

Evaluation de paramètres métaboliques d'entraînement – F. Castel

Cette évaluation a été réalisée au Centre municipal des Sports de Tours, en 1994, par F. CASTEL avec l'aide du Docteur DELATTRE du C.H.U. et les conseils de Didier SEYFRIED de l'Unité d'Energétique Appliquée de l'I.N.S.E.P. Ces tests dérivés de tests beaucoup plus conséquents effectués par la F.F.E.S.S.M. sont mis en place avec très peu de matériel pour qu'ils puissent être réalisés par le maximum d'entraîneurs.

Exploration des voies métaboliques aérobie et anaérobie lactique (Protocole triangulaire)

1. Protocoles de mesures

Exploration des relations existant entre les paramètres suivants: Vitesse de nage, fréquence cardiaque, lactatémie.

Un protocole établi sur une succession de paliers de 300 mètres permettra de déterminer de manière satisfaisante l'impact physiologique de vitesses d'entraînement ou de compétition pour chaque nageur. La fréquence cardiaque étant relevée durant l'exercice avec un cardiofréquencemètre de type "POLAR" de chez Pragmat.

Le Test sera réalisé de la façon suivante :

4 fois 300 mètres, récupération 2 mn, les 300 m sont à nager en négatif ; le 1° vitesse aérobie capacité, le 2° à la vitesse du 1500 mètres, le 3° à la vitesse du 400 mètres et le dernier à la vitesse maximale.

Lors du Test nous intégrons des données appelées :

Temps sur zone : c'est le temps mis à parcourir une zone de 20 mètres, matérialisée dans le couloir du nageur à 15 m de chaque bord. On demande au nageur de garder une vitesse qui doit être constante durant la répétition ou l'exercice considéré à l'intérieur de cette zone. Toutes les mesures ont été prises entre le 150 et le 200 mètres pour avoir la vitesse moyenne stabilisée.

Fréquence sur zone : c'est la fréquence d'ondulations dans la zone reportée sur 60 secondes .

Les prises de lactates ont été réalisées par prise capillaire, au niveau des doigts, et ceci immédiatement après chaque 300 mètres pour y analyser la concentration en lactates. Les mesures seront effectuées en laboratoire le jour même.

La fréquence cardiaque étant relevée durant l'exercice avec un cardio-fréquencemètre enregistreur étanche de type "POLAR" de chez Pragmat.

Les nageurs ayant réalisé ses tests sont champion de France dans leur catégorie.

TEST - EXPLORATION VOIES METABOLIQUES AEROBIE ET ANAER. LAC

	Sujet C.		Sujet F.	
Distance	Temps	Lactates	Temps	Lactates
300 m	3'40"44	5.7	3'01"36	3.6
300 m	3'40"00	6.4	2'55"51	5.0
300 m	3'36"58	6.6	2'46"58	7.2
300 m	3'35"03	8.1	2'45"66	8.0.

Lactates au repos

C. 1.7 mM F. 1.5 mM

Tableaux des résultats

TEST	Zone en m.	Temps	F.O.	Vitesse (m/s)	D/C	I.N.	Lactates	F.C
4 X 300m test C.								
1	20	15.20	55.26	1.316	1.43	1.880	5.70	137
2	20	15.29	58.26	1.308	1.35	1.762	6.40	149
3	20	14.86	60.56	1.346	1.33	1.795	6.60	160
4	20	15.38	70.22	1.300	1.11	1.445	8.10	165
4 X 300m test F.								
1	20	12.56	57.32	1.592	1.67	2.654	3.60	179
2	20	12.48	62.49	1.603	1.54	2.466	5.00	186
3	20	11.61	72.35	1.723	1.43	2.461	7.20	193
4	20	11.62	77.45	1.721	1.33	2.295	8.00	195
1	300	220.44	55.26	1.361	1.48	2.011	5.70	137
2	300	220.00	58.26	1.364	1.40	1.915	6.40	149
3	300	216.54	60.56	1.385	1.37	1.901	6.60	160
4	300	215.03	70.22	1.395	1.19	1.663	8.10	165
4 X 300m test F.								
1	20	12.56	57.32	1.592	1.67	2.654	3.60	179
2	20	12.48	62.49	1.603	1.54	2.466	5.00	186
3	20	11.61	72.35	1.723	1.43	2.461	7.20	193
4	20	11.62	77.45	1.721	1.33	2.295	8.00	195
1	300	181.36	57.32	1.654	1.73	2.864	3.60	179
2	300	175.51	62.49	1.709	1.64	2.805	5.00	186
3	300	166.58	72.35	1.801	1.49	2.690	7.20	193
4	300	165.66	77.45	1.811	1.40	2.541	8.00	195

