

# LES FACTEURS DE LA PERFORMANCE EN NATATION ET LEURS TECHNIQUES D'EVALUATION

*Georges CAZORLA, Maître de Conférences*

*Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique,*

*Université de Bordeaux II, Avenue Camille Jullian, 33405 TALENCE CEDEX*

## RESUME

*Quel que soit le sport, la performance résulte toujours de l'interaction de nombreuses composantes au nombre desquelles les facteurs psychologiques, cognitifs, morphologiques, biomécaniques et physiologiques jouent un rôle essentiel.*

*Concernant la natation, ces mêmes facteurs peuvent être regroupés selon une terminologie plus familière aux techniciens. A l'image d'un bateau, le nageur doit présenter un « profil » le plus hydrodynamique possible pour obtenir ce que les entraîneurs appellent la « glisse », posséder une bonne hélice pour se propulser efficacement et disposer de réserves énergétiques suffisantes pour alimenter un moteur dont il convient de bien régler le rendement. Le « pilote » de ce bateau doit, bien-sûr, posséder des qualités psychologiques à la hauteur des contraintes requises par l'entraînement et pour faire face aux différents stress de la compétition.*

*Evaluer le nageur revient donc à prendre en considération ces quatre grands facteurs en fonction de la spécificité de chaque spécialité.*

*La translation dans l'eau (et donc la performance) dépend toujours de l'interaction de quatre forces fondamentales : la gravité, la portance, la traînée et la propulsion.*

*Lorsque la vitesse du nageur est constante, la portance équilibre la force de gravité et la propulsion celle de la traînée. En fonction des distances des compétitions visées, vitesse et durée s'équilibrent aussi dans un rapport inversement proportionnel dépendant des qualités techniques et musculaires, de l'apport énergétique et du rendement.*

*L'étude de chacun de ces facteurs développée au cours de cet exposé introductif afin de permettre au praticien de mieux appréhender leur évaluation et à l'entraîneur d'orienter en conséquence leur développement par un entraînement adapté.*

**Mots clés :** *Natation, Hydrodynamique, Formes corporelles, Propulsion, Énergétique, Évaluation, Entraînement.*

## INTRODUCTION

En décrivant les nombreuses techniques mises au point et validées pour appréhender un ou plusieurs facteurs de la performance et en présentant leurs résultats les plus remarquables, nombre de conférenciers qui m'ont précédé ont montré et montrent à quel point l'évaluation est en ubiquité dans les rapports du nageur à son environnement.

Afin d'en limiter ses champs, tout au moins ceux que nous souhaitons aborder, il est indispensable de proposer au préalable une définition opérationnelle la plus précise possible.

Pour nous, évaluer est attribuer une valeur objective ou subjective à une impression, un jugement, une observation ou aux résultats de tests ou de mesures, ce qui suppose une échelle d'appréciation explicite ou implicite fondée sur la connaissance et l'expérience de la pratique considérée. En tout état de cause, la valeur attribuée se situe en aval d'une procédure comprenant plusieurs étapes auxquelles ne peut échapper le praticien. La première d'entre elle nécessite une bonne connaissance des capacités requises par la natation sportive et sur les façons de les appréhender. La seconde est de définir les objectifs assignés à l'évaluation. A-t-elle pour but de mieux connaître les capacités d'un nageur afin d'individualiser son entraînement, d'en contrôler les effets et de suivre les progrès ? ou doit-elle répondre le plus objectivement possible aux besoins d'un club, d'une région ou d'une fédération en matière de sélection ? Il s'agit ensuite de délimiter avec précision le secteur sur lequel elle doit porter et, en fonction des possibilités matérielles et techniques, de choisir l'outil d'évaluation le mieux adapté. Il s'agit enfin de recueillir les résultats sur lesquels porteront les analyses, les appréciations et donc l'attribution d'une valeur.

Connaissance des principales exigences non seulement de la natation sportive mais surtout de celles plus spécifiques des différentes spécialités qui la constituent ; autrement dit, que peut-on et que doit-on évaluer ? définition des objectifs ou : pourquoi évaluer ? quel outil choisir c'est à dire : comment évaluer ? enfin, comment traiter, analyser et interpréter les résultats ? constitueront les axes principaux de notre conférence. Par souci de clarté, nous nous efforcerons cependant d'associer les deux problématiques : Que doit-on évaluer et comment évaluer ?

**QUE PEUT-ON, QUE DOIT-ON ET COMMENT EVALUER ?**

Quel que soit le sport, la performance résulte toujours de l'interaction de nombreuses composantes au nombre desquelles les facteurs psychologiques, cognitifs, morphologiques, biomécaniques et physiologiques jouent un rôle essentiel.

Concernant la natation, ces mêmes facteurs peuvent être regroupés selon une terminologie plus familière aux techniciens (figure 1.). A l'image d'un bateau, le nageur doit présenter un « profil » le plus hydrodynamique possible pour obtenir ce que les entraîneurs appellent la « glisse », posséder une bonne hélice pour se propulser efficacement et disposer de réserves énergétiques suffisantes pour alimenter un moteur dont il convient de bien régler le rendement. Le « pilote » de ce bateau doit, bien-sûr, posséder des qualités psychologiques à la hauteur des contraintes requises par l'entraînement et pour faire face aux différents stress de la compétition. Evaluer le nageur revient donc à prendre en considération ces quatre grands facteurs en fonction de la spécificité de chaque spécialité. Pour notre part, sans ignorer la part déterminante du versant psychologique, par manque de compétences suffisantes en la matière, nous ne l'aborderons pas dans notre étude.

La translation dans l'eau (et donc la performance) dépend toujours de l'interaction de quatre forces fondamentales : la gravité, la portance, la traînée et la propulsion.

Lorsque la vitesse du nageur est constante, la portance équilibre la force de gravité et la propulsion celle de la traînée. En fonction des distances des compétitions visées, vitesse et durée s'équilibrent aussi dans un rapport inversement proportionnel dépendant des qualités techniques et musculaires, de l'apport énergétique et du rendement.(figure 2.).

En matière d'évaluation, ce serait donc une erreur de ne prendre en considération qu'un de ces facteurs en ignorant les effets des autres.

Par exemple, que peut exprimer un important  $\dot{V}O_2$  max si le nageur présente une technique défaillante et de médiocres qualités hydro-dynamiques ?

S'appuyant sur les progrès technologiques notamment dans les domaines de la miniaturisation des capteurs ambulatoires, de la cinématique, du traitement de l'image et du traitement multifactoriel des résultats, de

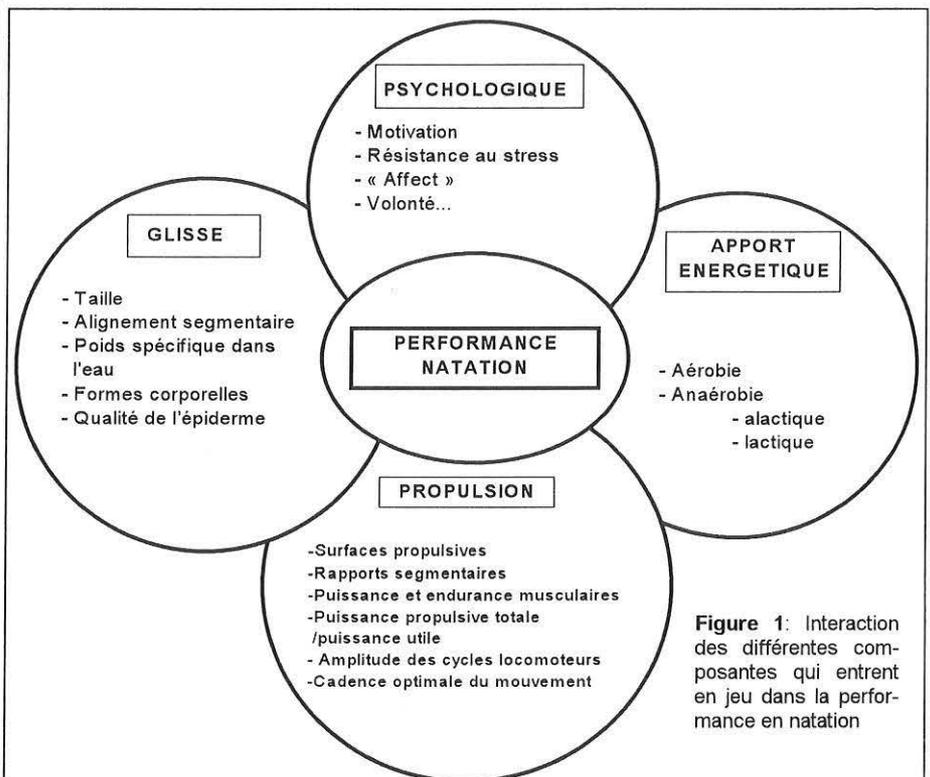


Figure 1: Interaction des différentes composantes qui entrent en jeu dans la performance en natation

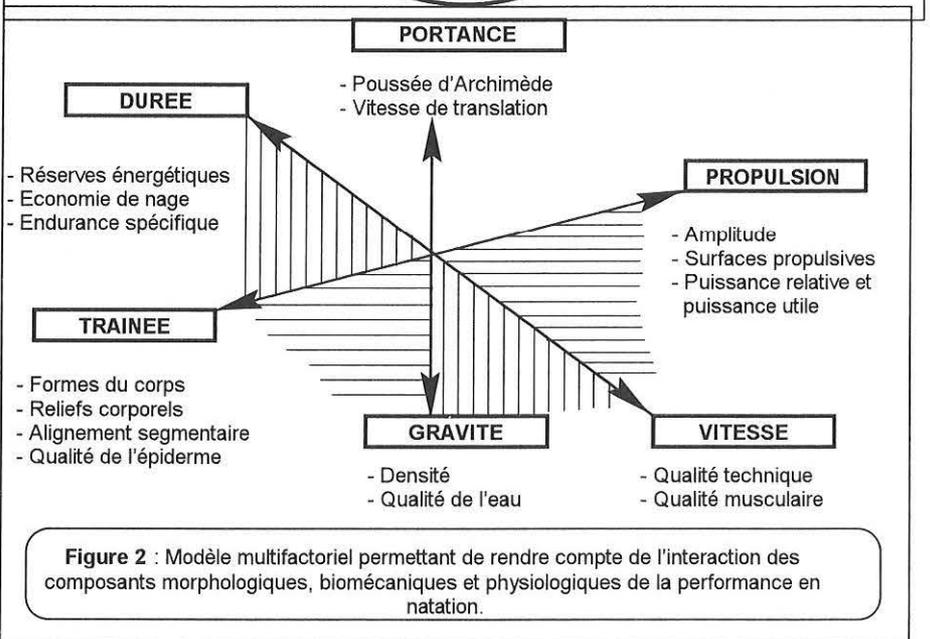


Figure 2 : Modèle multifactoriel permettant de rendre compte de l'interaction des composants morphologiques, biomécaniques et physiologiques de la performance en natation.

plus en plus actuellement l'évaluation tente non seulement d'appréhender le rôle respectif des différentes variables mesurées dans leurs interactions, mais aussi de mieux comprendre celui joué par les interactions elles-mêmes dans la combinatoire des modèles multifactoriels élaborés. C'est de cette démarche que procèdent les approches proposées par Persyn et coll. (1974... 1991) qui, à partir de référentiels établis avec les nageurs de haut niveau, associent l'analyse cinématique des techniques de nage aux mesures anthropométriques, biométriques, biomécaniques et physiologiques afin de détecter informatiquement les erreurs techniques et les points faibles individuels, et surtout pour proposer des solutions palliatives.

Bien que ce problème ait toujours été central dans nos programmes de recherches, par souci didactique, dans un premier temps nous n'aborderons que quelques unes des nombreuses techniques qui, à notre avis, devraient permettre d'évaluer chacun des principaux sec-

teurs concernés par la performance. Pour une information plus complète, nous suggérons de lire notamment les excellents ouvrages de Persyn et coll. (1979, 1982, 1983, 1984a et b, 1988), Lavoie et Montpetit (1986), Chatard et coll. (1984, 1985a et b, 1989, 1990), Pelayo (1989) et Chollet (1990).

### EVALUATION DE LA « GLISSE »

La « glisse » est un concept largement utilisé en natation. Elle traduit la capacité de prolonger sans mouvement une translation créée par une action propulsive en immersion totale ou partielle. La glisse dépend de plusieurs facteurs : de l'alignement segmentaire, de la forme générale du corps et de sa densité, donc de l'importance de son maître-couple, des reliefs anatomiques, de la qualité de l'épiderme : rugosité, système pileux, élasticité et « fluidité », et de la viscosité du milieu.

#### ◆ Densité et sustentation

Lorsqu'un nageur à l'arrêt tente de se maintenir en position horizontale à la surface de l'eau, du fait de l'hétérogénéité de la constitution du corps humain (masses musculaires plus importantes des membres inférieurs et « bouée » pulmonaire de la partie supérieure), son centre de volume ( $C_v$ ) où s'exerce la poussée d'Archimède ( $F_A$ ) et son centre de gravité ( $G$ ) où s'exerce en sens contraire l'attraction terrestre ( $F_G$ ) ne sont pas confondus, entraînant un couple de rotation à l'issue duquel,  $C_v$  et  $G$  s'alignent sur la même verticale. De la position horizontale initiale, la rotation le conduit à une position verticale. Si sa densité est supérieure à celle de l'eau ( $F_G > F_A$ ), le nageur coule. Dans le cas contraire ( $F_G \leq F_A$ ), le nageur se maintient à la surface ou entre « deux eaux ».

Pour se replacer à la surface de l'eau dans une position horizontale favorable à la translation, le nageur doit donc exercer une force verticale de sens opposé à  $F_G$  non seu-

lement pour replacer la partie inférieure de son corps à l'horizontale, mais aussi pour s'y maintenir. Cette recherche de sustentation entraîne une dépense d'énergie d'autant plus importante que  $C_v$  et  $G$  sont éloignés et que sa densité est supérieure à celle du liquide. Par conséquent, elles peuvent constituer un important facteur limitant la performance de moyenne et de longue durée (400, 800 et 1500 m). Leur appréciation s'avère donc indispensable dans le choix de la distance de nage.

#### ◆ Pesée hydrostatique et estimation de la flottabilité

Plusieurs techniques ont été expérimentées. Les unes ont surtout pour but de mesurer ou d'estimer le poids spécifique du nageur dans l'eau, les autres celui de l'importance de l'écart entre le Centre du Volume et le Centre de Gravité. La pesée hydrostatique en position de décubitus dorsal et en expiration forcée, nous a permis de confirmer qu'en moyenne, les enfants (9-11 ans), les filles, les nageurs de longue distance et les dossistes présentent les poids spécifiques les moins importants ; alors qu'à l'opposé, les sprinters crawl, les papillonneurs et surtout les brasseurs, sont les plus denses. Il faut cependant remarquer d'importantes variations à l'intérieur de chaque groupe d'appartenance (Cazorla, 1993).

La technique utilisée nécessite une cuve, un système comprenant une potence où est suspendue une plaque sur laquelle, au moyen de sangles, le nageur est fixé. Au moment de la mesure, la plaque est immergée, le nageur respire alors par l'intermédiaire d'un tuba. Son poids spécifique en immersion est obtenu grâce à un capteur situé entre le câble de suspension de la plaque et la potence (figure 3). La plaque peut aussi reposer et basculer sur un pivot coulissant afin de détecter le centre d'équilibre (ou  $C_v$ ) et ainsi, mesurer la distance  $C_v-G$ .

Les limites de ces systèmes sont constituées par l'impossibilité de prendre respectivement en compte les effets de l'air résiduel après expiration forcée et ceux des évolutions de la « bouée » pulmonaire au cours des cycles ventilatoires de la nage réelle.

De façon plus accessible mais moins précise, la flottabilité et le couple de rotation peuvent être appréciés par l'entraîneur. Dans le premier cas, selon la technique utilisée par Chatard (1989), après une inspiration forcée, le nageur prend dans l'eau une position foetale, le regard orienté vers le fond du bassin. L'évaluateur place alors des poids additionnels (de 0.1 à 1 kg) sur son dos, au niveau des omoplates jusqu'à obtenir une position immergée stable juste en dessous de la surface de l'eau. La charge totale mesure ainsi ce que l'auteur définit comme la poussée de flottaison. Concernant notre technique, il suffit de relever à quel niveau du visage se situe la surface de

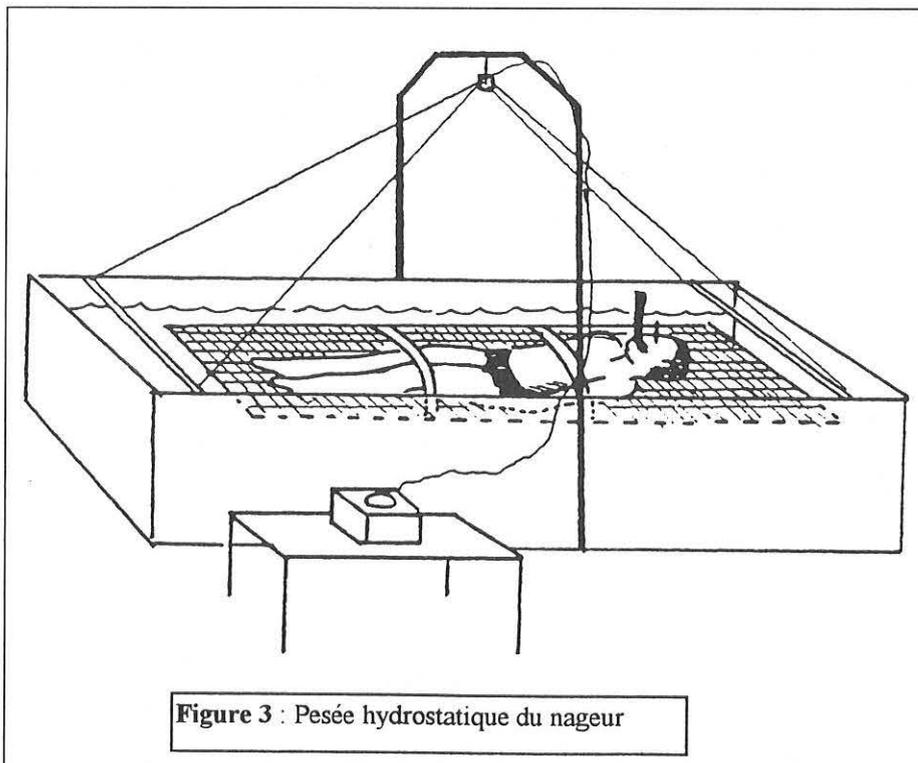


Figure 3 : Pesée hydrostatique du nageur

l'eau lorsque le nageur en eau profonde se tient en position verticale, les bras le long du corps et en inspiration forcée. Les niveaux de flottaison relevés sont : la tête immergée, le front, le nez, la bouche, le menton et le cou. L'évaluation du couple de rotation consiste à chronométrer la durée nécessaire pour passer de la position horizontale sur le dos en inspiration forcée, les mains plaquées sur la partie externe des cuisses, à la position verticale dans l'eau. Les référentiels relatifs à ces deux techniques ont été calculés par âge et par sexe (Cazorla, 1993).

