

MULHOUSE LE 03 OCTOBRE 2011

RAPPORT D'ETUDE

**Estimation de l'apport d'enductions d'oxydes déposées sur
des textiles sur la performance sportive**

Ichrak LAKDHAR Chargé d'affaire	Fabrice LAURENT Chef de projet	Philippe GUERLAIN Responsable scientifique

Version	Date	Modifications
initiale	03 Octobre 2011	

SOMMAIRE

CHAPITRE I : TEST D'EFFORT ET MATERIELS

1- Introduction	page 4
2- Tests et méthodes	page 4
2-1 Diagramme d'Ishikawa	page 4
2-1-1 Effet Placebo	page 6
2-1-2 Essai double aveugle	page 7
2-2 Test d'effort	page 7
2-2-1 Principe	page 7
2-2-2 Objectifs	page 8
2-2-3 Préparation	page 8
2-2-4 Protocole	page 10
2-2-5 Interprétation des courbes types	page 11
2-3 Capillaroscopie	page 15
2-3-1 Principe	page 15
2-3-2 Objectifs	page 15
2-3-3 Déroulement des essais	page 15
3- Matériels	page 16
3-1 Balance	page 16
3-2 Tensiomètre	page 17
3-3 Electrocardiogramme au repos	page 18
3-4 Vélo ergomètre	page 19
3-5 Electrocardiogramme d'effort	page 19
3-6 Appareil de mesure des lactates	page 20
4- Tests statistiques	page 21
4-1 Test de confirmité à une loi normale	page 21
4-2 Test paramétrique de comparaison de 2 moyennes appariées	page 22
4-3 Test paramétrique de comparaison entre deux variances	page 23

CHAPITRE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1- Test d'effort	page 26
1-1 Résultats	page 26
1-1-1 Volume maximal d'oxygène consommé VO ₂ max	page 28
1-1-2 VO ₂ max / Fréquence cardiaque	page 29
1-1-3 Consommation totale d'oxygène durant le test	page 30
1-1-4 Concentration en lactates dans le sang à 2' de récup.	page 33
1-1-5 Concentration maximale des lactates dans le sang rapportée à la PMT.	page 34
1-2 Interprétations	page 36
1-3 Résultat du test de capillaroscopie	page 36
1-4 Interprétation	page 36

CHAPITRE III : CONCLUSIONS

page 37

CHAPITRE I :

TEST D'EFFORT ET MATERIEL D'ESSAI

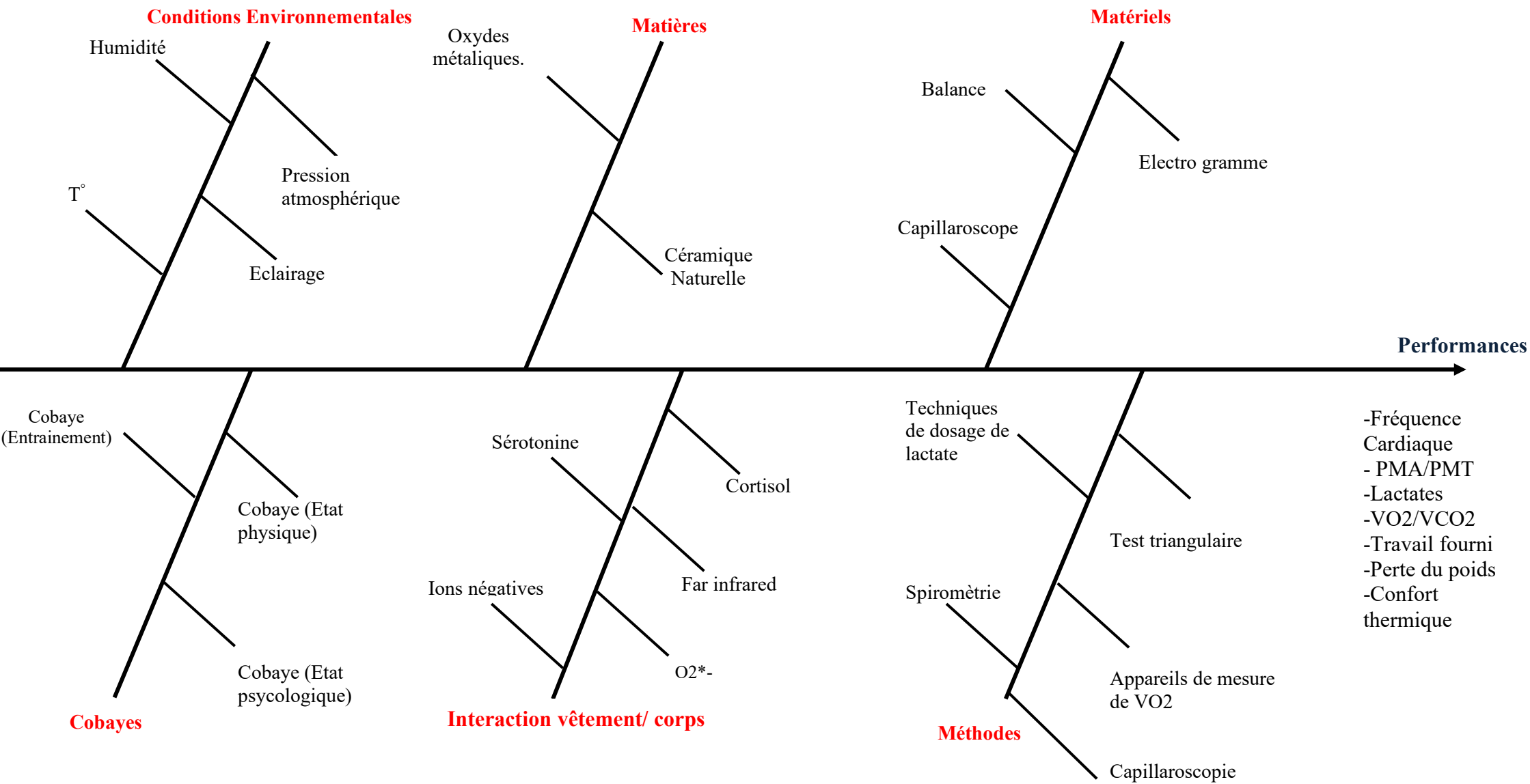
1. Introduction

Afin d'évaluer l'influence des vêtements revêtus par des oxydes sur les performances des athlètes lors de la pratique sportive, on a eu recours à une étude scientifique comprenant des mesures qualitatives, des mesures quantitatives ainsi qu'un traitement statistique des données qui permettent d'évaluer l'influence du port de cette nouvelle gamme de vêtements sur la performance des sportifs. Le test est limité à un unique modèle de tenue (haut et bas) qui a été fourni par l'entreprise KOAR BIO Performance en 2 variantes que nous appellerons « placebo » ou « actif » indiscernable ni visuellement ni au toucher.

2. Tests et Méthodes :

2.1. Diagramme d'ISHIKAWA (Diagramme cause-effet) :

Une étude préalable d'identification des facteurs à prendre en compte pour les tests nous a menée à l'élaboration d'un diagramme d'Ishikawa (Diagramme d'arrêtes de poisson) :



Pour minimiser les perturbations de l'environnement (Matériel, Méthode, Main d'œuvre, matière, Milieu) sur les mesures, on a essayé de contrôler le maximum de paramètres en :

- **Conditions environnementales** : tous les tests d'effort sont réalisés dans le même laboratoire conditionné dont les paramètres de température (entre 23°C et 25°C) et de l'humidité (entre 65% et 78%) et d'hygrométrie (entre 730 mmHg et 739 mmHg) sont relativement stables.
- **Influence des opérateurs** : toujours les mêmes opérateurs qui travaillent en double aveugle (médecins et patients ignorent le type de maillot testé).
- **Influence du facteur humain** : Réalisation de tests appariés (chaque patient teste la tenue active et la tenue placebo sans pouvoir les distinguer).
- **Influence de l'entraînement sportif** : en choisissant un échantillon assez représentatif, reproductible et homogène de 15 sportifs, qui sont des pratiquants réguliers de la course à pied de niveau proche qui sont licenciés un même club sportif (Altkirch Athlé Sundgau), pour faire le test d'effort.
- **Influence des matériels utilisés** : les matériels utilisés sont vérifiés et/ou étalonnés préalablement à chaque test.
- **Interprétation des résultats** : l'expertise du même médecin du sport pour encadrer et préparer les athlètes durant tout le test et surtout pour interpréter les résultats toujours selon la même technique.
- **Effet d'entraînement au vélo de test** : Tirage aléatoire désignant la tenue testée lors du premier et du deuxième test sans remise pour avoir un nombre de équivalent de tenues placebo et de tenue active lors du premier essai.