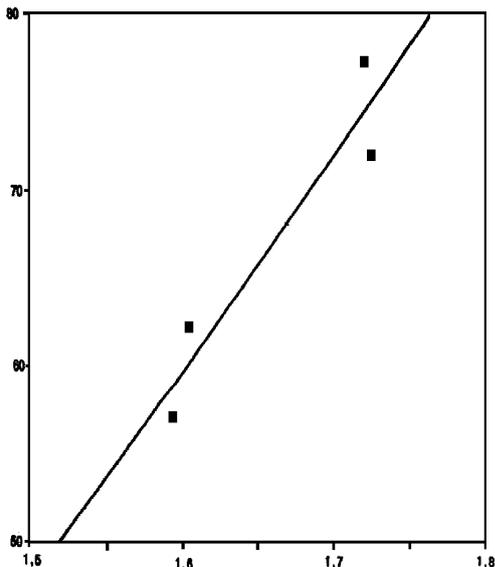
ZONE	zone test de 20 mètres
TEMPS	temps sur la zone en secondes
F.O.	fréquence d'ondulations observées sur la zone reportée à la minute.
Vitesse	vitesse de nage en mètres par secondes
D/C (m)	distance par cycle en mètres par cycles
I.N.	indice de nage
Lactates	taux de lactates en mmoles / litre de sang
F.C.	fréquence cardiaque à la fin du 300 m

COURBES n° 1 - 2 - 3 et 4 : Ce sont les courbes moyennes de relation entre :

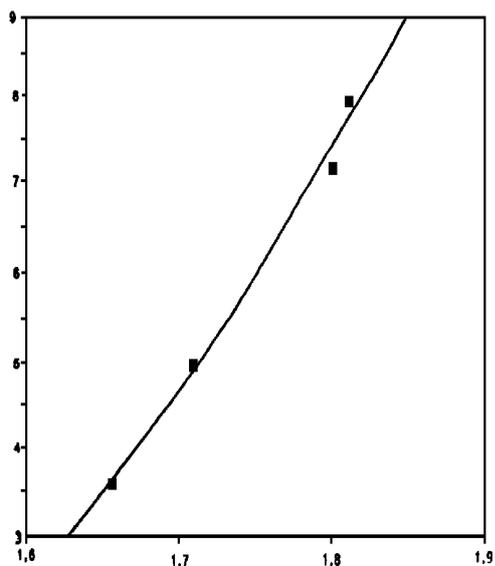
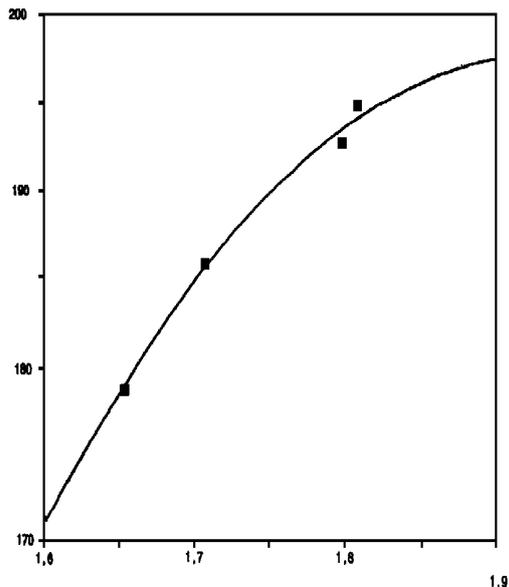
- **Vitesse de nage** mètres / secondes et **fréquence d'ondulation observée** en nombre d'ondulations / minute.
- **Vitesse de nage** et **fréquence cardiaque** en nombre de pulsations / minute.
- **Vitesse de nage** et **lactatémie** en mMoles / litre de sang.
- **Vitesse de nage** et **indice de nage**.

