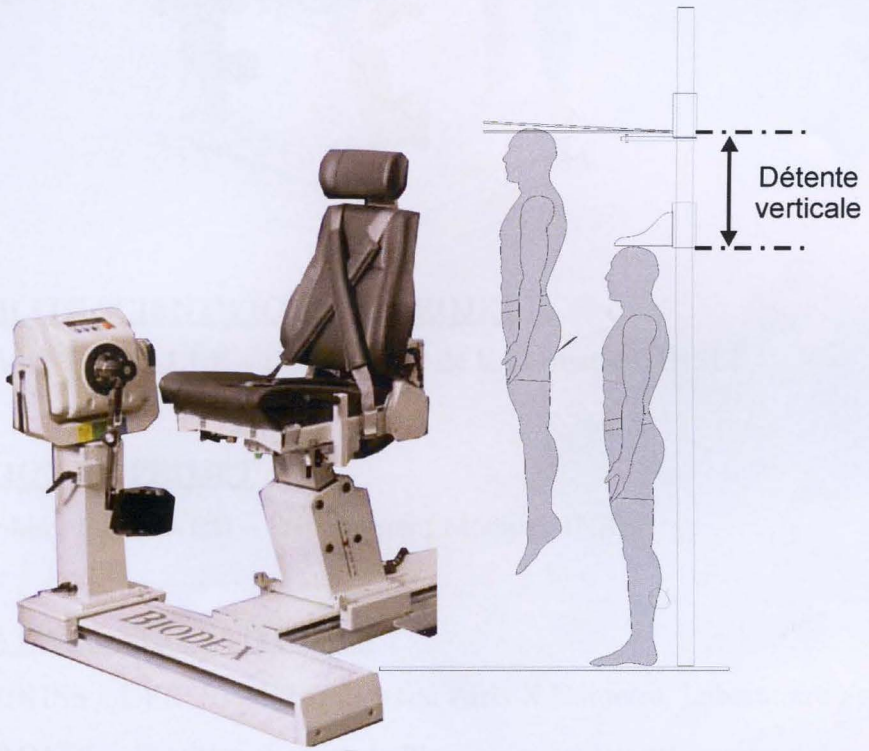
INSEP
Institut National du Sport
MEDICAL

RELATIONS

PUISSANCE MAXIMALE-DETENTE VERTICALE
DIFFERENCES INTER-ETHNIQUES

Rapport du Projet de Recherche financé par le MJSVA

Département Médical, INSEP



Tarak DRISS[1], Jean Robert FILLIARD[2], Eric JOUSSELLIN[2], Daniel LAMBERTZ[3], Majdi ROUIS[1], Henry VANDEWALLE[4]

édité de 3 juillet 2008

[1] *UFR STAPS Université Paris X Nanterre, Laboratoire Sport et Culture (E.A. 2931), Equipe de Physiologie et Biomécanique des Mouvements Naturels et des gestes Sportifs ; 200 avenue de la république, 92000 Nanterre.*

[2] *Département Médical, INSEP, 11 avenue du Tremblay, 75012 Paris*

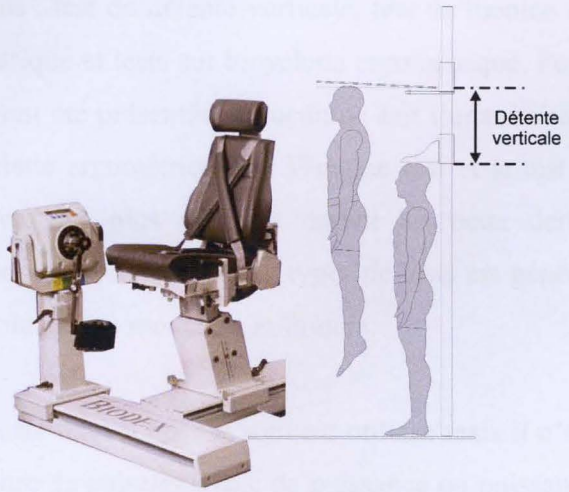
[3] *UMR-CNRS 6600, Université de Technologie, 60205 Compiègne cedex*

[4] *Département de la Formation, INSEP, 11 avenue du Tremblay, 75012 Paris*

RELATIONS

PUISSANCE MAXIMALE-DETENTE VERTICALE

DIFFERENCES INTER-ETHNIQUES



RESPONSABILITE SCIENTIFIQUE DU PROJET

Henry VANDEWALLE – Département de la Formation, INSEP

COORDINATION DU PROJET

Jean Robert FILLIARD – Département Médical, INSEP

COLLABORATIONS SCIENTIFIQUES

Tarak DRISS - UFR STAPS Université Paris X Nanterre, Laboratoire Sport

Majdi ROUIS et Culture. Equipe de Physiologie et Biomécanique des Mouvements Naturels et des gestes Sportifs

Daniel LAMBERTZ UMR-CNRS 6600, Université de Technologie de Compiègne

COLLABORATIONS MEDICALES

Jean Claude GUISE – Médecin - Département Médical,. INSEP

Yannick BARTELEMY – Kinésithérapeute - Département Médical,. INSEP

Franck METAIS – Kinésithérapeute - Département Médical,. INSEP

Remerciements aux joueuses des pôles INSEP de Volley-ball et de Basket-ball, ainsi qu'aux entraîneurs et coordonnateurs de ces pôles.

INTRODUCTION

L'évaluation du métabolisme anaérobie, principalement de sa puissance maximale, recourt à un certain nombre de tests : test de détente verticale, test de montée d'escalier de Margaria, test sur ergomètre isocinétique et tests sur bicyclette ergométrique. Pour chacun de ces tests, de nombreux protocoles ont été présentés et aucun ne fait l'unanimité quant à sa supériorité. Parmi les tests sur bicyclette ergométrique, le Wingate test et le test de charge-vitesse sont probablement les épreuves les plus utilisées durant les deux dernières décennies. La puissance mécanique produite lors de ces deux types de tests est généralement rapportée à la masse corporelle ou au volume des membres inférieurs.

Les tests de détente verticale restent encore souvent utilises mais il n'existe pas de consensus sur le protocole et la mesure de puissance [pic de puissance ou puissance moyenne pendant la phase d'impulsion, utilisation ou non de gilets lestés (Vandewalle et coll.1987b, Driss et coll. 2001)]. Les études réalisées sur plate-forme de force montrent que la valeur de la détente verticale (en mètre) est hautement corrélée avec la puissance (en $W.kg^{-1}$) produite au cours de cet exercice de saut. Les valeurs de puissance maximale mesurées sur ergocycle (Pmax) sont positivement et significativement corrélées avec les valeurs de détente verticale (en mètre). La valeur de Pmax (en $W.kg^{-1}$) est donc corrélée aussi avec la puissance (en $W.kg^{-1}$) produite au cours d'un test de détente verticale (Vandewalle et coll.1987a, Driss et coll.1998) : les sujets les plus puissants sautent plus haut et présentent une valeur de Pmax (en $W.kg^{-1}$) sur ergocycle plus élevée.

Il est donc probable que les facteurs limitant les performances lors d'exercices maximaux sur ergocycle soient en partie communs avec ceux limitant la hauteur de la détente verticale. Cependant, le coefficient de corrélation entre DV et Pmax n'était que de 0,84 dans l'étude de Vandewalle et coll. (1987a), ce qui signifie que le coefficient de détermination n'était que de 0,70 et que ainsi 30% de la variance de DV n'étaient pas expliqués par la variance de Pmax. Par conséquent, les performances dans les tests de détente verticale dépendent probablement aussi d'autres qualités que la simple puissance musculaire. Les tests de détente verticale sont ainsi parfois considérés comme des tests de « force explosive », c'est-à-dire des tests mesurant la capacité à produire des niveaux de force très élevés en un temps très court. La relation entre DV et Pmax dépend probablement aussi de la spécialité sportive. Ainsi, les

valeurs de Pmax des cyclistes sont significativement supérieures à celles des sujets non cyclistes ayant les mêmes valeurs de DV (figure 1).

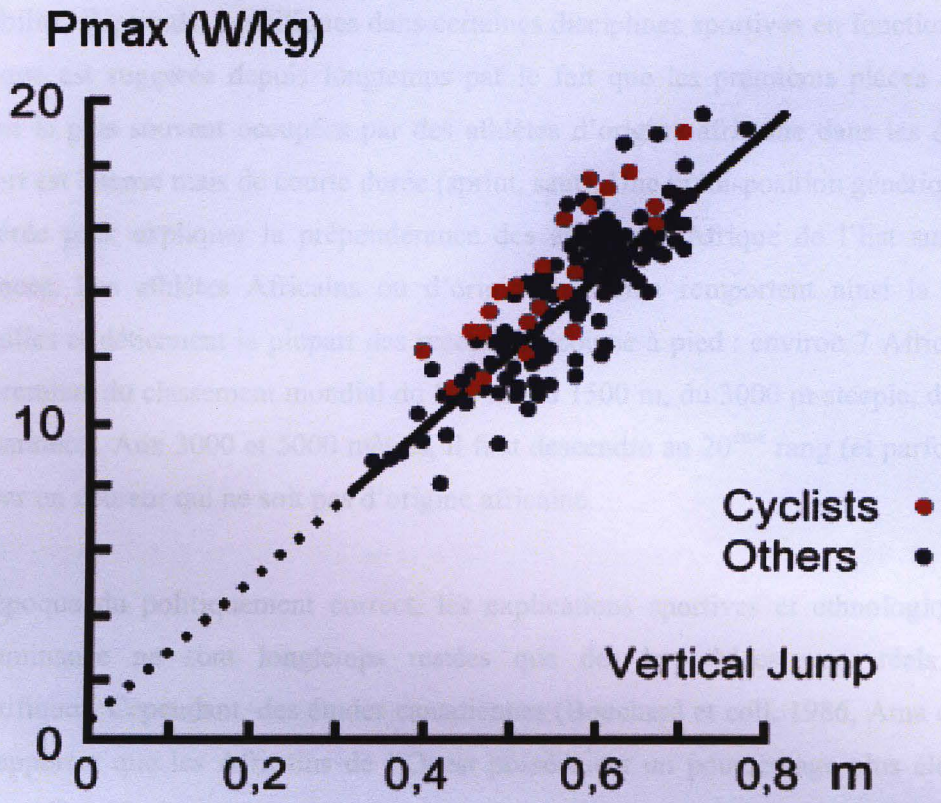


Figure 1 : Droite de régression comparant la puissance maximale chez des cyclistes et des non cyclistes.

A l'inverse, les sujets pratiquant des sports où le saut est un facteur important de la réussite (par exemple des joueurs de volley-ball) ont des valeurs de DV supérieures à des sujets ayant les mêmes valeurs de Pmax sur ergocycle mais non sauteurs. Il existe donc probablement des facteurs spécifiques de la performance aux tests de détermination de DV et de Pmax.

Il pourrait aussi exister des facteurs ethniques expliquant une aptitude spécifique aux exercices de détente verticale comme le suggèrent les travaux de Seck (1996) et Driss et coll. (2004). En effet, Seck (1996) a montré qu'à valeur identique de puissance maximale (Pmax) lors d'un exercice supra-maximal de pédalage sur ergocycle, les sujets noirs africains de Dakar avaient une détente verticale supérieure à celle des européens évalués au CHU Pitié-Salpêtrière à Paris.

La possibilité d'aptitudes spécifiques d'origine ethnique dans la réalisation de certaines activités musculaires en laboratoire ou sur le terrain n'est pas une hypothèse récente. Ainsi, la possibilité d'aptitudes spécifiques dans certaines disciplines sportives en fonction de l'origine ethnique est suggérée depuis longtemps par le fait que les premières places des palmarès étaient le plus souvent occupées par des athlètes d'origine africaine dans les disciplines où l'effort est intense mais de courte durée (sprint, saut). Une prédisposition génétique a aussi été suggérée pour expliquer la prépondérance des athlètes d'Afrique de l'Est sur les longues distances. Les athlètes Africains ou d'origine africaine remportent ainsi la majorité des médailles et détiennent la plupart des records en course à pied : environ 7 Africains dans les dix premiers du classement mondial du 800 m, du 1500 m, du 3000 m-steeple, du 10000 m et du marathon. Aux 3000 et 5000 mètres, il faut descendre au 20ème rang (et parfois plus) pour trouver un coureur qui ne soit pas d'origine africaine.