2.1.1. Effet Placebo :

Il y a toujours une difficulté qui se présente, propre aux expérimentations humaines. Lorsqu'un individu sait l'effet positif attendu de la tenue (amélioration des performances), même si la tenue est inefficace, il peut se sentir plus en forme et devient capable de fournir une meilleure performance.

Ce phénomène psychologique est connu par l'effet « PLACEBO ». On ne peut pas faire disparaître cet effet, cependant, on peut essayer de le réduire afin qu'il soit comparable d'un essai à un autre. C'est pourquoi chaque sportif a successivement revêtu, en aveugle,

une « fausse » tenue, revêtue de la même manière qu'une tenue active mais pas avec les véritables produits, et une tenue dite « active », lors du premier ou du second test en fonction d'un tirage aléatoire préalable au démarrage des expérimentations.

2.1.2. Essai en double aveugle

L'autre biais pouvant se produire dans notre étude provient du médecin. Il y a un grand risque, soit de façon délibérée, soit en entourant même inconsciemment de plus de sollicitude les individus du groupe, améliorer leur performances. La procédure d'expérimentation en double aveugle consiste à cacher les tenues actifs et placebo non seulement au patient, mais aussi au médecin. Seuls les statisticiens les connaissent. La levée de voile n'est faite qu'après le traitement statistique.

Dans ce cadre, une démarche scientifique basée sur un test d'effort triangulaire sur vélo, plutôt que sur tapis roulant, a été retenue car plus facile à appréhender pour des novices et plus stable quant aux données obtenues. L'étude a été menée sur un panel de 15 sportifs entraînés et dont le protocole et les variables d'essai seront expliqués dans la suite.

On a également ajouté une évaluation qualitative des ressentis, tel que le confort global lors du port de la tenue, les impressions des cobayes au cours du test...

Des mesures par capillaroscopie sur deux personnes (avec et sans la tenue) ont été entreprises afin d'évaluer l'aspect des capillaires au niveau de la peau et d'avoir une idée sur la circulation sanguine cutanée.

2.2. Test d'effort :

2.2.1. Principe :

Le principe du test d'effort consiste à accroître le travail du cœur, des poumons et des muscles du sportif, par un effort réalisé sur une bicyclette, un tapis roulant ou un autre ergomètre spécifique. L'activité du cœur est enregistrée en permanence par un électrocardiogramme et la respiration par l'intermédiaire d'un masque facial muni de divers capteurs. Cette surveillance se prolonge quelques minutes après l'effort.

Le test d'effort nécessite la pose d'électrodes autocollantes ou d'électrodes maintenues par une aspiration (comme des ventouses), après rasage du thorax si nécessaire.

Lors de ce test on pratique, à intervalles réguliers définis dans le protocole, des dosages sanguins à partir d'une goutte de sang prélevée au bout du doigt.

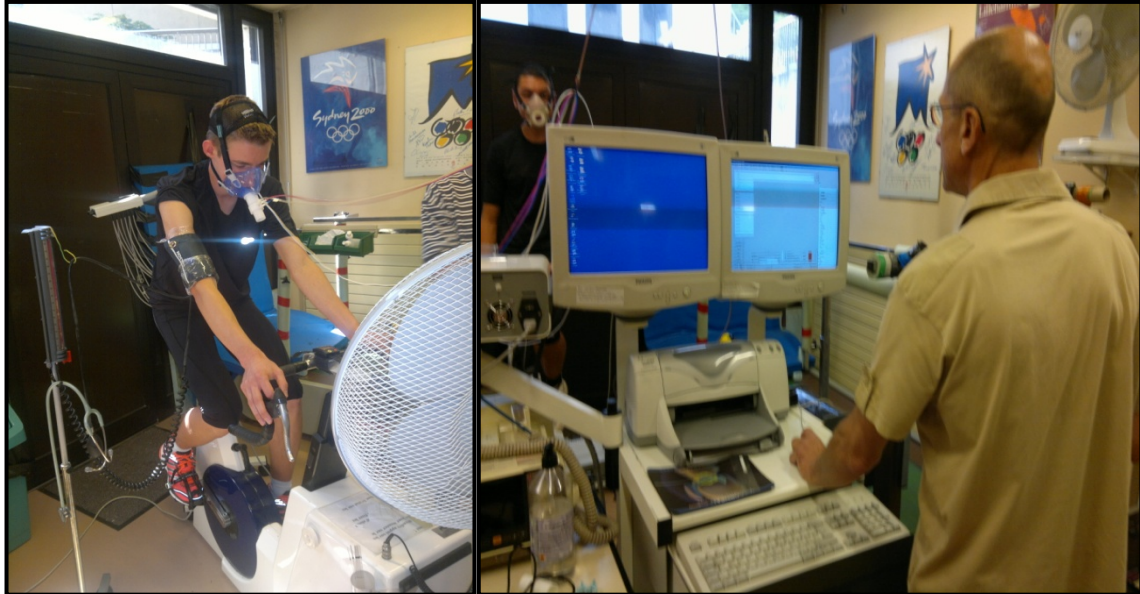


Figure 1. Essai d'effort triangulaire sur vélo

2.2.2. Objectifs :

Typiquement ces tests ont pour objet de déterminer plusieurs paramètres tels que :

- Le volume d'oxygène consommé en ml/min, (VO_2)
- La puissance aérobie maximale en watt, (PMA)
- La puissance maximale atteinte en watt, (PMT)
- Travail total fourni pendant l'effort en Joule, (intégrale sous la courbe de puissance)
- Fréquence cardiaque maximale et pendant l'effort en pulsation/min (FC)
- Concentration de lactates dans le sang en mMole/L, [Lactates].
- Pesée avant et après le test en kilogrammes.

2.2.3. Préparation :

L'examen complet comprend :

- la visite médicale préalable au test,

- La mesure de la taille et du poids,
- l'électrocardiogramme de repos,
- Tension artérielle au repos,
- Mesure de la matière grasse,
- le test lui-même,
- Un petit questionnaire qualitatif qui suit le test,
- le compte rendu commenté des résultats (tout à la fin, après les 2 tests et sans savoir quel vêtement était actif),



Figure 2. Examen complet avant le test d'effort

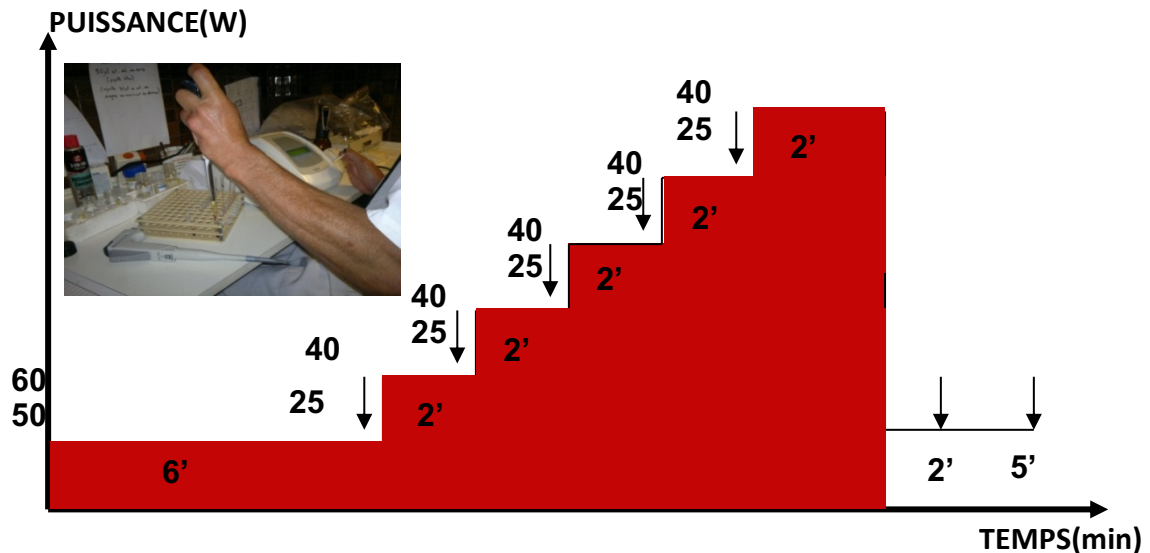
Afin que les tests se déroulent dans les meilleures conditions, nous avons demandé aux sportifs de se présenter dans le même état physique et psychique que lors d'une compétition...

C'est à dire :

- Etre exempts de toute maladie.
- Etre reposés (absence d'effort intensif la veille).

- Avoir absorbé une ration calorique suffisante en respectant la règle des 3 heures (donc ils ne sont pas à jeun et la digestion est terminée).
- Etre bien hydratés.

2.2.4. Protocole :



séries de jetons numérotés de 1 à 15 de deux couleurs différentes. Par exemple, jaune pour les tenues actives et bleu pour les tenues placebo.