◆ **Translation, portance et traînée**

Lors de sa locomotion aquatique, le nageur doit toujours composer avec quatre forces : son poids dans l'eau, sa portance, sa propulsion et sa traînée résultante. Lorsque la vitesse de nage est constante, ces forces s'équilibrent deux à deux, la portance équilibre le poids dans l'eau et la propulsion équilibre la traînée. De façon statique nous savons comment poids et portance interagissent. Qu'en est-il lors de la translation ?

Toute translation du nageur complètement ou partiellement immergé s'oppose à une résistance appelée traînée hydrodynamique (Th). Cette traînée résulte elle-même de la somme de plusieurs forces : la **traînée frontale ou de vague** (Tv) constituée par le point de rencontre de particules d'eau inertes et des parties frontales du corps, la **traînée d'écoulement ou de friction** (Tf) qui dépend des caractéristiques et de la vitesse d'écoulement des particules fluides autour du corps (cette vitesse d'écoulement entraîne un effet sustentateur ou portance dynamique sur les parties immergées du corps du nageur), la **traînée de remous** (Tr) liée aux différents reliefs du corps en arrière desquels les particules d'eau sont perturbées et forment des zones dépressionnaires d'écoulements turbulents, enfin la **traînée d'immersion** (Ti) qui dépend des fluctuations de la surface immergée du maître couple au cours des différents cycles locomoteurs.

Nous pouvons donc écrire :  $Th = Tv + Tf + Tr + Ti$  et constater que les formes corporelles, les modes de locomotion ou plus précisément, les techniques de nage et la vitesse de nage influent directement sur l'importance de la traînée hydrodynamique. Un des buts de

l'apprentissage, du perfectionnement technique et de l'entraînement est de tenter d'en minimiser les effets.

◆ **Formes corporelles et traînée hydrodynamique**

Selon le modèle proposé par Clarys et coll. (1974) qui utilisent les analogies de calculs ainsi que les comparaisons de traînées obtenues avec un bateau, il conviendrait de prendre en compte les dimensions données dans le **tableau 1** ci-après. Si des analogies existent, il serait cependant abusif d'assimiler le corps du nageur à un corps solide. Les changements de formes non seulement interindividuels mais aussi et surtout intra-individuels au cours de la nage, le positionnement de la tête, des bras en avant, du bassin anté ou rétroversé, l'inspiration ou l'expiration complète (Chatard, 1989) peuvent entraîner de telles modifications de la traînée résultante qu'il serait hasardeux de se référer qu'aux seuls résultats d'équations issues de la mécanique des fluides prévues pour les bateaux.

Pour notre part, (Cazorla, 1978), afin d'étudier l'influence des dimensions corporelles sur la traînée hydrodynamique et ce, après bien d'autres expérimentateurs, nous avons tracté dans l'eau le nageur en position passive. En fonction des vitesses auxquelles ce nageur était tracté, nous avons pu observer que les dimensions anthropométriques exerçaient des effets variables sur la traînée. De plus, ces effets sont différents selon le sexe. A petite vitesse (1 m/s), le poids, la masse maigre, l'envergure, les circonférences des bras et la longueur des membres inférieurs, sont fortement corrélés avec la force de traînée aussi bien chez les garçons que chez les filles. De façon générale, la puissance de cette corrélation diminue avec l'augmentation de la vitesse (2 m/s) s'expliquant probablement par l'effet de portance qui s'exerce plus particulièrement sur les parties les plus immergées et soulève les membres inférieurs à la surface de l'eau.

Par ailleurs, une analyse en composante principale réalisée à partir de 36 mesures biométriques relevées systématiquement chez 234 nageurs et 204 nageuses espoirs et de haut niveau, montrent de multiples redondances entre les mesures (travaux personnels non publiés). Ceci signifie qu'il est inutile d'enregistrer autant

Bateau	Facteurs influençant la traînée résultante	Corps du nageur
<p>Coefficient de profil <math>\frac{L}{\Delta 1/3}</math></p> <p>Rapport longueur - large <math>\frac{L}{l}</math></p> <p>Rapport largeur diamètre de la coque <math>\frac{l}{d\varnothing}</math></p>	<p><b>Traînée d'onde</b></p>	<p>Taille debout</p> <p>Volume 1/3</p> <p>Taille debout</p> <p>Largeur biacromiale</p> <p>Largeur biacromiale</p> <p>Diamètre sagittal du thorax</p>
<p>Surface <math>\otimes</math> de la plus grande section transverse <math>\otimes = \beta 1.d</math></p>	<p><b>Traînée d'immersion</b></p>	<p>Surface de la plus grande section du corps (maître couple)</p>
<p>Longueur du bateau L</p> <p>Surface mouillée</p> <p>Rapport L/l</p> <p>Rapport l/d<math>\varnothing</math></p> <p>Rapport du carré de la longueur sur la surface de la plus grande section</p>	<p><b>Traînée d'écoulement (ou de friction)</b></p>	<p>Taille debout</p> <p>Surface immergée</p> <p>Rapport taille/largeur biacromiale</p> <p>Rapport taille debout/diamètre sagittal thoracique</p> <p>Rapport du carré de la taille debout /surface corporelle.</p>

**Tableau 1 :** Comparaison descriptive des paramètres de formes du corps humain et du bateau (Clarys et coll., 1974)

de mesures mais que seules les mesures de la taille, du poids (qui permettent aussi le calcul de la surface corporelle), du pourcentage de graisse, de la circonférence bideltôidienne, de la longueur des membres inférieurs et du rapport entre la longueur des membres inférieurs et la partie supérieure du corps sont suffisantes pour rendre compte indirectement de l'effet des dimensions biométriques sur la translation.

Remarquons cependant qu'il ne s'agit là que de tractions du nageur en position allongée et passive s'opposant à des traînées stables. De ce fait, à vitesse constante, l'accélération étant nulle, on peut effectivement mesurer la traînée à partir de la force nécessaire pour tracter le nageur. D'autre part, Karpovich (1933) et Onoprienko (1967) ont permis de confirmer que la traînée du nageur tracté passivement ( $T_p$ ) augmentait proportionnellement au carré approximatif (2 à 2.08) de la vitesse :  $T_p = k.V^2$  à  $2.08$ . « k » représente le coefficient hydrodynamique du nageur. Connaissant la vitesse et la force nécessaires à la traction, il est alors facile d'obtenir « k » ou indice hydrodynamique du nageur. Comme nous l'avons indiqué, cet indice dépend du maître-couple, de la surface immergée, du poids dans l'eau, de la qualité de l'épiderme et des formes et reliefs corporels. Les trois premiers de ces facteurs étant très variables, au cours de la nage, la traînée passive n'est qu'imparfaitement représentative de la traînée active. En outre, comme l'efficacité de la propulsion résulte d'autres dimensions comme l'envergure, l'amplitude articulaire, l'importance des surfaces propulsives, leurs mesures devraient aussi être retenues.

D'autres auteurs qui ont étudié l'évolution de la taille et du poids des nageurs participant aux finales des Jeux Olympiques entre 1968 et 1988 (Catteau et Renoux,

1977 ; Bedard et coll., 1979 ; Montpetit, 1983 ; Pelayo, 1989) constatent une augmentation très importante de la taille mais, une augmentation moins évidente du poids surtout chez les nageuses, ce qui témoigne d'un morphotype de plus en plus longiligne se situant selon le somatotype de Sheldon (1954) et Heath-Carter, proche du type mésoectomorphe. Dans cette même perspective, Bulgakova et Voroncov (1978) ont étudié plus particulièrement le morphotype de nageurs de haut niveau selon la spécialité (figure 4). Dans cette étude, la taille apparaît beaucoup plus déterminante pour les sprinters en crawl, les dossistes et les spécialistes des quatre nages. La surface des coupes frontales témoignent de l'importance des masses musculaires et donc, de la puissance chez le sprinter en crawl, le papillonneur et le brasseur, alors que les moindres dimensions antéropostérieures des surfaces de coupe du crawlleur de longue distance et du dossiste confirment une réduction de leur surface immergée et donc, d'un maître couple réduit diminuant ainsi les effets de la traînée.

#### ◆ Test de piscine pour évaluer la glisse

De façon très accessible l'entraîneur peut aussi apprécier la capacité hydrodynamique de ses nageurs en procédant en deux étapes. ① A partir d'un test de détente verticale réalisé sur la bord du bassin (Sargent-test ou Abalakhov), il peut apprécier la poussée de leurs membres inférieurs à sec.

② En immersion totale, membres inférieurs fléchis sur le bord du bassin, il leur demande de réaliser une poussée complète suivie d'une coulée ventrale la plus longue possible. La mesure est réalisée du bord du bassin aux pieds du nageur. Trois cas de figure peuvent se présenter : a) Le nageur réalise une très bonne performance

aux deux tests ce qui exprime à la fois de bonnes qualités musculaires et hydrodynamiques. b) Sa performance « à sec » est très modeste mais sa coulée ventrale est très bonne : il possède probablement une très bonne « glisse ». c) A l'opposé, sa performance à sec est supérieure mais sa coulée est très modeste : sa qualité hydrodynamique est à améliorer. De même, on peut comparer les longueurs de coulées ventrales après départ dans l'eau et après départ de compétitions ou de virages réalisés à pleine vitesse et établir les ratio dont il convient alors de suivre l'évolution en fonction des renforcements techniques proposés au cours de l'entraînement.

#### EVALUATION DE LA PROPULSION

Lorsque l'on veut évaluer la propulsion, l'examen de six composantes s'impose : La position du nageur dans l'eau et, plus particulièrement, l'angle formé par son corps par rapport à la direction de la translation, le trajet subaquatique des surfaces propulsives, l'amplitude, la fréquence, la puissance de chaque cycle locomoteur et leur efficacité.

Les deux premières relèvent de l'observation soit directement par le technicien

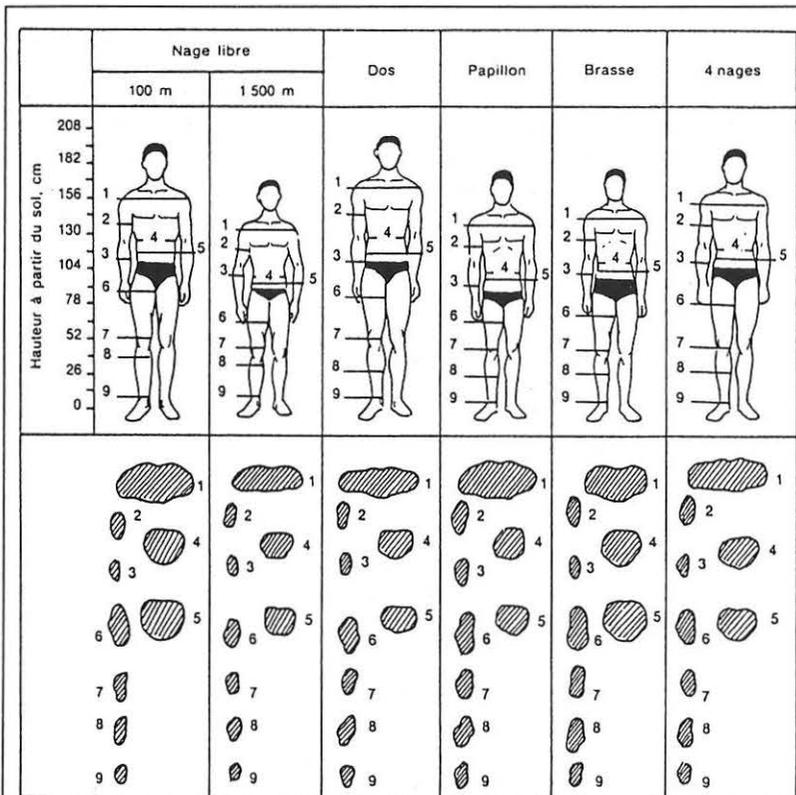
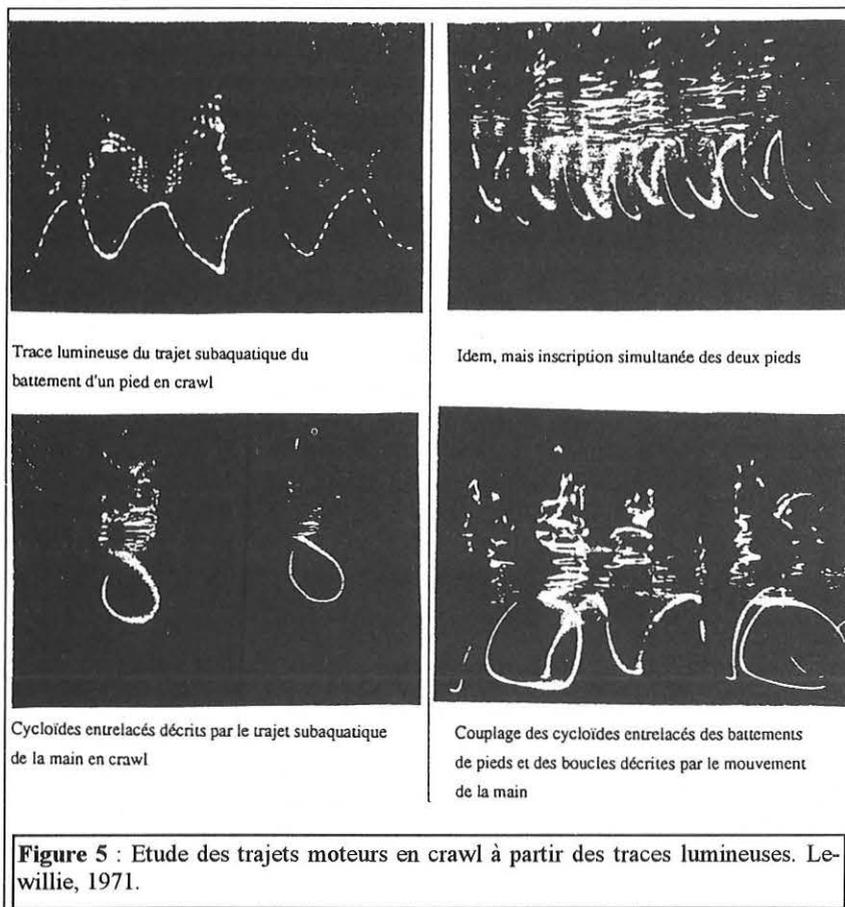


Figure 4 : Morphotype et dimensions anthropométriques des nageurs russes de haut niveau. D'après Bulgakova et Voroncov (1978)



**Figure 5 :** Etude des trajets moteurs en crawl à partir des traces lumineuses. Le-willie, 1971.

qui, pour s'aider, peut utiliser des grilles d'observations, soit au moyen de la vidéo par prises de vues subaquatiques.

Afin d'utiliser plus efficacement la grille d'observations, nous conseillons de définir au préalable, une taxinomie des comportements à prendre en compte (ou « check list ») du type de celle proposée par Firby (1982). Ces comportements deviennent ainsi plus faciles à vérifier en temps réel, sachant que la simple observation exclut de ses possibilités l'analyse des trajets moteurs subaquatiques. Couplés aux résultats de capteurs de vitesse et de force portés par le nageur, les films vidéo obtenus à partir de caméras immergées ont permis de mieux comprendre, d'analyser et de modéliser les différents trajets moteurs (Schleihauf, 1982 ; Counsilman, 1983 ; Costill et coll., 1987 Loetz et coll., 1988 ; Schleihauf et coll., 1988). Ce même type d'analyse a pu aussi être mené grâce à l'utilisation de traces lumineuses (Lewillie, 1971 **figure 5**). Ainsi, il est remarquable de constater, par exemple en crawl, que le trajet de la main ne se fait pas selon un S comme le proposait le modèle de Counsilman (1971), mais demeure sous forme de boucles ou de « cycloïdes entrelacés » à l'intérieur d'un espace à trois dimensions (Torre, 1972). Alors que Counsilman considérait le trajet par rapport à un nageur ne se déplaçant pas, les cycloïdes entrelacés s'obtiennent lorsque son corps tout entier « bascule » d'arrière en avant autour d'appuis plus ou moins fixes. La recherche d'appuis les plus fixes possibles dans un milieu aux particules fuyantes trouve une meilleure explication en utilisant le principe de Bernouilli que celle donnée par Counsilman. De cette façon, il est possible d'apprécier la qualité technique d'un mouvement propulsif à la longueur du glissement d'avant en arrière de sa surface d'appui dans l'eau.