A l'époque du politiquement correct, les explications sportives et ethnologiques de cette prédominance ne sont longtemps restées que des hypothèses sans réels fondements scientifiques. Cependant, des études canadiennes (Bouchard et coll. 1986, Ama et coll. 1986) ont rapportés que les Africains de l'Ouest possédaient un pourcentage plus élevé de fibres rapides (67,5 % versus 59 % chez des Canadiens d'origine européenne). Plus récemment, une étude scandinave (Saltin et al. 1995) comparant coureurs Kenyans et Scandinaves attribuait la supériorité des Africains de l'Est à une initiation dès le plus jeune âge, poursuivie à l'adolescence par un entraînement intensif.

Les travaux de Seck (1996) et Driss et coll. (2004) confirmaient les résultats de Ghesquière et Eeckels (1984) qui avait comparé la force musculaire, les performances en sprint et la détente verticale chez des scolaires de Kinshasa d'origine européenne ou africaine. Seul le test de détente vertical montrait des différences significatives en faveur des enfants d'origine africaine.

Cependant, il n'était pas possible de préciser si les différences observées dans les études de Seck et Driss avaient une origine constitutionnelle ou socioculturelle. En effet, on ne pouvait exclure qu'à un même niveau de détente verticale, la moindre aptitude aux exercices de pédalage chez les sujets africains fut l'expression d'un manque de pratique d'exercice de

pédalage dans la jeunesse. Ainsi, l'étude de Di Prampero et Cerrettelli (1969) comparant les performances au test de l'escalier de Margaria chez des italiens et des africains d'ethnies bantoues et nilo-hamitique montrait que les puissances maximales de ces sujets africains était plus basse que celle des sujets européens. Cependant, ces auteurs n'excluaient pas l'hypothèse que cette infériorité au test de Margaria était au moins en partie le résultat du manque d'habitude à la montée d'escaliers dans des populations vivant dans des cases.

Une certaine spécificité des résultats aux épreuves d'évaluation de la puissance maximale peut avoir une origine non seulement psychomotrices (apprentissage du geste de pédalage ou de saut, motivation...) mais aussi biométrique (dimensions corporelles et répartition des masses musculaires) et mécanique (propriétés viscoélastiques des structures musculo-articulaires et tendino-musculaires). L'existence de différences ethniques concernant le squelette est connue depuis longtemps. Les études américaines comparant la morphologie d'américains blancs et celle des noirs américains originaires de l'ouest africains ont toutes montré que les afro-américains ont des hanches plus étroites, des cuisses plus larges, des jambes plus longues et des mollets plus légers. Pour certains, ces particularités seraient biomécaniquement avantageuses en course à pied et pourrait expliquer en partie le succès des noirs dans les épreuves de courses (Burfoot 1992). Il n'est pas impossible que ces particularités anatomiques puissent expliquer une prédisposition aux épreuves de saut, mais ceci n'a pas été démontré. De même, plus récemment, Fukashiro et coll. (2002) ont rapporté des différences de compliance des tendons chez les athlètes noirs qui pourraient expliquer une aptitude particulière dans les activités où l'accumulation et la restitution d'énergie potentielle élastique améliorent les performances dans certaines activités comme, *a priori*, les exercices de détente verticale. Par contre, il n'existe pas d'argument montrant que ces mêmes particularités anthropométriques et mécaniques puissent être un avantage dans des exercices comme le pédalage.

Les résultats des travaux de Ghesquière et Eeckels (1984), Seck (1996), Fukashiro et coll. (2002) et Driss et coll. (2004), sont en faveur d'une aptitude particulière aux exercices de détente verticale chez les sujets d'origine afro-antillaise et confirmaient le fameux adage du milieu du basket-ball américain « White men can't jump ». Cependant, l'étude de Seck était critiquable sur le plan méthodologique (matériels et investigateurs différents pour les études réalisées chez les sujets d'origines africaines et européenne, exploitation statistique

suffisante). De même, il faut noter que les différences observées dans l'étude de Fukashiro et coll. (2002) n'atteignaient pas le seuil de significativité du fait du petit nombre de sujets.

Objectifs de nos études

Les études que nous avons réalisées dans le cadre du projet soumis au CORS avaient comme objectifs :

1) de mieux comprendre les facteurs déterminants les performances dans trois types d'épreuves fonctionnelles (tests de détente verticale, tests de sprint sur bicyclette ergométrique, tests d'extension du genou sur ergomètre isocinétique Biodex) actuellement présentées comme explorant la puissance maximale anaérobie des membres inférieurs ;
2) de vérifier l'hypothèse que les sujets d'origine afro-antillaise aient une aptitude particulière aux exercices de détente verticale ;
3) enfin, dans le cas où cette aptitude particulière aux exercices de détente aurait été observée, de vérifier l'hypothèse que cette aptitude est l'expression de différence des propriétés visco-élastiques des structures musculo-tendineuses et articulaires.

En ce qui concerne les deux premiers objectifs, nous avons confronté les résultats d'un test de détente verticale avec ceux de tests de mesure de puissance maximale des membres inférieurs (test force-vitesse sur bicyclette ergométrique ou test d'évaluation des extenseurs du genou sur ergomètre isocinétique) dans des populations sportives d'origine européenne ou afro-antillaise de mêmes niveaux sportifs. Les relations entre les résultats du test de détente et de puissance des membres ont été étudiées selon la méthode de régression multiple avec l'origine ethnique comme deuxième variable indépendante (dummy variable). Nous présentons dans ce rapport les résultats des études suivantes :

- étude 1 : 14 jeunes volleyeuses de haut niveau du pôle « juniors-espoirs » de l'INSEP dont 5 d'origine afro-antillaises et 9 d'origine européenne (puissances des membres inférieurs et supérieurs mesurées avec le test charge-vitesse sur bicyclette ergométrique) ;

- étude 2 : 19 jeunes basketteuses de haut niveau du pôle « cadettes-juiniors » de l'INSEP dont 6 d'origine afro-antillaises et 13 d'origine européenne (puissance des membres inférieurs mesuré en isocinétisme sur dynamomètre Biodex).
- étude 3 : 54 volleyeurs, senior hommes de division Nationale 3 dont 38 d'origine européenne et 16 d'origine africaine (puissances des membres inférieurs et supérieurs mesurées avec le test charge-vitesse sur bicyclette ergométrique).
- La synthèse de ces trois études a ensuite été réalisée en utilisant des variables centrées réduites pour la détente verticale (variable dépendante) et les différents tests de puissances (variable indépendante).

Les résultats de ces premières études suggérant une aptitude particulière aux exercices de détente verticale chez les sujets d'origine afro-antillaise, nous avons, comme prévu, réalisé une étude des propriétés visco-élastiques des structures tendino-musculaires et articulaires en collaboration avec l'Université des Sciences et de Technologie de Compiègne. Dans le projet initial nous avions prévu de faire cette évaluation des propriétés visco-élastiques tendino-musculaires chez les jeunes joueuses de volley-ball et basket-ball des pôles juniors l'INSEP. Pour des raisons d'incompatibilité avec les programmes de compétitions et le cursus scolaire (préparation du baccalauréat pour certaines...), cette dernière partie de l'étude n'a pas été réalisée à l'INSEP sur les joueuses de Basket mais à Compiègne, chez des sportifs d'origine afro-antillaise ou européenne pratiquant différents sport à un niveau régional, au cours des deux années suivantes. Ceci explique en partie le retard du rapport concernant ce projet.

MATERIELS ET METHODES

Sujets

Nos quatre études ont été réalisées sur 123 sujets dont 44 sujets d'origine afro-antillaise et 79 sujets d'origine européenne.

Sujets de la première étude

Quatorze jeunes volleyeuses de haut niveau de pôle « juniors-espoirs » de l'INSEP de Paris ont participé à cette étude : cinq étaient d'origine afro-antillaises (groupe GNV) et 9 d'origine européenne (groupe GBV. Leurs caractéristiques physiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets (moyenne ± écarts type, t de Student). NVB = volleyeuses afro-antillaises et BVB = volleyeuses européennes).

	Poids (kg)	**DV (cm)**
NVB ; n=5	65,94 ± 1,5	61,5 ± 1,22
BVB ; n=9	74,75 ± 4,16	51,12 ± 5,95
P	< 0,001	0,002

Sujets de la deuxième étude

Dix neuf jeunes basketteuses de haut niveau de pôle « cadettes-juniors » de l'INSEP de Paris ont participé à cette étude : six sont d'origine afro-antillaises (groupe NBB) et 13 d'origine européenne (groupe BBB). Leurs caractéristiques physiques sont présentées dans le tableau n°2.

Tableau 2 : Caractéristiques des sujets (moyenne, écarts type, t de Student). NBB : groupe de basketteuses d'origine afro-antillaise. BBB : groupe de basketteuses d'origine européenne.

	Age	**Poids (kg)**	**Taille (m)**	**DV (cm)**
NBB ; n=6	16,5 ± 1,11	80,88 ± 8,36	1,84±0,05	55,28 ± 6,68
BBB ; n=13	16,92 ± 0,75	70,37 ± 8,33	1,81±0 ,08	46,2 ± 3,16
P	0,33	< 0,04	0,51	< 0,001

Sujets de la troisième étude

54 joueurs de volley-ball (16 joueurs d'origine afro-antillaise et 38 joueurs d'origine européennes) de niveau National 3 de la région ile-de-France ont participé à cette étude. Leurs caractéristiques anthropométriques sont présentées sur le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des sujets (moyenne, écarts type, t de Student). NVB: groupe de volleyeurs d'origine afro-antillaise. BVB groupe de volleyeurs d'origine européenne.

	Age	**Poids (kg)**	**Taille (m)**	**DV (cm)**
NVB ; n= 16	22,2 ± 3,6	78,3 ± 7,8	1,86 ± 0,06	73,2 ± 5,7
BVB ; n= 38	21,2 ± 4,2	75,4 ± 9,2	1,84 ± 0,06	69,0 ± 7,1
P	NS	NS	NS	< 0,01

Sujets de la quatrième étude

Les mesures de raideurs musculo-tendineuse et musculo-articulaires ont été réalisées sur 36 sujets (17 sujets d'origine afro-antillaise –SN- et 19 sujets d'origine européenne –SB) qui pratiquaient différentes activités sportives. Leurs valeurs de détente verticale sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : détentes verticales des sujets (moyenne, écarts type, t de Student). SN: groupe de sujets d'origine afro-antillaise. SB : groupe de sujets d'origine européenne.

	DV (cm)
SN ; n= 19	72,2 ± 1,8
SB ; n= 17	65,4 ± 2,4
P	< 0,05

Matériels

Bicyclette ergométrique

Les mesures dans la présente étude ont été réalisées au moyen d'un ergocycle constitué du cadre et du volant d'un ergocycle Ergoméca modifiéé en ce qui concerne le dispositif de freinage selon le principe des ergomètres Monark 864. Cet ergocycle est soit disposé au sol pour les exercices de pédalage avec les membres inférieurs, soit fixé sur le bâti métallique pour les exercices de manivellage avec les membres supérieurs. Les vitesses de pédalage et de manivellage sont mesurées au moyen d'un capteur magnétique sensible au passage d'un aimant fixé sur la manivelle droite à chaque tour de manivelle. La vitesse a été moyennée toutes les secondes.

Ergomètre isocinétique

Les exercices ont été réalisés au moyen d'un appareil isocinétique (Biodex) entièrement informatisé. Cet appareil permet d'imposer une vitesse constante de déplacement angulaire quel que soit le moment développé par le sujet. Le système prend en compte l'action de gravité, grâce à une procédure préalable de détermination de la masse du segment jambier. Le dispositif comporte un fauteuil de contention ajustable aux caractéristiques du sujet, et un bras destiné à être mobilisé par sa jambe, solidarisé à un axe de rotation qui est aligné avec celui de l'articulation du genou. L'extrémité de ce bras comporte une sangle pour maintenir solidement la partie juxta-malléollaire de la jambe. Une fois le sujet installé, la plage articulaire balayée ainsi que la force exercée par la jambe pendant son mouvement d'extension et de flexion sont rigoureusement établies et prises en compte par les calculs.

Ergomètre de cheville

Les propriétés visco-élastiques des muscles fléchisseurs plantaires de la cheville ont été étudiées au moyen de l'ergomètre de cheville conçu et réalise à l'université de Compiègne. Cette ergomètre comprenait deux unités principales : 1) une partie mécanique mesurant les déplacements de la cheville (angle et vitesse angulaire) et les moments de force et imposant des déplacements angulaires d'amplitudes et fréquences données ; 2) une unité de contrôle comprenant un PC 486 équipé d'une carte de conversion analogique/numérique. Les déplacements angulaires étaient mesurés par un capteur optique numérique et les vitesses

angulaires par un tachymètre pour les vitesses supérieures à > 15.70 rad s^{-1}. Les moments étaient mesurés par un capteurs à jauges de contraintes. L'ensemble des procédures (déplacement, vitesse, accélération, moments, EMG) était géré par des programme informatiques spécifiques. Un oscilloscope à deux voies donnait au sujet un feedback visuel des moments exercés.