Le test commence par un échauffement de 6 min (à 60 Watt pour les hommes et 50 Watt pour les femmes). Un ventilateur situé devant le sportif est mis en marche après 2 mn d'échauffement. Puis, la charge imposée augmente toutes les 2 min jusqu'au maximum toléré par le sportif (incrément de 40 Watt pour les hommes et de 25 Watts pour les femmes). Enfin, le test finit par une récupération active (pédalage lent sans effort) de 2 minutes suivie de 3 minutes de récupération passive (arrêt du pédalage).

Des prélèvements sanguins par micro-méthode sont faits au bout du doigt (comme le contrôle de la glycémie qu'effectuent les diabétiques) à la fin de chaque palier et à la 2^{ème} et 5^{ème} minute de récupération.

Un questionnaire qualitatif dont l'objectif est d'évaluer le bien-être du vêtement et d'obtenir les premières impressions du sportif après l'effort suit le test. Ce questionnaire est présenté en annexe 1.

2.2.5 Interprétation des courbes types.

Un nombre très important de paramètres est mesuré en cycle par cycle (c'est-à-dire à chaque respiration) durant toute la durée du test par l'ergospiromètre. Les 4 courbes ci-dessous représentent l'évolution durant le test en fonction du temps (exprimé en min) de 4 paramètres majeurs :

- la consommation d'oxygène (courbe violette) exprimée en L/min :
- la production de CO₂ (courbe bleue) exprimée en L/min,
- la ventilation (courbes verte) exprimée en L/min
- la fréquence cardiaque (courbe rouge) exprimée en pulsation/min,

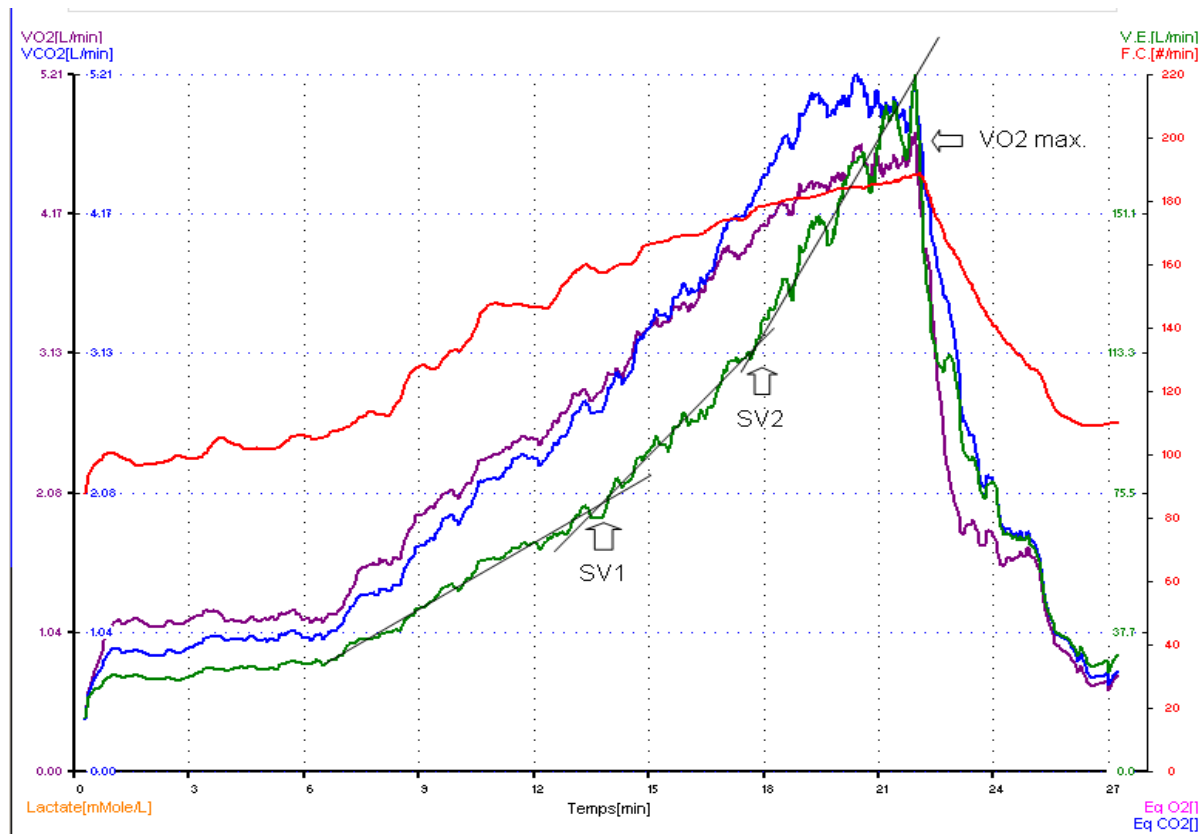


Figure 4. Résultats de l'électrocardiogramme et spirométrie.

On remarque 3 zones et 2 seuils:

Zone aérobie (1): Le système aérobie intervient seul. Il n'y a pas de production de lactates. Le CO₂ produit provient exclusivement du métabolisme aérobie et non du tamponnement de l'acidose par les ions HCO₃⁻.

Zone de transition « anaérobie alactique » (2) : Début d'intervention du système anaérobie lactique avec production d'acide lactique partir du seuil ventilatoire1 (SV1).

Une partie du rejet de CO₂ (VCO₂) provient du tamponnement de l'acidose par les ions HCO₃⁻ ($H^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2O + CO_2$). Cette augmentation du VCO₂ s'accompagne d'une augmentation du débit ventilatoire (VE). Le rejet de CO₂ augmente plus vite que la consommation d'O₂ d'où l'augmentation du quotient respiratoire $QR = VCO_2 / VO_2$

Zone anaérobie (3): On constate une 2ème augmentation de la ventilation à partir du seuil ventilatoire 2 (SV2), L'hyperventilation ne peut plus compenser l'acidose provoquée par la production majorée d'acide lactique.

Les paramètres les plus significatifs qui ont retenus l'attention du médecin sont les suivants :

- **VO₂max** : c'est le volume d'oxygène maximal consommé durant l'effort.
- **SV1 et SV2** : ce sont les seuils ventilatoires.
- **PMA** : c'est la puissance aérobie maximale qui correspond à la puissance pour laquelle la consommation d'oxygène est maximale (VO2 max). Elle traduit la fin de la phase d'endurance et le début de la phase de résistance proprement dite.
- **PMT** : c'est la puissance à la fin d'effort qui correspond à la puissance finale atteinte par le sportif.

Un paramètre complémentaire important a été régulièrement évalué durant les tests. Il s'agit du lactate qui est un bon indicateur du travail anaérobie.

La courbe orangée sur le graphe ci-après représente l'évolution de la concentration des lactates dans le sang exprimée en mMole/L en fonction du temps (exprimé en minutes).

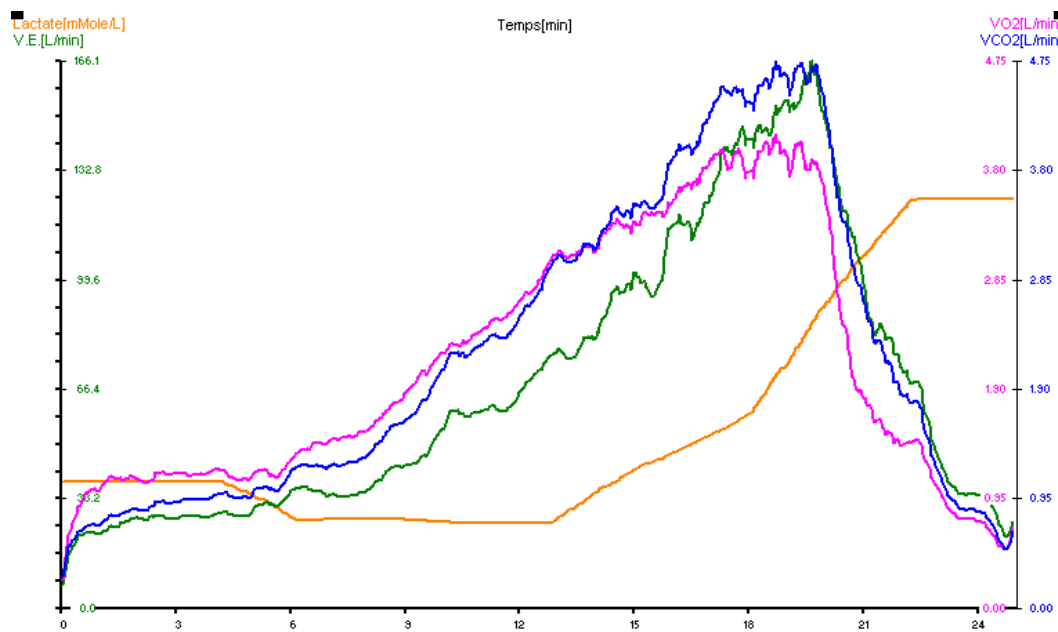


Figure 5. Exemple de résultats des mesures de fréquence cardiaque, de spirométrie et de lactatémie obtenu pour un des sportifs de l'échantillon.