Pour la courbe vitesse de nage / fréquence observée c'est la vitesse moyenne sur zone qui entre en ligne de compte ; pour les autres courbes ce sont les vitesse moyennes sur les 300 mètres.

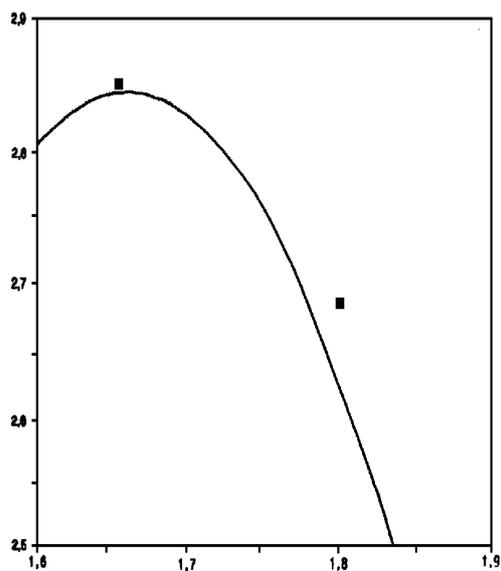
Relation fréquence observée / vitesse
 $y = - 134,19 + 121,46 x$ $R^2 = 0,914$



Relation fréquence cardiaque / vitesse
 $y = - 712,56 + 942,50 x^2$ $R^2 = 0,994$



Relation lactatémie / vitesse
 $y = 40,559 - 66,827 x + 26,904 x^2$ $R^2 = 0,999$



Relation indice de nage / vitesse
 $y = - 28,064 + 37,229 x - 11,209 x^2$ $R^2 = 0,877$

Interprétations et utilisations des résultats

Ce test d'évaluation est simple à mettre en place, sans gros moyens, les centres médicaux sportifs pouvant vous effectuer les prélèvements de lactates aisément. Il doit être renouvelé pour vérifier une amélioration du potentiel physiologique ou technique du nageur, mais il doit être réalisé avec la même palme pour effectuer une comparaison. En corollaire, si vous changez de palmes, vous pourrez déterminer le matériel le plus rentable par rapport à votre nageur.

Au-dessus de chaque courbe, vous avez d'indiqué l'équation de cette courbe, celle-ci est spécifique à chaque nageur. Elle nous permet pour toutes distances ou toutes les vitesses de calculer la fréquence cardiaque théorique, le taux de lactates, le nombre d'ondulations à effectuer pour être à la vitesse prescrite. La réalisation de ces courbes et de leur équation a été produite par un logiciel générateur de graphe de type "CRICKET pour Macintosh".

1. L'indice de nage

L'indice de nage est égal à la Vitesse X Distance / cycle, mais compte tenu de la difficulté d'évaluer la distance par cycle en instantané et de la facilité de le faire pour la fréquence nous préférons la formule :

$$\text{Formule : I.N.} = \frac{d^2 (\text{distance du test})}{t \times n} \quad \begin{array}{l} t = \text{temps mis sur la distance test} \\ n = \text{nombre d'ondulations sur la distance test} \end{array}$$

Cet indice met en relation les facteurs de vitesse de nage avec la distance par cycle correspondante. Plus le chiffre sera élevé plus l'indice sera meilleur. Le nageur doit avoir connaissance de son indice de nage optimal et il doit à l'entraînement travailler dans les zones correspondantes à celui-ci. Lors d'une série longue ou la vitesse sera plus lente, il cherchera à augmenter sa distance par cycle. L'intérêt de l'indice est d'être un paramètre objectivant de la performance ; vous pourrez calculer l'indice **optimal** du nageur en vous référant à ses compétitions majeures. Le meilleur indice pour le nageur étant le plus optimal entre la fréquence, la vitesse, et l'amplitude sur la distance parcourue. De plus vous pourrez également choisir votre matériel, combinaison ou palmes, ou en les combinant pour avoir le meilleur indice de nage.