Protocoles

Mesure de la détente verticale

La valeur de la détente verticale (DV) a été déterminée selon le protocole et le matériel décrits par Vandewalle et coll. (1987b). Elle correspond à la différence entre la taille du sujet et la hauteur atteinte par le sommet du crâne à l'apogée du saut. Les sujets réalisaient la détente verticale après un contre-mouvement qui consistait en une flexion des genoux et un balancer des bras. Ils effectuaient 2 ou 3 sauts avec 10 à 15 s de récupération entre les essais. Ils se reposaient environ 2 min et recommençaient ensuite une série jusqu'à ce que la hauteur maximale soit atteinte. Un total d'environ 10 à 12 sauts a été réalisé et le meilleur résultat a été pris en compte.

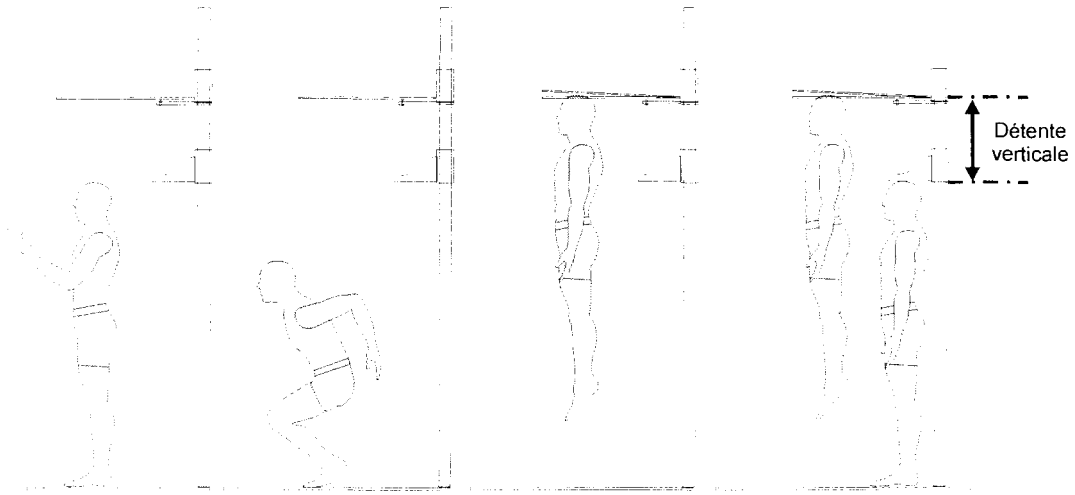


Figure 2 : protocole de mesure de la détente verticale selon la méthode de la toise

Mesure de la puissance maximale sur bicyclette ergométrique

On a calculé la puissance maximale anaérobie des membres inférieurs ($P_{max}MI$) et des membres supérieurs ($P_{max}MS$) sur un ergocycle Monark modèle 864 selon le protocole de Pérès et coll. (1981) et Vandewalle et coll.(1983, 1986; 1987, 1989) (figure 3). Ces tests consistaient en l'exécution de sprints courts et maximaux (environ 6 à 7 s) sur un ergocycle adapté d u modèle Monark 864 contre différentes forces de freinage.

L'exercice avec les membres supérieurs a été réalisé par les sujets en position debout, les membres inférieurs légèrement écartés et la position des épaules était celle qui leur convenait le mieux. Les tests commençaient à une force de freinage de 1,5 kg pour les membres inférieurs et de 1 kg pour les membres supérieurs. Après 5 min de récupération les sujets reprenaient le même exercice contre une force de freinage supérieure de 1 à 1,5 kg pour les membres inférieurs et de 0,5 kg à 1 kg pour les membres supérieurs. Cet exercice a été répété jusqu'à ce que la valeur de pic de vitesse soit égale à environ 90 à 100 rpm. Les sujets réalisaient en général 5 à 7 sprints courts et maximaux avec les jambes ou avec les bras sur deux séances différentes. Les valeurs les plus élevées de force de freinage variaient entre 7 kg pour les membres inférieurs et 5 kg pour le même test avec les membres supérieurs. Les sujets ont été vigoureusement encouragés pour atteindre le plus vite possible leur fréquence maximale de pédalage. Le pic de vitesse (V) a été mesuré pendant chaque sprint à chacune des forces de freinage (F). On a ensuite utilisé V et F pour le calcul de la relation charge-vitesse avec les membres inférieurs et les membres supérieurs. Etant donné la relation linéaire entre la force de freinage (F) et la vitesse de pédalage (V), la relation entre F et V peut être écrite par une relation linéaire : $V = a - b F$ et réécrite sous la forme suivante : $V = V_0 (1 - F/F_0)$; où V_0 est l'intersection de la droite représentative de la relation charge-vitesse avec l'axe des vitesses et F_0 l'intersection de cette même droite avec l'axe des forces. V_0 et F_0 ont la dimension respectivement d'une fréquence maximale de pédalage et d'une force maximale. La puissance maximale P_{max} est obtenue pour un pic de vitesse égal à 0,5 V_0 et une force égale à 0,5 F_0. P_{max} est donc égal à 0,25 V_0F_0 (figure 3).

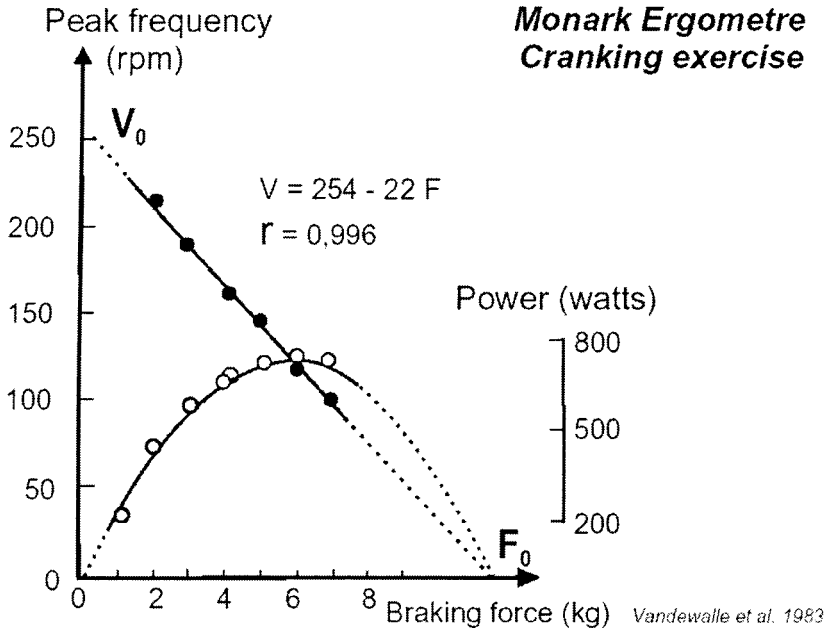


Figure 3 : Relation linéaire entre la force de freinage et la valeur du pic maximal de vitesse correspondant pour un exercice réalisé avec les membres supérieurs sur ergocycle Monark. La puissance maximale (P_{max}) est obtenue pour 0,5 F_0 * 0,5 V_0.

Puissance maximale des extenseurs du genou sur ergomètre isocinétique

Le sujet est assis sur le siège de l'ergomètre Biodex, auquel il était solidement maintenu grâce à un système de sangles. Sa cheville était, de même, étroitement solidarisée au levier de l'appareil. Avant de procéder aux tests, le sujet s'échauffait au moyen d'une bicyclette ergométrique à une puissance modérée pendant 5 à 10 minutes, et ensuite à l'appareil Biodex, ce qui lui permettait par la même occasion de se familiariser avec les exercices à réaliser.

La jambe du sujet placée à 90° et l'appareil Biodex réglé pour que l'amplitude de l'extension soit de 90° (angle du genou de 90° à 180°). Le sujet avait à effectuer trois séries de flexion-extension, avec pour consigne de chercher à « dépasser » la vitesse imposée. Les vitesses choisies étaient de 90, 180, 240 et 300° par seconde pour respectivement la première, la seconde, la troisième et la dernière série, ce qui nous a permis de disposer des valeurs de puissance et de moments atteints à ces vitesses. Le sujet était également stimulé par la voix et pouvait suivre sa performance à l'écran. Les séries étaient séparées de 3 minutes de repos Lorsqu'un essai était considéré comme douteux, il était demandé au sujet d'effectuer un essai supplémentaire. La meilleure performance réalisée à l'un des trois essais pour chaque vitesse

a été retenue comme indice de moment maximal des sujets. Dans un deuxième temps, nous avons multiplié cette valeur de moment (en Nm) par la vitesse angulaire correspondante (en rad/s) pour déterminer la puissance en (W) et en W/kg en la rapportant à la masse corporelle.

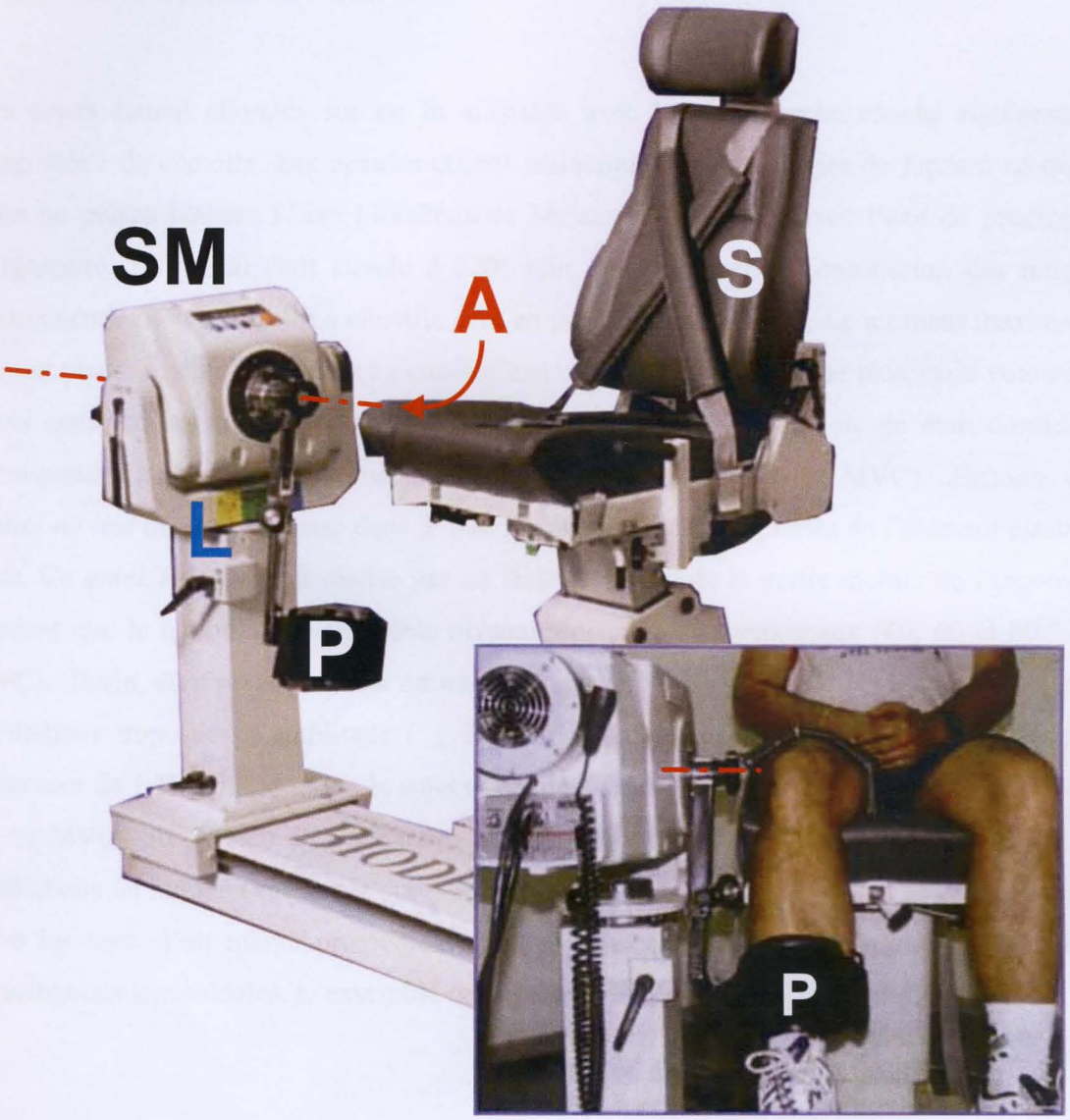


Figure 4 : ergomètre isocinétique Biodex. Le sujet est assis sur le siège S où il est maintenu au dossier par un harnais ; la hauteur et l'avancée du siège sont réglées de façon à ce que l'axe du genou soit dans le prolongement de l'axe A de rotation du servo-moteur SM assurant le déplacement du levier L à une vitesse angulaire imposée. Le sujet pousse sur ce levier au point P.