La cinétique de l'évolution de la production des lactates dans le sang permet également la détermination de 2 seuils dits « lactiques ». Il est important de se souvenir que les lactates mesurés à l'extrémité du doigt répondent à une demande de l'organisme pour maintenir l'effort du sportif. Leur production et leur acheminement dans l'organisme nécessitent un temps non négligeable dont la valeur communément admise est sensiblement constante. Ce délai est nettement visible via le décalage apparent des courbes sur le graphe ci-dessus et explique la poursuite de la mesure de ce paramètre durant la période de récupération.

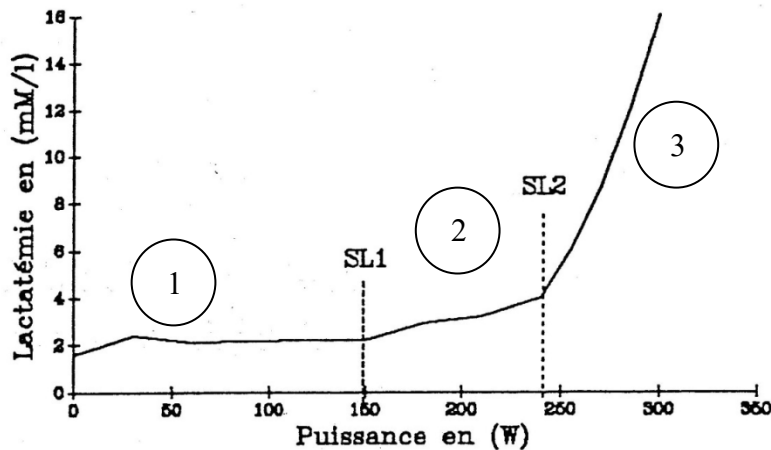


Figure 6. Evolution de la concentration des lactates dans le sang en fonction de la puissance imposée au sportif.

On remarque à nouveau la présence de trois zones distinctes dans la courbe ci-dessus d'où la présence de trois systèmes de fourniture de l'énergie :

- **Zone aérobie (1)**: le métabolisme prépondérant est le métabolisme oxydatif (consommation d'oxygène pour produire l'énergie), le muscle produit du lactate mais celui-ci est réutilisé comme substrat énergétique. Ainsi, la concentration de lactates augmente pas ou très peu.
- **Zone de transition « anaérobie alactique » (2)**: Le seuil lactique 1 (SL1) correspond à la première augmentation de lactatémie et traduit le début de l'intervention de la filière anaérobie lactique. La concentration en lactates se stabilise si l'effort se prolonge (cinétique de production = cinétique d'élimination).
- **Zone anaérobie lactique (3)**: Le seuil lactique SL2 est le deuxième changement de pente de la courbe de la lactatémie, A partir du SL2, l'acide lactique produit n'est plus métabolisé

(cinétique de production > à la cinétique d'élimination) et il s'accumule au fur et à mesure que l'effort se prolonge. Le pH s'abaisse de plus en plus.

2.3. Capillaroscopie :

Cet examen, complémentaire à l'étude sur ergocycle, a pour objectif d'évaluer une éventuelle dilation ou contraction des capillaires sanguins lors du port du vêtement actif. Une telle dilatation ou contraction pouvant éventuellement modifier l'apport d'oxygène au muscle durant l'effort ou aider à la dissipation thermique du corps.

2.3.1. Principe :

La capillaroscopie est un examen, effectué par un spécialiste de la médecine vasculaire, qui consiste à observer la peau du rebord de l'ongle à l'aide d'un microscope et d'une source de lumière contrôlée.

2.3.2. Objectifs :

Cet examen, pratiqué en milieu hospitalier vise à quantifier précisément la dilation ou la contraction éventuelles des capillaires sanguins lors du port de la tenue active. Il s'agit dans le cadre de notre étude d'avoir une indication du comportement du système sanguin qui est susceptible d'influer sur le niveau de performance final des sportifs lors des tests sur ergocycle. Seuls 2 volontaires ont été examinés dans la mesure où il ne s'agit que d'une aide à l'analyse des résultats finaux sur ergocycle.

2.3.3. Déroulement des essais :

C'est un test assez relativement simple, rapide et non douloureux.

- Le patient s'assoit.
- Le médecin nettoie l'un des ongles avec une solution antiseptique.
- Il dépose une goutte d'huile sur l'ongle.
- Il place l'ongle sous une plaque lumineuse.
- Il examine l'ongle sous un microscope appelé capillaroscope contenant un système intégré de mesure de diamètre des capillaires.
- Il effectue des photographies.



Figure 7. Test de capillaroscopie

Remarque :

Ce test est également effectué en double aveugle : ni le médecin, ni les deux sportifs n'étaient au courant de la tenue qui était portée.

L'un des sportifs portait la tenue active au premier essai, l'autre la portait lors du deuxième essai.

3. Matériels :

3.1. Balance SECA:

On a utilisé une balance mécanique de type SECA à colonne et large plate-forme de grande capacité, pour la pesée de sportifs. La lecture du poids se fait à hauteur des yeux grâce à la butée de la traverse mobile. Cette balance nous a permis d'évaluer une mesure différentielle précise du poids avant/après chaque test (avec une erreur de lecture estimée entre 100 et 200g)

Elle nous permet d'obtenir des mesures précises du poids et détermination rapide du poids grâce à la butée de la traverse mobile.



Figure 8. Balance mécanique SECA

3.2. Tensiomètre :

Deux types de tensiomètres ont été utilisés:

- *Un tensiomètre au repos* : Il s'agit d'un tensiomètre utilisé pour mesurer la tension des sportifs avant d'entamer le test d'effort.



Figure 9. Tensiomètre au repos

- *Un tensiomètre durant le test d'effort* : Il s'agit d'un tensiomètre métallique à colonne à mercure sur pied qui sert à mesurer la tension artérielle diastolique et systolique des sportifs au cours de l'effort (à la fin de chaque palier et pendant la récupération).



Figure 10. Tensiomètre métallique à coulonne à mercure sur pied

3.3. Electrocardiographe au repos(ECG):NIHON KOHDEN 1350 NF :

C'est un appareil qui permet l'enregistrement de l'activité électrique du cœur (l'électrocardiogramme) et sa transcription sur papier. Il a pour but de vérifier l'activité cardiaque et de détecter d'éventuelles anomalies cardiaques au repos.

L'électrocardiographe utilisé est du type : NIHON KOHDEN 1350 NF (c.f annexe2).



Figure 11. Electrocardiographe de type NIHON KOHDEN 1350 NF

3.4. Excalibur Sport avec PFM (Pedal Force Measurement):

Ce dispositif est l'élément central de notre étude. Il est constitué de deux parties:

- WLP : Le programmeur de chargement du travail.
- Le vélo ergomètre.

Le programmeur de chargement du travail (WLP: the Work Load Programmer) est constitué :

- D'un écran LCD.
- D'un panneau de contrôle.
- De ports de connections.

L'ergomètre est un vélo (Excalibur Sport de Lode) équipé d'un système de mesure de force de pédalage (PFM : Pedal Force Measurement) habituellement utilisé pour les tests de cyclisme professionnel (c.f. annexe 3).



Figure 12. Vélo ergomètre: Excalibur Sport de LODE

3.5. Electrocardiographe d'effort: ERGOCARD Stress ECG System de SCHILLER:

Durant le test d'effort, la mécanique ventilatoire, les échanges gazeux, la fonction cardio-circulatoire, etc... du sportif sont mesurés à l'aide d'un système d'ergospirométrie ERGOCARD Stress ECG System de SCHILLER. (c.f. annexe4)



Figure 5. Electrocardiographe d'effort cardio-pulmonaire: ERGOCARD

3.6. Appareil de mesure des lactates: MICROZYM de BioSentec :

Afin de mesurer la concentration des lactates dans le sang durant l'effort et pendant la récupération, le médecin a utilisé un analyseur de type MICROZYM de BioSentec. Il s'agit d'un biocapteur enzymatique pour la mesure du L-Lactates (Lactatémie) (c.f. Annexe 5)



Figure 6. Biocapteur enzymatique pour la mesure de LACTATEMIE

4. Tests Statistiques :

L'expérimentation a permis d'obtenir une grande quantité de données appariées selon le sportif.

Une première analyse visuelle de ces données grâce à une représentation graphique a permis de mettre en évidence les paramètres les plus fluctuants.

