

Identification des déterminants mécaniques et neurophysiologiques de la performance en tir à l'arc : influence de la fatigue

Anne Michaut, Antoine Couturier, Marc Dellenbach

▶ **To cite this version:**

Anne Michaut, Antoine Couturier, Marc Dellenbach. Identification des déterminants mécaniques et neurophysiologiques de la performance en tir à l'arc : influence de la fatigue. [Rapport de recherche] N° 02 - 050, Institut National du Sport et de l'Education Physique (INSEP). 2003. hal-01924223

HAL Id: hal-01924223
https://insep.hal.science//hal-01924223

Submitted on 15 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Rapport du projet de recherche N° 02 - 050

DEPARTEMENT DES SCIENCES DU SPORT

LABORATOIRE DE BIOMECANIQUE ET PHYSIOLOGIE

IDENTIFICATION DES DETERMINANTS MECANIQUES ET NEUROPHYSIOLOGIQUES DE LA PERFORMANCE EN TIR A L'ARC : INFLUENCE DE LA FATIGUE

MICHAUT Anne[1]

Collaborateurs scientifiques : COUTURIER Antoine[1]

Collaborateur fédéral : DELLENBACH Marc[2]

Travail effectué par

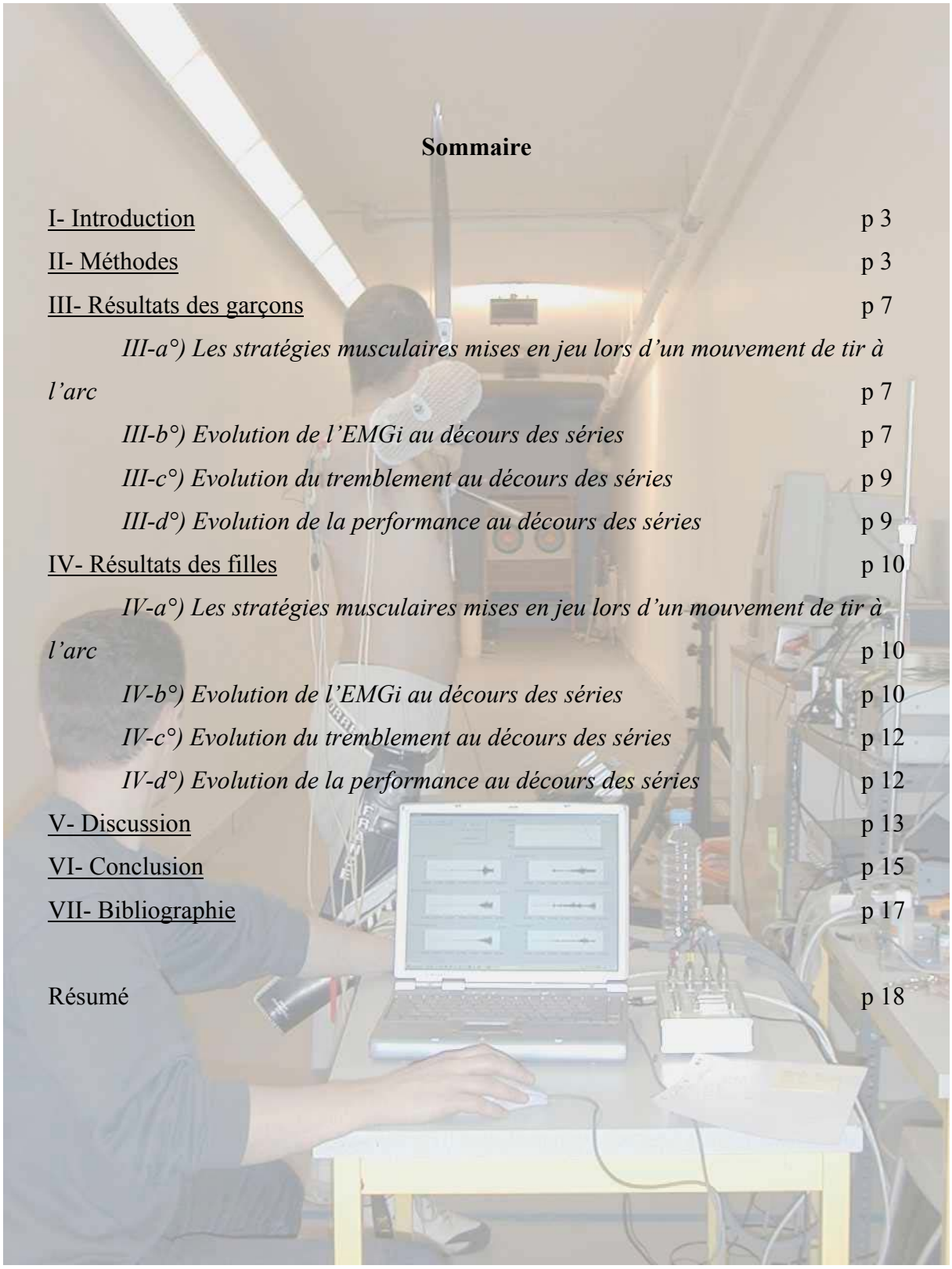
[1] Laboratoire de Biomécanique et Physiologie, I.N.S.E.P.

