2001) a étudié l'effet d'un effort quasi-maximal (5RM en développer-couché) sur certains indicateurs de la puissance mécanique fournie lors d'un effort dynamique mettant en jeu le cycle étirement-raccourcissement (« pompe de bras » avec temps de ressort). Les indicateurs retenus pour cette étude, sont la valeur de l'impulsion et la vitesse de développement de la force. Dans ces conditions, les indicateurs de la puissance mécanique ne sont pas améliorés par l'effort quasi maximal. A priori, ces résultats apparaissent, au moins en partie, en contradiction avec nos propres observations. Il faut cependant noter que dans notre expérimentation nous n'avons pas observé d'amélioration de la hauteur du rebond, ce qui signifie que l'impulsion n'a pas été augmentée. En revanche le temps de contact a été diminué de façon significative, et par voie de conséquence le coefficient de réactivité a augmenté significativement. Dans ces conditions, bien que n'ayant pas été directement mesuré, il est probable que la vitesse de montée de la force soit améliorée.

L'effet d'un effort quasi maximal sur le dynamisme d'un geste technique complexe a très peu été analysé. Seuls Smith et coll. (2002) relatent un effet positif d'une série de squat réalisée à 90% du 1RM sur la performance mesurée au cours d'un sprint de 10 secondes. Ces résultats sont en accord avec nos observations concernant la troisième partie de notre travail. Il faut noter que nous n'obtenons pas d'amélioration du dynamisme du geste technique pour les épreuves de contrôle, c'est à dire lorsque la réalisation technique n'est pas précédée d'un effort quasi maximal. Ceci semble indiquer que l'effet de potentiation est effectivement lié à la réalisation d'un effort quasi maximal. Au total, le dynamisme d'un geste technique complexe (passement filé remonté à l'appui tendu renversé) a pu être augmenté par un effort quasi maximal d'antépropulsion des bras.

Dans notre étude la même modalité de contraction a été utilisée pour chercher à pré-activer le système neuro-musculaire. Ainsi, un effort de type concentrique quasi-maximal a permis de pré activer, à la fois un effort explosif de même type (concentrique), et un effort explosif de type pliométrique. L'efficacité de l'effort pré-actif n'apparaît donc pas dépendant du type d'effort pré-actif.

D'autre part, aucune augmentation de l'activité EMG du VM et du Gs n'a pu être détectée malgré une amélioration significative de la réponse mécanique. L'effet de potentiation de la

réponse balistique ne semble pas pouvoir être expliqué par une adaptation d'ordre neurophysiologique. Une origine proprement musculaire semble donc pouvoir être évoquée. Ceci est en accord avec les conclusions des travaux de Rassier et MacIntosh (2000) qui mettent en évidence que la potentiation de la réponse mécanique se révèle être un phénomène local, Ca^{2+} dépendant.

A l'issue de nos travaux il nous est possible de préciser quelques recommandations permettant d'optimiser le phénomène de potentiation : concernant l'effort pré activant il faut qu'il :

- soit ciblé sur les groupes musculaires agonistes principaux de l'effort dynamique
- que l'intensité de l'effort soit élevée (85% du 1RM)
- que le délai entre l'effort pré activant et l'effort pré activé soit bref (10 à 60 sec).

Cette dernière recommandation s'appuie sur les résultats des travaux de Vandervoort et Coll. (1983). Il faut cependant noter que Smith et coll. (2002) ont obtenu un effet de potentiation significatif après un délai de 5 minutes.

Cependant, ainsi que l'ont montré Vandervoort et Coll. (1983) la potentiation de la réponse est un phénomène qui s'estompe avec le temps, au point de n'être plus sensible après un délai de 10 minutes.

Des travaux ultérieurs sont nécessaires pour savoir si l'utilisation répétée de la pré-activation dans le cadre d'un processus d'entraînement pourrait générer une amélioration durable de la réponse musculaire.

La nature même de l'effort pré-activant a été peu étudiée : des études complémentaires semblent également nécessaires pour savoir si d'autres modalités de contraction (excentrique, électrostimulation) n'entraîneraient pas une meilleure potentiation.

BIBLIOGRAPHIE

1-Behm D.G and Sale D.G.. Intended rather than actual movement velocity determine velocity-specific training response. *J. Appl. Physiol.* 74, 359-368; 1993.

2-Duchateau J., and Hainaut K. Isometric or dynamic training : Differential effects on mechanical properties of a human muscle. *J. Appl. Physiol. : Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 56 : 296-301 (1984).

3-Gullich A., Schmidtbleicher D. MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *IAAF*, 11:4; 67-81, 1996.

6-Sale D., and MacDougall . Specificity in strenght training. A review for coach and athlete. *Can. J. Appl. Sport Sci.* 6 : 87-92.

7-Toji H., Sueti K., Kaneko M. Effects of combined training loads on relation among Force, Velocity and Power development. *Revue Canadienne de Physiologie Appliquée.* 22(4); 328-336, 1997.

Brown G. L. and U.S. Von Euler. The after effects of tetanus on mammalian muscle. *J. Physiol. (Lond.)* 93 : 39-60, 1938.

Hamada T., Sale D.G., MacDougall J.D. and Tarnopolsky M.A. Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* 88 : 2131-2137, 2000.

Hughes J.R. and Morrell R.M. Posttetanic changes in the neuromuscular system. *J. Appl. Physiol.* 11 : 51-57, 1957.