Une vérification de conformité à la loi normale gaussienne a ensuite été effectuée pour chaque série de données de ces paramètres a priori intéressants.

Des tests d'hypothèses ont ensuite été menés afin de comparer la position centrale (la moyenne) ainsi que la dispersion (la variance) des séries de données appariées observées :

- Vêtement actif vs. placebo pour évaluer un effet possible de la tenue.
- Test 1 vs. 2 pour évaluer un effet d'apprentissage possible entre les deux tests.

Ces tests permettent de rejeter ou non une hypothèse (H_0) sur la base d'un risque accepté de se tromper en rejetant l'hypothèse. Ce risque accepté permet de prendre en compte les fluctuations liées à l'échantillonnage. Si l'hypothèse n'est pas rejetée, elle n'est pas acceptée pour autant. Le rejet d'une hypothèse H_0 : « actif=placebo » avec un risque α permet donc de montrer qu'aux fluctuations d'échantillonnage près, on prend un risque α de se tromper en affirmant que actif n'est pas égal à placebo. Si H_0 n'est pas rejetée, on ne peut pas prétendre pour autant que actif est égal à placebo : il est possible que l'échantillonnage ait posé problème ou qu'une autre raison ait entraîné le non rejet.

4.1 Test de conformité à une loi normale :

Le test de SHAPIRO-WILK est l'un des tests disponibles pour vérifier la conformité de la distribution expérimentale observée avec la loi normale. Cette vérification est un préalable à l'utilisation des tests paramétriques qui suivent dans ce rapport.

Ce test concerne l'hypothèse H_0 : 'La distribution suit une loi normale'.

La mise en application du test nécessite le calcul de la variable aléatoire W selon la formule suivante:

$$W = \frac{B^2}{(n-1)S^2}$$

Avec :

S^2 = Variance de l'échantillon.

B est calculé à partir des données de l'échantillon comme suit :

Calcul de B :

1- Ordonner les valeurs telles que $y_1 < y_2 < y_3 < \dots < y_n$

2-Calcul de $B = a_1(y_n - y_1) + a_2(y_{n-1} - y_2) + \dots + a_k(y_{k+1} - y_k)$

1-Si n est pair, $k = n/2$

Si n est impair, $k = (n-1)/2$ (on oublie la valeur médiane)

2-Les coefficients a_i sont obtenus dans une table spécifique (c.f. annexe6)

Décision :

La valeur calculée de la variable aléatoire W est comparée avec la valeur W_{luc} dans la table de Shapiro-Wilk au risque α de se tromper (c.f. annexe7). Si $W < W_{luc}$ alors H_0 est rejetée au risque α de se tromper. Attention, si $W > W_{luc}$ l'hypothèse H_0 n'est pas rejetée mais pas non plus confirmée.

4.2 Test paramétrique de comparaison de deux moyennes appariées:

Dans notre cas, il s'agit de comparer les moyennes μ_1 et μ_2 de 2 échantillons de petite taille (<30 individus) qui sont appariés selon les individus et qui suivent la loi normale gaussienne.

L'hypothèse de travail est $H_0 = \langle \mu_1 = \mu_2 \rangle$ aux fluctuations d'échantillonnage près.

- Une nouvelle série de données est créée comme étant la différence entre les deux séries appariées étudiées (calculée individu par individu). Le nombre de point (n), la moyenne (\bar{D}) et la variance (S_d) de cette nouvelle série de données permettent de calculer une variable aléatoire t_c

$$t_c = \frac{\bar{D} - 0}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

- La différence entre les deux séries peut être indifféremment à l'avantage de l'une ou de l'autre. Cela signifie que les tenues testées ont potentiellement un effet bénéfique ou délétère. La variable aléatoire t_c peut donc être positive ou négative et le test doit alors être bilatéral.

Décision :

La valeur de la variable aléatoire t_c est comparée à la valeur $t_{\alpha; n-1}$ à (n-1) degrés de liberté lue dans la table bilatérale de student au risque α de se tromper :

- Si t_c appartient à l'intervalle] - $t_{\alpha; n-1}$; $t_{\alpha; n-1}$ [, l'hypothèse H_0 ne peut pas être rejetée au risque α de se tromper
- Si t_c n'appartient pas à l'intervalle] - $t_{\alpha; n-1}$; $t_{\alpha; n-1}$ [, l'hypothèse H_0 est rejetée au risque α de se tromper

La table de la loi de Student bilatérale utilisée est présentée en annexe 8.

4.3 Test paramétrique de comparaison entre deux variances appariées :

Dans notre cas, il s'agit de comparer les variances σ_1^2 et σ_2^2 de 2 populations à l'aide de 2 échantillons de petite taille (<30 individus) qui sont appariés selon les individus et qui suivent la loi normale gaussienne.

L'hypothèse de travail du test est $H_0 = \langle \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \rangle$ aux fluctuations d'échantillonnage.

Les échantillons nous permettent d'évaluer s_1 et s_2 qui sont les estimations ponctuelles des variances σ_1^2 et σ_2^2 . Ces estimations ponctuelles sont utilisées pour calculer une nouvelle variable aléatoire F telle que :

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \geq 1$$

Si nécessaire, s_1 et s_2 sont permutés afin d'obtenir une valeur de $F \geq 1$.

Décision :

La valeur de la variable aléatoire F est comparée à la valeur $F_{\alpha; n_1-1; n_2-1}$ à $(n_1-1$ et $n_2-1)$ degrés de liberté lue dans la table de Snedecor (c.f. annexe 9) au risque α de se tromper :

- Si $F < F_{\alpha; n_1-1; n_2-1}$ H_0 ne peut pas être rejetée
- Si $F \geq F_{\alpha; n_1-1; n_2-1}$ H_0 est rejetée au risque α de se tromper.

CHAPITRE II

Résultats et interprétations

1. Test d'effort

1.1. Résultats

Les données recueillies lors des différents tests d'effort sont analysées et traitées d'un point de vue statistique avec l'aide du médecin du sport en vue d'en dégager les interprétations et les conclusions possibles.

Les données obtenues pour un sportif ont été éliminées du traitement compte tenu que ce dernier suivait un traitement médical agissant sur son rythme cardiaque. De ce fait, seules les données relatives à 14 sportifs ont été traitées.

Un grand nombre de paramètres sont issus des tests :

VO2 MAX en ml/mn

VO2 MAX en ml/kg/mn

PMA absolue en Watts

PMA ab / VO2 max

PMA relative en W/kg

PMT absolue en Watts

PMT relative en W/kg

Temps de maintien TOTAL (s)

Temps de maintien de la PMT(s)

Travail total en J/kg

Travail Total en J

FC à la PMA en puls/mn

Pouls d'O2 à la PMA (VO2/FC)

SL1 en W

FC du SL1 en puls/mn

SL1 en % de la FC max

SV1 en W

FC du SV1 en puls/mn

VO2 SV1 ml/mn

SV1 en % de la PMA

SV1 en % de la FC max

SV1 en % de la VO2 max

SV2 en W

FC du SV2 en puls/mn

VO2 SV2 ml/mn

SV2 en % de la PMA

SV2 en % de la FC max

SV2 en % de la VO2 max

FC maximale en puls/mn

FC de réserve en puls/mn

Temps de demi-récupération(s)

Lactates à 2mn de récupération

Lactates à 5mn de récupération

QR max

Ventilation maximale l/mn

Saturation d'O2 en fin d'effort

lactates max

lactates à mi-chemin(sous maximal)

Temps de demi récupération /lactates max

Intégrale VO2

Les appareillages d'essais permettent une acquisition des principales données (cf liste ci-dessus) à une fréquence d'environ 0,5 Hz. A l'issue de chaque test une sauvegarde des données est assurée à des fins de traitement.

En annexe 10 figurent les courbes obtenues pour chaque sportif lors des deux tests. Seules sont représentées les variations du VO2 (évolution de la consommation d'oxygène), de la rampe de puissance programmée et celles des fréquences cardiaques (pour certains athlètes la

fréquence cardiaque mesurée a été perturbée par de frottements et décollements d'électrodes. Toutefois, dans tous les cas, un relevé de la fréquence cardiaque a été fait à chaque palier).

Après avoir vérifié que toutes les données obtenues suivent une **loi normale** selon le **test de Shapiro-wilk**, on les a traitées en étudiant la différence entre le test avec tenue dite « active » et le test avec tenue « placebo » *pour détecter l'effet de la tenue* et la différence entre le premier test et le deuxième test *afin de détecter l'effet d'apprentissage*. On entend par effet d'apprentissage la possible amélioration de la performance lors du second test du fait de l'entraînement occasionné par le premier test.