Il y a quand même des limites à l'utilisation de l'indice, du moins actuellement, en effet si nous étudions la relation vitesse/indice de nage (Courbe 4) la courbe est non interprétable si ce n'est la forme de cette courbe, la courbe 5 montre que le matériel n'est pas adapté à des vitesses maximales (chute du 4^e indice), ce qui est normal avec une voilure de grand fond. Ce qui reste intéressant c'est que le point haut doit correspondre à la vitesse moyenne de l'épreuve quelque soit la distance.

La relation Fréquence d'ondulation/Vitesse de nage permettent un ajustement linéaire classique qui facilite une extrapolation des mesures donc une prise de mesures facilitées par le manque de besoin d'avoir beaucoup de relevés (courbe 1).

2. La relation vitesse de nage/ concentration de lactates

Cette relation est intéressante parce qu'elle nous permet d'évaluer l'impact physiologique de l'entraînement. En effet, plus le nageur sera entraîné plus sa courbe devra dériver vers la droite, c'est à dire à vitesse égale son taux de lactates sanguins devra être moindre. De plus, cette relation nous permet de déterminer individuellement la vitesse au seuil théorique anaérobie, vitesse à laquelle l'état stable est rompu entre production et épongeage de l'acide lactique.

3. Les relations vitesse de nage/ fréquence cardiaque et vitesse de nage/ fréquence observée

Ces deux relations vont nous permettre de donner des moyens à notre nageur de savoir à quelle vitesse il nage. Soit, s'il possède un cardio-fréquencemètre de lui programmer une zone cible de travail par rapport à la vitesse souhaitée, soit de lui donner le nombre d'ondulations qu'il doit faire par bassin pour être à la vitesse désirée. Grâce à l'ensemble de ces mesures nous pouvons créer un programme de simulations adapté à notre nageur (tableur EXCEL 3), pour la réalisation de ce programme informatique nous avons besoin des équations de 3 courbes : (mesures F.)

$$\begin{array}{l} \text{Fréquence/vitesse : } y = 134,19 + 121,46 x \\ \text{Vitesse/lactatémie : } y = 40,559 - 66,27 x + 26,904x^2 \\ \text{Vitesse/Fréq. Car. : } y = 712,56 + 942,50x - 243,91x^2 \end{array}$$

Nous pouvons déterminer deux types de simulations : soit par rapport à un temps déjà réalisé sur une distance connue dans le but de travailler des séries à des pourcentages donnés, soit travaillé sur un objectif non réalisé (grâce aux dérivées des courbes) et cibler sur des objectifs techniques et physiologiques pour réaliser ce temps. Actuellement il existe un programme qui a été réalisée par Frédéric ROBIN.

Evaluation biomécanique de la relation personnalisée fréquence/ vitesse

1. But du test

Ce test, réalisé 1992 avec une nageuse de sprint entraînée à Tours (6° au championnat du Monde d'Athènes), a pour objet de mettre en relation la fréquence d'ondulation du nageur avec sa vitesse de déplacement. Cette relation, représentée par une courbe, va nous permettre d'en établir l'équation ce qui nous permettra de calculer des simulations individuelles de fréquence et de vitesse, sur des distances et avec des temps donnés.

2. Déroulement du test

Dans un bassin de 50 mètres nous avons balisé, au fond et sur le bord, une zone de 20 mètres située à 15 mètres de chaque bord pour permettre au nageur de se lancer. Nous demandons au nageur de faire plusieurs passages, avec une récupération de 2 minutes entre chaque passage, et ceci de plus en plus vite. Le premier passage correspond à sa vitesse en aérobie capacité et le dernier à sa vitesse maximale. Les consignes étant de réaliser au moins 4 passages, pour avoir suffisamment de points pour tracer la courbe, et nous demandons de garder une vitesse constante à l'intérieur de la zone.