En collaboration avec

[2] Fédération Française de Tir à l'Arc

Octobre 2003

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/



Sommaire

I- Introduction p 3

II- Méthodes p 3

III- Résultats des garçons p 7

III-a°) Les stratégies musculaires mises en jeu lors d'un mouvement de tir à l'arc p 7

III-b°) Evolution de l'EMGi au décours des séries p 7

III-c°) Evolution du tremblement au décours des séries p 9

III-d°) Evolution de la performance au décours des séries p 9

IV- Résultats des filles p 10

IV-a°) Les stratégies musculaires mises en jeu lors d'un mouvement de tir à l'arc p 10

IV-b°) Evolution de l'EMGi au décours des séries p 10

IV-c°) Evolution du tremblement au décours des séries p 12

IV-d°) Evolution de la performance au décours des séries p 12

V- Discussion p 13

VI- Conclusion p 15

VII- Bibliographie p 17

Résumé p 18

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

IDENTIFICATION DES DETERMINANTS MECANIQUES ET NEUROPHYSIOLOGIQUES DE LA PERFORMANCE EN TIR A L'ARC : INFLUENCE DE LA FATIGUE

I- Introduction

L'objectif de ce travail est de caractériser les stratégies musculaires intervenant dans le tir à l'arc, mais également de déterminer leur évolution au décours de la fatigue. Ainsi l'influence de l'apparition d'un phénomène de fatigue neuro-musculaire sur la performance en tir à l'arc pourra être déterminée. Une programmation spécifique de renforcement musculaire pourra alors être établie dans le double objectif d'améliorer la performance, mais également de réduire les risques de pathologie de l'épaule.

II- Méthodes

***Population* :**

Archers du Pôle France INSEP, répartis en deux groupes : le groupe des garçons (n = 8) et le groupe des filles (n = 4).

***Matériel et Méthodes* :**

Détection et enregistrement électromyographique (EMG) : La détection de l'activité EMG est assurée au moyen d'électrodes de surface autocollantes et jetables, appliquées suivant l'axe des fibres musculaires au niveau du ventre des muscles suivants :

Bras de corde : *trapezius* (faisceau médian ; TM), *trapezius* (faisceau supérieur ; TS), *infraspinatus* (IS), *biceps brachii* (BB), *deltoideus* (faisceau postérieur ; DP), *flexor digitorum superficialis* (FDS) (Photo 1).

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

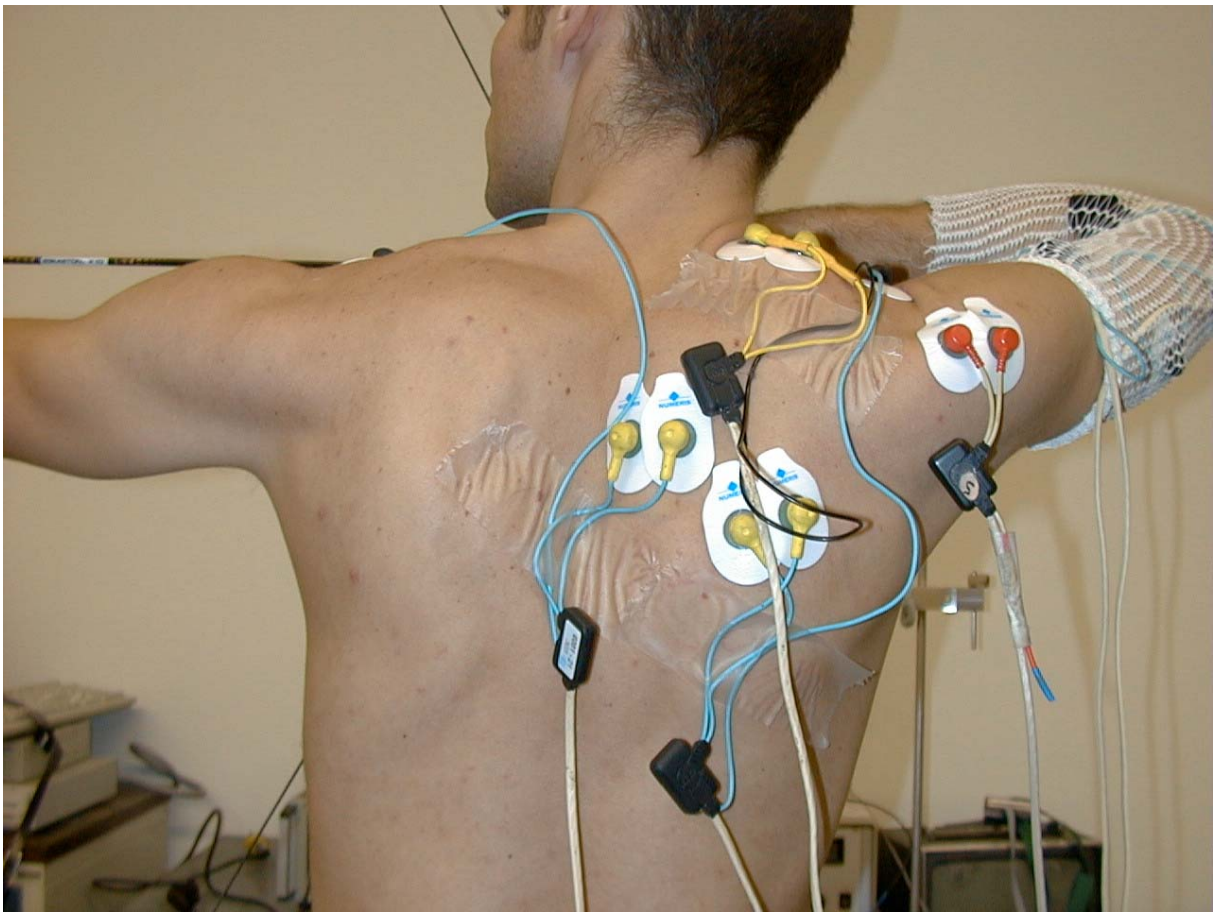
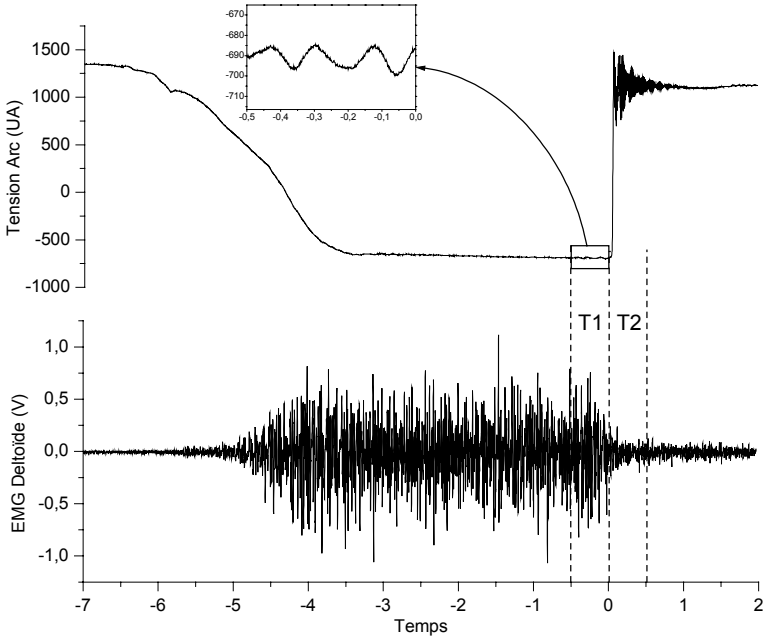