Seules les valeurs de VO_2max , VO_2 max rapportée à la fréquence cardiaque (VO_2max/FC), la consommation globale d'oxygène durant le test, la *concentration des lactates à deux minutes de récupération* et la concentration des lactates rapportée à la PMT ($[Lac]/PMT$) présentaient des différences importantes avec un faible effet d'apprentissage détecté. Dans ce qui suit, on présentera pour ces données les courbes de différence [tenue « Active »-tenue « Placebo »] et (Test2 – Test 1).

1.1.1. Volume maximal d'oxygène consommé : VO_2max :

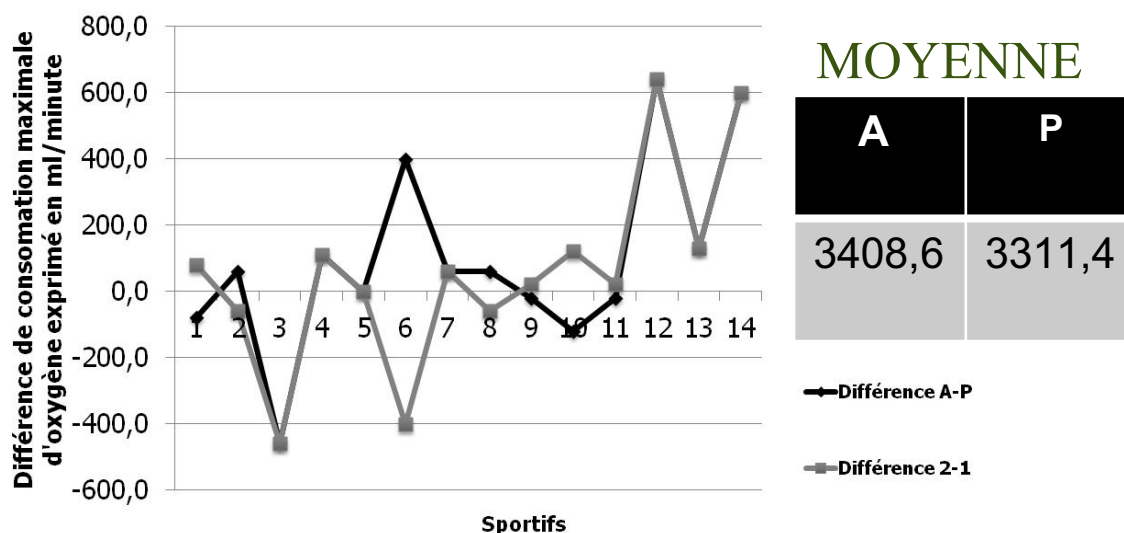


Figure 75. Variation de la différence de consommation maximale d'oxygène actif-placebo et test 2- test 1 en fonction des sportifs.

La figure 15 représente les courbes de différence Actif-Placebo et différence Test2-Test1 de VO_2max au cours de l'effort en fonction des sportifs.

D'après la figure, on constate que la VO2 maximale pendant l'effort avec la tenue « active » est, en moyenne, plus importante de **2,9%** que celle avec la tenue placebo.

Afin d'évaluer la contribution de l'effet d'apprentissage dans les résultats, on a eu recours aux tests statistiques de fisher et student dont les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	Effet Tenue	Effet Apprentissage
Valeur calculée de la variable aléatoire de Fisher	1,150	1,054
Probabilité critique du test du Student	0,227	0,486

Tableau 1. Résultats des tests statistiques

D'après ces tests, affirmer que la tenue dite « active » est responsable de l'amélioration de la consommation d'oxygène chez les sportifs, c'est accepter le risque de se tromper de **22,7%**. Pour être plus exact, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle la moyenne (tenue active)=la moyenne (tenue placebo) au risque de se tromper de **22,7%**.

D'autre part, affirmer que l'effet d'apprentissage améliore la consommation d'oxygène c'est accepter le risque de se tromper de **48,6%**.

1.1.2. Volume maximal d'oxygène consommé rapporté à la fréquence cardiaque :

VO2/FC :

MOYENNE

A	P
18,9	18,4

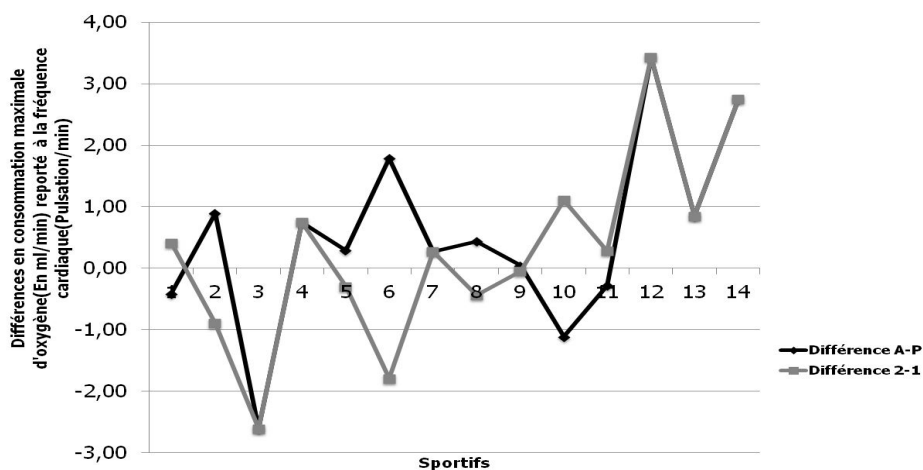


Figure 86. Variation de la différence de consommation maximale d'oxygène rapportée à la fréquence cardiaque actif-placebo et test 2- test 1 en fonction des sportifs

La figure 16 représente les courbes de différence Actif-Placebo et différence Test2-Test1 de VO₂max rapporté à la fréquence maximale en fonction des sportifs.

D'après la figure 16, on constate que la consommation maximale d'oxygène rapportée à la fréquence cardiaque pendant l'effort avec la tenue « active » est, en moyenne plus importante de 2,6% que celle avec la tenue placebo.

Afin d'évaluer la contribution de l'effet d'apprentissage dans les résultats, on a eu recours aux tests statistiques de Fisher et Student :

	Effet Tenue	Effet Apprentissage
Valeur calculée de la variable aléatoire de Fisher	1,280	1,060
Probabilité critique du test du Student	0,230	0,531

Tableau 2. Résultats des tests statistiques

D'après ces tests, affirmer que la tenue dite « active » améliore la VO₂max/FC chez les sportifs, c'est accepter le risque de se tromper de **23%**. Pour être plus exact on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle la moyenne (tenue active)=la moyenne (tenue placebo) au risque de se tromper de **23%**.

D'autre part, affirmer que l'effet d'apprentissage améliore la consommation d'oxygène par rapport à la fréquence cardiaque c'est accepter le risque de se tromper de **53,1%**.

1.1.3. Consommation totale d'oxygène durant le test d'effort :

Pour chaque courbe de VO₂ on estime l'intégrale (surface) sous la courbe par la méthode des trapèzes. Cette valeur indique la consommation totale d'oxygène durant le test d'effort avec la tenue active et avec le placebo, elle est exprimée en litres.

Les bornes de l'intégrale sont les suivantes :

a = Démarrage du test soit t=0

b = Borne de fin d'intégration. Cette borne est la même pour un même athlète. C'est le temps mis pour atteindre la puissance maximale la plus faible des 2 tests.

Par exemple pour l'athlète n° 14 :

Temps maximal atteint avec la tenue active : 18'10''.

Temps maximal atteint avec la tenue placebo : 16'13''.

On prend comme borne de fin d'intégration : 16'13''.

Le tableau suivant résume les valeurs obtenues :

Sportif	Actif (l)	Placebo (l)	Test 1 (l)	Test 2 (l)
1	38,6	38,5	38,6	38,5
2	38,5	37,7	38,5	37,7
3	39,2	32,6	32,6	39,2
4	36,7	36	36	36,7
5	22	22,1	22	22,1
6	33,2	28,4	33,2	28,4
7	23	19,8	19,8	23
8	41,5	42,5	41,5	42,5
9	25,5	24	25,5	24
10	25,1	28	25,1	28
11	31	32	31	32
12	45,1	42	42	45,1
13	55,5	54	54	55,5
14	34	30	30	34
Moyenne	34,92	33,40	33,56	34,76
Différence (A-P)	1,52			
Différence (2-1)			1,21	

Les différences tenue « active »-tenue Placebo et Test 2 – Test 1 sont représentées en fonction des sportifs dans la figure suivante :