Les mesures sont prises lors du passage du tuba à l'aplomb de l'entrée et de la sortie de la zone. La "dist. test" ou distance test est 20,00 ou 20 mètres. Le temps est en secondes et centièmes. La vitesse en mètres/seconde.

3. Tableaux des résultats

ZONE	TEMPS	F.O.	Vitesse m/s	D/C (m)	I.N.	T(50)	F.T.	Lactates
20.00	16.04	44.20	1.25	1.69	2.11	40.10	45.03	2.9
20.00	15.17	45.10	1.32	1.75	2.31	37.93	44.61	3.8
20.00	12.84	50.90	1.56	1.84	2.86	32.10	49.70	3.9
20.00	9.83	90.00	2.03	1.36	2.76	24.58	89.70	10.9

ZONE	zone test de 20 mètres
TEMPS	temps sur la zone en secondes
F.O.	fréquence d'ondulations observées sur la zone reportée à la minute.
Vitesse	vitesse de nage en mètres par secondes
D/C (m)	distance par cycle en mètres par cycles
I.N.	indice de nage
T (50)	temps sur la zone recalculé sur 50 m
F.T.	fréquence d'ondulation calculée
Lactates	taux de lactates en mmoles/ litre de sang

4. Simulations du test personnalisé

zone	temps	F.O.	v m/s	D/C	I.N.	T(50)	F.T.	50 m	F.T.=	D/C=	I.N.=
20.00	15.95	44.30	1.25	1.70	2.13	39.88	44.95	40.00	45.72	1.64	2.05
20.00	13.24	49.50	1.51	1.83	2.77	33.10	47.90	39.00	43.69	1.76	2.26
20.00	12.23	52.60	1.64	1.87	3.05	30.58	53.50	38.00	42.32	1.87	2.45
20.00	11.82	59.20	1.69	1.71	2.90	29.55	56.94	37.00	41.62	1.95	2.63
20.00	11.38	61.20	1.76	1.72	3.03	28.45	61.61	36.00	41.59	2.00	2.78
20.00	10.81	68.70	1.85	1.62	2.99	27.03	69.51	35.00	42.24	2.03	2.90
20.00	10.67	69.70	1.87	1.61	3.02	26.68	71.83	34.00	43.55	2.03	2.98
20.00	10.20	81.40	1.96	1.45	2.83	25.50	80.91	33.00	45.53	2.00	3.03
20.00	9.97	86.50	2.01	1.39	2.79	24.93	86.18	32.00	48.18	1.95	3.04
EXEMPLES DE SIMULATIONS								31.00	51.50	1.88	3.03
20.00	9.86	88.20	2.03	1.39	2.83	24.65	88.20	30.00	55.49	1.80	3.00
20.00	9.68	92.84	2.07	1.28	2.65	24.20	92.84	29.00	60.15	1.72	2.97
45.50	21.18	103.76	2.15	1.24	2.67	23.27	103.76	28.00	65.48	1.64	2.92
45.50	20.40	115.79	2.23	1.16	2.58	22.42	115.79	27.00	71.48	1.55	2.88
95.50	49.11	78.73	1.94	1.48	2.88	25.71	78.73	26.00	78.15	1.48	2.84
95.50	48.50	81.38	1.97	1.45	2.86	25.39	81.38	25.00	85.49	1.40	2.81
95.50	47.60	85.59	2.01	1.41	2.82	24.92	85.59	24.00	93.50	1.34	2.79

Le tableau se découpe en trois parties :

1° partie regroupe les résultats du test :

zone	temps	F.O.	v m/s	D/C	I.N.	T(50)	F.T.
20.00	15.95	44.30	1.25	1.70	2.13	39.88	44.95
20.00	13.24	49.50	1.51	1.83	2.77	33.10	47.90
20.00	12.23	52.60	1.64	1.87	3.05	30.58	53.50
20.00	11.82	59.20	1.69	1.71	2.90	29.55	56.94
20.00	11.38	61.20	1.76	1.72	3.03	28.45	61.61
20.00	10.81	68.70	1.85	1.62	2.99	27.03	69.51
20.00	10.67	69.70	1.87	1.61	3.02	26.68	71.83
20.00	10.20	81.40	1.96	1.45	2.83	25.50	80.91
20.00	9.97	86.50	2.01	1.39	2.79	24.93	86.18