Photo 1 : Positionnement des électrodes sur les muscles TM, DP, TS et IS.

Traitement du signal EMG : L'EMG est enregistré puis intégré sur 2 périodes de 500 ms, à partir de 500 ms avant la libération de la flèche (cf. Enregistrement expérimental). L'EMGi ainsi obtenu est exprimé en fonction de la valeur d'EMG-max mesurée lors d'une contraction maximale isométrique volontaire, réalisée avant la séance de tirs, et dans la position permettant d'exprimer la force maximale de chacun des muscles étudiés. La valeur d'EMG-max retenue est la valeur maximale calculée, sur une période de 500 ms, pendant la contraction maximale isométrique.



Enregistrement expérimental de la déformation des branches de l'arc et de l'activité électromyographique du muscle deltoïde postérieur. La régularité de la phase de tiré est évaluée lors de la phase T1, et l'activité myoélectrique des muscles est calculée lors des phases T1 et T2, soit 500ms avant et 500ms après la libération de la flèche.

L'EMGi, qui sera exprimé en pourcentage de l'EMG-max, permettra de déterminer les stratégies musculaires adoptées lors du mouvement de tir.

Analyse mécanique :

L'arc de chaque tireur est équipé d'une jauge de contrainte, appliquée sur chaque branche, permettant d'évaluer la déformation de la partie de la branche située sous la jauge (cf. Enregistrement expérimental). La déformation ainsi enregistrée est proportionnelle au déplacement de la flèche. Ainsi, cet appareillage permet d'évaluer la régularité de la phase d'armement, ainsi que l'apparition d'un éventuel phénomène de tremblement au décours de la séance de tirs. L'intensité du tremblement est définie comme étant la variation moyenne des déplacements de la flèche, exprimée en pourcentage de l'amplitude totale de déplacement (i.e. longueur de la flèche). Le tremblement est calculé pour la période T1.

***Protocole d'évaluation* :**

Chaque tireur doit effectuer une séance de tir, comprenant 180 flèches, réparties en 18 séries (de S1 à S18) de 10 flèches. Le tireur possède une période de 4 minutes pour tirer 10 flèches. Une période de 2,5 minutes est observée entre chaque série.

La performance en tir est évaluée à partir du nombre de points réalisé à chaque tir, selon les règles en vigueur lors des compétitions nationales et internationales.

***Evaluation de la fatigue* :**

L'EMGi de chaque muscle étudié est moyenné sur les trois premiers tirs de chaque série, et est exprimé en fonction de la moyenne d'EMGi des trois premières flèches de la première série. Un pourcentage de fatigue peut alors être calculé.

Analyse des données :

L'EMG, le tremblement et la performance en tir sont analysés. Une analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées est utilisée pour déterminer les différences d'EMGi, moyenné sur les trois premiers tirs, entre les différents muscles. Les différences d'EMGi en fonction de la période d'investigation (T1 vs. T2) sont déterminées, pour chaque muscle, à partir d'un test T de Student. Une ANOVA à mesures répétées est utilisée pour déterminer des différences d'EMGi au décours des séries, pour chacun des muscles considérés.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

III- Résultats des garçons

III-a°) Les stratégies musculaires mises en jeu lors d'un mouvement de tir à l'arc

Lorsque les valeurs sont moyennées sur les trois premiers tirs de S1, l'EMGi du TM est significativement plus important que celui des autres muscles étudiés, et ce, quelle que soit la période d'analyse considérée (i.e. T1 vs T2) (Figure 1).