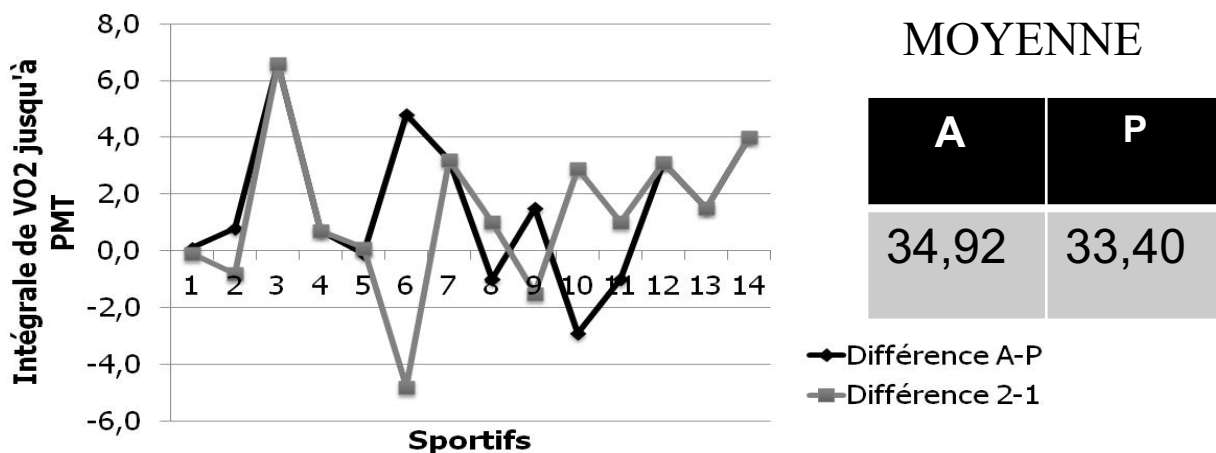


Figure 9. Variation de la différence de consommation totale en oxygène durant l'effort Actif-Placebo et Test2-Test1 en fonction des sportifs

La figure 17 représente les courbes de différence Actif-Placebo et différence Test2-Test1 de l'intégrale du volume d'oxygène consommée jusqu'à la PMT en fonction des sportifs.

D'après cette figure, on constate que la consommation maximale d'oxygène pendant l'effort avec la tenue « active », en moyenne, est plus importante de 4,3% que celle avec la tenue placebo.

Afin d'évaluer la contribution de l'effet d'apprentissage dans les résultats, on a eu recours aux tests statistiques de Fisher et Student :

	Effet Tenue	Effet Apprentissage
Valeur calculée de la variable aléatoire de Fisher	1,027	1,059
Probabilité critique du test du Student	0,0455	0,1241

Tableau 3. Résultats des tests statistiques

D'après les tests statistiques de Fisher et Student, affirmer que la tenue dite « active » améliore la consommation globale d'oxygène durant le test d'effort chez les sportifs, c'est accepter un risque de se tromper de **4,55%**. Pour être plus exact on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle la moyenne (tenue active)=la moyenne (tenue placebo) au risque de se tromper de **4,55%**.

D'autre part, affirmer que l'effet d'apprentissage améliore la consommation d'oxygène par rapport à la fréquence cardiaque c'est accepter le risque de se tromper de **12,4%**.

Comme on peut le remarquer, en disant que l'apprentissage a un effet positif sur le résultat, le risque de se tromper est toujours d'environ trois fois supérieur à celui que l'on a de se tromper en affirmant que c'est la tenue « active » qui est responsable à l'amélioration du volume d'oxygène total consommé durant le test. Autrement dit, on ne peut pas nier qu'il peut avoir un effet d'apprentissage mais l'effet d'apprentissage est moins marqué que celui de la tenue.

1.1.4. Concentration des lactates dans le sang à deux minutes de récupération :

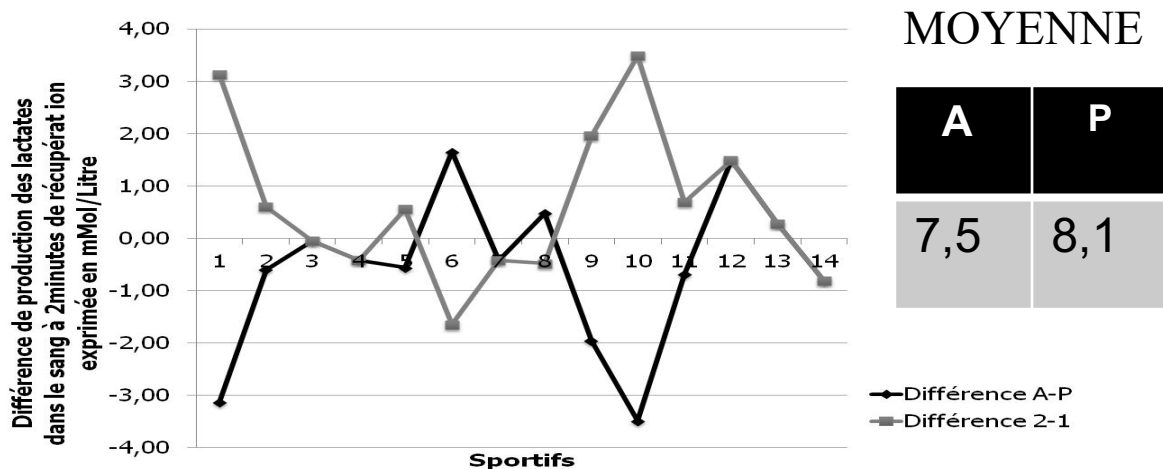


Figure 18. Variation de la différence en concentration des lactates à 2 minutes de récupération actif-placebo et test 2 - test 1

La figure 18 représente les courbes de différence Actif-Placebo et différence Test2-Test1 de la concentration des lactates dans le sang à deux minutes de récupération.

D'après la figure, on constate que la production des lactates deux minutes après l'effort avec la tenue « active » est, en moyenne, moins importante de 8% que celle avec la tenue placebo.

Afin d'évaluer la contribution de l'effet d'apprentissage dans les résultats, on a eu recours tout de même aux tests statistiques de Fisher et Student dont les résultats sont illustrés comme suit :

	Effet Tenue	Effet Apprentissage
Valeur calculée de la variable aléatoire de Fisher	1,013	1,873
Probabilité critique du test du Student	0,161	0,153

Tableau 4. Résultats des tests statistiques

D'après ces tests, affirmer que la tenue dite « active » réduit la production de lactates, c'est accepter le risque de se tromper de 16,1%. Pour être plus exact on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle la moyenne (tenue active)=la moyenne (tenue placebo) au risque de se tromper de 16,1%.

D'autre part, affirmer que l'effet d'apprentissage réduit la production des lactates dans le sang c'est accepter le risque de se tromper de 15,3%.

Comme le révèle les tests statistiques, on a presque le même risque de se tromper pour l'effet de tenue et l'effet d'apprentissage : Il n'y a pas un effet prépondérant par rapport à l'autre.

1.1.5. Concentration maximale des lactates dans le sang rapportée à la PMT :

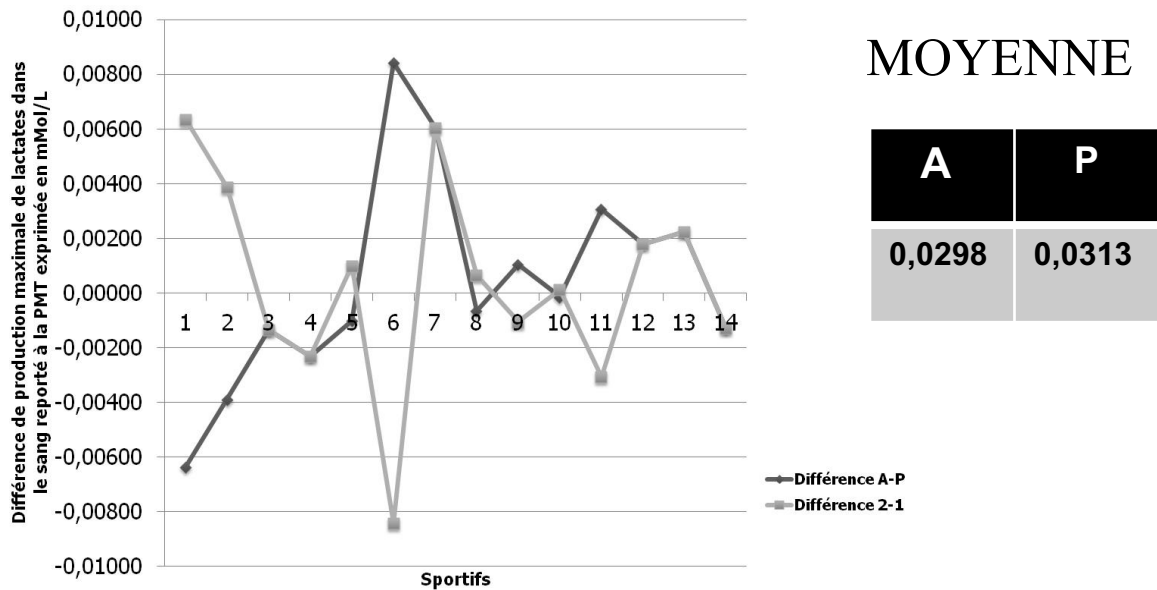


Figure 19. Variation de la différence en concentration maximale des lactates actif-placebo et test 2 - test 1 En fonction des sportifs

La figure 19 représente les courbes de différence Actif-Placebo et différence Test2-Test1 de la concentration maximale des lactates dans le sang rapportée à la PMT en fonction des sportifs.