Plus courte est cette longueur, meilleure est la qualité de l'appui. Par simple observation de la distance entre l'entrée et la sortie de la main (crawl, dos), ou des mains (papillon) de l'eau lors d'un cycle locomoteur complet, il est possible d'apprécier la qualité de son appui. Cette observation est tout à fait accessible en utilisant la position des flotteurs d'une ligne d'eau comme points de repère. Elle ne peut cependant être mesurée qu'en utilisant l'image vidéo et une échelle étalonnée placée en arrière plan sur la ligne d'eau.

**Des trois autres composantes : la fréquence, l'amplitude et la puissance,** seules les deux premières peuvent être accessibles sans un appareillage coûteux. C'est probablement la raison de son succès auprès des entraîneurs.

◆ **Evaluation de la fréquence et calcul de l'amplitude de chaque cycle locomoteur**

Depuis longtemps utilisé en aviron, le comptage du nombre de cycles locomoteurs par distance de bassin, couplé à la performance chronométrée, permet d'obtenir la distance parcourue

par cycle (voir calcul en encadré ci-après).

**Calcul de l'amplitude :**

- 1) Chronométrer le temps nécessaire pour réaliser trois cycles locomoteurs complets. Pour compter trois cycles, partir de zéro et non de un lorsqu'une des deux mains (crawl, dos) ou les deux mains (papillon) entrent dans l'eau ou sont étendues devant (brasse). Enregistrer la mesure, par exemple : 3 s 95.
- 2) A partir du passage de la tête, chronométrer les dix mètres centraux de chaque bassin de 25 ou 50 m. Par exemple : 6 s 06 (\*).
- 3) Calcul de la vitesse =  $10 \text{ m} / 6.06 = 1.65 \text{ m/s}$ .
- 4) Calcul de la distance par cycle  $(3.95 \times 1.65) / 3 \text{ cycles} = 2.17 \text{ m par cycle}$ .
- 5) Calcul de l'indice de nage (Costill et coll., 1985) =  $\text{In} = \text{distance par cycle} \times \text{vitesse} = 2.17 \times 1.65 = 3.58$

(\* Afin d'éviter les accélérations et les vitesses sans nage liées aux départs et aux virages, nous conseillons de ne pas retenir la performance finale sur la distance complète comme élément de calcul, mais de chronométrer une distance centrale dans chaque longueur de bassin. Ces mêmes calculs sont actuellement réalisés en temps réel par le nouveau Chrono+ mis au point et distribué par la Société NEVES.

Selon les travaux de East (1970), il semble y avoir corrélations entre cette distance et la performance au 100 m crawl, en dos, en papillon chez les hommes et seulement en papillon chez les dames. Afin d'éviter les différents calculs, Craig et coll. (1979) proposent un nomogramme permettant d'accéder directement à la vitesse de nage et à la distance parcourue par cycle (**figure 6**).

Aujourd'hui, des chrono-calculateurs fournissent en temps réel et avec plus de précision ces mêmes renseignements.

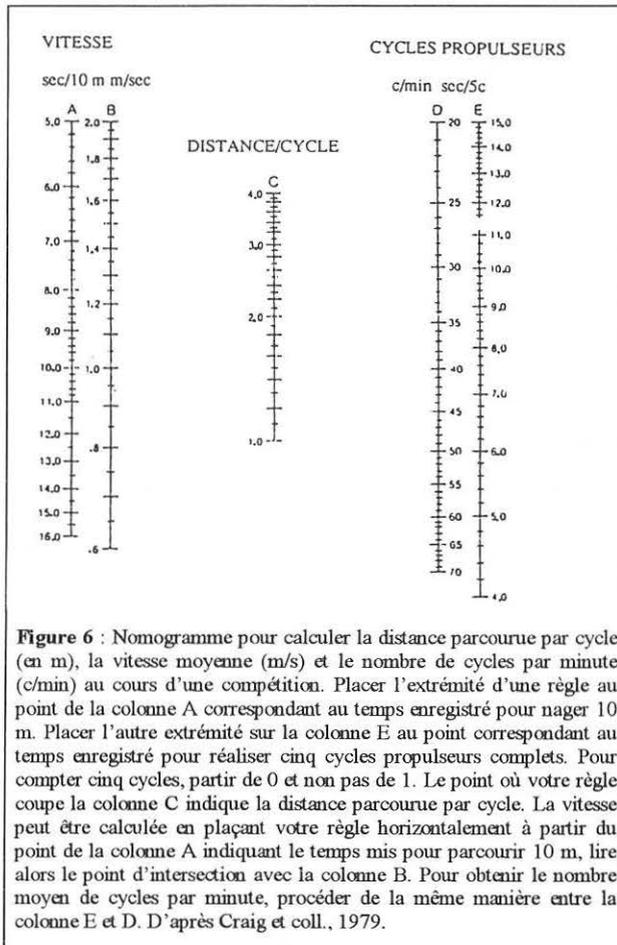


Figure 6 : Nomogramme pour calculer la distance parcourue par cycle (en m), la vitesse moyenne (m/s) et le nombre de cycles par minute (c/min) au cours d'une compétition. Placer l'extrémité d'une règle au point de la colonne A correspondant au temps enregistré pour nager 10 m. Placer l'autre extrémité sur la colonne E au point correspondant au temps enregistré pour réaliser cinq cycles propulseurs complets. Pour compter cinq cycles, partir de 0 et non pas de 1. Le point où votre règle coupe la colonne C indique la distance parcourue par cycle. La vitesse peut être calculée en plaçant votre règle horizontalement à partir du point de la colonne A indiquant le temps mis pour parcourir 10 m, lire alors le point d'intersection avec la colonne B. Pour obtenir le nombre moyen de cycles par minute, procéder de la même manière entre la colonne E et D. D'après Craig et coll., 1979.

On peut toutefois s'interroger sur la pertinence de cette mesure, surtout en ce qui concerne les distances moyennes (400 m) et longues (800-1500 m). A partir du tableau de synthèse dans lequel Chollet (1990, p. 212-213) présente d'une part les performances et, d'autre part, les fréquences, les amplitudes des cycles et les indices de nage des meilleurs nageurs de haut niveau, nous n'avons pu mettre en évidence de relations significatives entre ces variables et la performance. Ceci résulte probablement du fait que fréquence, distance parcourue par cycle locomoteur et indice de nage sont aussi influencés par d'autres facteurs comme la taille, l'envergure, la plus ou moins bonne efficacité du battement des pieds, la glisse, le rapport puissance totale/puissance utile, le coût énergétique de chaque cycle et le rendement global de la nage. Il faut cependant remarquer aussi que ces résultats ont été obtenus avec une population de nageurs du meilleur niveau international, donc très homogène du point de vue de leurs performances ce qui, indirectement, permet d'établir qu'une variable isolée, même lorsqu'elle paraît très congruente, s'avère insuffisamment discriminante pour prédire la performance.

Par ailleurs, si cette technique d'appréciation de l'efficacité de nage s'avère très accessible, elle ne nous renseigne en rien sur les facteurs à modifier pour améliorer la propulsion. Enfin, l'indice de nage étant calculé à partir d'une fréquence de cycles locomoteurs des membres supérieurs, il ne prend pas en compte la part du

travail des membres inférieurs dans la propulsion résultante. Selon la nage, la distance de compétition, la morphologie du nageur et sa technique individuelle, les membres inférieurs peuvent pourtant ajouter à l'efficacité totale une part plus ou moins importante qu'il conviendrait de ne pas négliger. L'expression « mettre les jambes » utilisée par les entraîneurs est à cet égard très significative.

#### ◆ Evaluation de la puissance

Par définition la puissance est le produit de la force et de la vitesse.  $P$  (watts) =  $F$ , ici force de propulsion  $F_p$  (newtons) x Vitesse de nage (m/s). Si la vitesse est plus facile à chronométrer, il en est tout autrement de la force de propulsion, surtout dans les conditions de la nage. Aussi, faute d'un appareillage adapté, on peut se demander si la force maximale obtenue hors bassin est représentative de celle obtenue dans l'eau. Selon Magel et McArdle (1970), seuls 13% de la force maximale « à sec » pourraient être développés dans l'eau par le sprinter et que 2.5% par le nageur de 1500 m.

De plus, comme l'ont montré les enregistrements électromyographiques (Clarys, 1983), même lorsque des appareils de musculation permettant de simuler le geste propulsif à sec sont utilisés, ce ne sont pas exactement les mêmes groupes musculaires qui sont sollicités et, lorsqu'ils le sont, on observe d'importantes différences tant au niveau de leur intensité contractile qu'à celui du synchronisme de leur contraction.

*Deuxième interrogation* : La force maximale obtenue dans l'eau au cours de la nage sur place, le nageur retenu par un câble équipé d'un capteur, représente-t-elle la force maximale développée au cours des cycles locomoteurs en nage normale ?

Lorsque l'on réalise ce protocole de mesure, on peut observer que la technique développée à la tension maximale du câble par le sujet nageant sur place est très différente de sa technique habituelle. Dans ces conditions, nous avons souvent obtenu des résultats supérieurs avec des non nageurs puissants qu'avec de bons nageurs. Cette technique ne s'avère donc pas suffisamment discriminante si seule la force maximale est recherchée.

Par contre, le bon nageur développe une force moyenne nettement supérieure lorsqu'on lui demande de maintenir une tension à la limite de ses possibilités pendant des durées plus longues données. Employé de cette façon, ce protocole s'avère très intéressant pour juger de l'endurance spécifique de la force du nageur au cours d'une saison d'entraînement.

Comment obtenir alors la force maximale de propulsion au cours de la nage ? Trois techniques peuvent actuellement répondre à ce souci. Des trois, celle que nous utilisons (Connan et coll., 1981) s'avère la plus accessible. Expérimentalement, nous avons remarqué que la vitesse de nage était inversement proportionnelle aux différentes charges qui lui étaient opposées selon une relation linéaire fortement corrélée. Pour ce faire, grâce à un système de longe et de poulies, le nageur est relié à des charges qui s'opposent à la direction de sa locomotion. Ces charges sont suspendues à l'arrière du nageur à l'extrémité du bras d'un chariot véhiculé sur le bord du bassin. Elles sont maintenues toujours à la même hauteur dans l'axe de la nage en poussant le chariot à la même

dans l'axe de la nage en poussant le chariot à la même vitesse que celle du nageur. On mesure ainsi quatre couples : charges différentes-vitesse maximale durant 10 s. A partir de leur régression, il est alors possible d'extrapoler la charge théorique maximale susceptible d'être développée à vitesse nulle et ainsi, d'obtenir la force maximale de propulsion de la nage. Nos résultats nous ont permis de mettre en évidence des corrélations significatives avec les performances de différentes spécialités mais ce, uniquement sur des distances n'excédant pas 200 m et ont montré des forces maximales décroissantes entre brasse, papillon, crawl et dos.

Les deux autres techniques requièrent un important matériel.

Grâce à l'ingéniosité de chercheurs tels que Issourin et coll. (1977 et 1979) et ceux de l'équipe de Hollander à Amsterdam (1986), deux appareillages permettent actuellement de mieux évaluer la puissance totale développée et la puissance utilisée dans chaque cycle locomoteur.

**Technique de Issourin et coll. (1977 et 1979)**

A partir d'un système de mesures comprenant une caméra immergée déplacée parallèlement et à la même vitesse que celle du nageur, un couplage des images obtenues aux mesures de forces de propulsion et de traînée enregistrées en temps réel par des capteurs équipant le nageur, et à un cinémomètre, Issourin et coll. ont pu superposer la vitesse, l'accélération, la force de propulsion et la traînée au cours de chaque cycle locomoteur (figure 7). Dans cette étude, Issourin obtient des forces propulsives maximales proches de 30 kg nettement supérieures à celles publiées jusqu'alors, ainsi qu'une traînée active (Ta) approximativement deux fois plus élevée que celle enregistrée lorsque le nageur est tracté en position passive. Dans ces conditions expérimentales, la traînée varie avec le cube de la vitesse (V) selon l'équation :  $Ta = kV^3$ .

Comme à vitesse constante la traînée est égale à la puissance développée (P), on peut écrire  $P = Ta = kV^3$ .

A partir de plusieurs données publiées ces dernières années et colligées par Montpetit (1992), on a pu estimer k à 62.9. La puissance développée à différentes vitesses stables peut donc s'écrire :

$$P \text{ (watts)} = 62.9 \times V^3 \text{ (m/s)}$$

L'évolution exponentielle de cette puissance mécanique produite en fonction de la vitesse est représentée par la figure 8.

**Technique de Hollander et coll. (1986)**

En nage libre, si toute la puissance mécanique externe (P totale) développée par le nageur au cours de sa locomotion contribuait à sa propulsion, on pourrait écrire : P totale = Force de traînée (Ft) x Vitesse (V) ou  $P \text{ totale (w)} = Ft \text{ (N)} \times V \text{ (m/s)}$ . Or, nous savons que du fait des appuis fuyants rencontrés dans

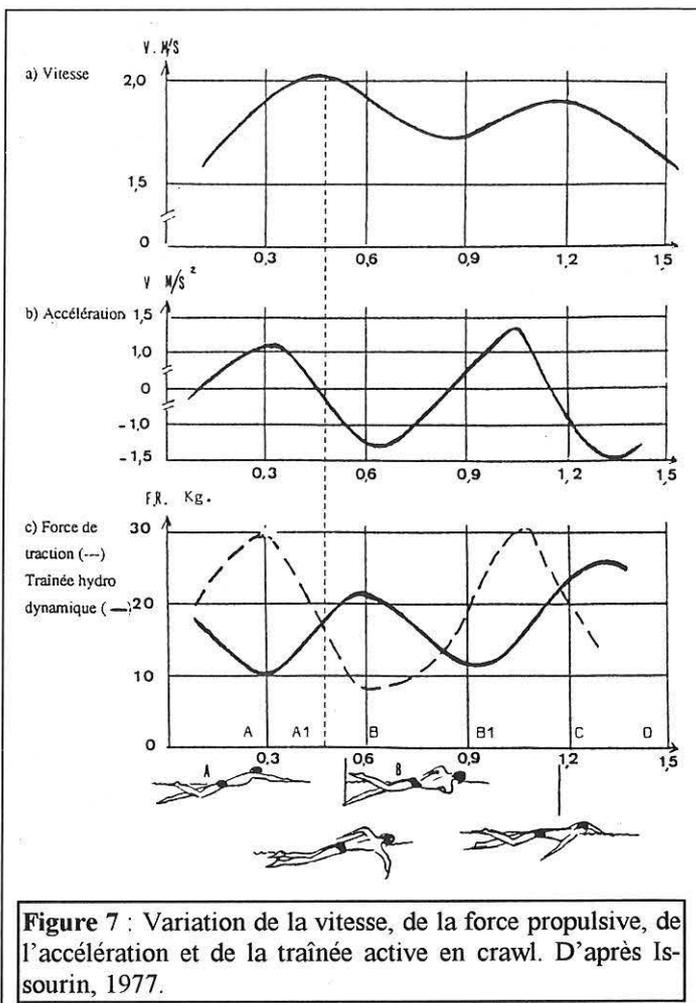


Figure 7 : Variation de la vitesse, de la force propulsive, de l'accélération et de la traînée active en crawl. D'après Issourin, 1977.

l'eau, seule une partie de la puissance totale peut être utilisée par les surfaces propulsives (Schleihau, 1982). D'où les concepts de puissance utile (Pu) et de puissance perdue (Pp) ou puissance dissipée dans l'eau sans effet sur la translation. L'équation ❶ s'écrit alors : P totale = Pu + Pp.

Grâce au système mis au point par Hollander et coll. (1986), il est désormais possible d'estimer P totale et P utile et, par soustraction, d'obtenir P perdue. Ce système appelé « M.A.D. System » de : Measure of Active Drag, consiste à mesurer la force propulsive des bras à chaque

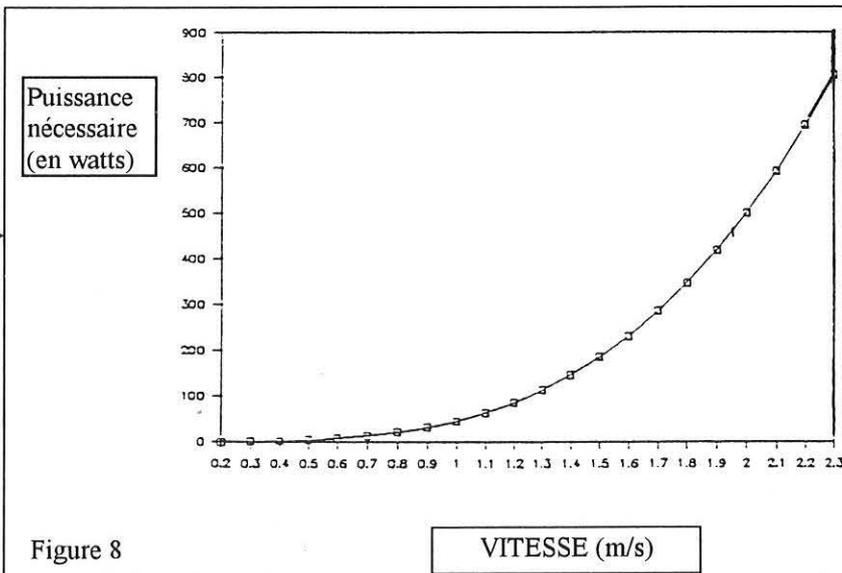


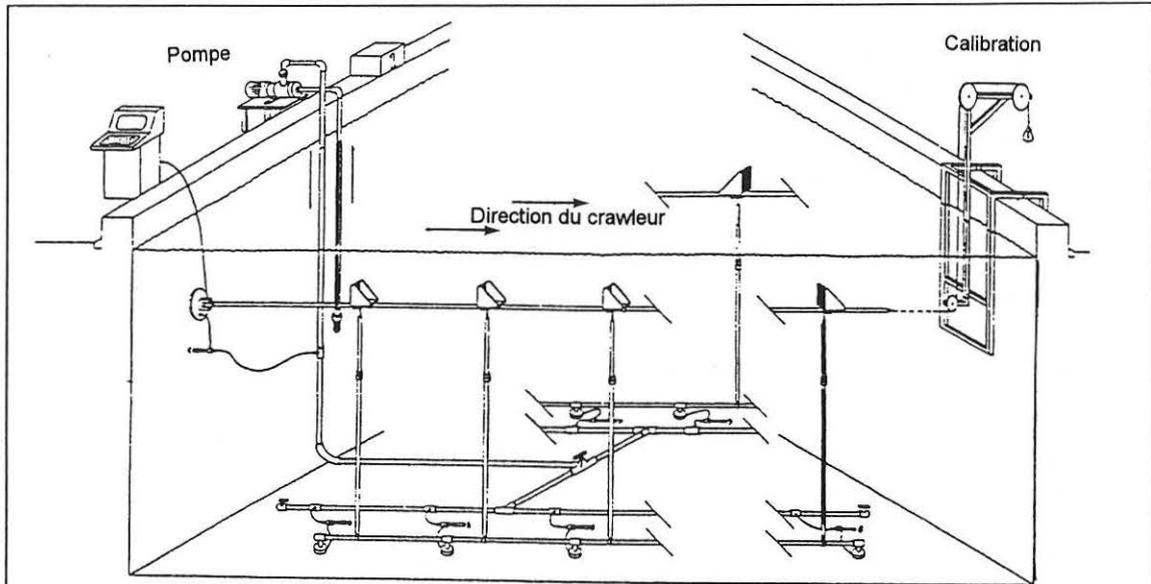
Figure 8

cycle locomoteur à partir de capteurs de force montés sur des appuis fixes sous l'eau et placés sur la trajectoire du nageur (figure 9). Lorsque le nageur se propulse à partir d'appuis solides,  $P_{perdue} = 0$ , donc  $P_{totale} = P_{utile}$ .