Kapandji I.A. *Physiologie articulaire - Fascicule II*, Editions Maloine S.A. (Paris), 1965

O'Leary D.D., Hope K. and Sale D.G. Posttetanic potentiaton of human dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.* 83(6) : 2131-2138, 1997.

Vandervoort, A.A., Quinlan J. and Mc Comas A.J. Twitch potentiation after voluntary contraction., *Experimental Neurology*, 81, 141-152, (1983).

G. R. Harris, M.H. Stone, * H. S. O'bryant, C. M. Proulx, and R. L. Johnson. Short-Term Performance Effects of High Power, High Force, or Combined Weight-Training Methods. *J. of Strength and Conditioning Research.* 14, (1) ; 14–20, 2000.

C. Hrysomallis and D. Kidgell. Effect of Heavy Dynamic Resistive Exercice on Acute Upper-Body Power. *J. of Strength and Conditioning Research.* 15, (4) ; 426–430, 2001.

J. C. Smith, A. C. Fry, L. W. Weiss and Y. Li. The Effects of High-Intensity Exercice on a 10-Second Sprint Cycle Test. *J. of Strength and Conditioning Research.* 15, (3) ; 344–348, 2001.

G. M. Duthie and W. B. Young. The Acute Effects of Heavy Loads on Jump Squat Performance : An Evaluation of the Complex and Contrast Methods of Power Development. *J. of Strength and Conditioning Research*. 16, (4) ; 530–538, 2002.

RESUME

De nombreuses travaux ont pu suggérer qu'il serait possible d'améliorer la vitesse de réalisation d'un mouvement, en effectuant immédiatement avant, un effort quasi maximal. Le but de ce travail est d'éprouver cette possibilité en mesurant les effets immédiats d'un effort concentrique quasi maximal sur trois types d'efforts explosifs : un effort concentrique réalisé à vitesse maximale, un rebond pliométrique et un geste technique (le passément filé remonté à l'appui tendu renversé).

Méthodologie : 20 gymnastes féminines, appartenant aux pôles France et Espoirs de Créteil, Dijon, l'INSEP, Marseille et St Etienne (âge = 14.5 ans \pm 2) ont participé à cette étude.

Protocole 1: combinaison de charge lourd-léger : l'effort explosif est un demi-squat à 30% du 1RM, réalisé dans une presse oblique à 45°, avant et immédiatement après l'effort quasi-maximal. L'effort quasi maximal effectué dans la même presse oblique, est composé d'une série de 3 demi-squats à 85% de la force concentrique maximale du jour (1RM). Les vitesses du plateau mobile de la presse mesurées 50 et 100ms après le début du mouvement, ainsi que la vitesse maximale sont retenues comme indice de performance.

Protocole 2 : combinaison concentrique - pliométrique : le rebond pliométrique, est effectué sur une plateforme de force type KISTLER , à partir d'un banc de 35 cm de haut, avant et immédiatement après l'effort quasi-maximal (3 demi-squats presse à 85% du 1RM). Le temps de vol, le temps de contact et le rapport temps de vol/temps de contact (réactivité) ont été retenus comme indices de la performance sur cette épreuve.

Analyses électromyographiques (EMG): dans les deux protocoles, l'activité EMG des principaux muscles agonistes (Vastus Medialis, Gastrocnemius) est enregistrée pendant toute la durée des efforts. L'EMG est quantifié en utilisant la valeur intégrée du signal (EMGi).

Protocole 3 : combinaison concentrique - technique : la vitesse d'ouverture de l'angle bras-tronc au cours de la phase de remontée du corps vers l'équilibre, a été analysée, avant et après un effort d'antépropulsion quasi maximal des bras, au moyen d'une analyse vidéographique 2D.

Analyses statistiques : Les variations des indices de performances et des valeurs EMGi, avant et après l'effort quasi maximal, ont été analysées, au moyen d'une analyse de variance (ANOVA) par mesures répétées à deux facteurs (série*avant/après) au seuil $p < 0.05$ pour toutes les analyses.

Résultats : une augmentation significative de la vitesse gestuelle a été obtenue dans les trois conditions expérimentales analysées. Pour l'effort dynamique concentrique cette amélioration est particulièrement marquée au début du mouvement (+9.5% et +8.1% des valeurs initiales, respectivement au bout de 50ms et de 100ms). Pour l'effort pliométrique une légère augmentation du temps de vol associée à une diminution significative du temps de contact se traduisant par une augmentation significative de la réactivité (+11.2%), sont observées. Aucune modification significative de l'activité EMG n'a pu être mise en évidence pour les 2 chefs musculaires étudiés. Enfin, une amélioration significative de la vitesse d'ouverture de l'angle bras tronc au cours de la phase de remontée du corps vers l'équilibre a pu être obtenue.

Conclusion : nos résultats montrent qu'il est possible d'optimiser l'explosivité de la réponse musculaire. Une origine proprement musculaire à ce phénomène, est ici suggérée par l'absence de modification apparente du niveau d'activation électromyographique des principaux muscles agonistes du mouvement. Pour optimiser le phénomène il faut que l'effort pré activant soit ciblé sur les groupes musculaires agonistes principaux de l'effort dynamique, que l'intensité de l'effort soit élevée (au moins 85% du 1RM) et que délai entre l'effort pré activant et l'effort pré activé soit court (10 à 60 sec).

Mots clés : musculation, force explosive, potentiation musculaire.