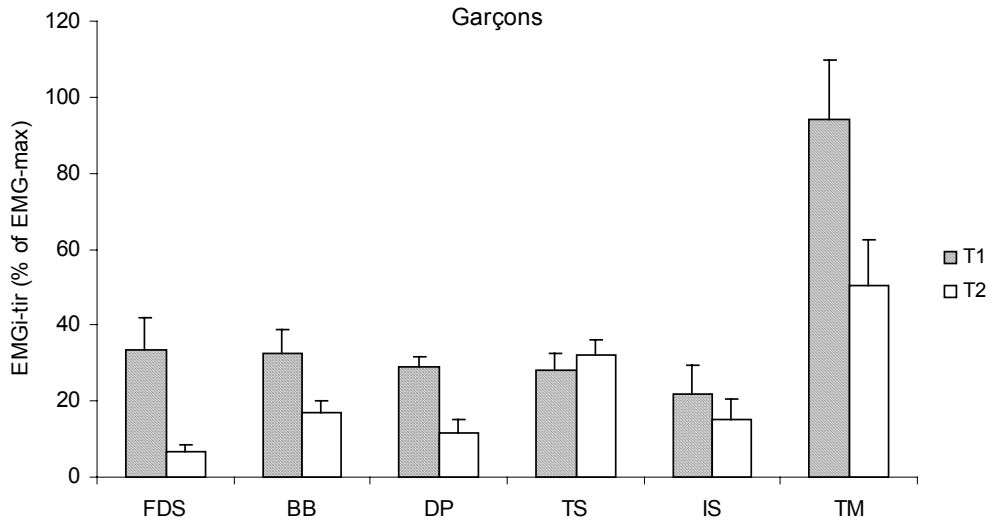


Figure 1 : Activité myoélectrique (EMG) des muscles flexor digitorum superficialis (FDS), biceps brachii (BB), deltoideus (faisceau postérieur ; DP), trapezius (faisceau supérieur ; TS), trapezius (faisceau médian ; TM), et infraspinatus (IS) avant (T1) et après (T2) la libération de la flèche, lors de S1. Les valeurs d'EMG sont exprimées en pourcentage de la valeur obtenue lors d'une contraction maximale isométrique de chacun des muscles considérés (EMG-max) ; moyenne ± Erreur Standard ; n = 8.

L'EMGi mesuré à T1 est significativement supérieur de celui mesuré à T2 pour les muscles FDS, BB, DP et TM ($p < 0,05$).

III-b°) Evolution de l'EMGi au décours des séries

La figure 2 montre l'évolution de l'EMGi (exprimé en fonction de S1) mesuré à T1 et T2, au décours des séries. Il apparaît que:

- ✓ L'EMG des muscles FDS, BB et TM ne montre aucun changement significatif au cours des séries de tirs, quelle que soit la période d'analyse.
- ✓ A T1, l'EMGi du TS est significativement augmenté à S17 et S18 ($p < 0,05$).
- ✓ A T1, l'EMGi du DP augmente de manière significative dès S9 ($p < 0,05$).

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

✓ Enfin, à T1, l'EMGi du IS augmente de manière significative à partir de S8 ($p < 0,05$) (à noter qu'il n'est pas significativement augmenté lors de S13 et S18).