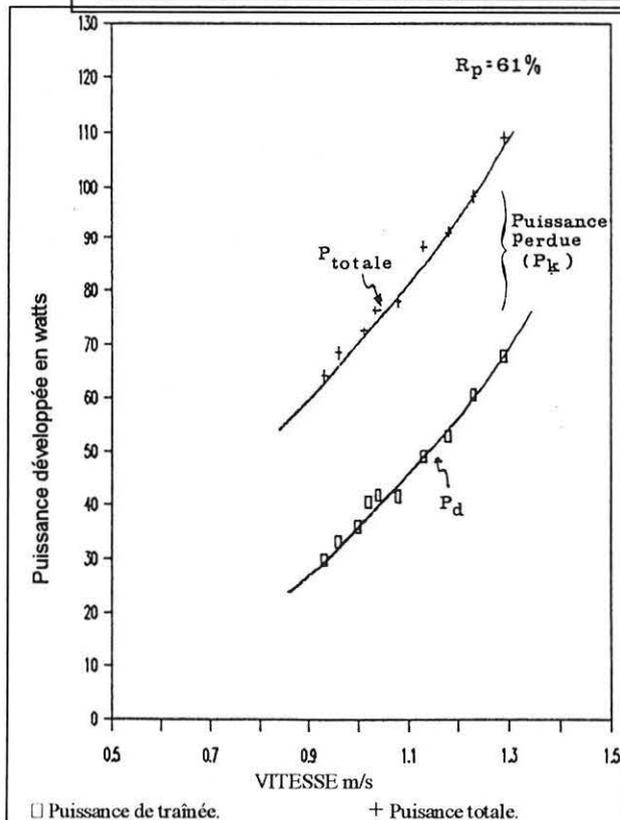
Il est ainsi possible de mesurer le rendement de la propulsion ( $R_{pro}$ ) qui est le quotient de la puissance utile  $P_u$  par la puissance totale fournie.

$$R_{pro} = \frac{P_u}{P_u + P_p} = \frac{P_u}{P_{totale}}$$

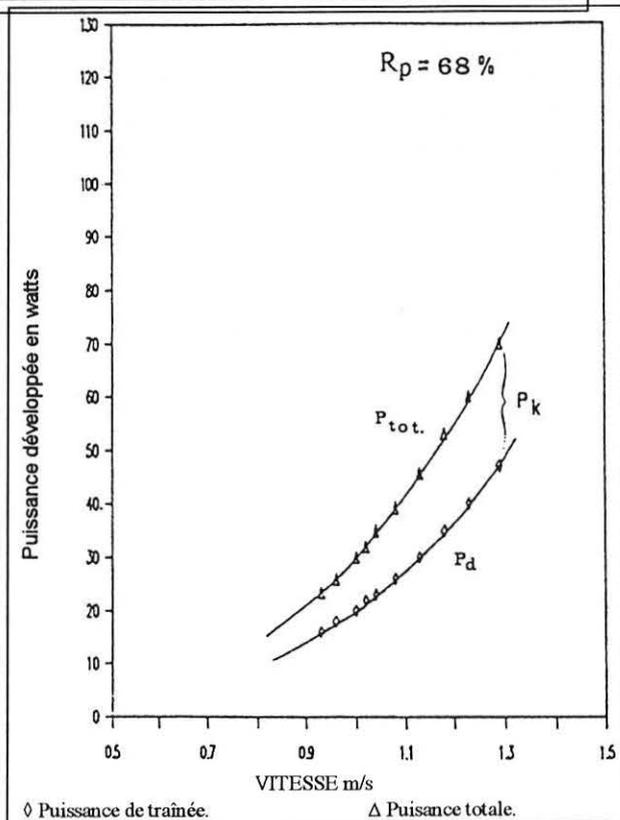
A partir de ces considérations, il est possible de souligner que la performance dépend non seulement d'une puissance totale élevée (surtout chez le sprinter), mais aussi d'un haut rendement de propulsion. (Le rendement de propulsion ne doit pas être confondu avec le rendement énergétique total qui, nous le verrons ultérieurement, est le quotient de la puissance totale fournie par la consommation d'énergie).



**Figure 9 :** Vue d'ensemble du M.A.D. System (Measure Active Drag). Le M.A.D. System mesure la force propulsive des membres supérieurs à chacun de leur cycle locomoteur par l'intermédiaire de capteurs de force montés sur des appuis fixes situés en série sur la trajectoire du nageur. La force propulsive ainsi mesurée serait égale à la traînée active. D'après Hollander et coll., 1988.



**Figure 10 :** Puissance totale, puissance utile et puissance perdue



**Figure 11 :** Idem autre sujet présentant un meilleur rendement

En effet, se fondant sur les travaux de Holander et coll. (1986) et notamment sur les résultats obtenus avec le M.A.D. System, Montpetit (1992) estime que même chez les très bons nageurs, plus d'un tiers de la puissance totale produite serait perdue (figures 10 et 11).

On peut cependant observer que, si on se réfère au trajet de la main dans la phase aquatique du cycle locomoteur, la propulsion réalisée à partir d'appuis fixes doit probablement entraîner l'utilisation de schèmes moteurs différents de ceux de la nage normale. Comme l'ont bien démontré Clarys et Olbrecht (1982), on peut alors raisonnablement penser que d'au-tres groupes musculaires que ceux utilisés dans la propulsion réelle sont donc sollicités. Dans ce cas, est-il acceptable d'affirmer que l'on mesure effectivement la force propulsive et indirectement la trainée active ?

Une étude électromyographique comparative de la sollicitation musculaire en nage libre et en utilisant le M.A.D. System pourrait nous renseigner à cet égard.

**EVALUATION DES CAPACITES ENERGETIQUES**

Si on se réfère d'une part aux connaissances les plus récentes sur l'énergétique musculaire et d'autre part aux durées limites des records mondiaux : 21 s 81 au 50 m et 14 min 50 s 36 au 1500 m nage libre, la glycolyse anaérobie et aérobie sont les sources énergétiques les plus fortement sollicitées par la natation de compétition (figure 12).

S'appuyant sur les données de Medbo et Tabata (1989) et à partir du modèle de Péronnet et Thibault (1989), Montpetit (1992) propose des pourcentages nettement différents de ceux habituellement présentés : tableau 2.

Selon l'ensemble de ces résultats, il est clair qu'aux vitesses limites de chacune des compétitions, les trois sources énergétiques interviennent complémentai- rement à des pourcentages respectifs qui dépendent es- sentielllement de la durée.

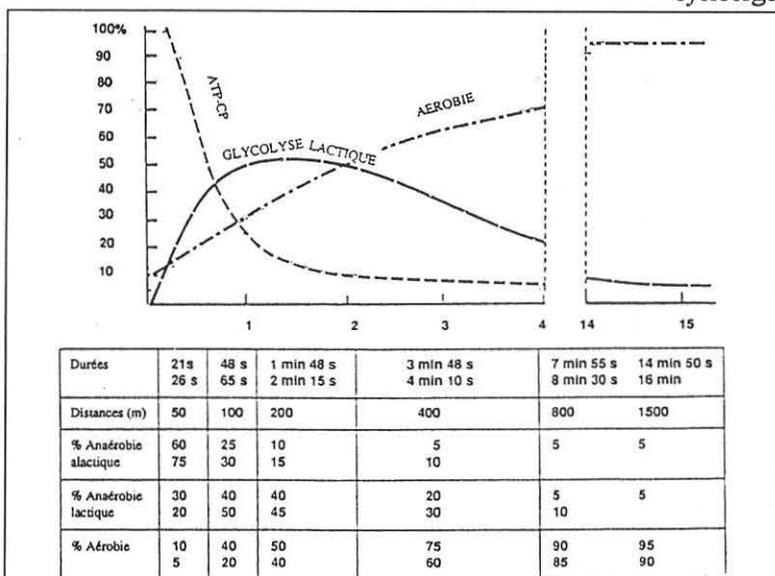


Figure 12 : Pourcentages moyens de la contribution respective des trois métabolismes à l'apport énergétique relatif aux différentes distances et techniques de nage

Métabolismes exprimés en %	Distances				
	50 m	100 m	200 m	400 m	1500m
Origine anaérobie					
- Haut niveau	85	60	40	15	5
- Enfants 11-12 ans	80	50	32	18	3
Origine aérobie					
- Haut niveau	15	40	60	85	95
- Enfants 11-12 ans	20	50	68	82	97

Tableau 2 : Pourcentages respectifs estimés des différentes sources énergétiques sollicitées au cours des compétitions nagées en crawl. D'après Montpetit, 1992

Alors que les réserves énergétiques sont largement dépendantes du niveau d'entraînement du nageur, la qualité de leur utilisation et donc le rendement de la nage résultent de l'interaction de ses capacités bioméca- niques (flottabilité, glisse, rapports segmentaires, techni- que) et de ses capacités physiologiques (qualité des unités motrices sollicitées).

Cependant, quel que soit le record, l'importance de la capacité aérobie tant au niveau de la performance elle-même (figure 12, tableau 2) que pour pouvoir sup- porter des entraînements de durées et d'intensités élevées et pour pouvoir récupérer plus rapidement, a depuis longtemps développé un intérêt tout particulier à l'égard de la mesure de la consommation d'oxygène du nageur.

Cet intérêt a pris deux orientations : l'une cen- trée sur l'évaluation du  $\dot{V}O_2$  max comme critère d'aptitude, l'autre vers la dépense énergétique aérobie au cours de la nage comme critère de rendement, d'économie ou d'efficacité technique.

◆ Evaluation de la puissance aérobie maximale

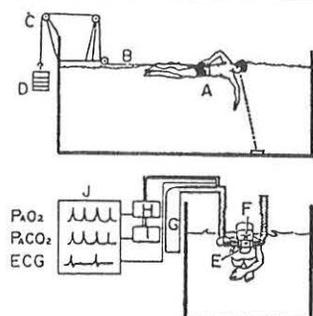
- S'il ne s'agit que d'apprécier le potentiel aé- robie maximal du nageur, un simple test de course pro- gressive navette (Léger et coll., 1982) suffit. La mesure directe ou l'estimation indirecte du  $\dot{V}O_2$  max en labo- ratoire sur des ergomètres non spécifiques (tapis roulant, cycloergomètre), nous semble être des luxes bien inutiles.

- S'il s'agit de connaître la capacité aérobie spécifique du nageur afin d'étudier son meilleur rendement et de situer les vitesses les plus utiles pour gérer les contenus de ses entraînements, seule la mesure directe de  $\dot{V}O_2$  au cours de la nage devrait être utilisée. A défaut de ne pouvoir mesurer directement le  $\dot{V}O_2$  au cours de la nage, il est aujourd'hui tout à fait possible d'utiliser des tests triangulaires de nage accompagnés de l'enregistre- ment de la fréquence et de prélèvements sanguins à des fins de lactacidémie (Cazorla, Montpetit, 1983 ; Lavoie et coll., 1985 ; Ca- zorla, 1993).

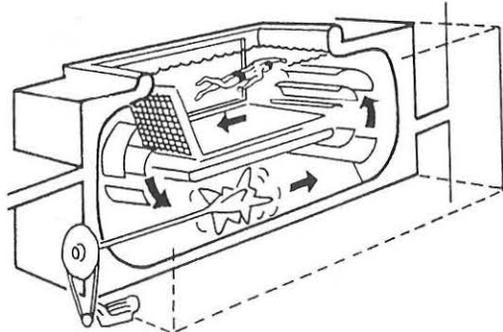
◆ Mesure directe de  $\dot{V}O_2$  max nage

De nombreuses techniques sont actuel- lement utilisées (lire notamment Cazorla et coll., 1982, 1992). Les unes utilisent la nage sur place contre des charges de plus en plus lourdes à maintenir soulevées à une même hauteur : figure 13 (Costill, 1965 ; Magel et

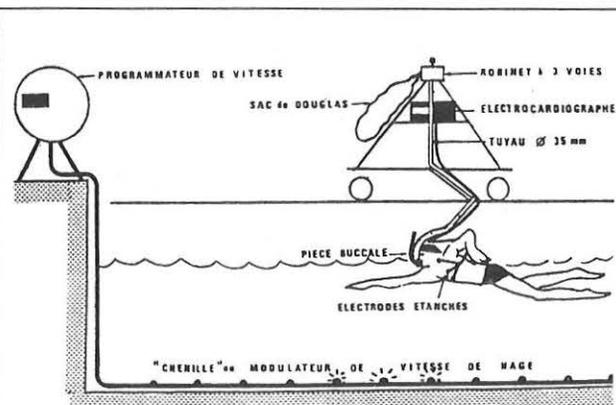
coll., 1975 ; Nomura, 1978 ; Bonen et coll., 1980), d'autres qui peuvent bénéficier d'un bassin expérimental adapté, consistent à nager sur place contre un flux progressivement accéléré : **figure 14** (Astrand et Engleson, 1972 ; Holmer, 1974 ; Holmer et coll., 1974). Enfin, la troisième groupe est constitué par ceux qui utilisent la nage libre avec déplacements en piscine normale : **figure 15** (McArdle et coll., 1971 ; Magel et Faulkner, 1967 ; Montpetit et coll., 1981 ; Cazorla et coll., 1982).



**Figure 13** : Technique d'évaluation physiologique du nageur à partir de la nage sur place contre des charges à maintenir élevées. A : ceinture, B : longe, C : poulies, D : charges additionnelles, E : valve à deux voies, F : pince-nez, G : sac de Douglas, J : graphe d'enregistrement.



**Figure 14** : Bassin expérimental à courant d'eau continu et à vitesse modulable (Astrand et Engleson, 1972).



**Figure 15** : Technique utilisée dans la présente étude qui permet de déterminer  $\dot{V}O_2$  max au cours de la nage avec déplacements (Cazorla et coll., 1982)

#### ◆ Valeurs de $\dot{V}O_2$ max et protocoles de mesures

Les valeurs de  $\dot{V}O_2$  max obtenues en piscine à flux variables et en nage avec déplacement sont identiques. Chez les mêmes nageurs, elles sont en moyenne moins élevées que celles obtenues en course, la différence dépend de leur état d'entraînement. Plus le nageur est entraîné plus proches sont ces valeurs (de 2% à 16% : Cazorla et Montpetit, 1983). Ces valeurs sont, par contre, plus élevées (4 à 6% : Bonen et coll., 1980) que celles mesurées au cours de l'épreuve de nage sur place contre des charges.

Avec cette dernière, on observe de telles déformations de la technique lorsque les charges additionnelles deviennent importantes, qu'il est légitime de se demander ce qui est exactement évalué.

Mesurés en valeurs brutes ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ), les  $\dot{V}O_2$  max sont aussi en natation plus élevés chez les garçons que chez les jeunes filles (Montpetit et coll., 1988a).

Bien que les  $\dot{V}O_2$  max nage soient en moyenne plus élevés chez les nageurs de haut niveau comparés aux nageurs de clubs (**tableau 3**), leurs corrélations avec la performance n'apparaissent pas toujours très évidentes : **tableau 4** (Cazorla et coll., 1984, 1992).

#### ◆ $\dot{V}O_2$ max, âge et niveaux de pratique

On peut par contre remarquer dans le **tableau 4** que plus les nageurs sont jeunes, plus puissante est la relation performance- $\dot{V}O_2$  max nage. Ceci n'est plus le cas avec les nageurs plus âgés. Il se peut que le niveau technique encore trop faible du débutant ne soit pas suffisamment discriminant et que seules les qualités physiques et physiologiques permettent à ces âges d'expliquer la performance.

Dans cette hypothèse, la mesure de  $\dot{V}O_2$  max s'avère indispensable pour détecter les éventuels futurs espoirs mais insuffisante pour sélectionner les nageurs plus âgés de meilleur niveau.