Evaluation des propriétés visco-élastiques des muscles fléchisseurs plantaires de la cheville.

Les sujets étaient allongés sur un lit ajustable avec le pied gauche attaché rigidement à l'ergomètre de cheville. Les épaules étaient maintenue par des sangles de façon à ce que le sujet ne puisse bouge ; L'axe bimalléolaire horizontal coincidait avec l'axe de rotation de l'ergomètre. Le genou était étendu à 120° afin de minimiser la contribution des muscles gastrocnémiens (jumeaux). La cheville était en position neutre à 90°. Le moment maximal de flexion plantaire était determine au cours d'une contraction isométrique maximale volontaire. Trois contractions maximales étaient réalisées et la valeur la plus élevée était considérée correspondre au moment maximal (Maximal Voluntary Contraction, MVC). Ensuite, était réalisé un test de *quick release* dans le but de déterminer les propriétés de l'élément élastique série. Ce *quick release* était réalisé par un lâcher soudain de la partie mobile de l'ergomètre pendant que le maintien de différents niveaux de force sous-maximaux (40, 60 et 80 % de MVC). Enfin, était réalisé un test dit « test des perturbations sinusoïdales » qui consistait en oscillations imposées d'amplitude ($\pm$ 3°) et de fréquences données (4 à 16 Hz avec un incrément de 1 Hz) pendant que le sujet maintenait un moment moyen « constant » (20, 40 et 60 % MVC) affiché sur l'oscilloscope après passage dans un filtre passe bas lissant les oscillations du moment mesuré. Pour prévenir la fatigue musculaire, le sujet se reposait 1 min entre les tests d'un même protocole et 3 à 5 min entre les tests de *quick release* et de perturbations sinusoïdales. L'ensemble des mesures durait environ 1 h 30 min.

RESULTATS

1. PREMIERE ETUDE

Les résultats du tableau 5 montrent que les joueuses d'origine afro-antillaise ont des puissances des membres inférieurs et des membres supérieurs plus élevées que celles de leurs homologues d'origine européenne.

Tableau 5 : Valeurs (moyenne ± écart type, P) de Pmax des membres inférieurs (Pmax MI) et des membres supérieurs (Pmax MS). NVB : volleyeuses afro-antillaises ; BVB : volleyeuses européennes.

	Pmax MI ($W.kg^{-1}$)	**Pmax MS ($W.kg^{-1}$)**
NVB	12,21 ± 1,40	7,40 ± 1,20
BVB	11,55 ± 1,41	6,22 ± 0,95
P	< 0,001	< 0,001

Les joueuses d'origine afro-antillaise ont des meilleures détentes verticales que celles de leurs homologues d'origine européenne. Par ailleurs, détente verticale et puissances des membres inférieurs et des membres supérieurs sont corrélées que les populations soient étudiées ensemble ou séparément comme le montre le tableau 6.

Tableau 6 : Corrélation des résultats de l'épreuve charge-vitesse (membres supérieurs MS et inférieurs, MI) avec la détente verticale.

	Pmax MI ($W.kg^{-1}$)	**Pmax MS ($W.kg^{-1}$)**
DV NVB	0,15	0,46
DV BVB	0,64	0,85
DV NVB+BVB	0,75	0,49

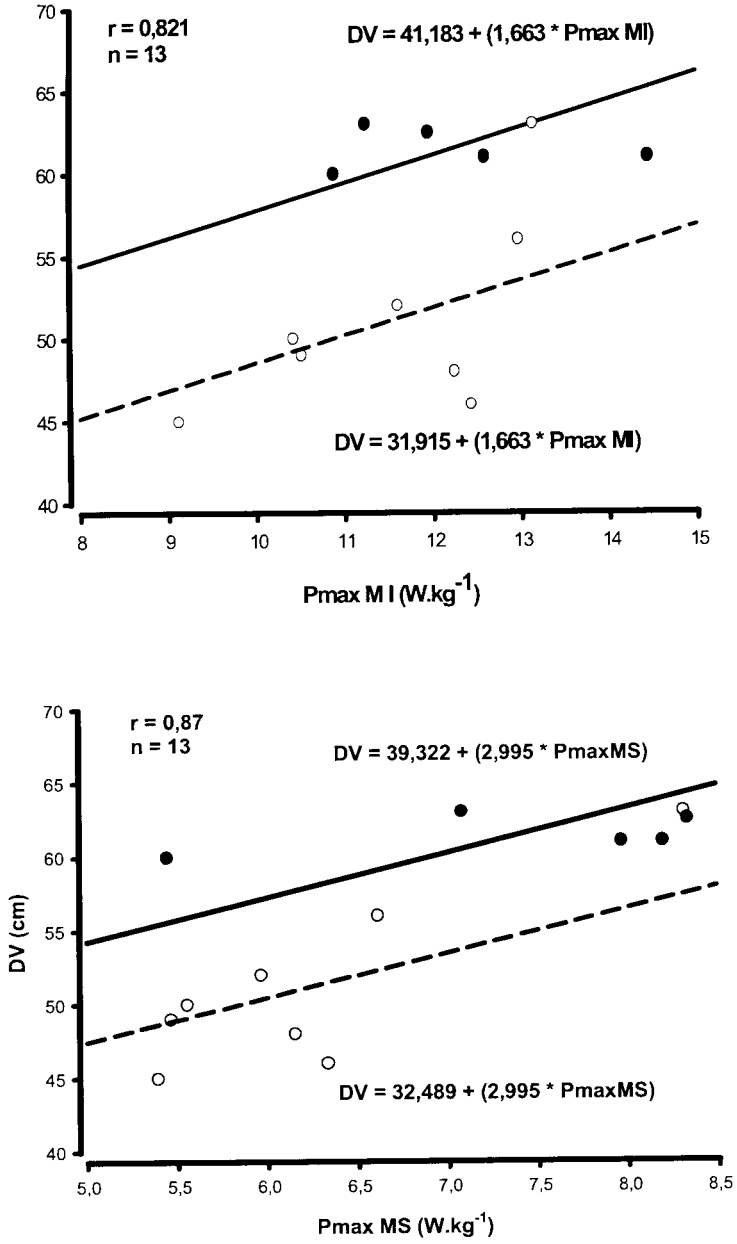


Figure 5 et 6 : Régression multiple chez les volleyeuses entre la détente verticale en tant que variable dépendante et la puissance maximale anaérobie des membres inférieurs (Pmax MI ; en haut) ou celle des membres supérieurs (Pmax MS ; en bas) rapportée à la masse corporelle et l'origine ethnique (E) en tant que variables indépendantes. Les cercles vides correspondent aux sujets européens (BVB) et les cercles pleins correspondent aux sujets afro-antillais (NVB). La droite de régression avec un trait continu est celle des afro-antillais et la droite avec un trait en pointillé est celle des sujets européens.

L'effet de l'origine ethnique sur la valeur de la détente verticale prédite à partir de la puissance est significatif pour le test avec les membres supérieurs et celui avec les membres inférieurs (Tableau 7).

Tableau 7 : significativité de l'effet « puissance » et de l'effet « origine ethnique » pour les tests de puissance (relation charge-vitesse) réalisés avec les membres inférieurs et supérieurs.

	Coefficient de corrélation multiple DV- Puissance-Ethnie	Significativité de l'effet puissance des membres	Significativité de l'effet origine ethnique
Membres inférieurs	r = 0,82	P = 0,14	P = 0,005
Membres supérieurs	r = 0,87	P = 0,01	P = 0,002

2. DEUXIEME ETUDE

Les résultats présentés sur le tableau 7 montrent qu'à chacune des vitesses angulaires les puissances produites sur ergomètre isocinétique du genou par les joueuses afro-antillaises sont supérieures à celles de leurs homologues d'origine européenne.

Tableau 8: Comparaison des moyennes des puissances (rapportées au poids) produites aux différentes vitesses angulaires pour les deux groupes NBB et BBB.

	90 P/kg	**180 P/kg**	**240 P/kg**	**300 P/kg**
NBB n=6	8,721 ± 0,35	14,49 ± 0,73	16,71 ± 1,28	19,16 ± 1,46
BBB n=13	8,11 ± 0,65	14,13 ± 1,29	14,76 ± 1,62	16,86 ± 1,40
t de Student	1,898	2,381	2,579	3,226
P	0,075	0,03	0,02	0,005

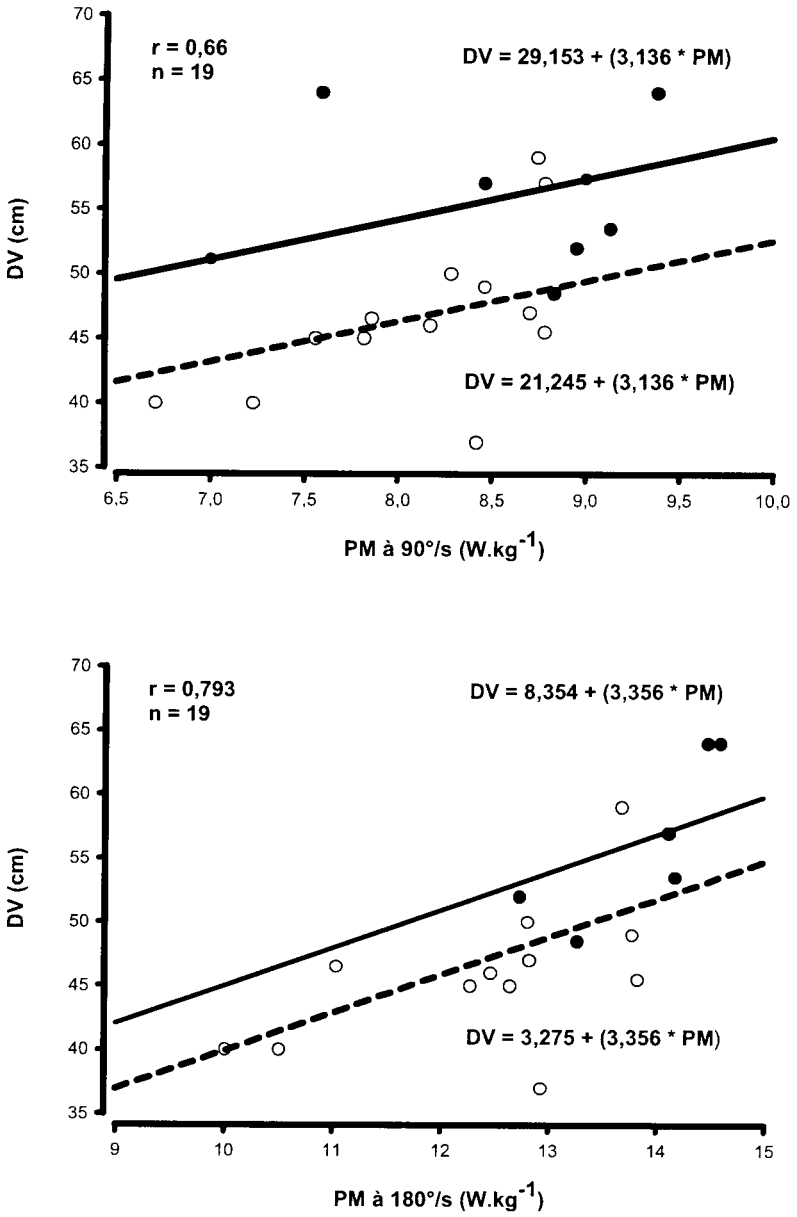


Figure 7 et 8 : Relation entre la détente verticale et la puissance maximale anaérobie des membres inférieurs rapportée à la masse corporelle, mesurée sur ergomètre isocinétique Biodex à 90°/s (en haut) et 180°/s (en bas). Les points noirs et la droite de régression en trait continu correspondent aux basketteuses d'origine afro-antillaise ; les cercles blancs et la ligne en pointillé aux basketteuses d'origine européenne.