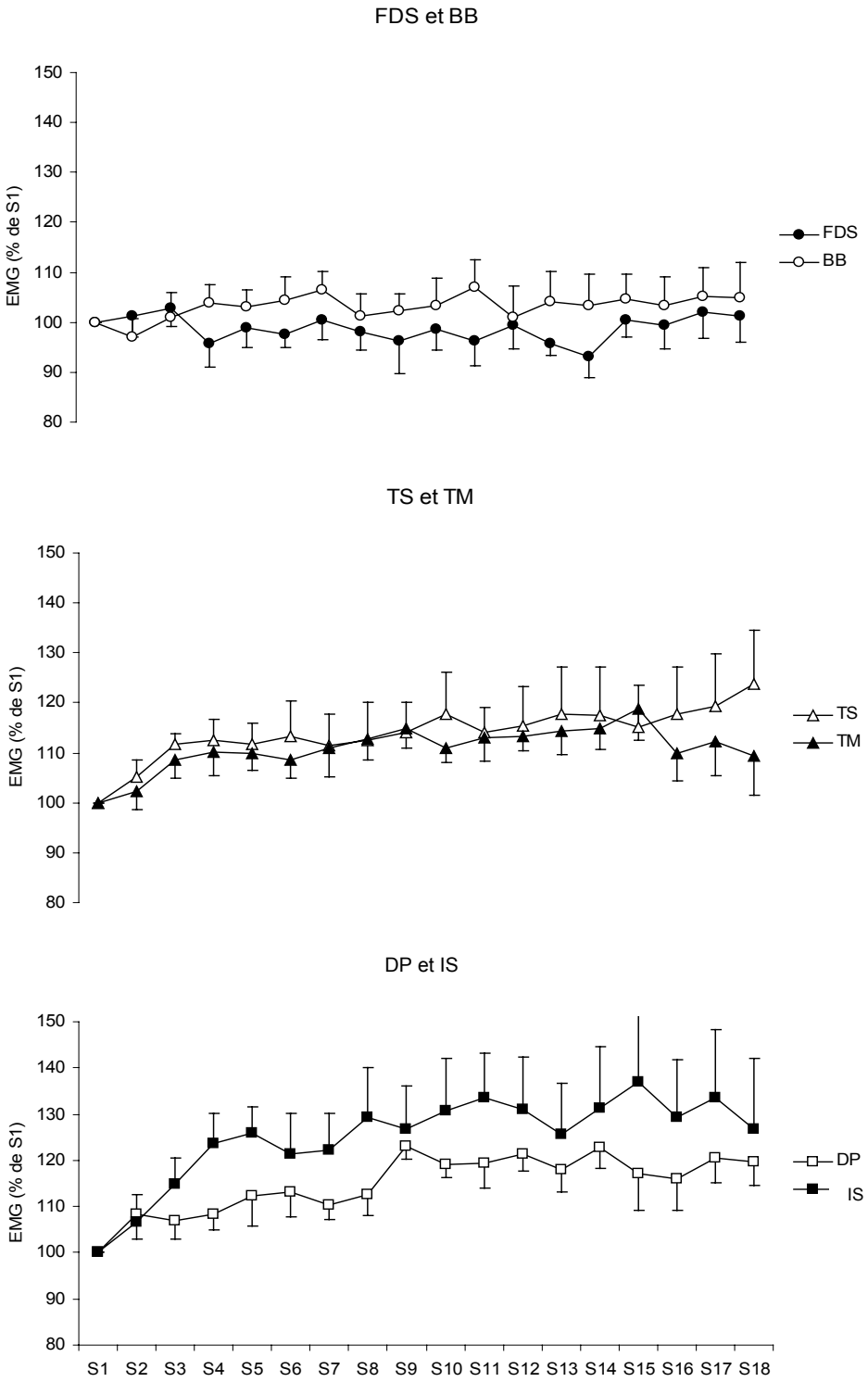


Figure 2 : Activité myoélectrique (EMG) des muscles FDS, BB, DP, TS, TM et IS mesurée à T1 lors des 18 séries. Les valeurs d'EMGi sont exprimées en pourcentage de la valeur obtenue à S1 ; moyenne ± Erreur Standard ; n = 8.

Aucune modification significative de l'EMGi au cours des séries n'est observée à T2, quel que soit le muscle considéré.

III-c°) Evolution du tremblement au décours des séries

Lorsque les valeurs de tremblement sont exprimées en pourcentage de la valeur obtenue à S1, aucun changement significatif n'est observé tout au long des séries. Toutefois, lors de S18, le tremblement montre une augmentation de 12,4 ± 33,1% de S1 (NS). L'absence de résultat significatif peut s'expliquer, au moins en partie, par une importante variabilité inter-sujets.

III-d°) Evolution de la performance au décours des séries

La performance moyenne est égale à 1680,5 ± 38,8 points. Aucun changement significatif de ce paramètre n'est observé au cours des séries.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

IV- Résultats des filles

IV-a°) Les stratégies musculaires mises en jeu lors d'un mouvement de tir à l'arc

Lorsque les valeurs sont moyennées sur les trois premiers tirs de la première série, l'EMGi du BB et du TM, mesuré à T1, sont significativement supérieurs à celui du TS ($p < 0,05$) (Figure 3).

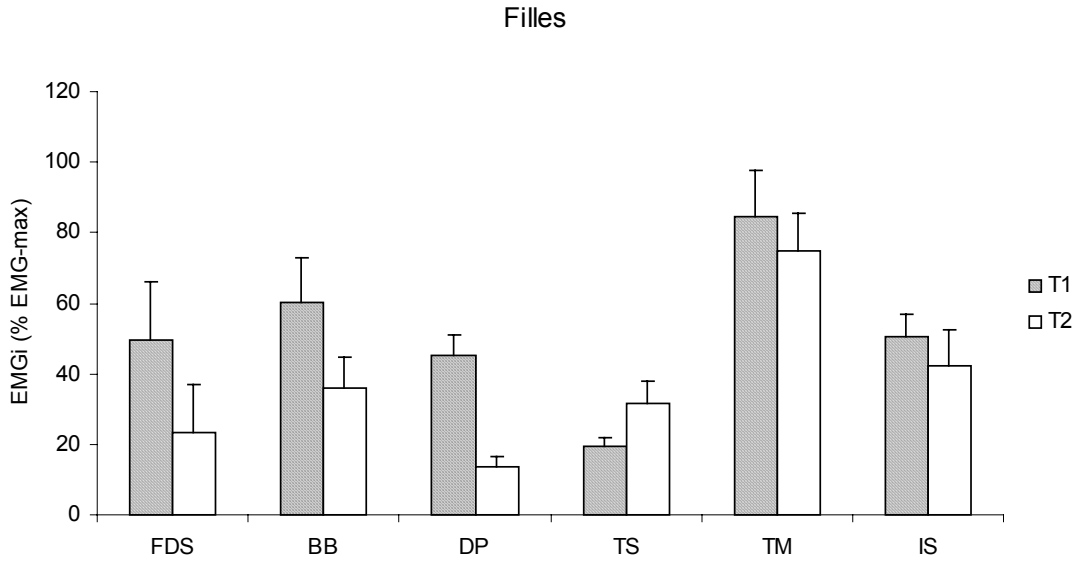


Figure 3 : Activité myoélectrique (EMG) des muscles FDS, BB, DP, TS, TM et IS avant (T1) et après (T2) la libération de la flèche, lors de S1. Les valeurs d'EMG sont exprimées en pourcentage de la valeur obtenue lors d'une contraction maximale isométrique de chacun des muscles considérés (EMG-max) ; moyenne ± Erreur Standard ; n = 4.

Les valeurs d'EMGi mesurées à T1 sont supérieures à celles mesurées à T2 pour les muscles FDS, BB et DP ($p < 0,05$).

Concernant le TS, l'EMGi mesuré à T2 est significativement supérieur à celui mesuré à T1 ($p < 0,05$).

IV-b°) Evolution de l'EMGi au décours des séries

Si on s'intéresse à l'évolution de l'EMGi (exprimé en fonction de S1) mesuré à T1 et T2 au décours des séries, on obtient les résultats suivants :

- ✓ L'EMGi du FDS mesuré à T2 diminue significativement à partir de S5 ($p < 0,05$) (Figure 4).
- ✓ L'EMGi du BB, du TM et du IS ne montre aucun changement significatif au cours des séries de tirs, quelle que soit la période d'analyse.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

- ✓ A T1, l'EMGi du TS est significativement augmenté à S11, S14, S13, S17 et S18 ($p < 0,05$).
- ✓ A T1, l'EMGi du DP augmente de manière significative dès S5, excepté pour S16, S17 et S18 ($p < 0,05$).