L'absence ou la faiblesse des corrélations à mesure qu'augmentent l'âge et le niveau de pratique montre bien que la prise en compte de l'interaction d'autres facteurs est indispensable pour expliquer une part plus importante de la performance. Par exemple, en retenant les  $\dot{V}O_2$  mesurés pour tous les nageurs à  $1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ou mieux, les pourcentages de  $\dot{V}O_2$  max individuels à  $1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et le  $\dot{V}O_2$  exprimé en unité de masse corporelle immergée mesuré à  $1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (autant de façons d'évaluer indirectement le niveau d'économie de nage et donc d'habileté technique), on observe une augmentation de la puissance des corrélations avec la performance (**tableau 5** : Cazorla et Chatard, 1983).

Une fois de plus on peut donc remarquer qu'une seule variable, bien que nécessaire pour obtenir une performance, s'avère insuffisante pour évaluer la capacité spécifique de la natation de compétition. A la limite, un sujet peut bénéficier d'un  $\dot{V}O_2$  max très important mais ne pas savoir nager !

On peut alors légitimement s'interroger sur la pertinence de la mesure directe de  $\dot{V}O_2$  max dans l'eau dans le cadre du suivi du nageur.

Références	n	Niveau	Test	Sexe	Age	$\dot{V}O_2$ max (l.min <sup>-1</sup> )
McArdle et coll. (1971) <sup>o</sup>	5	E	NL	M	19.4	3.36
Holmer (1972)	12	HN	NB Exp	F	15.3	2.96
Holmer et coll. (1974)	11	HN	NB Exp	M	18.7	5.05
	12	HN	NB Exp	F	17.3	3.42
Magel et coll. (1975)	30	C	N + Ch	M	21.0	3.47
Lavoie et coll. (1981)	5	HN	NL	M	16.5	4.11
	5	HN	NL	F	16.2	3.15
	6	C	NL	M	20.1	3.61
	8	C	NL	F	19.6	2.28
Montpetit et coll. 51983 <sup>o</sup>	15	HN	NL	M	18.4	4.65
	12	HN	NL	F	17.7	3.30
	24	C	NL	M	14.7	3.93
	17	C	NL	F	14.7	2.82
Costill et coll. (1985)	25	E	NL	M	18.23	3.71
	14	E	NL	F	18.23	3.69
Cazorla et Montpetit (1988)	19	HN	NL	M	20.7	4.51

**Tableau 3** : Comparaison des  $\dot{V}O_2$  max mesurés chez des nageurs de catégories : Etudiants (E), Club (C), Haut Niveau (HN). Valeurs issues de différentes études utilisant trois protocoles différents : Nage Libre à vitesse progressive (NL), Nage sur place contre des charges additionnelles (N+Ch), et Nage contre courant en Bassin Expérimental (NB Exp). D'après Klentrou, 1991.

◆ **VO<sub>2</sub> max direct et suivi de l'entraînement**

Mesuré au début et après une période de neuf mois d'entraînement, Lavoie et coll. (1981) observèrent une augmentation respective de 7 à 8% du  $\dot{V}O_2$  max des nageuses et nageurs nationaux canadiens. Par contre, réalisées à quatre reprises avec les nageurs de l'équipe de France alors qu'ils étaient déjà bien entraînés, les mesures de  $\dot{V}O_2$  max n'ont pas montré de différences significatives. Il semble donc que  $\dot{V}O_2$  max augmente significativement au cours de la première période d'entraînement et se stabilise ensuite en un plateau constant, même si les contenus d'entraînement augmentent en volume et en intensité (Montpetit et coll., 1987). Les améliorations subséquentes de la performance seraient probablement dues alors à l'évolution d'autres facteurs que  $\dot{V}O_2$  max.

En conséquence, compte tenu de l'importance des moyens à mettre en oeuvre, la mesure directe de  $\dot{V}O_2$  max au cours de la nage ne nous semble pas justifiée dans le cadre du suivi de l'entraînement. Par ailleurs, la connaissance de ces valeurs (brutes ou ramenées au poids du corps ou à l'unité de surface corporelle) n'apporte pas d'éléments nouveaux dans le choix des contenus d'entraînement. Par contre, dans cette perspective, la vitesse atteinte à  $\dot{V}O_2$  max ou vitesse aérobie maximale (VAM Nage) et les cinétiques vitesses-FC obtenues au cours d'épreuves triangulaires amenant les nageurs à leur VAM semblent beaucoup plus utiles.

n = 24	$\dot{V}O_2$ max (l.min <sup>-1</sup> )	$\dot{V}O_2$ à 1.1 m.s <sup>-1</sup> (l.min <sup>-1</sup> )	% $\dot{V}O_2$ max à 1.1 m.s <sup>-1</sup>	Masse corporelle immergée (kg)	$\dot{V}O_2$ max/MCI (l.min <sup>-1</sup> .kgim <sup>-1</sup> )	$\dot{V}O_2$ MCI <sup>-1</sup> à 1.1 m.s <sup>-1</sup>
% Record du monde	0.53*	-0.712**	-0.85**	NS	NS	-0.823**

\* significatif au seuil de 0.02 ; \*\* significatif au seuil de 0.01 ; MCI = Masse Corporelle Immergée

**Tableau 5** : Corrélations calculées entre les performances (% du record du monde) et les différentes variables physiologiques

Ages (année)	Jeunes gens		Jeunes filles	
	n	r	n	r
10-11	12	0.96***	14	0.90***
12	13	0.78***	21	0.64***
13	40	0.45***	38	0.52***
14	34	0.32*	18	NS
15	28	NS	24	0.68***
16	15	0.69***	6	NS
17	7	NS	13	NS
18 et +	24	0.46**		

\*\*\* significatif à 0.001 ; \*\* significatif à 0.02 ; \* significatif à 0.05

**Tableau 4** : Récapitulatif des corrélations calculées entre le  $\dot{V}O_2$  max et le niveau de performance apprécié en pourcentage du record du monde de la spécialité considérée.

◆  **$\dot{V}O_2$  max indirect et évaluation du nageur**

Afin de minimiser la « lourdeur » du protocole de mesure directe de  $\dot{V}O_2$  max mais aussi, afin de libérer le nageur des contraintes de l'appareillage nécessaire au recueil des gaz expirés et d'obtenir des vitesses de nage non perturbées par cet appareillage, actuellement, deux techniques indirectes peuvent être utilisées : l'une se fonde sur la rétroextrapolation de la courbe de décroissance de  $\dot{V}O_2$  de récupération après une épreuve triangulaire maximale (Léger et coll., 1980 ; Montpetit et coll., 1983), l'autre sur la mesure de  $\dot{V}O_2$  obtenue dans les 15 secondes immédiatement après un 100 m nagé à vitesse maximale (Cazorla et coll., 1984).

Technique de la rétroextrapolation de la courbe de récupération

Dans cette technique, les  $\dot{V}O_2$  sont mesurés toutes les vingt secondes à l'issue d'une épreuve triangulaire maximale. La courbe de récupération s'apparentant à une fonction exponentielle, il suffit de calculer le logarithme de chaque  $\dot{V}O_2$  pour obtenir un ajustement linéaire. L'extrapolation au point d'origine de la droite de régression ainsi calculée redonne approximativement la même valeur que  $\dot{V}O_2$  max obtenu directement dans le dernier palier de l'épreuve : **figure 16**. Cependant, dans cette technique, la qualité du résultat dépend d'une part, de l'atteinte exacte ou non de la vitesse aérobie maximale au dernier palier et, d'autre part, de la précision des prises de mesure des cycles ventilatoires post-épreuve. Ces deux facteurs aléatoires expliquent la dispersion des mesures personnellement obtenues malgré le respect d'une grande rigueur méthodologique (**figure 17**).

**Technique dite « supramaximale »**

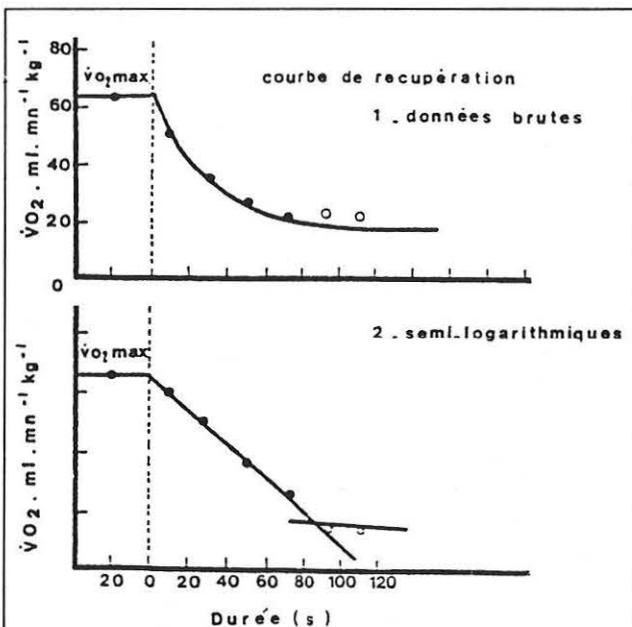
Lorsqu'un exercice est réalisé à intensité supra-maximale (supérieure à  $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ), la consommation d'oxygène se maintient quelques secondes au même débit maximal que celui atteint au cours de cet exercice. Ce phénomène déjà constaté par Di Prampero et coll. (1973), nous a conduit à tenter un pareil protocole à l'issue d'épreuves de 100 et 200 m nage (Cazorla et coll., 1984). Les comparaisons de  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  mesurés directement et  $\dot{V}O_2$  extrapolés après exercices « supramax » donnèrent en moyenne des valeurs supérieures à l'issue du 100 m et sensiblement inférieures à l'issue du 200 m.

**Commentaires**

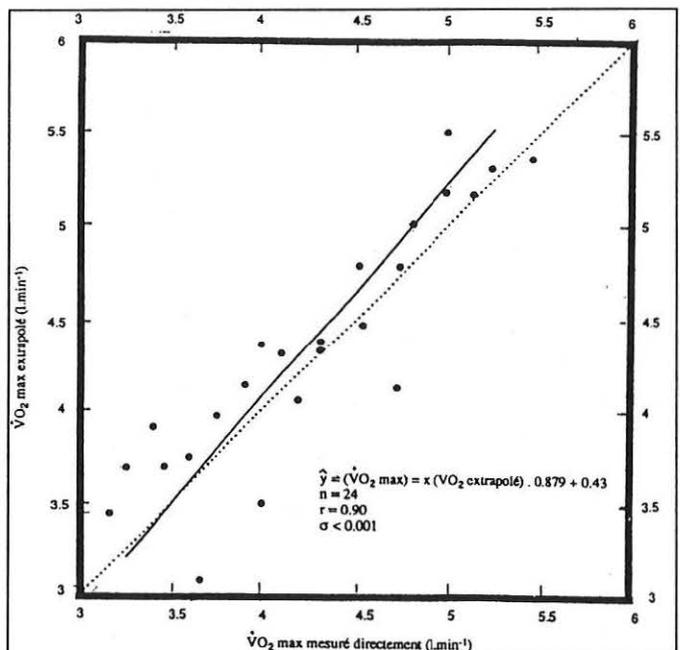
Les variations intra et interindividuelles obtenues avec ces deux techniques, nous interrogent non seulement sur la nature de la précision des protocoles mis en oeuvre (facteurs extrinsèques) mais aussi sur les cinétiques individuelles des échanges gazeux post-exercice (facteurs intrinsèques).

A nouveau, nous nous posons la question de la finalité et de la pertinence de leur utilisation. A la limite, si la technique de rétroextrapolation était totalement valide et fidèle, elle pourrait permettre de confirmer si le nageur atteint ou non sa vitesse aérobie maximale au dernier palier du test triangulaire nagé sans appareillage. Mais, dans le doute, il ne nous est pas permis d'être péremptoirement affirmatif.

Les valeurs supérieures de  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  extrapolés après une épreuve « supramax » nous permettent, par contre, de nous demander si les contraintes liées à l'appareillage de recueil des gaz expirés par le nageur, ne l'empêche pas d'exprimer tout son potentiel aérobie. L'appareillage constitue un handicap certain et perturbe la vitesse de nage, seul élément susceptible d'être utilisé par l'entraîneur ! Dans ce but, nous avons étudié les effets de cet appareillage sur la vitesse de nage et ce, en fonction de l'âge, du sexe et de la technique de nage. En utilisant la technique de test avec appareillage et de retest sans appareillage et en relevant systématiquement la fréquence cardiaque du même nageur réalisant les deux



**Figure 16 :** Technique de rétroextrapolation de la courbe de décroissance de la récupération après une épreuve triangulaire maximale pour obtenir le  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (Léger et coll., 1980)



**Figure 17 :** Comparaison des  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  obtenus directement et indirectement par la technique de rétroextrapolation (résultats personnels).

AGES (an)	SEXE	n	y CRAWL =	n	y BRASSE =
10-11	F	3	0.94959 . Va + 0.19676		
12	F	4	0.87745 . Va + 0.20716		
12	G	4	1.35599 . Va + 0.25242		
13	F	9	0.97943 . Va + 0.13767	7	1.05904 . Va + 0.00734
13	G	5	1.23195 . Va - 0.15972	3	1.29178 . Va - 0.23488
14	F	14	0.95906 . Va + 0.122	6	1.36696 . Va - 0.23208
14	G	4	1.05660 . Va - 0.01351	5	1.20187 . Va - 0.15046
15	F	15	0.9043 . Va + 0.18481	3	1.06508 . Va + 0.02992
15	G	34	1.04197 . Va + 0.00792	5	1.16353 . Va - 0.12591
16	F	5	0.82842 . Va + 0.25272		
16	G	13	0.98004 . Va + 0.06760		
17	G	11	1.10399 . Va - 0.065223		

**Tableau 6 :** Régressions permettant d'extrapoler la vitesse de nage réelle ( $y = m \cdot s^{-1}$ ) à partir de la connaissance de la vitesse de nage avec appareillage ( $Va = m \cdot s^{-1}$ ). Régressions établies par sexe, âge et technique de nage : crawl et brasse.  $y =$  vitesse réelle  $m \cdot s^{-1} = a \cdot$  vitesse avec appareillage ( $m \cdot s^{-1}$ ) + b

tests dont les augmentations progressives de vitesse étaient rigoureusement identiques, nous avons pu calculer les effets de l'appareillage et proposer les équations de correction correspondantes : **tableau 6**. Dans la continuité de ces calculs, nous avons établi les normes relatives à la VAM nage en brasse et en crawl pour les garçons et les filles âgés entre 12 et 18 ans et plus (Cazorla, 1993).

Ne disposant que d'un chronomètre et de distances, l'entraîneur a surtout besoin de références chronométriques pour élaborer ses contenus d'entraînement. Plus que la connaissance de  $\dot{V}O_2$  max, c'est celle de la vitesse de nage atteinte à  $\dot{V}O_2$  max (VAM nage) ou mieux, les temps de passage aux 25, 50, 75, 100 ou 200 m correspondant non seulement à cette vitesse, mais aussi aux pourcentages utiles de cette vitesse, qui lui sont nécessaires <sup>(1)</sup>.

◆ **Evaluation et utilisation de la vitesse aérobie maximale (VAM nage)**

Plusieurs protocoles triangulaires permettent aujourd'hui d'évaluer la VAM nage : en augmentant la vitesse soit tous les 50 m (Cazorla et coll., 1984), soit toutes les minutes (0.025 m/s : VAMEVAL Nage, Cazorla, 1993), ou toutes les deux minutes (Lavoie et coll., 1985), soit encore tous les paliers de trois minutes entrecoupés entre eux par une période d'arrêt permettant les prélèvements sanguins en vue de la lactacidémie (TUBII, Cazorla, 1992).

◆ **Evaluation de l'endurance aérobie spécifique**

Les résultats préliminaires d'une étude actuellement en cours (Petibois, 1994), nous ont permis de constater chez de jeunes nageurs spécialistes du 1500 m que, d'une part les 100, 200, 400, 1500 et le 3000 m crawl se nageaient à des vitesses moyennes égales respectivement à 115, 108, 104, 96 et 92% de la VAM (**tableau 7**) et, d'autre part, que selon le niveau et la spécialité des nageurs, les distances correspondant à la VAM se situaient entre le 500 et le 700 m.

	VAM Nage (m.s <sup>-1</sup> )	V.100m (m.s <sup>-1</sup> )	% VAM	V.200m (m.s <sup>-1</sup> )	% VAM	V.400m (m.s <sup>-1</sup> )	% VAM	V.1500m (m.s <sup>-1</sup> )	% VAM	V.3000m (m.s <sup>-1</sup> )	% VAM
Moyenne	1.475	1.698	115	1.600	108.1	1.53	103.6	1.42	96.2	1.35	91.88
Ecart-type	0.04	0.15	4.1	0.10	3.3	0.06	2.2	0.06	2.7	0.05	2.36

**Tableau 7** : VAM Nage, vitesses de nage et leur pourcentage (%) respectif de VAM réalisés par 14 jeunes nageurs (16.2 ± 2 ans) spécialistes du 1500 m et de niveau club régional. D'après Petibois, 1994.

Dépendant de l'interaction de quatre facteurs : de  $\dot{V}O_2$  max, de l'économie de nage, de l'efficacité de la nage et du niveau d'entraînement, la VAM nage constitue une référence très pertinente de l'évaluation de la capacité technico-aérobie du nageur. A ce titre, elle entre pleinement dans toute batterie de tests du suivi de l'entraînement. A partir de cette référence, l'entraîneur peut non seulement mieux ajuster les vitesses individuelles de chacun de ses nageurs (I) mais aussi, suivre lui-même l'évolution de leur endurance en calculant l'indice d'endurance spécifique (IES). L'indice d'endurance

spécifique est le pourcentage de la VAM nage que représente la vitesse moyenne à laquelle est nagée une distance quelconque.

$$I.E.S. (\% \text{ VAM}) = \frac{\text{Vitesse moyenne d'une distance de nage (m.s}^{-1}\text{)}}{\text{Vitesse aérobie maximale (m.s}^{-1}\text{)}} \cdot 100$$

**Le tableau 7** donne des références préliminaires auxquelles nous souhaiterions ajouter celles que chaque lecteur intéressé voudra bien nous faire parvenir à l'adresse indiquée ci-dessous (1) (merci !).