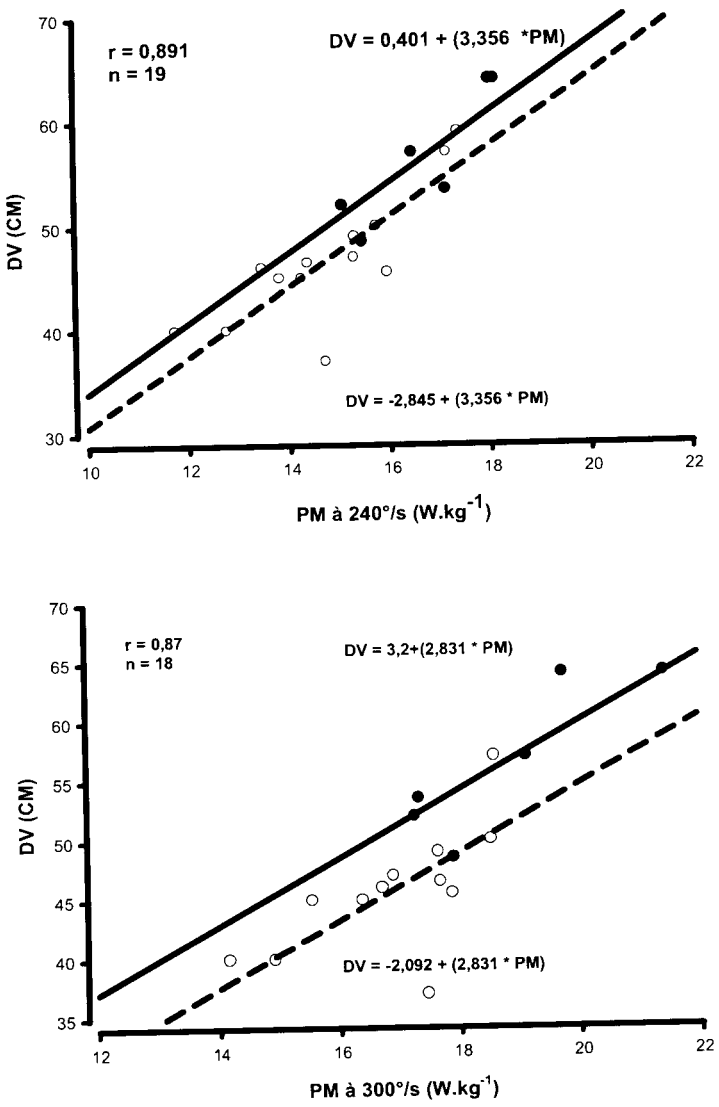


Figure 9 et 10 : Relation entre la détente verticale et la puissance maximale des membres inférieurs rapportée à la masse corporelle, mesurée sur ergomètre isocinétique Biodex à 240°/s (haut) et 300°/s (bas). Les points noirs et la droite de régression en trait continu correspondent aux basketteuses d'origine afro-antillaise ; les cercles blancs et la ligne en pointillé aux basketteuses d'origine européenne.

Les résultats du tableau 9 montrent qu'il y a une corrélation entre la détente verticale et la puissance maximale en W/kg calculée à partir de Biodex. Les coefficients de corrélation les plus significatifs ont été observés aux vitesses élevées (240 et 300°/s).

Tableau 9 : corrélations entre DV et les résultats de puissance maximale (PM) sur ergomètre isocinétique « Biodex » aux différentes vitesses angulaires.

Corrélation	**PM/kg**
90 °.s^{-1} – DV	0,603 (P = 0,006)
180 °.s^{-1} – DV	0,744 (P = 0,0002)
240 °.s^{-1} – DV	0,875 (P < 0,0001)
300 °.s^{-1} – DV	0,837 (P < 0,0001)

Le tableau 10 montre que l'effet « origine ethnique » est significatif aux deux vitesses angulaires extrèmes (90 et 300°.s^{-1}).

Tableau 10 : significativité de l'effet « puissance » et de l'effet « origine ethnique » en fonction de la vitesse angulaire lors du test sur ergomètre isocinétique.

	Coefficient de corrélation multiple	Significativité de l'effet puissance des membres inférieurs	Significativité de l'effet origine ethnique
90°.s^{-1}	r = 0,66	P = 0,19	P = 0,03
180°.s^{-1}	r = 0,793	P = 0,004	P = 0,92
240°.s^{-1}	r = 0,891	P < 0,001	P = 0,152
300°.s^{-1}	r = 0,87	P < 0,001	P = 0,04

TROISIEME ETUDE

La régression multiple réalisée sur les résultats obtenus chez les volleyeurs masculins seniors de niveau National 3 montre que la détente verticale dépendait significativement non seulement de la puissance Pmax/kg des membres inférieurs (mesurée sur bicyclette ergométrique) mais aussi de l'origine ethnique. Pour une même valeur de PmaxLeg, la détente verticale (Vertical Jump, VJ) des volleyeurs d'origine africaine ou antillaise était de 6,7 cm plus élevée que celle de leurs homologues d'origine européenne (figure 11).

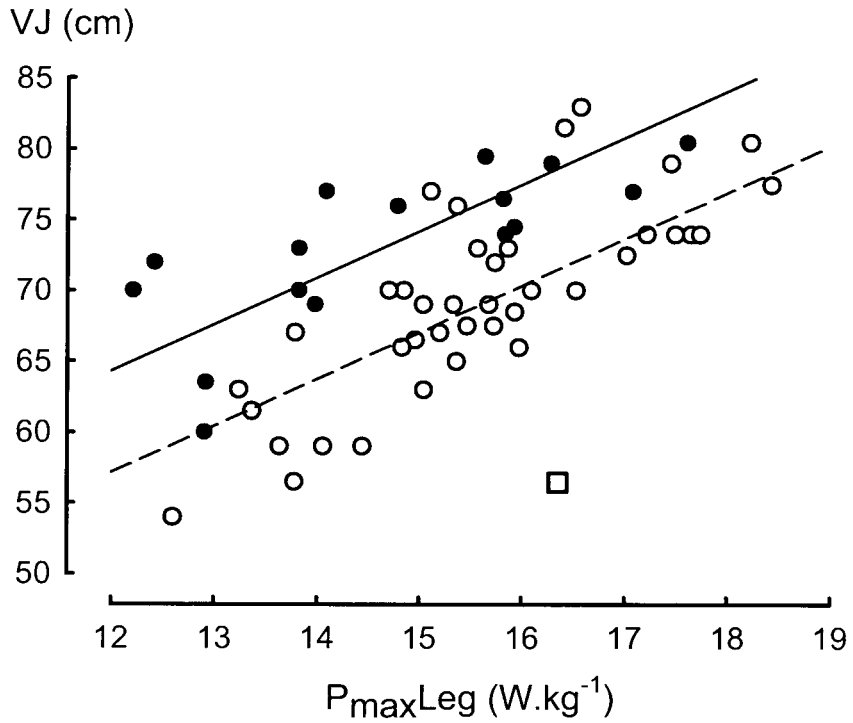


Figure 11 : Droite de régression comparant la détente verticale et la puissance maximale des membres inférieurs sur bicyclette ergométrique chez des volleyeurs d'origine européenne (cercles vides) ou afro-antillaise (cercles pleins).

QUATRIEME ETUDE : propriété visco-élastiques

Détente verticale

La détente verticale des sujets d'origine afro-antillaise (72,2 ± 1,8 cm) était de 7,1 cm supérieure à celle des sujets d'origine européenne (65,1 ± 2,4 cm).

Test du *quick release*

Les valeurs des raideurs mesurées lors des maintiens des différents pourcentages de MVC sont présentées sur la figure 12 : pour un pourcentage donné de MVC la raideur tendino-musculaire est supérieure chez les sujets d'origine afro-antillaise.

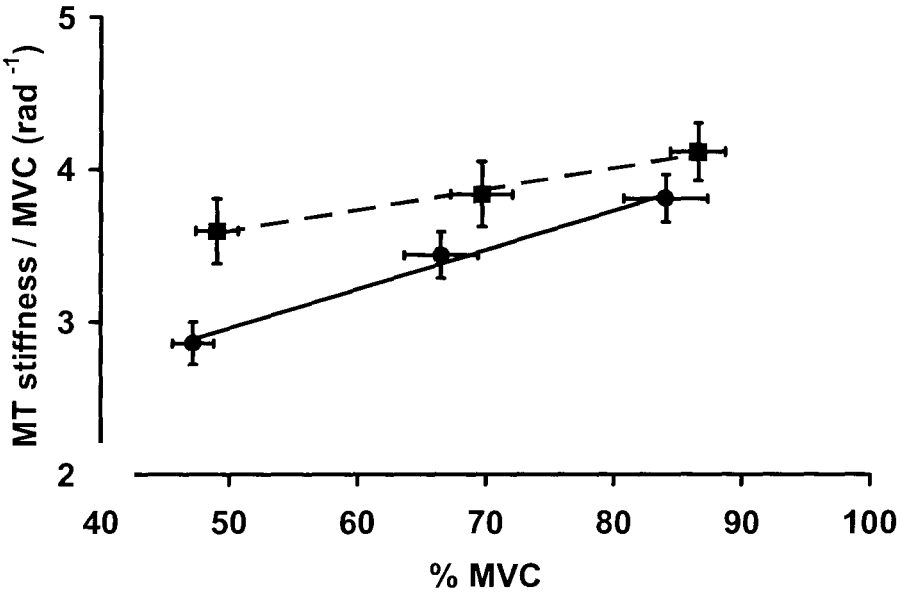


Figure 12 : relation entre le moment exercé par les muscles fléchisseurs plantaires de la cheville (% MVC) et la raideur musculo-tendineuse standardisée (MT stifness/ MVC) exprimée en rad^{-1} chez les sujets d'origine européenne (trait continu) et les sujets d'origine afro-antillaise (pointillés).

Cependant la pente de la relation % MVC/ raideur (Stiffness Index Musculo-Tendinous, SIMT) était plus faible chez les sujets d'origine afro-antillaise.

Test des vibrations sinusoïdales

Les valeurs des raideurs musculo-articulaires, mesurées lors des maintiens des différents pourcentages de MVC dans le test des vibrations sinusoïdales, sont présentées sur la figure 14. Pour un pourcentage donné de MVC la raideur musculo-articulaire est supérieure chez les sujets d'origine afro-antillaise.

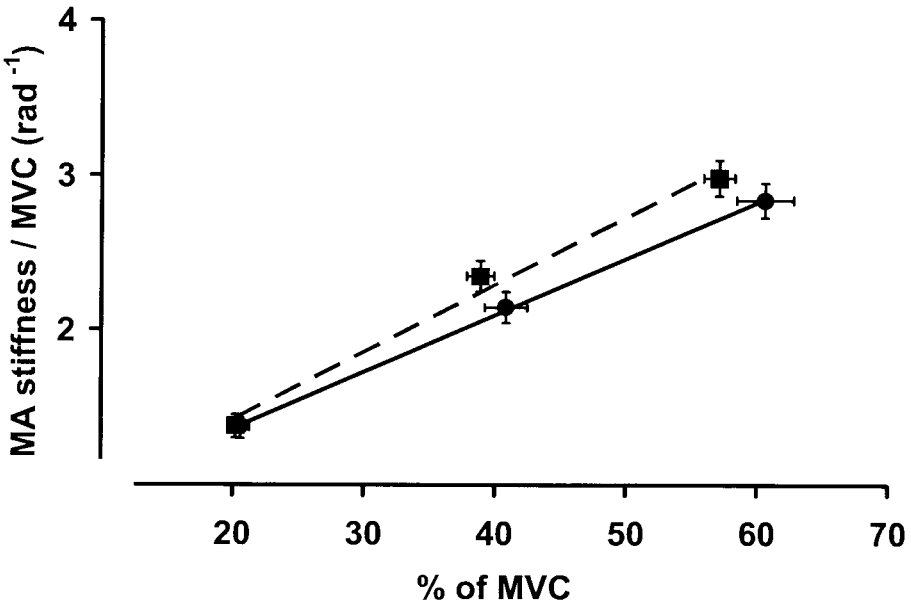


Figure 13 : relation entre le moment exercé par les muscles fléchisseurs plantaires de la cheville (% MVC) et la raideur musculo-articulaire standardisée (MT Stiffness/ MVC) exprimée en rad^{-1} chez les sujets d'origine européenne (trait continu) et les sujets d'origine afro-antillaise (pointillés).

Cependant, à l'inverse du test de *quick release*, la pente de la relation % MVC/ raideur (Stiff Index Musculo-Articular, SIMA) était plus élevée chez les sujets d'origine afro-antillaise.

Relation entre les indices de raideur (SIMT ou SIMA) et la détente verticale

L'indice de raideur musculo-tendineuse (SIMT) était négativement et significativement corrélé avec la valeur de la détente verticale (figure 14).