D'après la figure, on constate que la production maximale des lactates après deux minutes de la fin l'effort avec la tenue « active » est, en moyenne, moins importante de 5% que celle avec la tenue placebo.

Afin d'évaluer la contribution de l'effet d'apprentissage dans les résultats, on a eu recours tout de même aux tests statistiques de Fisher et Student dont les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

	Effet Tenue	Effet Apprentissage
Valeur calculée de la variable aléatoire de Fisher	1,444	1,020
Probabilité critique du test du Student	0,112	0,448

Tableau 5. Résultats des tests statistiques

D'après ces tests, affirmer que la tenue dite « active » réduit la production de lactates, c'est accepter le risque de se tromper de 11,2%. Pour être plus exact on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle la moyenne (tenue active)=la moyenne (tenue placebo) au risque de se tromper de 11,2%.

D'autre part, affirmer que l'effet d'apprentissage est responsable de la réduction de production des lactates dans le sang c'est accepter le risque de se tromper de 44,8%.

1.2. Interprétations

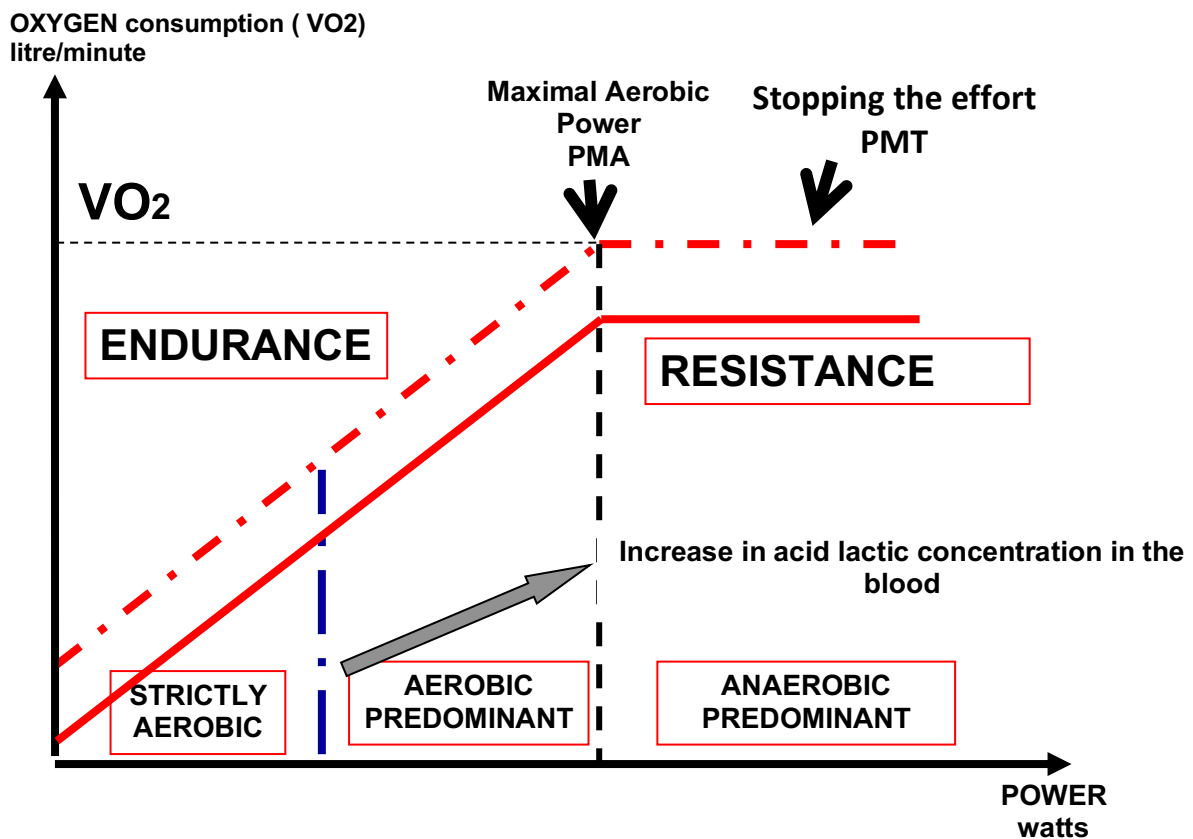


Figure 20. Schéma présentatif récapitulant l'effet de la tenue active

Les résultats obtenus, dans les conditions d'essais décrites auparavant, montrent que les sportifs portant la tenue dite « active » :

- *Améliorent leur VO₂ max ainsi que la consommation totale d'oxygène durant le Test d'effort jusqu'à la PMT, c'est-à-dire que la consommation d'oxygène est plus importante,*
- *Produisent moins de lactates pour une même puissance c'est ce que traduit le ratio Lactates max / PMT.*

Ce qui nous permet de conclure que la partie aérobie s'est développée (Endurance améliorée) et la partie anaérobie (Résistance) s'est amoindrie.

2. Test de capillaroscopie :

2.1. Résultats

L'examen de capillaroscopie montre une dilatation des capillaires cutanée très significative avec la tenue dite « active ».

2.2. Interprétations :

Cette dilatation des capillaires entraîne une amélioration de la circulation sanguine cutanée.

Elle favorise les échanges thermiques et améliore la thermorégulation du corps au cours de l'effort. Ce qui est susceptible d'améliorer la récupération.

Les examens entrepris ne permettent pas de déterminer si cet effet existe au niveau musculaire.

CHAPITRE III

Conclusions et perspectives

Par ordre d'importance, nous avons observé que le port de la tenue de KOAR améliore notamment :

- + *La concentration maximale en lactates rapportée la PMT* avec un risque d'erreur de 11,2% si on admet que c'est l'effet de la tenue dite « active » qui en est responsable et avec un risque d'erreur de 44,8% si on admet que l'effet d'apprentissage réduit la production des lactates dans le sang.
- + *La consommation totale d'oxygène* jusqu'à la fin du test d'effort avec un risque de se tromper de 4,55% si on approuve que ce soit l'effet de la tenue « active » qui en est responsable, et avec un risque de se tromper de 12,41% si on admet que l'effet d'apprentissage améliore la consommation totale d'oxygène durant l'effort.
- + *La consommation maximale de VO₂ rapportée à la fréquence cardiaque* lors de l'effort avec un risque de se tromper de 23% si on approuve que ce soit l'effet de la tenue « active » qui en est responsable, et avec un risque de se tromper de 53,1% si on admet que l'effet d'apprentissage améliore la consommation d'oxygène par rapport à la fréquence cardiaque lors de l'effort.
- + *La consommation maximale d'oxygène* avec un risque de se tromper de 22,7% si on admet que ce soit l'effet de la tenue « active » qui en est responsable, et avec un risque de se tromper de 48,6% si on dit que l'effet d'apprentissage améliore la consommation d'oxygène
- + *La concentration des lactates dans le sang à deux minutes de récupération* avec un risque d'erreur de 16,1% si on admet que c'est l'effet de la tenue dite « active » qui en est responsable et avec un risque d'erreur de 15,3% si on admet que l'effet d'apprentissage réduit la production des lactates dans le sang.

Cette étude a permis de mettre en évidence des indicateurs dont les variations observées ont été non négligeables entre le port de la tenue active et le port de la tenue placebo, mais des compléments d'étude permettraient d'assoir ces résultats.

Dans un travail complémentaire, il conviendra d'étudier l'influence croisée des 3 facteurs principaux de l'étude que sont les 'sportifs', les 'tenues' et l'ordre des essais'. Pour l'instant, les facteurs 'tenue' et 'ordre des essais' ont été étudiés séparément et l'appariement sur les sportifs est supposé réduire l'influence du facteur 'sportif'.

Les résultats positifs énumérés ci-avant sont issus d'une expérimentation sur un échantillon de faible taille qui rend l'aléa statistique important. L'augmentation de la taille de l'échantillon étudié ainsi que du nombre d'essais auxquels chaque sportif est soumis permettrait de réduire cet aléa statistique.

Ce travail pourra idéalement être complété par une étude qui permettra de cerner les mécanismes sous-jacents afin de mieux cibler les indicateurs utiles. Si ces mécanismes peuvent être identifiés au niveau cellulaire, des essais in-vitro pourront être mis en œuvre plus facilement que des essais sur sportifs.