La deuxième partie donne des exemples de simulations :

EXEMPES DE SIMULATIONS							
20.00	9.86	88.20	2.03	1.39	2.83	24.65	88.20
20.00	9.68	92.84	2.07	1.28	2.65	24.20	92.84
45.50	21.18	103.76	2.15	1.24	2.67	23.27	103.76
45.50	20.40	115.79	2.23	1.16	2.58	22.42	115.79
95.50	49.11	78.73	1.94	1.48	2.88	25.71	78.73
95.50	48.50	81.38	1.97	1.45	2.86	25.39	81.38
95.50	47.60	85.59	2.01	1.41	2.82	24.92	85.59

45,50 = 50 mètres on enlève 4, 5 m pour le départ - 21.18 = 21" 18/100

103.76 = Fréquence observée par mn et fréquence test puisqu'elle est calculée = 103.76

2.15 = vitesse de nage en m/s

- 1,24 = distance par cycle

2.67 = indice de nage

- 23"27 = temps sur 50 mètres à réaliser.

3° partie tableau personnalisé sur 50 mètres :

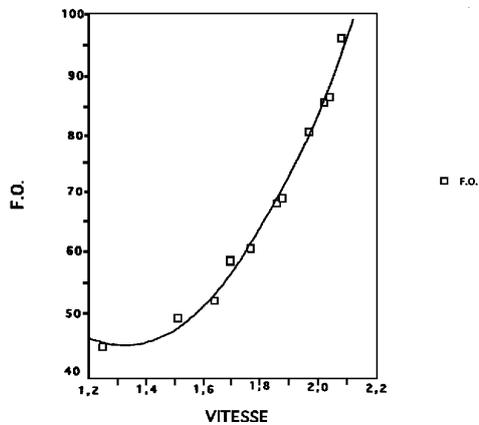
50 m	F.T.=	D/C=	I.N.=
40.00	45.72	1.64	2.05
39.00	43.69	1.76	2.26
38.00	42.32	1.87	2.45
37.00	41.62	1.95	2.63
36.00	41.59	2.00	2.78
35.00	42.24	2.03	2.90
34.00	43.55	2.03	2.98
33.00	45.53	2.00	3.03
32.00	48.18	1.95	3.04
31.00	51.50	1.88	3.03
30.00	55.49	1.80	3.00
29.00	60.15	1.72	2.97
28.00	65.48	1.64	2.92
27.00	71.48	1.55	2.88
26.00	78.15	1.48	2.84
25.00	85.49	1.40	2.81
24.00	93.50	1.34	2.79
23.00	102.18	1.28	2.77

Courbe n° 1 : C'est la courbe moyenne de relation entre la fréquence d'ondulations observée et la vitesse du nageur dans la zone test. Les différents points mesurés sont indiqués.

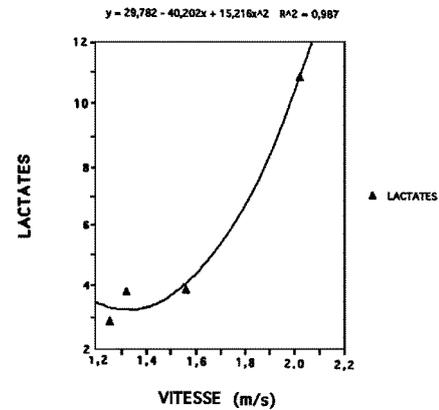
Au-dessus de chaque courbe vous avez d'indiqué l'équation de la courbe, celle ci est spécifique à chaque nageur ; c'est d'après cette équation que le calcul théorique vitesse et FT (fréquence théorique) sont possibles.