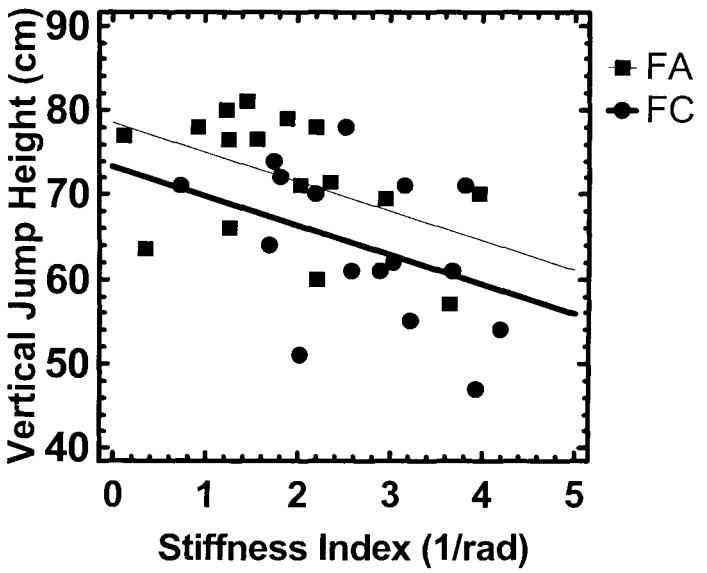


Figure 14 : l'indice de raideur musculo-tendineuse standardisée (Stifness index) exprimée en rad^{-1} chez les sujets d'origine européenne (trait continu et carrés noirs) et les sujets d'origine afro-antillaise (ronds noirs et pointillés).

Pour un même indice de raideur musculo-tendineuse (SIMT) les sujets d'origine afro-antillaise sautaient 5,9 cm plus haut que leurs homologues d'origine européenne. Cependant, cet effet de l'origine ethnique n'atteignait pas le seuil de signification statistique (P = 0,086).

Quant à l'indice de raideur musculo-tendineuse (SIMA), il n'était pas significativement corrélé avec la valeur de la détente verticale à la différence de l'indice SIMT.

DISCUSSION

Effets de l'origine ethnique sur la relation Puissance/Détente-Verticale

Les résultats obtenus chez les sujets des différentes études en ce qui concerne la détente verticale et les puissances maximales sur ergocycle (membres supérieurs et inférieurs) sont conformes aux résultats que nous avons obtenu antérieurement sur des populations sportive de bon niveau en utilisant le même protocole (Vandewalle et coll.1987 Driss et coll. 1998, Chambon 1999).

Dans chacune de nos études, la détente verticale des sujets d'origines afro-antillaise était supérieure à celle de leurs homologues d'origine européenne :

	Origine européenne	Origine afro-antillaise	Différence
Volleyeuses (étude 1)	51,1 ± 5,9 cm	61,5 ± 1,2 cm	10,4cm (P<0,01)
Basketteuses (étude 2)	46,2 ± 3,2 cm	55,3 ± 6,7cm	9,1 cm (P<0,001)
Volleyeurs (étude 3)	69,0 ± 7,1 cm	73,2 ± 5,7 cm	4,2 cm (P< 0,01)
Etude 4	65,1 ± 2,4 cm	72,2 ± 1,8 cm	7,1 cm (P< 0,05)

Cette différence de détente verticale peut, *a priori*, être l'expression de différences staturo-pondérales mais celles-ci ne sont systématiquement dans le même sens. Si la masse corporelle des volleyeuses d'origine européenne était significativement supérieure à celle de leurs homologues d'origine afro-antillaise, c'est l'inverse qui était observé pour les basketteuses. Quant aux groupes de sujets masculins (troisième et quatrième études), les différences de masse corporelle n'étaient pas significatives.

Il est difficile d'avoir des populations importantes de sujets de haut niveau, pratiquant le même sport, de la même catégorie d'âge mais d'ethnies différentes. Il nous a donc semblé intéressant de rassembler les données des trois études afin d'augmenter le nombre de sujets. Les effets de la discipline sportive (basket-ball ou volley-ball), de l'âge (cadet, junior et senior) et du niveau sportif (national ou national 3), de l'entraînement, du protocole de

détermination de la puissance maximale des membres inférieurs (bicyclette ergométrique ou ergomètre isocinétique) ont été minimisés en exprimant les mesures de puissance des membres inférieurs (Pmax /kg et PM/kg) en Ecart Centré Réduit où la moyenne et l'écart type correspondent à l'ensemble du groupe étudié, c'est-à-dire noir et blanc confondus. De la même façon, les effets de la discipline sportive, de l'âge et du sexe sur la détente verticale ont été diminué en exprimant la valeur de la détente verticale en écart centré réduit. Nous avons émis l'hypothèse que les tests sur bicyclette ergométrique et sur ergomètre isocinétique exploraient les mêmes qualités musculaires des membres inférieurs (force, vitesse et puissance) sans contribution importante des processus de stokage-restitution d'énergie potentielle élastique.

Les valeurs centrées réduites ont été calculées de la façon suivante :
Valeur centrée réduite = (valeur individuelle – moyenne du groupe)/ écart du groupe

Un groupe BB comprenait par exemple toutes les jeunes basketteuses du pôle INSEP (afro-antillaises + européennes). Un autre groupe comprenait tous les volleyeurs de national 3 et le dernier groupe comprenait toutes les volleyeuses du pôle INSEP.

De la même façon, la détente verticale a été exprimée en écart centré réduit du groupe étudié (volleyeuses, ou basketteuses ou volleyeurs)

Détente standardisé = (détente individuelle – moyenne du groupe)/ écart du groupe

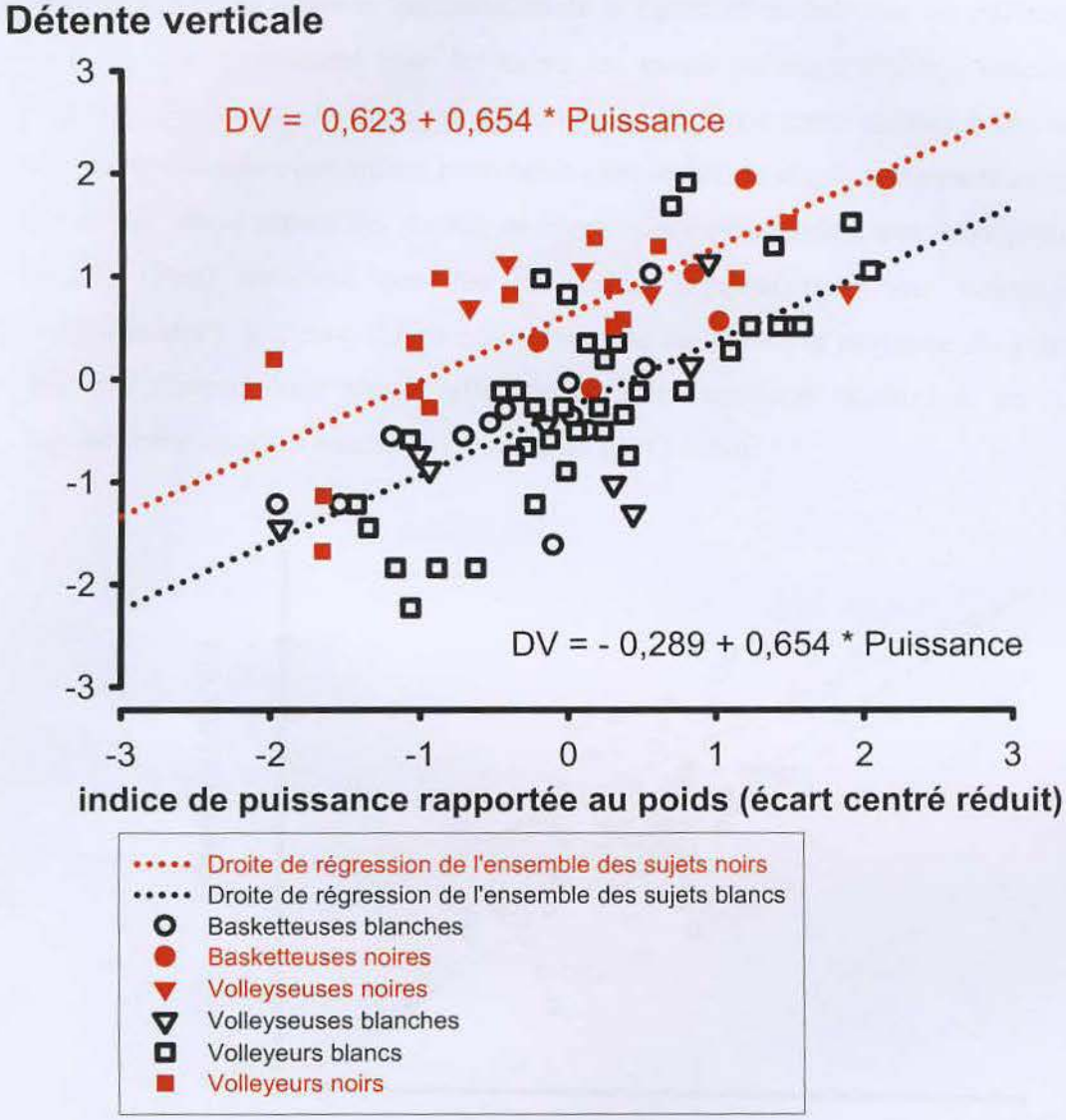


Figure 15 : Régression multiple avec la détente standardisée comme variable dépendante et la puissance standardisée et l'ethnie comme variables indépendantes de l'ensemble des sujets.

Un test de régression multiple avec la détente standardisée comme variable dépendante et la puissance standardisée et l'ethnie comme variables indépendantes (figure 15), montre que l'effet origine ethnique est significatif : pour une même puissance standardisée des membres inférieurs, les sujets d'origine afro-antillaise présentent une détente verticale standardisée supérieure de 0,912 écart-type de la détente verticale de leur groupe (même discipline sportive, même âge, même niveau).

L'observation des données individuelles de la figure 15 montre que les différences ethniques sont, en fait, importantes pour les sujets les moins puissants à faible détente verticale. A l'opposé, l'influence de l'origine ethnique sur la relation entre puissance et détente verticale est moins marquée voire même inexistante chez les sujets les plus puissants à détente verticale élevée. Le calcul séparé des droites de régression correspondant aux deux groupes ethniques (figure 15bis) montrent que ces droites se coupent pour une valeur de puissance correspondant à 4, c'est-à-dire 4 écarts-types au dessus de la moyenne du groupe. L'origine ethnique n'aurait donc plus d'influence chez les meilleurs sauteurs et les sujets les plus puissants pratiquant la même discipline à un haut niveau.

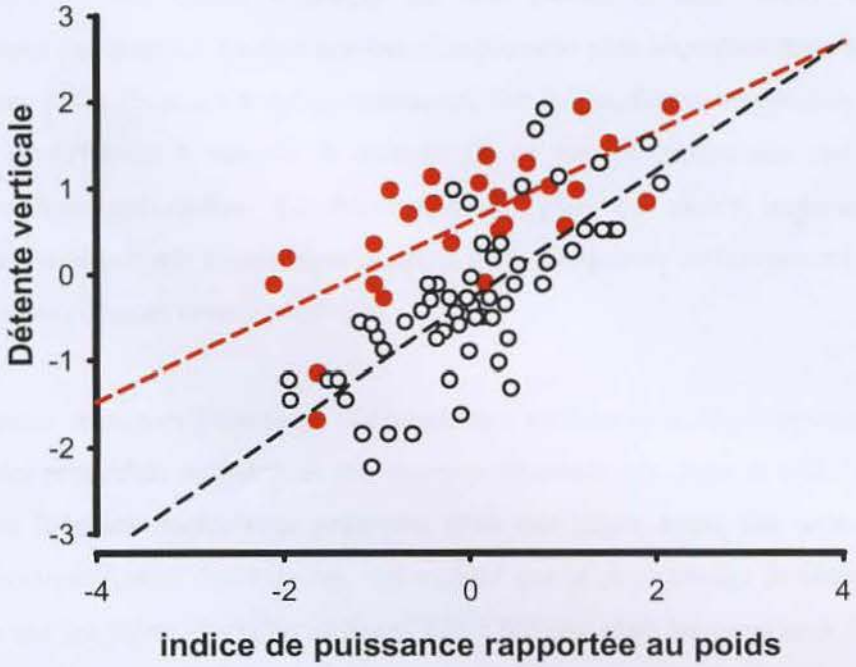


Figure 15bis : mêmes données que celles présentées sur la figure 15 ; les droites de régression des deux groupes ethniques (points rouges pour les sujets d'origines afro-antillaise et cercles vides pour les sujets d'origines européennes) ont été calculées séparément.