**EVALUATION DE LA CAPACITE ANAEROBIE**

Pour la plupart des compétitions de natation et plus particulièrement pour le 100 et le 200 m, la glycolyse anaérobie contribue largement à la couverture des besoins énergétiques (**figure 12 et tableau 2**). Témoin de sa mise en jeu, la lactacidémie post-compétitions confirme cette hypothèse (Torma et Székely, 1978 ; Sawka et coll., 1979 ; Chatard et coll., 1988).

**Commentaires**

Dépendante de nombreuses influences, la valeur informative de la lactacidémie ne peut être que très approximative. Les importantes variations inter-individuelles et intra-individuelles doivent tenir compte de nombreux paramètres comme la distance, la technique, la répartition de l'intensité au sein d'une même épreuve de compétition, la qualité des unités motrices et les masses musculaires sollicitées, et bien-sûr, l'influence de l'entraînement. Il serait donc hasardeux de vouloir tirer des conclusions hâtives ou souvent partielles en tenant dans l'ombre les influences de chacun de ces paramètres. Par exemple, il est souvent admis qu'une forte concentration d'acide lactique sanguin à l'issue d'une compétition de moyenne durée (100, 200, 400 m) peut contrarier la qualité de la performance. Une forte production d'acide

lactique induit certes une acidose musculaire élevée, mais ne traduit-elle pas aussi une quantité équivalente de molécules d'ATP synthétisées par la glycolyse, donc une contraction musculaire plus intense ? Par ailleurs, par rapport à la production du lactate par le muscle, qu'elle est la quantité qui diffuse dans le sang ? Au niveau sanguin, qu'elle est la quantité métabolisée par les autres organes (autres, fibres musculaires, myocarde, rein, foie...) ? Enfin, que représente une concentration sanguine de lactate dès lors qu'au moment du prélèvement, elle est toujours la résultante des débits d'entrée (eux-mêmes ne représentant qu'une partie du débit de formation) et des différents débits de sortie et d'utilisation ? L'ensemble de ces inconnues rendent très aléatoire toute estimation du lactate produit par le muscle à partir de la simple lactacidémie.

<sup>1</sup>. Pour l'aider dans ces tâches, nous avons réalisé pour lui un logiciel très accessible actuellement distribué par l'Association Recherche et Evaluation en A.P.S. - BP 40 - F-33611 CESTAS CEDEX.

### ◆ La lactacidémie comme moyen d'évaluation de l'état d'entraînement

Parmi les multiples protocoles utilisés pour enregistrer les variables physiologiques (fréquence cardiaque,  $\dot{V}O_2$ , lactacidémie) susceptibles de renseigner sur l'état du nageur, l'épreuve triangulaire de nage demeure la plus classique. Enregistrées au cours (FC et  $\dot{V}O_2$ ) et à l'arrêt de chaque palier (lactacidémie), ces variables sont ensuite analysées en fonction des différentes vitesses de nage.

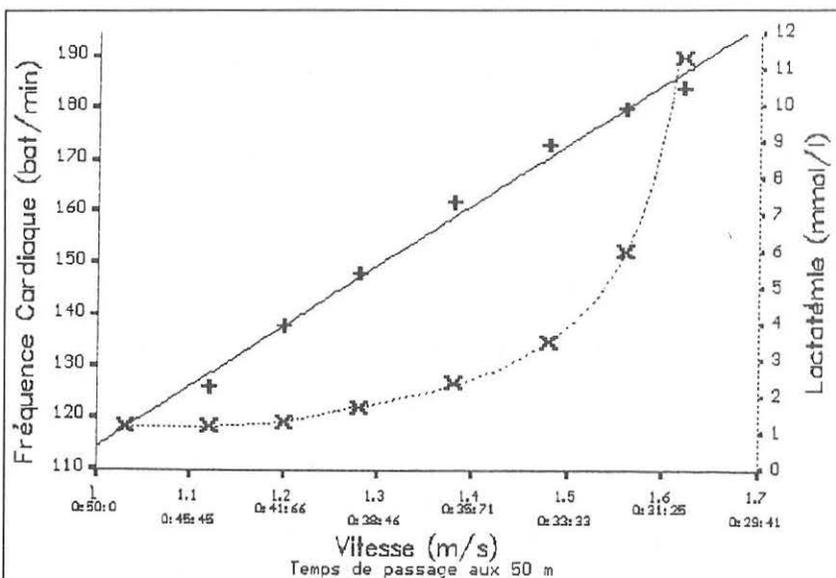


Figure 18 : Représentation de la fonction linéaire FC-Vitesse et curviligne Vitesse-Lactacidémie.

Concernant la lactacidémie, la courbe définie avec les autres variables : vitesse, FC,  $\dot{V}O_2$  présente un aspect curviligne s'apparentant à une fonction exponentielle ou à celle d'une branche d'hyperbole (figure 18). Cet aspect curviligne est habituellement interprété comme indicateur de la nature des métabolismes mis en jeu en fonction de la vitesse de nage. Selon une théorie largement admise, la partie basse de la courbe, souvent parallèle à l'abscisse d'un système orthonormé, signifierait que l'énergie est d'abord fournie de façon exclusivement aérobie, car sans production (apparente) d'acide lactique. Puis, une première sensible inflexion constituerait la limite de l'exclusivité aérobie de la production d'énergie, aussi définie comme « seuil aérobie ». Une deuxième inflexion, plus verticale, de la courbe définirait ensuite avec la première, une zone métabolique transitionnelle dans laquelle l'énergie serait fournie de façon mixte aérobie et anaérobie. Enfin, à partir de la deuxième inflexion, définie aussi comme « seuil anaérobie », l'énergie serait, de plus en plus, fournie dans des conditions d'anaérobiose par la glycolyse, traduisant un état de plus en plus grande hypoxie musculaire dont la conséquence et le témoin seraient une forte production et une accumulation sanguine de l'acide lactique. Ainsi, par simple projection orthogonale sur les abscisses et les ordonnées du graphique (figure 18), les seuils aérobie et anaérobie permettraient de détecter les FC, les  $\dot{V}O_2$  et surtout les vitesses de nage entre lesquelles l'entraînement serait le plus favorable au développement de l'endurance aérobie. Enfin, les déplacements de la totali-

té de la courbe vers la droite ou vers la gauche tradiraient une amélioration ou une diminution de l'efficacité du système aérobie, synonymes d'une meilleure ou d'une moins bonne condition physique.

### Qu'en est-il de ces théories ?

- *Partie basse de la courbe* : A l'occasion d'exercices triangulaires, une récente étude (Fukuba et coll., 1989) a bien mis en évidence que la production musculaire de lactate et la consommation d' $O_2$  augmentaient de façon strictement linéaire et non de façon curviligne comme le fait le lactate sanguin, confirmant ainsi les résultats de Connert et coll. (1984). Ces travaux montrent aussi que le lactate est produit par le muscle dès les plus basses puissances et s'y accumule sans augmentation parallèle de libération dans le sang veineux effluent.

L'absence de modification de la lactacidémie de début d'épreuve triangulaire n'est donc pas synonyme de l'absence de production musculaire de lactate, mais tout simplement de l'absence momentanée de sa diffusion.

- *Inflexion de la courbe* : Les travaux de Chance et Quistorff (1978) et de Jorfeldt et coll. (1978) ont apporté la preuve qu'à aucun moment le muscle ne se trouve en hypoxie. Les concentrations musculaires de lactate commencent à s'élever nettement alors que

le pourcentage de saturation en oxy-hémoglobine est encore très important (25%). Ce n'est donc pas l'absence d'oxygène qui entraînerait l'accumulation du lactate, mais probablement la capacité de l'activité maximale des enzymes oxydatives qui limiterait le flux d'entrée du pyruvate dans le cycle de Krebs et, en conséquence, entraînerait donc une plus grande formation de lactate cytoplasmique.

- « *Seuils aérobie et anaérobie* » : On peut alors légitimement s'interroger sur la signification des « seuils »... s'ils existent ?! Remarquons d'abord qu'il est tout à fait arbitraire de fixer des points dits « seuils » sur des cinétiques représentant des continums biologiques. Ensuite, le nombre de techniques proposées aujourd'hui pour déterminer les « seuils » (19 selon Tokmakidis, 1989 et 22 selon Péronnet, 1992) et surtout le rocambolesque de certaines d'entre elles, montrent à l'évidence la difficulté de fixer ces points, opération qui souvent fait appel à une part importante de subjectivité et à beaucoup d'imagination ! Enfin, bien qu'au plan bioénergétique la notion de seuil ne peut se justifier, les différentes inflexions de la courbe peuvent aussi tout simplement résulter d'un effet de rémanence biologique induite par la succession de paliers au cours des épreuves triangulaires. C'est pourquoi un certain nombre de travaux (Jorfeldt et coll., 1978 ; Mader et coll., 1981 ; Stegemann et Kindermann, 1982 ; Chassain et coll., 1986 ; Rieu, 1986 ; Billat, 1988) proposent de déterminer la puissance critique correspondant aux « seuils » par la lactacidémie obtenue au cours et à l'issue d'exercices musculaires rectangulaires et prolon-

gés à puissance constante. Dans ces travaux, c'est la puissance charnière la plus élevée au cours de laquelle la lactatémie demeure stable qui est recherchée. Cette stabilité traduisant des flux lactates équivalents d'entrée et de sortie du compartiment sanguin serait, selon les auteurs, la preuve d'un travail exclusivement aérobie.

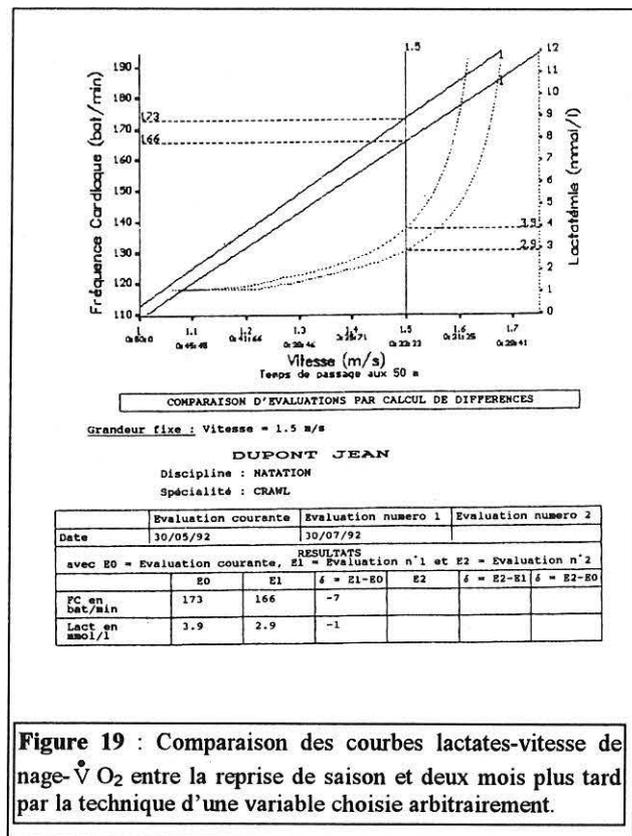


Figure 19 : Comparaison des courbes lactates-vitesse de nage- $\dot{V}O_2$  entre la reprise de saison et deux mois plus tard par la technique d'une variable choisie arbitrairement.

Dans ces conditions expérimentales, Jorfeldt et coll. (1978), Rieu (1986) ont trouvé des états stables de la lactacidémie à des concentrations quelquefois supérieures à 6 mmol.l<sup>-1</sup>, donc très éloignées des 2 et 4 mmol.l<sup>-1</sup> habituellement retenues, et à des intensités correspondant à 85% de  $\dot{V}O_2$  max. Dans nos travaux réalisés avec des nageurs (résultats non publiés), la première inflexion de la courbe est en moyenne obtenue à 66% ± 2% de VAM nage et 4 mmol.l<sup>-1</sup> correspond à 81% ± 3, pourcentages très inférieurs à ceux auxquels sont nagés le 400, 1500 et 3000 m (Petibois, 1994 : tableau 7). Autrement dit, si les valeurs de 2 et 4 mmol.l<sup>-1</sup> étaient retenues comme critères d'entraînement, à coup sûr les vitesses de nage seraient totalement inadaptées pour préparer correctement le nageur aux compétitions même de longue durée ou tout simplement pour développer efficacement leur capacité aérobie. Plutôt que d'hypothétiques « seuils », nous pensons qu'il serait plus souhaitable de définir les pourcentages individuels de VAM nage les plus favorables au développement de la capacité aérobie du nageur (endurance en début de saison puis endurance et puissance maximale aérobie ensuite) ou de son endurance spécifique de nage en fonction de sa spécialité. A notre connaissance, n'ayant jamais été réalisée, cette étude devrait constituer une excellente piste de recherche.

- *Déplacement de la courbe des lactates* : Si la lactacidémie s'avère très aléatoire pour définir des intensités d'entraînement, elle peut constituer par contre un moyen supplémentaire de suivi et de contrôle de l'état

d'entraînement du nageur. Il est bien connu que les courbes : lactates- vitesse, lactates-FC et lactates- $\dot{V}O_2$  se déplacent en fonction de l'état d'entraînement du sujet (Tesch et coll., 1982 ; Walsh et Banister, 1988). Dans le cas de son déplacement vers la droite, contrairement à l'interprétation généralement admise, ce n'est pas l'augmentation de l'apport en oxygène qui en est la cause mais bien l'amélioration de l'activité enzymatique liée principalement à l'augmentation de la densité des mitochondries (Gollnick et coll., 1972 et 1986) et conséquemment, à celle des enzymes oxydatives (pour une explication plus approfondie, lire notamment Bylund-Fillenius et coll., 1981 ; Péronnet, 1992 ; Cazorla, 1993). Signalons enfin, que les déplacements de la courbe des lactates peuvent aussi être obtenus par simple absorption massive de glucose ou par une déplétion en glycogène des muscles sollicités. Après bien d'autres auteurs, nous avons pu vérifier l'importance de ces déplacements (Cazorla, 1993) en modélisant deux techniques biomathématiques que nous avons informatisées (2). A partir de la superposition de deux ou trois courbes obtenues à des dates différentes, afin d'objectiver les éventuelles améliorations, la première technique, et la plus simple, consiste à choisir arbitrairement sur ces courbes une des variables obtenues : vitesse de nage, fréquence cardiaque,  $\dot{V}O_2$  ou concentration d'acide lactique, de constater à quelles autres variables elle correspond (projection orthogonale sur les axes y, x et y' de la figure 19) et de calculer leurs différences entre les deux ou trois dates où a été réalisé le même protocole (figure 19).

La seconde technique, plus complexe, utilise la différence des intégrales calculées entre les courbes lactates et les autres variables :  $\dot{V}O_2$ , vitesse, FC (figure 20).

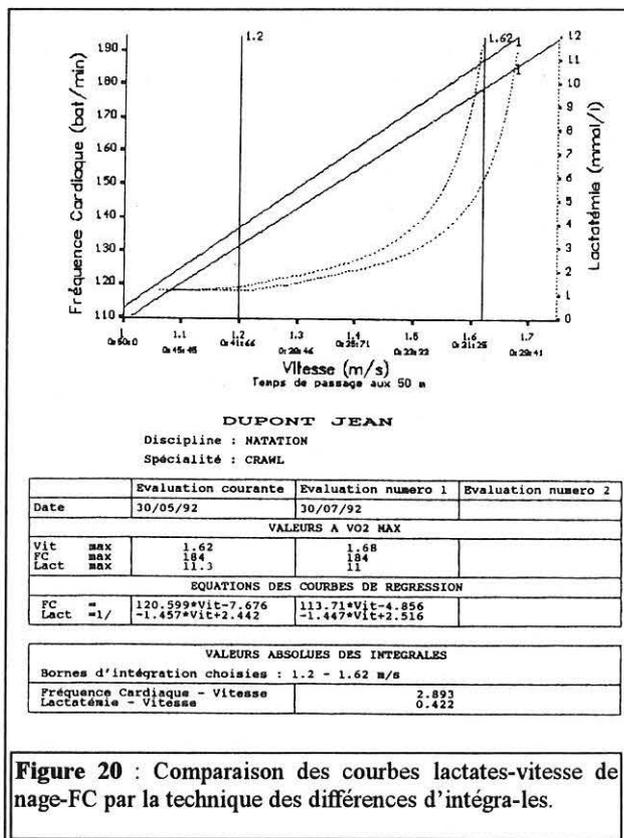


Figure 20 : Comparaison des courbes lactates-vitesse de nage-FC par la technique des différences d'intégrales.

2. Logiciel TUB.II distribué par l'A.R.E.A.P.S. - BP 40 - 33611 CESTAS CEDEX

## APPROCHE MULTIFACTORIELLE DE L'ÉVALUATION

Comme nous l'avons précédemment indiqué, jusqu'ici, par souci de clarté, nous n'avons abordé chacune des dimensions à évaluer que l'une après l'autre. Sur de nombreux aspects, le lecteur attentif a cependant perçu la nécessité de ne pas s'en tenir qu'à la composante évaluée pour tenter d'expliquer la performance.

Une part importante de celle-ci peut être prédite soit en utilisant un traitement multifactoriel des résultats obtenus. A cet égard, la régression multilinéaire nous a permis de mieux comprendre le rôle de chacune de ces variables prises en interaction les unes avec les autres dans la prédiction de la performance (Cazorla et Montpetit, 1988). Soit en évaluant un des critères regroupant la contribution de plusieurs variables. Les récents concepts d'économie et d'efficacité de nage répondent assez bien à cet objectif.