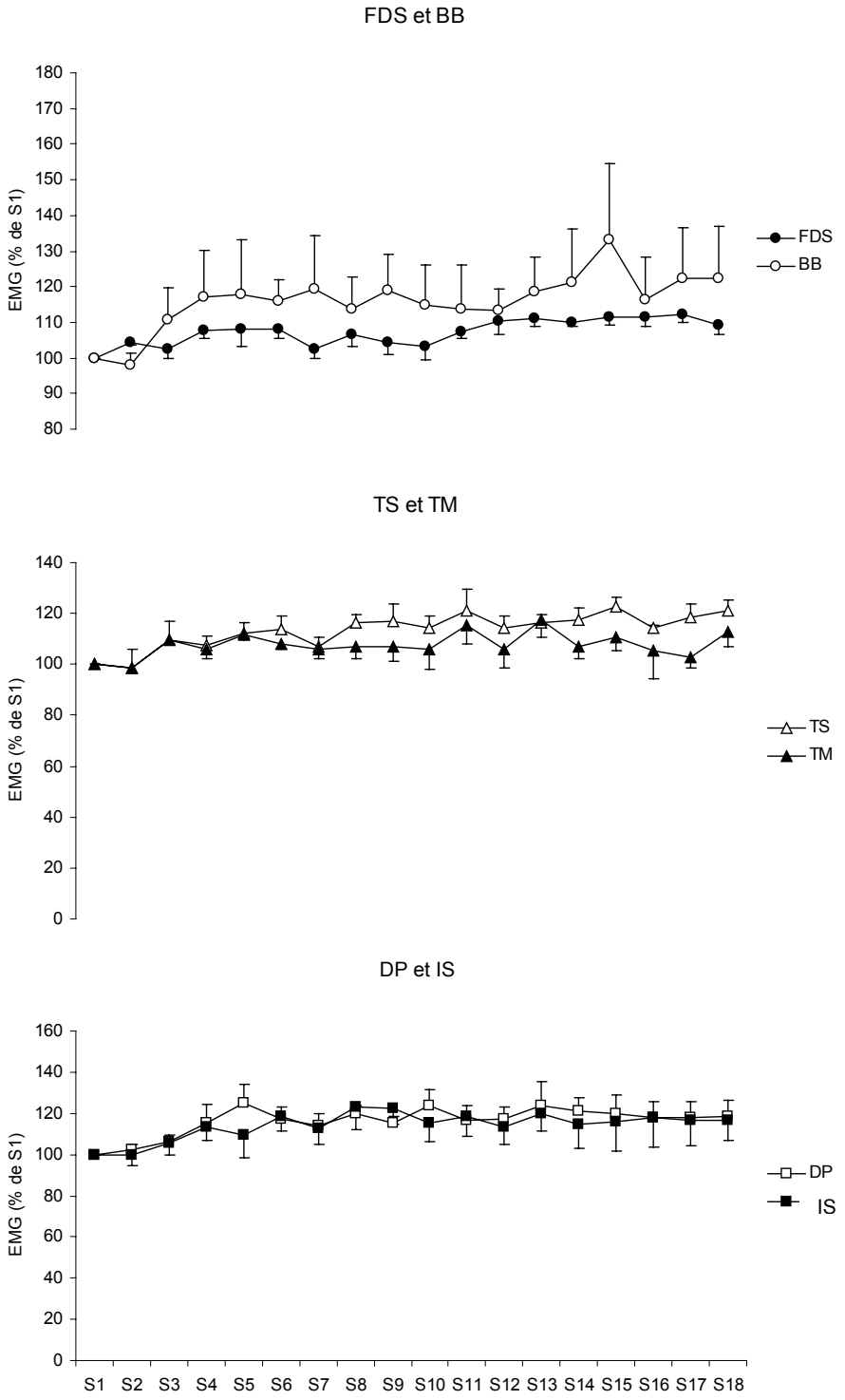


Figure 4 : Activité myoélectrique (EMG) des muscles FDS, BB, DP, TS, TM et IS mesurée à T1 lors des 18 séries. Les valeurs d'EMG sont exprimées en pourcentage de la valeur obtenue lors de S1 ; moyenne ± Erreur Standard ; n = 4.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

IV-c°) Evolution du tremblement au décours des séries

Lorsque les valeurs de tremblement sont exprimées en pourcentage de la valeur obtenue lors de S1, aucun changement significatif n'est observé tout au long des séries. Tout comme chez les garçons, une importante variabilité inter-sujets de ce paramètre est observée.

IV-d°) Evolution de la performance au décours des séries

La performance moyenne est égale à 1657,3 ± 16,0 points. Aucun changement significatif de ce paramètre n'est observé au cours des séries.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

V- Discussion

L'objectif de ce travail était d'identifier les principaux groupes musculaires impliqués dans la performance en tir à l'arc, et de déterminer l'influence de la fatigue sur les stratégies musculaires mises en jeu lors du mouvement.