Les études américaines comparant la morphologie d'américains blancs et celle des noirs américains originaire d'Afrique de l'ouest ont toutes montré que les afro-américains ont des hanches plus étroites, des cuisses plus larges, des jambes plus longues et des mollets plus légers.

Il est probable que l'importance relative des différents groupes musculaires extenseurs des membres inférieurs diffèrent dans les exercices de sprint sur ergocycle et de saut. Par

exemple, les muscles extenseurs du tronc participent à la production de puissance au cours d'un exercice de détente verticale mais pas au cours d'un exercice de pédalage où leur action est probablement limitée à la fixation du bassin. L'existence de variations ethniques en ce qui concerne les muscles squelettiques est connue depuis longtemps. Ainsi, le muscle pyramidal de l'abdomen est absent chez 18,1 % des français, 10,9 % des noirs africains et seulement 3,6 % des japonais (Marquer 1966). Quant au plantaire grêle, muscle du mollet participant à l'extension du membre inférieur, il serait absent chez 11 % des japonais, 7,4 % des français et seulement 5 % des africains (Marquer 1967). Dans une étude plus récente, il a été observé qu'un faisceau accessoire du muscle biceps brachial est présent chez 20,5 % des noirs et seulement 8,3 % des blancs d'Afrique du Sud (Asvat et coll. 1993). De même, le développement des muscles fessiers semble cliniquement plus important dans les populations noires mais ce point n'a pas, à notre connaissance, fait l'objet d'étude statistique, probablement du fait de la difficulté à mesurer le volume de ce groupe musculaire par les méthodes anthropométriques habituelles. Le développement plus ou moins important ou même l'absence de certains chefs musculaires pourrait donc s'exprimer différemment dans ces deux types d'activités (détente *versus* pédalage).

Des différences ethniques pourraient concerner non seulement le développement musculaire mais aussi les propriétés mécaniques des muscles squelettiques. Ama et coll. (1986), qui ont comparé des biopsies musculaires prélevées chez des sujets ayant des antécédents et des pratiques sportives jugées équivalentes, ont montré que le pourcentage de fibres rapides était plus élevé chez les sujets d'origine africaine (67.5 %) que chez les canadiens français blancs (59 %). Saltin et coll (1995) ont testé les réponses de la créatine-kinase chez des afro-américains après un exercice excentrique. Ils ont trouvé que ces derniers avaient une activité CPK de base supérieure à celle des caucasiens et des réponses particulièrement importante à l'exercice chez 55 % de leurs sujets. Cependant, une proportion plus élevée de fibres rapides chez les noirs devrait améliorer les performances non seulement en détente verticale mais aussi en pédalage.

Cette différence de la relation puissance-détente pourrait en théorie être l'expression d'une inaptitude des sujets d'origine afro-antillaise à pédaler (Black men can't cycle). Cette moindre aptitude au pédalage pourrait alors être due à une moindre pratique du vélo dans l'enfance. Ceci ne semble pas pouvoir expliquer, du moins en totalité, le fait que les sujets d'origine

afro-antillaise sautent plus haut pour une puissance donnée des membres inférieurs. En effet, la même différence est observée pour les relations puissance des membres supérieures/détente ou la relation puissance des extenseurs du genou/détente. Il est, en effet, difficilement concevable que les sujets d'origine européenne aient eu une pratique plus importante des exercices de manivellage ou d'extension du genou sur ergomètre isocinétique dans leur enfance. Les sujets d'origine afro-antillaise ne sont donc pas *a priori* désavantagés dans les exercices de manivellage et d'extension du genou.

L'étude de Fukashiro et coll. (2002) ayant comparé les propriétés visco-élastiques musculo-articulaires et tendino-musculaires chez des sujets d'origine africaine et caucasiennes suggère (différence non significative sur le plan statistique) qu'il pourrait exister des différences inter-ethniques en ce qui concerne la raideur des structures musculo-squelettiques, ce qui justifiait la quatrième étude que nous avons entrepris.

Effets de l'origine ethnique sur les propriétés visco-élastiques

L'étude des propriétés visco-élastiques montrent des effets significatifs sur les indices de raideur musculo-tendineuse (SIMT, *quick release,* figure 12) et de raideur musculo-articulaire (SIMA, test des vibrations imposées, figure 13).

De plus, il existe une corrélation négative significative entre SIMT et la détente verticale : plus SIMT est important, moins la détente verticale est élevée (figure 14). Dans cette étude, comme dans les études précédentes les sujets d'origine afro-antillaise sautent plus haut que ceux d'origine européenne. Si pour un même indice de raideur musculo-tendineuse (SIMT) les sujets d'origine afro-antillaise sautaient 5,9 cm plus haut que leurs homologues d'origine européenne (figure 14), le seuil de signification statistique n'était pas atteint ($P = 0,086$). On devrait donc en déduire :

- que les sujets d'origine afro-antillaise ont, statistiquement, la même détente verticale que ceux d'origine européenne pour une raideur musculo-tendineuse donnée ;
- que la différence de performance au test de détente vertical est expliquée, au moins en partie, par une différence de propriétés visco-élastiques des structures musculo-tendineuses.

Ceci nécessite, cependant, les commentaires suivants :

- la valeur de P ($P = 0,086$) était proche du seuil de signification statistique arbitrairement choisi par convention ($P < 0,05$) ;
- la relation entre SIMT et la détente verticale pourrait donc être différente en fonction de l'origine ethnique ;
- la différence de performance en détente verticale ne serait donc pas uniquement expliquée par une différence de propriétés visco-élastiques ;
- SIMT est une pente ; une valeur basse de SIMT est autant le résultat d'une raideur élevée aux faibles contraintes (faible pourcentage de MVC) que d'une raideur basse au contraintes élevées (pourcentage élevé de MVC) ;

- il n'y a pas de différence inter-ethnique de raideur musculo-tendineuse aux contraintes proches de la force maximale volontaire (les relations %MVC/Raideurs musculo-tendineuse se croisent à 103 % MVC) ;
- par contre, les différences inter-ethniques sont significatives pour les faibles niveaux de contrainte.

Une compliance élevée (une faible raideur) aux niveaux élevés de contrainte favorise le stokage sous forme d'énergie potentielle élastique, ce qui devrait améliorer la détente verticale. L'effet favorable d'une compliance élevée sur la performance d'un saut vertical est, par exemple, suggéré dans l'étude théorique de Bobbert (2001) où un exercice de détente verticale a été simulé pour différentes valeurs de la compliance du triceps sural.

A l'opposé, une compliance tendineuse élevée ralentit la montée de force, ce qui devrait diminuer la hauteur atteinte au cours d'un exercice de détente verticale. Les données expérimentales de l'étude de Bojsen-Moller et Coll. (2005) montrent ainsi que la raideur tendino-aponévrotique du muscle quadriceps est significativement et positivement corrélée avec la valeur de la détente verticale.

Les données de la littérature étant contradictoires, il nous a semblé intéressant de comparer les deux populations en ce qui concerne l'énergie mise en réserve sous forme d'énergie potentielle élastique dans les structures musculo-squelettiques. Nous sommes parti des relations linéaires Raideur/%MVC établie au moyen des tests de *quick release* (figure 12) et de vibrations sinusoïdales imposées (figure 13).

Dans notre protocole expérimental, la raideur correspond à la pente de la relation entre le couple et l'étirement angulaire une variation du couple T (T pour *torque* en anglais) :

$$\text{Raideur} = dT/d\Theta = \Delta T/\Delta\Theta$$

Et la raideur normalisée est égale au quotient de la raideur et du couple maximal isométrique (T_{MVC})

$$\text{Raideur normalisée} = d(T/T_{MVC})/d\Theta = \Delta(T/T_{MVC})/\Delta\Theta$$

où T/T_{MVC} est le couple normalisé correspondent au déplacement angulaire Θ (étirement ou « *stretch* »).

Pour le test de *Quick release*, on peut écrire :

$$\text{Raideur normalisée} = d(T/T_{MVC})/d\Theta = \alpha\, T/T_{MVC} + \beta \quad \text{(Equation 1)}$$

Où α est la pente, égale à SIMT et β l'ordonnée à l'origine.

Pour le test des vibrations sinusoïdales, on peut écrire :

$$\text{Raideur normalisée} == d(T/T_{MVC})/d\Theta = a.T/T_{MVC} + b \quad \text{(Equation 2)}$$

Où a est la pente, égale à SIMA.

La relation entre T/T_{MVC} et Θ dans le quick release test est obtenue par intégration de l'équation 1 :

$$T/T_{MVC} = \beta(e^{\alpha\Theta} - 1)/\alpha \quad \text{(Equation 3)}$$

De la même façon, la même relation entre T/T_{MVC} et Θ dans le test des vibrations sinusoïdales est obtenue par intégration de l'équation 2 :

$$T/T_{MVC} = b(e^{a\Theta} - 1)/a \quad \text{(Equation 4)}$$

Les résultats de ces deux intégrations sont reportés sur la figure 16. On peut constater que le facteur ethnique a des effets opposés sur ces relations : déplacement vers la gauche pour le quick release test (courbe MT) et vers la droite pour le test des vibrations sinusoïdales (courbe MA).

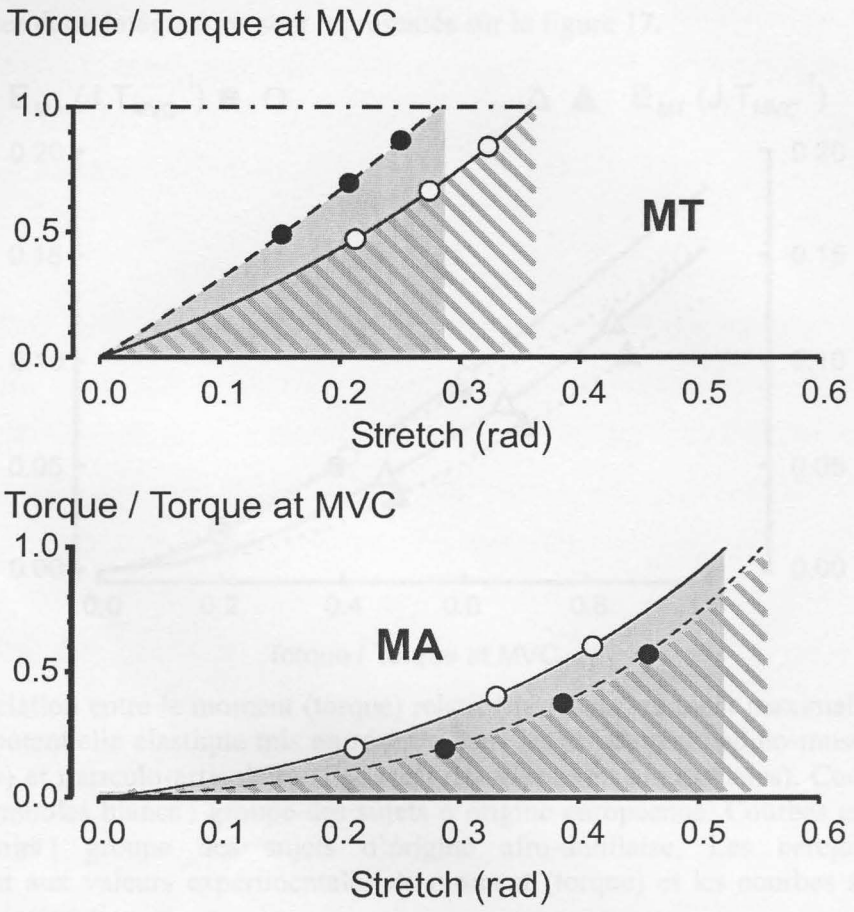


Figure 16 : relation entre l'étirement angulaire (stretch en radian) et le couple relatif (Torque/torque at MVC). Courbes en trait continu et cercles blancs : groupe des sujets d'origine européenne. Courbes en pointillé et points noirs : groupe des sujets d'origine afro-antillaise. Les cercles et points correspondent aux valeurs expérimentales de moment (torque) et les courbes aux relations obtenues par intégration.

Le stokage d'énergie potentielle élastique (E_S) dans les structures musculo-tendineuses peut être obtenu par intégration de l'équation 3.

$$E_{MT} = \beta[e^{\alpha\Theta} - \alpha\Theta - 1]/\alpha^2 \qquad \text{(Eq. 5)}$$

Où E_{MT} est l'énergie potentielle rapportée au moment maximal ($E_{MT} = E_S / T_{MVC}$). De la même façon, le stokage d'énergie potentielle élastique (E_S) dans les structures musculo-articulaires peut être obtenu par intégration de l'équation 4.