La réalisation de ces courbes et de leur équation a été produite par un logiciel générateur de graphes de type " CRICKET pour MACINTOSH", actuellement EXCEL 5 permet le même travail.

Relation fréquence observée/ vitesse
 $y = 196,05 - 230,10x + 87,402x^2$ $R^2 = 0,992$



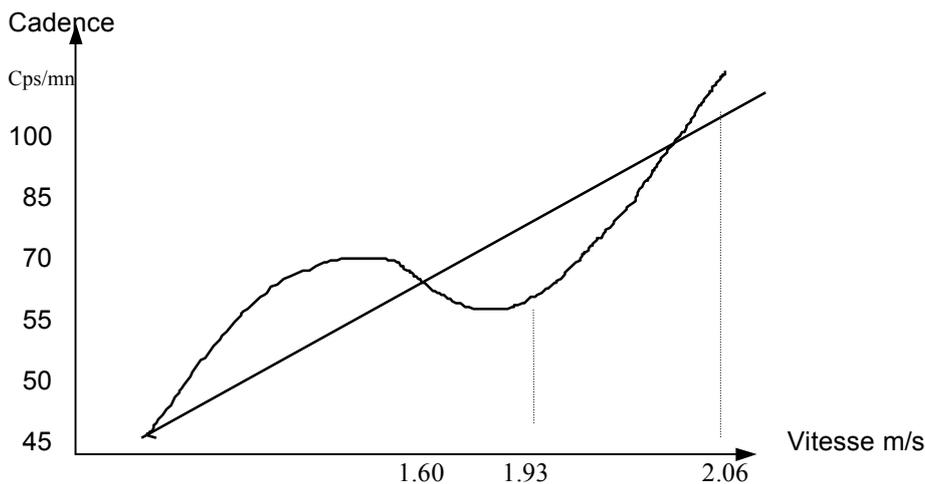
Relations lactates mM / vitesse



Ces fonctions exponentielles sont bien interprétables et elles permettent des extrapolations hors limites, notamment pour des vitesses plus basses, qui peuvent être intéressantes. La courbe de A. est bien représentative de ce qu'elle réalise, en effet elle a tendance à faible vitesse à privilégier la fréquence par rapport à l'amplitude, tendance qu'elle inverse lorsqu'elle se rapproche de sa vitesse du 400 mètres.

Nous pouvons déjà nous inspirer de chaque courbe pour l'entraînement de nos nageurs. En effet si lors d'un entraînement nous voulons faire nager A. à la vitesse proche de son meilleur temps du 400 m, soit près de 4'10", nous lui demanderons de nager en 52 ondulations par minute. De ce fait nous individualisons l'entraînement en donnant des paramètres facilement observables pour le nageur. Nous observons également, grâce à la courbe n°2 de relation vitesse/lactates, que notre nageuse a bien un profil de sprinteuse avec une forte augmentation de son taux de lactates à l'approche de sa vitesse maximale. Nous avons deux courbes suffisamment identiques pour pouvoir travailler à l'entraînement la relation lactate/ fréquence d'ondulations, ce qui nous permet d'avoir des repères facilement identifiables pour le nageur et l'entraîneur.

La relation fréquence / vitesse avec le même protocole que ci-dessus, sans prise de lactates sanguins, peut-être très utile pour découvrir des problèmes techniques qui influenceront la performance.



Test fréquence vitesse d'un nageur de sprint : Vitesse maxi = 2.06 m/s - F.C. max. = 180 pul/mn. Cadence = 112 cps/mn

Cet exemple pris sur un nageur de niveau national en 1996 est intéressant parce qu'il nous montre qu'autour de la vitesse de 1.93 m/s (52" au 100 m) notre nageur a un problème technique puisqu'il n'arrive plus à gérer d'une façon linéaire le rapport entre l'amplitude et la fréquence de son mouvement. Il serait donc important de le faire travailler dans cette zone pour améliorer ce rapport et pour progresser dans les distances de courses qui se situent dans cette gamme de vitesse par rapport à ses propres capacités, soit pour ce nageur le 200 mètres.