En conditions de fraîcheur

Lorsque l'on s'intéresse à l'activation des différents muscles étudiés lors des trois premiers tirs de la première série, c'est à dire dans des conditions sans fatigue, il apparaît que l'EMGi du TM est supérieur à celui de tous les autres muscles. Malgré un écart type important, le TM semble donc être le muscle le plus sollicité lors du mouvement de tir.
Concernant les autres muscles étudiés, le niveau d'activation est inférieur à 40% de l'activation maximale mesurée lors des contractions maximales isométriques pour les garçons et varie de 40 à 60% chez les filles. Ces résultats nous amènent à penser que l'intensité de contraction de chacun de ces muscles lors du mouvement de tir serait proche de 50% de l'intensité maximale pour les deux groupes.

Si on s'intéresse maintenant à l'évolution de l'EMGi lors des différentes périodes d'analyse de 500 ms (i.e. T1 vs. T2), tous les muscles étudiés voient leur niveau d'activation diminuer significativement dès l'instant de la libération de la flèche (i.e. T2), à l'exception de TS et de IS.
Il apparaît donc qu'une élévation de l'épaule, une rotation de la tête ou la maintien de la tête dans le même axe que le bras d'arc (i.e. action du TS) ainsi qu'une rotation externe du bras de corde (i.e. action du IS) ont lieu immédiatement après la libération de la flèche. L'activité de ces deux muscles doit probablement refléter les instructions techniques des entraîneurs afin d'éviter toute anticipation de la libération de la flèche qui pourrait résulter en une réduction de la performance. Pour atteindre cet objectif, il est demandé aux archers de continuer de tirer avec leur bras de corde, et ce même après la libération de la flèche.

En conditions de fatigue

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

Lorsque l'on s'intéresse à l'effet d'un grand nombre de répétitions sur l'activation musculaire mesurée à T1, différents types d'évolution apparaissent en fonction des différents muscles étudiés. En effet, alors que les muscles FDS et BB ne subissent aucune modification significative de leur EMGi au décours des 18 séries, l'EMGi des muscles TS, IS et surtout DP augmente de manière significative. Ces trois muscles apparaissent donc plus fatigables que les autres muscles étudiés. L'augmentation de leur EMGi pourrait être imputée à un recrutement progressif d'unités motrices plus grandes, peu fatiguées, permettant de compenser la perte de force des unités motrices actives (Bigland-Ritchie *et al*., 1986; Enoka et Stuart, 1992; Löscher *et al*., 1994). L'augmentation significative de l'EMGi des muscles TS et IS doit être étroitement corrélée à l'absence de relâchement musculaire immédiatement après la libération de la flèche. En outre, selon Clarys *et al*. (1990), le trapèze est activé dès le début du mouvement du bras de corde. TS et IS seraient donc probablement activés tout au long du mouvement de tir, et seraient de ce fait plus sensibles à la fatigue.

En outre, le relâchement musculaire n'est pas affecté par un grand nombre de flèches chez les archers de haut-niveau.

En dépit d'un phénomène de fatigue, indiqué par l'augmentation de l'activité EMG des muscles DP, TS et IS, la performance (i.e. score) n'est pas modifiée durant le protocole. L'augmentation de l'EMG pourrait ainsi correspondre à une ajustement neuromusculaire ayant pour but de maintenir constant le niveau de tension musculaire, lui-même déterminé par la tension de l'arc. Cet ajustement permettrait de maintenir un haut niveau de performance. Le niveau de performance pourrait donc être étroitement lié au niveau d'activation de ces muscles au décours des tirs.

Afin d'évaluer un possible effet de la fatigue neuromusculaire sur la qualité de la libération de la flèche, le phénomène de tremblement a été étudié à T1. En effet, Leroyer *et al*. (1993) ont suggéré que la régularité de déplacement du bras de corde est un paramètre important dans l'habileté des archers, avec les meilleurs scores associés aux déplacements les plus réguliers. La régularité de ce déplacement pourrait être, au moins en partie, reliée au tremblement physiologique, lui-même sensible à la fatigue (Freund, 1983; Cresswell et Löscher, 2000). Dans notre étude, ni la régularité du déplacement du bras de corde, ni la performance ne montrent de modification significative. La régularité du déplacement du bras de corde semble donc corrélée à la performance, que ce soit en condition de fatigue ou en condition de fraîcheur, comme démontré par Leroyer et al. (1993).

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

VI- Conclusion

Nos résultats mettent en évidence que :

- Le ***TM*** est le muscle le plus sollicité lors du mouvement de tir à l'arc.

- Pour les garçons, le mouvement semblerait nécessiter une intensité de contraction inférieure à 50% de la force maximale des muscles considérés (excepté pour le TM).

- Pour les filles, le mouvement semblerait nécessiter une intensité de contraction égale ou supérieure à 50% de la force maximale des muscles considérés (à l'exception du TM). Cette différence entre les filles et les garçons pourrait s'expliquer par :
  - ✓ Soit une différence de technique
  - ✓ Soit un arc trop tendu (en fonction de la force maximale de chacun des groupes musculaires considérés)
  - ✓ Soit une mauvaise réalisation des tests de force maximale isométrique

- Les muscles TS et IS ne se relâchent pas après la libération de la flèche. Il peut donc être supposé qu'ils interviennent dans le mouvement sous-jacent à la libération de la flèche.

- Un nombre important de flèches induit un phénomène de fatigue des muscles ***DP*** et ***TS*** chez les filles et les garçons, et ***IS*** chez les garçons.

- Ce phénomène de fatigue neuromusculaire apparaît plus précocement chez les filles. Cet événement doit probablement être mis en relation avec le niveau d'activation des ces muscles plus important chez ce groupe de sujets.