$E_{MA} = b[e^{a\Theta} - a\Theta - 1]/ a^2$ (Eq. 6)

Où E_{MA} est l'énergie potentielle rapportée au moment maximal ($E_{MA} = E_S / T_{MVC}$). Les résultats de ces deux intégrations sont représentés sur la figure 17.

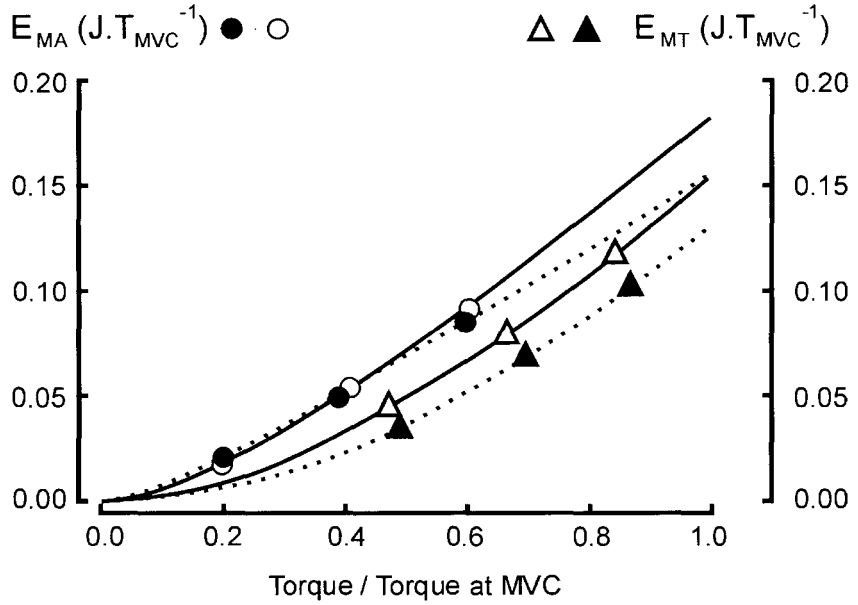


Figure 17 : relation entre le moment (torque) relatif (moment / moment maximal) en abscisse et l'énergie potentielle élastique mis en réserve dans les structures tendino-musculaire (E_{MT}, *quick release*) et musculo-articulaire (E_{MA}, test des vibrations sinusoïdales). Courbes en trait continu et symboles blancs : groupe des sujets d'origine européenne. Courbes en pointillé et symboles noirs : groupe des sujets d'origine afro-antillaise. Les cercles et points correspondent aux valeurs expérimentales de moment (torque) et les courbes aux relations obtenues par intégration.

On peut constater sur la figure 17, que la mise en réserve d'énergie potentielle élastique correspondant au moment maximal (% Torque at MVC) est supérieure chez les sujets d'origine européenne quelle que soit la méthode utilisée (*quick release* ou vibrations sinusoïdales). Or la détente verticale du groupe d'origine afro-antillaise était de 7,1 cm plus élevée que celle du groupe d'origine européenne. Les résultats de cette étude sont donc en contradiction avec les conclusions de la simulation de Bobbert (2001) et en accord avec celle de Bojsen-Moller et coll. (2005) qui montre que la valeur de la détente verticale est significativement et positivement corrélée avec la raideur tendino-aponévrotique du muscle quadriceps. La vitesse de montée de force serait donc essentielle dans la performance d'un exercice de détente verticale.

CONCLUSION

Les résultats des quatre études expérimentales que nous avons réalisées sont en faveur de l'hypothèse d'une aptitude particulière aux exercices de détente verticale chez les sujets d'origine afro-antillaise. En effet, la détente verticale était significativement supérieure chez ces sujets dans chacune de ces études.

La synthèse des trois premières études sous la forme d'une corrélation entre les valeurs centrées réduites de puissance et de détente verticales montrent que l'origine ethnique a un effet significatif sur la relation entre la puissance maximale des membres inférieurs (évaluée par ergométrie isocinétique des extenseurs du genou ou par la puissance maximale sur bicyclette ergométrique) et la détente verticale : les sujets d'origine afro-antillaise sautent plus haut pour une valeur donnée de la puissance des membres inférieurs. Cette différence est de 0,9 écart-type de la détente verticale du groupe étudié. Cependant, cet effet de l'origine ethnique semble peu marqué ou même absent chez les sujets les plus puissants qui ont les meilleures détentes verticales.

Cette différence ne peut probablement pas être expliquée uniquement par des différences socio-culturelles (manque de pratique d'exercice de pédalage pendant l'enfance). En effet, la même différence est observée dans la relation entre détente verticale et l'exercice de manivellage (étude 1 et 3) pour lequel différence socio-culturelle ne semble pas pouvoir être évoquée. Il en est de même pour l'exercice d'extension du genou sur ergomètre isocinétique.

L'étude sur les propriétés visco-élastiques des fléchisseurs plantaires de la cheville montre des différences significatives des indices de raideurs entre les sujets d'origine européenne ou afro-antillaise. Cette différence se caractérise par une raideur supérieure chez les sujets d'origine afro-antillaise. Cette différence pourrait expliquer en partie les meilleures performances dans le test de détente chez les sujets d'origine afro-antillaise. Cette raideur supérieure permettrait une montée de force plus rapide au cours d'une détente verticale, ce qui devrait améliorer la performance dans ce type d'exercice.

Les tests de puissance maximale sur bicyclette ergométrique, de puissance sur ergomètre isocinétique et de détente verticale sont souvent indifféremment proposés comme tests

d'évaluation de la puissance maximale. La série d'études réalisée dans le cadre du projet financé par le MJSVA montre que les résultats de ces tests ne dépendent pas uniquement de la puissance maximale des membres inférieurs mais aussi d'autres facteurs comme l'origine ethnique. L'aptitude au saut, essentielle dans de nombreux sports en particulier collectifs, ne peut être qu'imparfaitement évaluée par des tests réalisés sur ergocycle ou ergomètre isocinétique : l'aptitude au saut d'athlètes d'origine afro-antillaise serait sous-estimée si de tels tests était utilisés. A l'inverse, l'évaluation de la puissance maximale des membres inférieurs par l'intermédiaire d'un test de détente verticale avantagerait l'athlète moyen d'origine afro-antillaise.

BIBLIOGRAPHIE

Ama, F.M., Simoneau, J.A., Boulay, M.R., Serresse, O., Theriaut, G., Bouchard, C. (1986). Skeletal muscle characteristics in sedentary Black and Caucasian males. *Journal of Applied Physiology, 61, 1785-1761.*

Asvat, R., Candler, P., Sarmiento, E.E. (1993). High incidence of the third head of biceps brachii in South African populations. *Journal of Anatomy*, 182, 101-104.

Bobbert, M.F. (2001). Dependence of human squat jump performance on the series elastic compliance of the triceps surae: a simulation study. *Journal of Experimental Biology*, 204, 533-542.

Bojsen-Moller J, Magnusson S.P., Rasmussen L.R., Kjaer M., Aagaard P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol* 99: 986-994, 2005.

Bosch, A., Goslin, B.R., Noakes, T.D. (1990) . Physiological differences between black and white runners during a treadmill marathon. *European Journal of Applied Physiology*, 61, 68-72.

Bouchard, C., Simoneau, J.A., Lortie, G . (1986). Genetics effects in human skeletal muscle fibre type distribution and enzyme activities. *Canadian journal of Physiology and Pharmacology,* 64, 1245-1251.

Burfoot, A.(1992). White men can't run. Runner's world, August 1992, 89-95.

Chambon, D. (1999). Intérêt de la détermination de la relation charge-vitesse sur ergocycle avec les membres supérieurs chez les nageurs de haut niveau .Mémoire de D.E.A. de physiologie et biomécanique de la performance motrice. Université Paris 5, 6, 11 et Lille 2.

Di Pamprero, P.E., Ceretelli, P. (1969). Maximal muscular power (aerobic and anaerobic) in African natives. *Ergonomics*, 12, 51-59.

Driss, T. (1999). Etude de la puissance maximale anaérobie chez l'homme. Thèse de doctorat de Physiologie et Biomécanique de la Performance Motrice .Université Paris 6.

Driss, T., Vandewalle, H ., Monod, H. (1998). Maximal power and force-velocity relationship during cycling and cranking exercices in volleyball players. *Journal of Sport Medicine and Physical Fitness, 38, 286-293.*

Driss, T., Vandewalle, H ., Quievre, J., Miller, C., Monod, H. (2001). Effects of external loading on power output in a squat jump on a force platform: A comparison between strength and power athletes and sedentary individuals. *Journal of Sport Sciences*, 19, 99-105.

Driss, T., Badour, Y., Vandewalle, H., Jeannette, B., Le Pellec-Muller, A., & Monod, H. (2004). Vertical jump and maximal power of the upper and lower limbs in subjects from different ethnic origins. 9th ECSS Congress, Clermont-Ferrand, France

Driss, T., Lambertz, D., Vandewalle, H., Badour, Y., Goubel, F. (2006). Viscous-elastic properties of plantar flexor muscles in white caucasian vs. black athletes with west African origin *: a preliminary study. 11th ECSS Congress, Lausanne, Switzerland*

Fukashiro, S., Abe, T., Shibayama ,A., Brechue, W.F. (2002). Comparison of viscoelastic characteristics in triceps surae between black and white athletes. *Acta Physiologica Scandinavica,* 3, 183-187.

Ghesquiere J., Eeckels R. (1984) Health, physical development, and fitness of primary school children in Kinshasa. In *"Children and Sport, paediatric work physiology"*, edited by J. Ilmarinen and I. Välimäki, Berlin: Springer Verlag, p 20-30.

Marquer, P. (1967). Morphologie des races humaines .*Collection Armand Colin* N° 395 Armand colin, Paris.

Mills M, Yang N, Weinberger R, Vander Woude DL, Beggs AH, Easteal S, and North K. Differential expression of the actin-binding proteins, alpha-actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy. *Hum Mol Genet 10: 1335–1346, 2001.*

Pérès, G., Vandewalle, H ., Monod, H. (1981). Aspect particulier de la relation charge-vitesse lors du pédalage sur cyclo-ergomètre, *Journal de Physiologie* (Paris), 77, 10.

Rahmani A, Locatelli E, Lacour JR. Differences in morphology and force/velocity relationship between Senegalese and Italian sprinters. *European Journal of Applied Physiology, 2004, 91:399-405.*

Saltin, B., Kim, C.K., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J., Rolf, C.J.(1995). Morphology, enzyme activites and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science Sports*, 5, 222-230.

Schwane, J.A., Buckley, R.T., Dipaolo, D.P., Atkinspn, M.A.L ., Sheperd, J.R. (2000). Piasma creatine kinase responses of 18 to 30-year-old Africain-Americain men to eccentric exercice. *Medicine and Science in Sport and Exercice*, 32, 370-378.

Seck, J. (1996). Détermination de la relation moment-vitesse et de la puissance maximale sur ergocycle au moyen d'un système informatisé. Thèse de Doctorat de Physiologie et Biomécanique de la Performance motrice. Université Paris 6

Vandewalle, H. (1986). Puissance maximale anaérobie et relation « force-vitesse » sur bicyclette ergométrique. Thèse de troisième cycle de biomécanique et physiologie du mouvement. Université de Paris 11.

Vandewalle, H., Pérès, G., Monod, H. (1983). Relation force-vitesse lors d'exercices cycliques réalisés avec les membres supérieurs. *Motricité Humaine*, 2, 22-25.

Vandewalle, H ., Pérès, G., Heller, J., Monod, H. (1985). All-out anaerobic capacity test on a cycle ergometres. A comparative study on men and women. *European Journal of Applied Physiology, 54, 222-9.*

Vandewalle, H., Heller, J., Pérès, G., Ravneneau, S., Monod, H. (1987a). Etude comparative entre le wingate test et un test de force- vitesse sur ergocycle. *Science et Sport*, 2, 279-284.

Vandewalle, H., Pérès, G., Heller, J., Panel, J., Monod, H. (1987b). Force-velocity relationship and maximal power on cycle ergometer - correlation with a vertical jump. *European Journal of Applied Physiology*, 56, 650-656.

Vandewalle, H., Friemel, F. (1989).Tests d'évaluation de la puissance maximale des métabolismes aérobie et anaérobie. *Science et Sports*, 4, 265-279.