### ◆ L'économie de nage

Le coût métabolique ( $C_m$ ) nécessaire pour se déplacer à une vitesse donnée sur une unité de parcours (exprimée en m ou en km) est défini comme « économie de nage ». On l'exprime en  $\text{mlO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$ , en  $\text{kJ}/\text{km}$  ou en  $\text{J}/\text{m}$  (1 litre d' $\text{O}_2 = 20.8 \text{ kJ}$ ). La puissance métabolique ou dépense d'énergie par unité de temps ( $E$ ) est le résultat du produit de la vitesse ( $V$ ) multiplié par le coût métabolique  $E = C_m \times V$  ou par simple transposition des termes :  $C_m = E/V$  donc, en divisant  $E$  par la vitesse, on obtient le coût métabolique pour parcourir une distance à une vitesse donnée. Comme  $E$  correspond au  $\dot{V} \text{O}_2$  net ( $\dot{V} \text{O}_2$  brut -  $\dot{V} \text{O}_2$  de repos) qu'il est possible de mesurer au cours de la nage et  $V$  une vitesse constante, on peut ainsi mesurer l'économie de nage :  $C_m = \dot{V} \text{O}_2 \text{ net} / \text{Vitesse}$  constante. En général, quelle que soit l'activité, « l'économie de locomotion » constitue un important facteur de la performance, surtout si cette activité est de longue durée. En natation, compte tenu de l'importance de la traînée qui s'oppose à la translation et en conséquence de l'ensemble des facteurs que nous venons d'étudier, le problème de « l'économie de nage » revêt une plus grande acuité dans l'expression de l'habileté locomotrice (Holmer, 1974 a, b et c ; Pendergast et coll., 1977, 1979 ; Montpetit et coll., 1983, 1988b ; Chatard et coll., 1985, 1990 ; Costill et coll., 1985 ; Kearney et VanHandel, 1989). Elle varie beaucoup d'un nageur à l'autre ( $\pm 15\%$  chez les nageurs élites ;  $\pm 30\%$  chez les nageurs moyens). Ces variations dépendent pour une grande part de l'habileté technique (Montpetit et coll., 1983 et 1988a), de la technique de nage et des formes corporelles (Chatard et coll., 1985 et 1990 ; Costill et coll., 1985 ; Montpetit et coll., 1988b). Plusieurs études ont bien démontré qu'à  $\dot{V} \text{O}_2$  max comparables, l'économie de nage présente d'importantes corrélations avec la performance de moyenne et de longue distance (Costill et coll., 1985 ; Van Handel et coll., 1988 ; Cazorla et Montpetit, 1988). Pour l'ensemble de ces raisons, dans tous les centres d'évaluation où  $\dot{V} \text{O}_2$  peut être mesuré, deux critères sont extrêmement intéressants à retenir : la consommation maximale d'oxygène pour juger du potentiel aérobie maximal du nageur et l'économie de nage afin de mieux rendre compte de son habileté technique.

### ◆ Protocoles de mesure de l'économie de nage

Deux protocoles sont actuellement les plus utilisés. L'un nécessite de nager à une vitesse inframaximale constante (généralement 1.2 m/s pour le crawl et 1 m/s pour la brasse), l'autre consiste à incrémenter la vitesse de nage toutes les une, deux ou trois minutes jusqu'à atteindre le  $\dot{V} \text{O}_2$  max. Afin de définir avec précision la ou les vitesses à suivre, les deux protocoles requièrent des repères acoustiques ou lumineux.

### Résultats

Qu'il soit réalisé au cours de la nage ou par extrapolation en fin d'épreuve, dans chacun des protocoles le recueil des gaz expirés introduit un risque non négligeable d'erreur. Un deuxième risque résulte du calcul des coûts en  $\dot{V} \text{O}_2$  brut et non en  $\dot{V} \text{O}_2$  net. Les  $\dot{V} \text{O}_2$  de repos dans l'eau présentant d'importantes différences (0.40 à 1.99  $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$  : Holmer, 1972 ; Cazorla, 1992), il est indispensable d'en tenir compte dans le calcul des coûts énergétiques. Il n'est donc pas exclu que les différences observées entre les résultats d'études récemment publiées en dépendent en partie. Dans nos études, nous en avons tenu compte en calculant les coûts nets et en corrigeant les vitesses obtenues avec appareillage à partir des équations présentées dans le **tableau 8**.

### Commentaires

Ces résultats montrent clairement que, à une même vitesse (ici 1.2 m/s), plus le niveau du nageur est élevé, plus bas est le coût énergétique et donc, meilleure est l'économie de nage. Par ailleurs, les femmes se montrent (pour une fois !!) plus économes que les hommes, ceci résulte probablement de leur densité plus faible, de leur moindre couple de rotation (Gagnon et Montpetit, 1981) et donc, de leur meilleure flottabilité. L'économie de nage peut aussi être fortement influencée par les formes corporelles du nageur. Même au sein de populations homogènes de nageurs de haut niveau, les coûts énergétiques à une même vitesse de nage peuvent beaucoup varier. Cependant, ces variations sont considérablement réduites lorsque les coûts nets sont exprimés par unité de poids du sujet immergé. Selon Montpetit et coll. (1988a), 40% de la variance peuvent être expliqués par les poids différents. En outre, Chatard et coll. (1990) précisent que la surface corporelle et la poussée hydrostatique expliquent 31% de la variabilité du coût en oxygène par unité de distance nagée. Enfin, il a aussi été démontré que, outre les facteurs anthropométriques, la position du corps dans l'eau et l'amplitude articulaire pouvaient aussi avoir un rôle non négligeable dans les différences du coût énergétique de la nage (Pendergast et coll., 1978 ; Chatard et coll., 1990). Par ailleurs, dans la plupart des études, le coût énergétique est calculé pour une vitesse inframaximale quels que soient les groupes d'appartenance des nageurs. Généralement 1.1 ou 1.2  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  en crawl et 0.9 ou 1.0  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  en brasse. On peut toutefois remarquer que selon l'âge, le sexe et le niveau du nageur, ces vitesses représentent un pourcentage différent des possibilités maximales individuelles. Dans ces conditions, les différences de coût obtenues reflèteraient surtout l'importance de l'intensité relative propre à chaque nageur.

Références	n	Niveau de performance	mlO <sub>2</sub> .m <sup>-1</sup>	
<b>MASCULINS</b>				
Costill et coll. (1985)	22	Championnat scolaire	50.5	
Van Handel et coll. (1988a)	19	Elite internationale	36.0	
Montpetit et coll. (1988a)	38	Loisirs sport pour tous	40.7	
Chatard et coll. (1990a)	37	Compétition niveau A	43.3	
	41	Compétition niveau B	44.0	
	23	Compétition niveau C	42.5	
	101	A + B + C	43.3	
	Cazorla (présente étude 92)	4	Club 12 ans	31.8*
		5	Club 13 ans	34.5*
		34	Espoir national 15 ans	42.0*
13		Espoir national 16 ans	41.9*	
11	Espoir national 17 ans	45.6*		
<b>FEMININES</b>				
Costill et coll. (1985)	15	Championnat scolaire	40.5	
Van Handel et coll. (1988a)	18	Elite internationale	28.0	
Montpetit et coll. (1988a)	38	Loisirs sport pour tous	39.0	
Cazorla (présente étude 92)	8	Club 10-12 ans	32.0*	
	9	Club 13 ans	31.2*	
	17	Espoir national 14 ans	30.9*	
	15	Espoir national 15 ans	33.2*	
	5	Espoir national 16 ans	36.6*	

\* Résultats corrigés après la mesure de l'effet individuel de l'appareillage de recueil des gaz expirés sur la vitesse de nage.

**Tableau 8** : Coûts en O<sub>2</sub> pour nager 1 m en crawl à une vitesse de 1.2 m/s.

GARCONS	n	1. $\dot{V} O_2$ brut		ml/cycle	ml/cycle/kg	ml/cycle/m <sup>2</sup> de surface corporelle
		2. $\dot{V} O_2$ net*		Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)
Brasse	8	1.		109.34 (17.04)	1.66(0.16)	59.40 (6.05)
		2.		94.69 (15.76)	1.42 (0.15)	50.92 (5.29)
Crawl	17	1.		95.51 (19.27)	1.42 (0.24)	52.28 (9.26)
		2.		77.90 (18.15)	1.17 (0.23)	42.81 (8.64)
<b>FILLES</b>		1. $\dot{V} O_2$ brut		ml/cycle	ml/cycle/kg	ml/cycle/m <sup>2</sup> de surface corporelle
		2. $\dot{V} O_2$ net*		Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)
Brasse	8	1.		81.27 (17.84)	1.54 (0.39)	52.01 (13.51)
		2.		68.02 (15.20)	1.30 (0.34)	43.67 (11.75)
Crawl	20	1.		60.81 (11.50)	1.15 (0.21)	38.55 (6.96)
		2.		48.15 (10.72)	0.90 (2.20)	30.21 (6.43)

\*  $\dot{V} O_2$  net = ( $\dot{V} O_2$  brut -  $\dot{V} O_2$  de repos dans l'eau).

**Tableau 9** : Coût énergétique d'un cycle locomoteur complet (cycle bras + battements pieds) à une vitesse correspondant à 90% de la vitesse individuelle atteinte à  $\dot{V} O_2$  max.

A des fins de comparaison et surtout pour mieux apprécier l'habileté locomotrice, il serait donc souhaitable de mieux standardiser la mesure du coût énergétique. Ainsi, il nous semble très intéressant d'obtenir non seulement le coût énergétique brut pour parcourir un mètre à une vitesse vraie donnée, mais aussi celui du coût énergétique net à cette même vitesse et à une vitesse correspondant à 90% de la VAM nage.

Enfin, comme certains auteurs et maints entraîneurs s'accordent à le penser, on peut aussi se demander si l'économie de nage est fonction de l'indice spatio-temporel de nage issu de la méthodologie de Costill et coll. (1985). Les résultats préliminaires d'une récente étude présentée par Montpetit (1992) indiquent aucune corrélation entre l'économie et l'indice de nage « du moins chez des nageurs de bon niveau et homogènes quant-à leurs dimensions corporelles ». D'où la nécessité de reconsidérer la notion d'efficacité de nage en intégrant le déplacement d'un cycle locomoteur à la dépense éner-

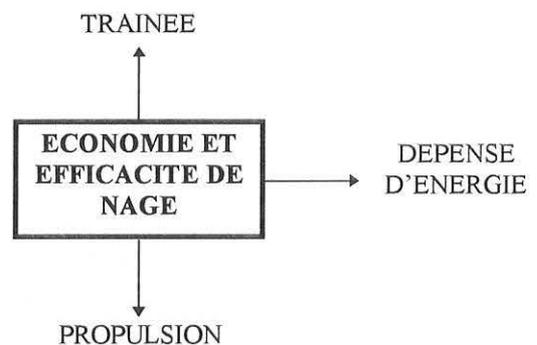
gétique mesurée à une vitesse de nage identique pour tous ou relative par rapport à la VAM nage individuelle.

◆ **Efficacité de nage**

Pour être plus précis et intégrer les nombreux facteurs qui interviennent dans la locomotion aquatique, nous suggérons le nouveau concept d'efficacité de nage en calculant le coût énergétique net par unité de surface corporelle d'un cycle locomoteur pour se déplacer à une vitesse vraie (vitesse corrigée sans appareillage) identique pour tous ou correspondant à un pourcentage donné de la VAM nage individuelle. C'est le sens de nos travaux actuels : **tableau 9**.

Une autre façon de procéder, comme le propose Montpetit (1984) est d'appliquer aux dimensions du nageur, l'équation allométrique de Huxley de façon à obtenir la possibilité de ne comparer entre eux que les coûts énergétiques liés uniquement à leur locomotion. Ainsi, en affectant la masse corporelle, la taille, la surface corporelle et la traînée passive de leur exposant dimensionnel

(respectivement -0.44, -1.57, -0.72 et -0.79), on relativise leur effet respectif ce qui permet de comparer les coûts énergétiques de la locomotion de nageurs aux gabarits très différents.



**Figure 21** : Représentation d'un modèle multifactoriel de variables prises en compte lors du calcul de l'économie ou de l'efficacité de nage.

L'ensemble de ces travaux confirme que l'évaluation de la dépense énergétique du nageur ne peut non plus faire l'économie du modèle multifactoriel et, plus particulièrement, du trièdre : traînée résultante - propulsion - énergétique dont la connaissance des interactions autorisent une meilleure approche des exigences de chacune des spécialités de la natation de compétition et devrait permettre une prédiction plus précise de la performance à venir (figure 21).

### ◆ POURQUOI EVALUER ?

Pourquoi évaluer ou, plus précisément, dans quelles perspectives utiliser l'outil « évaluation » ? Pour notre part, nous en distinguons essentiellement deux : ① A l'échelle individuelle du couple entraîneur-nageur en début et au cours de chaque saison sportive afin de mieux connaître les capacités du nageur, de définir en conséquence des objectifs réalistes d'entraînement et d'en contrôler les effets ? ou ② à l'échelle d'entités organisées : Comités Départementaux, Régionaux et a fortiori au niveau de la Fédération Française de Natation, comme élément indispensable d'une politique de repérage, de formation, de sélection et de suivi des nageurs talentueux.

#### • L'EVALUATION : OUTIL DE CONTROLE ET DE SUIVI DE L'ENTRAÎNEMENT

L'entraînement devrait logiquement dépendre des exigences de la ou des compétitions visées. Entraîner n'est-il pas tenter de préparer un sportif dont il convient de bien connaître les capacités, à l'ensemble de ces exigences ? Encore faut-il bien connaître à la fois ce que sont ces exigences et ce que sont les capacités du nageur. En d'autres termes, les exigences de la ou des spécialités choisies représentent le but vers lequel doivent tendre les différents contenus d'entraînement alors que les capacités du nageur en constituent leurs points de départ. En fonction du moment de la saison, les contenus devraient donc se situer entre ces deux extrêmes sur la trajectoire définie comme « **planification de l'entraînement** ».

L'individualisation, le contrôle et le suivi font donc totalement partie de la programmation de l'entraînement. Ils nécessitent en premier lieu, le choix des évaluations

les plus congruentes pour exprimer l'évolution des capacités entraînées et, en second, le choix des périodes où elles doivent être utilisées. A ce niveau on distingue habituellement l'évaluation diagnostique de départ, du suivi proprement dit qui peut revêtir soit la forme d'une évaluation sommative ou bilan, soit une évaluation interactive ou formative.

L'évaluation diagnostique de début de saison permet d'identifier les forces et faiblesses du nageur en regard des exigences de sa spécialité et préside ainsi à la pertinence du choix des contenus de l'entraînement les plus appropriés. Pour ce faire, nous avons élaboré des fiches « profil » qu'il est possible d'utiliser (Cazorla, 1993) et un logiciel spécifique (Profil-Eval) permettant de repérer points forts et points faibles de chacun des nageurs évalués.

En rendant compte des écarts entre les résultats de différentes évaluations, la finalité du suivi est de juger de l'efficacité du programme d'entraînement choisi et, en conséquence, d'en individualiser, d'en contrôler, voire d'en réorienter les charges spécifiques.

De façon concrète, nous proposons la périodicité suivante : dès la reprise de chaque saison, deux séances d'entraînement devraient être consacrées à l'évaluation « **état des lieux** » à partir de laquelle la programmation sinon individuelle, du moins par groupes de niveaux homogènes, devrait être établie en définissant les objectifs les plus réalistes et les contenus d'entraînement les plus appropriés.

Si le nageur s'entraîne au moins cinq fois par semaine, huit semaines plus tard, l'évaluation des capacités physiologiques devrait être renouvelée. Ensuite, selon les spécialités (distances longues ou courtes), et selon les contenus d'entraînement, la périodicité est à établir par l'entraîneur. A partir de tests très accessibles (distances chronométrées, nombre de cycles locomoteurs par minute, distance par cycle, glisse, tests des capacités physiques à sec), chaque microcycle peut être ponctué d'une évaluation. Les évaluations nécessitant plus de temps ou davantage de matériel sont à programmer à l'issue de chaque mésocycle à objectif spécifique. A titre d'exemples, **les tableaux 10 et 11** proposent des contenus d'évaluation et d'organisation qui nous semblent être les plus judicieux.

**Tableau 10 : Mesures, tests et périodicités recommandés pour le suivi de l'entraînement**

#### I. MESURES ET TESTS RECOMMANDES

- **Biométrie** : Taille (nageurs de moins de 17 ans), poids et pourcentage de graisse.
- **Capacités motrices générales** : Tractions (garçons) ou durée de suspension à la barre (fil-les), détente verticale.
- **Capacités spécifiques** : Souplesse du dos et des épaules, départ coulée ventrale, virage coulée ventrale, force de propulsion à sec (si mini-gym), dans l'eau (si dynamomètre spécifique), nombre de cycles locomoteurs/min à VAM et à vitesse sprint maximale (VSM), distances par cycle locomoteur à VAM et à VSM.
- **Capacités physiologiques** : Vitesse Aérobie Maximale (VAMEVAL Nage ou TUB.II), cinétique FC-Vitesse-Lactacidémie (si cardiofréquencemètre et analyseur de lactates).
- **Performances** : Sprint max : 20 m (spé) départ dans l'eau ; 200 m (spé) + lactate max (3 min après) ; 6x50 m (spé) ; 6x200 m crawl ou brasse ou TUB.II (FC-Lactate).