- Le phénomène de fatigue neuromusculaire ne semble avoir aucune influence ni sur le tremblement, ni sur la performance.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

EN CONCLUSION, IL SEMBLERAIT INTERESSANT DE RENFORCER DE MANIERE SPECIFIQUE TOUS LES MUSCLES ETUDIES ET NOTAMMENT LE MUSCLE LE PLUS SOLLICITE, LE ***TRAPEZE MEDIAN****, D'UNE PART, ET LES MUSCLES LES PLUS FATIGABLES, LE* ***DELTOÏDE POSTERIEUR****, LE* ***TRAPEZE SUPERIEUR*** *ET LE* ***SOUS-EPINEUX*** *D'AUTRE PART. EVIDEMMENT, DES EXERCICES SOLLICITANT LES MEMBRES INFERIEURS, LES ABDOMINAUX, OBLIQUES ET LOMBAIRES, AINSI QUE DES EXERCICES DE RENFORCEMENT DES EPAULES DOIVENT ETRE INTEGRES DANS LE PROGRAMME DE RENFORCEMENT MUSCULAIRE. CES DONNEES DOIVENT ETRE INTEGREES DANS UNE PROGRAMMATION DE RENFORCEMENT MUSCULAIRE SPECIFIQUE ET PROPHYLACTIQUE QUI DEVRAIT PERMETTRE UNE AUGMENTATION A LA FOIS QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DE L'ENTRAINEMENT SPECIFIQUE, TOUT EN REDUISANT LE RISQUE DE PATHOLOGIE DE L'EPAULE.*

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

VII- Bibliographie

Bigland-Ritchie, B., Cafarelli, E. and Vollestad, N.K. (1986) Fatigue from submaximal static contractions. Acta Physiologica Scandinavica, 128: 137-148.

Clarys, J.P., Cabri, J., Bollens, E., Sleeckx, R., Taeymans, J., Vermeiren, M., Van Reeth, G. and Voss, G. (1990) Muscular activity of different shooting distances, different release techniques, and different performance levels, with and without stabilizers, in target archery. Journal of Sports Sciences, 8: 235-257.

Cresswell, A.G. and Löscher, W.N. (2000) Significance of peripheral afferent input to the α-motoneurone pool for enhancement of tremor during an isometric fatiguing contraction. European Journal of Applied Physiology, 82: 129-136.

Enoka, R.M. and Stuart, D.G. (1992) Neurobiology of muscle fatigue. Journal of Applied Physiology, 72: 1631-1648.

Freund, H.J. (1983) Motor unit and muscle activity in voluntary motor control. Physiological Review, 63: 387-436.

Leroyer, P., Van Hoecke, J. and Helal, J.N. (1993) Biomechanical study of the final push-pull in archery. Journal of Sports Sciences, 11: 63-69.

Löscher, W.N., Cresswell, A.G. and Thorstensson, A. (1994) Electromyographic responses of the human triceps surae and force tremor during sustained sub-maximal isometric plantar flexion. Acta Physiologica Scandinavica, 152: 73-82.

Ce travail a donné lieu à plusieurs communications :

- ✓ Neural strategies of the final push-pull in archery. Michaut A, Couturier A, Miller C. 7ème congrès du Collège Européen des Sciences du Sport, Athènes, 2002, page 630 des actes du congrès,
- ✓ Quels muscles pour tirer à l'arc ? Dellenbach M, Michaut A. Revue « Le tir à l'arc », le magazine d'informations de la Fédération Française de Tir à l'Arc, n°781, p 41
- ✓ Stratégies musculaires mises en jeu en tir à l'arc. Dellenbach M, Michaut A. Revue « Le tir à l'arc », le magazine d'informations de la Fédération Française de Tir à l'Arc, n°782, p 34-35.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/

IDENTIFICATION DES DETERMINANTS MECANIQUES ET NEUROPHYSIOLOGIQUES DE LA PERFORMANCE EN TIR A L'ARC : INFLUENCE DE LA FATIGUE

Résumé. L'objectif de ce travail consiste à déterminer les stratégies musculaires mises en jeu lors du tir à l'arc, et également d'établir leur évolution au décours de la fatigue. Douze archers de l'Equipe de France (8 garçons et 4 filles) ont réalisé 18 séries (de S1 à S18) de 10 tirs. L'activité myoélectrique (EMG) de six muscles du bras de corde est mesurée, intégrée et exprimée en pourcentage de la valeur d'EMG-max obtenue lors d'une contraction maximale volontaire du muscle considéré (EMGi). La régularité de la phase d'armement et le score sont également mesurés. L'ensemble de ces paramètres est moyenné sur les trois premiers tirs de chaque série.

Lors de la première série, les valeurs d'EMGi mesurées 500ms avant la libération de la flèche sont proches de 50% de l'EMG-max pour tous les muscles, excepté pour le trapèze (faisceau médian ; TM) dont la valeur d'EMGi représente approximativement 90% de l'EMG-max.

Au décours des séries, l'EMGi de l'infraspinatus (IS), du trapèze (faisceau supérieur ; TS) et surtout du deltoïde (faisceau postérieur ; DP) augmentent significativement. Parallèlement, aucune modification significative n'est observée concernant la régularité de la phase d'armement et le score.

Cette étude révèle que chez les archers de haut niveau, i) le TM semble être le muscle le plus sollicité lors du mouvement de tir à l'arc, ii) le TS, l'IS et surtout le DP sont les muscles les plus fatigables. Toutefois, ce phénomène de fatigue neuromusculaire ne semble pas être relié à la performance. Ces données permettent donc d'établir un programme de renforcement musculaire spécifique ayant pour double objectif de réduire le risque de pathologie de l'épaule et d'augmenter de manière qualitative et quantitative le volume d'entraînement spécifique.

Document téléchargeable: http://www.insep.fr/Dss/