#### II. PERIODICITE RECOMMANDEE

- Deux fois par saison (hiver-été) : taille, poids, % de graisse.
- Au début et à la fin de chaque macrocycle (le macrocycle correspond à une demi-saison d'en-entraînement, hiver ou été, et comprend les mésocycles respectifs suivants : **reprise - quantification** (travail aérobie 8 à 10 semaines) ; **intensification** (travail de la puissance maximale aérobie + capacité anaérobie lactique en fonction de l'âge et de la spécialité, 8 à 10 semaines) ; **affûtage** (travail mixte : travail de la puissance aérobie-anaérobie lactique et surtout sprint en fonction de la spécialité).

**Tableau 11 : Contenus suggérés des différentes évaluations d'une saison sportive****PREMIER MACROCYCLE (HIVER)**

**Première évaluation de début de saison** (évaluation initiale ou diagnostique à envisager lors de la deuxième ou troisième semaine après la reprise) :

- **Appréciation technique**

- **Physique** : Traction ou suspension barre, détente verticale, souplesse dos et épaules, force de traction bras à sec (mini-gym).

- **Glisse** : Départ coulée ventrale, virage coulée ventrale, durée rotation corps horizontal et vertical.

- **Biomécanique** : Distance par cycle locomoteur à vitesse aérobie maximale et à vitesse sprint maximal, force de propulsion dans l'eau (comple, jambes, bras).

- **Physiologie** : Si lactatémie, fréquence cardiaque (FC) et logiciel TUB.II sont accessibles, établir la cinétique FC-Vitesse-Lactate à partir du test TUB.II (6x200m).

Si seuls FC et logiciel TUB.II sont accessibles, établir la cinétique FC-Vitesse à partir du logiciel VAMEVAL.

Si ni lactatémie, ni FC sont accessibles, déterminer la vitesse aérobie maximale en utilisant le test VAMEVAL

**Deuxième évaluation de fin de cycle « reprise-quantification »** : Reprendre les mêmes tests + sprint 20 m départ dans l'eau, nagé en spécialité.

**Troisième évaluation de fin de cycle « intensification »** : Reprendre les mêmes tests que pour la deuxième évaluation, et comparer les résultats.

**DEUXIEME MACROCYCLE (ETE)**

Ne prendre que deux évaluations. La première en début et la seconde en fin du cycle « intensification ». Reprendre les mêmes contenus que ceux des évaluations correspondantes au premier macrocycle (3ème évaluation).

**Tous les trois microcycles** : départ coulée ventrale, virage coulée ventrale, sprint max, 200 m avec si possible FC de récupération + lactates, si possible 6x50m, test progressif de nage : VAMEVAL Nage.

**Une fois par microcycle** (une semaine) : distance par cycle locomoteur à vitesse aérobie maximale dans la spécialité et à vitesse de sprint maximal

- **L'EVALUATION A L'ECHELLE D'ENTITES ORGANISEES**

Tous les spécialistes dans les domaines de l'évaluation en sport sont unanimes pour souligner la complexité des interactions multiples à l'origine de la performance. Cependant, parmi ces interactions, trois facteurs sont le plus souvent considérés comme essentiels :

- Le maintien ou le développement d'une forte motivation pour la pratique sportive et pour la compétition ;
- Une très grande capacité de travail ;
- Et d'importantes aptitudes qui, souvent, ne se révèlent qu'au cours ou à l'issue d'un entraînement planifié sur plusieurs années.

L'émergence du « talent » n'est donc jamais fortuite mais relève d'un environnement dans lequel, à un moment donné, le jeune sportif en devenir va rencontrer les facteurs les plus favorables à son épanouissement. Ce moment et ces facteurs peuvent être très différents selon la maturation propre à chaque jeune et selon les sports considérés ; Aussi, serait-il illusoire de penser qu'une seule opération d'évaluation, souvent baptisée à tort « détection des talents » pourrait suffire pour régler l'ensemble de ces délicats problèmes.

Tenant compte des grandes variabilités interindividuelles, plutôt que d'actions isolées et souvent non suivies, c'est un **programme d'évaluations longitudinales** accompagnant la pratique sportive depuis les balbutiements des premiers choix du débutant jusqu'au plus haut niveau de spécialisation du sportif confirmé qu'il convient de mettre en place. L'efficacité d'un tel programme dépend bien-sûr de la cohérence d'une politique fédérale dans laquelle il doit être intégré et dont il constitue un des éléments indispensables (Cf. **tableau 12** placé en

**annexe**). C'est dans ce sens que, depuis 1977 et jusqu'en 1989, à la demande de la Fédération Française de Natation, nous avons orienté nos travaux. Le modèle élaboré alors est aujourd'hui largement utilisé par... la Fédération Française de Rugby !!

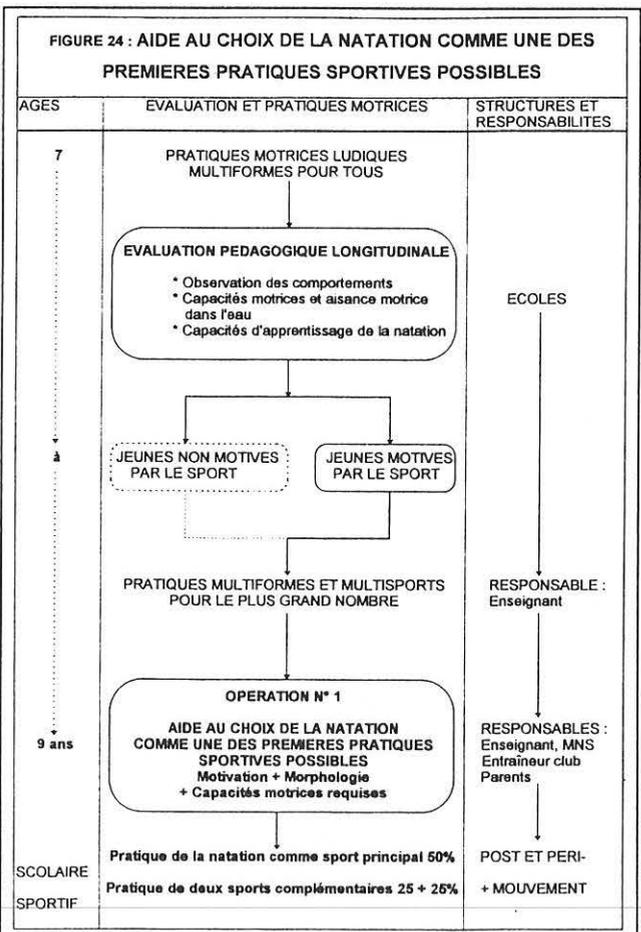
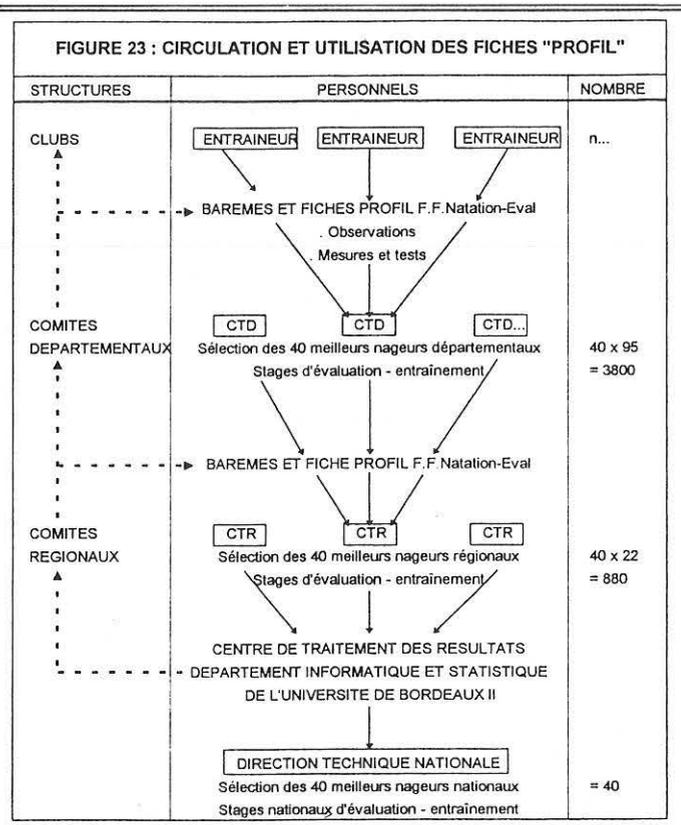
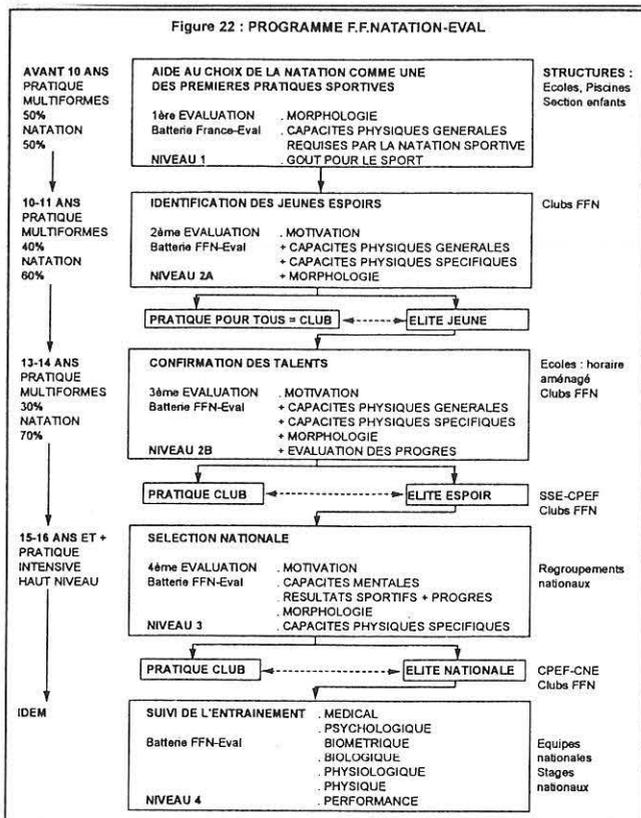
Afin de faire éclore, repérer, développer les potentialités du nageur, puis suivre ensuite leur évolution, cinq étapes nous semblent le mieux recouvrir la longue maturation nécessaire pour espérer atteindre le plus haut niveau possible (**figure 22**). Pour chacune d'elles, une batterie de tests la mieux adaptée à l'âge et au niveau de pratique doit être envisagée. Pour en potentialiser la qualité informative, elle devrait toujours être accompagnée d'une observation des comportements réalisés en cours de formation, d'apprentissage, d'entraînement et de compétition et la totalité de leurs résultats devraient être enregistrée et traitée à l'échelle départementale, régionale et nationale afin, non seulement de suivre l'évolution d'un jeune nageur, mais aussi d'établir les normes nationales dont l'entraîneur de club a besoin (**figure 23**). Ce modèle fonctionne déjà au bénéfice de la F.F. de Rugby.

- **L'étape préparatoire** : Au sortir d'une période préparatoire, véritable propédeutique sportive au cours de laquelle la formation des jeunes âgés entre 7 et 10 ans devrait pouvoir bénéficier de pratiques multiformes et multisports (**figure 24**), notre première batterie a pour objet de les aider à choisir la natation plutôt que d'autres disciplines comme une des premières pratiques dans laquelle ils ont le plus de chances de réussir sportivement : **la batterie d'aide au choix** (**tableau 13**).

- **L'étape du début de l'entraînement en club** : Bien que nombreux sont ceux qui pensent qu'il faut commencer tôt l'entraînement de natation, nos statistiques ne sont pas aussi affirmatives. Très peu de cham-

pions de haut niveau ont débuté l'entraînement intensif avant dix ans. Par contre, avant cet âge, ils ont pu bénéficier d'une préparation, spontanée ou organisée, adaptée et fondée sur des apprentissages multiples, sur un développement et un renforcement psychomoteur et musculaire harmonieux et sur un environnement à la base de leur motivation pour la pratique sportive et pour la compétition. C'est pourquoi nous pensons que la tranche

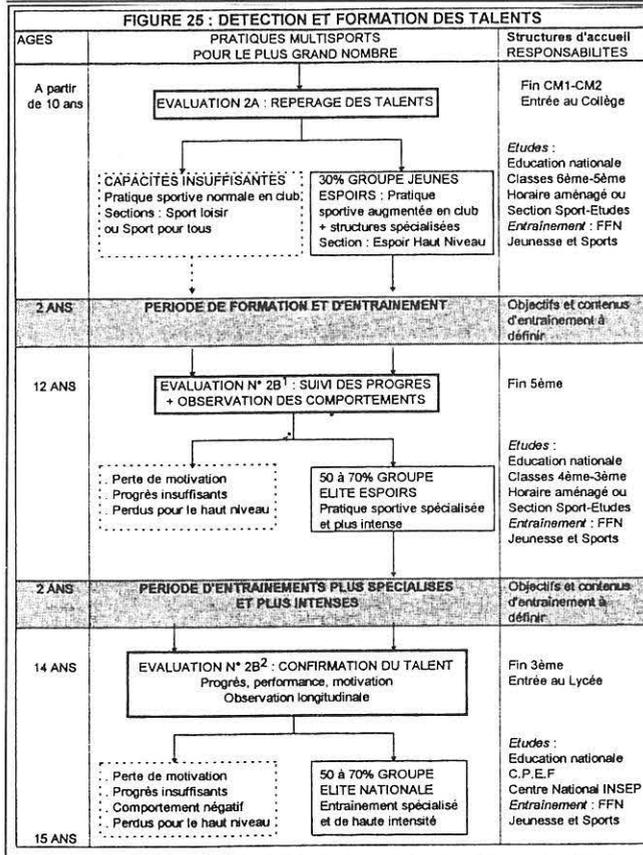
d'âge 10-12 ans constitue la meilleure charnière pour commencer l'entraînement proprement dit (figure 25). Tout en conservant une forte activité ludique au cours de cette période, la consolidation de l'intérêt pour la pratique de la natation sportive, l'amélioration des quatre techniques de nage, mais surtout l'augmentation très progressive du volume de l'entraînement seront à l'ordre du jour.



**TABEAU 13 : AIDE AU CHOIX DE LA NATATION... 7 - 9 ANS**  
Observations, mesures et tests d'aide au choix de la natation comme une des premières activités sportives

I. OBSERVATIONS GENERALES (M.N.S ; ENTRAINEUR) ENTRAINEUR (Au cours d'activités ludiques aquatiques et de cycles d'apprentissage)	II. MESURES ET TESTS (MEDECIN, PARENTS, M.N.S, ENTRAINEUR)
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>MORPHOLOGIE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement harmonieux</li> <li>- Taille élevée</li> <li>- Poids faible</li> <li>- Bassin anté ou rétroversé</li> <li>- Reliefs musculaires peu marqués</li> <li>- Reliefs articulaires peu visibles (chevilles et poignets fins)</li> <li>- Longueurs pieds et mains importantes</li> </ul> </li> <li><b>MOTRICITE GENERALE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne aisance motrice dans l'eau</li> <li>- Bonne capacité d'apprentissage</li> <li>- Démarche pieds en dedans ou "ouverts"</li> <li>- Meilleure efficacité battement pieds, Maximale : ciseau ou les deux.</li> </ul> </li> <li><b>CAPACITES PSYCHOLOGIQUES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motivation</li> <li>- Volonté</li> <li>- Assiduité</li> </ul> </li> <li><b>CAPACITE PHYSIOLOGIQUE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu fatigable</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>ANTHROPOMETRIQUES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Taille, Poids, Rapport Poids / Taille</li> </ul> </li> <li><b>CAPACITES MOTRICES GENERALES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Détente verticale</li> <li>- Détente horizontale</li> <li>- Durée de suspension</li> <li>- Abdominaux en 30s</li> <li>- Souplesse Dos</li> </ul> </li> <li><b>CAPACITE HYDRODYNAMIQUE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Longueur coulée ventrale</li> </ul> </li> <li><b>CAPACITES PHYSIOLOGIQUES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indice de Puissance Aérobie</li> </ul> </li> </ul> <p>"Test navette 20 mètres"</p>

## Etude des exigences de la natation



**TABEAU 14 : DETECTION DES NAGEURS "JEUNES TALENTS" : 10 - 12 ANS**

I. OBSERVATIONS GENERALES (Entraîneur Club)	II. MESURES ET TESTS (Médecin, parents, Entraîneur Club, CTD)
<p><b>MORPHOLOGIE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IDEM BATTERIE AIDE AU CHOIX</li> </ul> <p><b>MOTRICITE GENERALE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IDEM BATTERIE AIDE AU CHOIX</li> </ul> <p><b>CAPACITES PSYCHOLOGIQUES</b></p> <p><i>Comportement à l'entraînement :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volonté</li> <li>- Assiduité</li> <li>- Application</li> <li>- Compréhension</li> </ul> <p><i>Comportement en compétitions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maîtrise du stress</li> <li>- Prédilection</li> </ul> <p><b>CAPACITE PHYSIOLOGIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu fatigable</li> </ul> <p><b>QUALITE TECHNIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dans les différentes nages</li> <li>- plus particulièrement dans une ou deux nages</li> </ul>	<p><b>ANTHROPOMETRIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Taille, Poids, Rapport Taille/Poids, Age osseux, Envergure, Pointure.</li> </ul> <p><b>CAPACITES MOTRICES HORS BASSIN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IDEM BATTERIE AIDE AU CHOIX PLUS :</li> <li>- Souplesse Épaules</li> <li>- Souplesse Chevilles (flexion, extension)</li> </ul> <p><b>PERFORMANCES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 100 m Papillon - 200 m Dos - 200 m Brasse</li> <li>- 400 m crawl</li> <li>- 200 m 4 Nages</li> <li>- 6 x 50 crawl</li> </ul> <p><b>CAPACITES HYDRODYNAMIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flottaison horizontale</li> <li>- Flottaison verticale</li> <li>- Longueur coulée ventrale</li> <li>- Départ - coulée ventrale</li> </ul> <p><b>CAPACITES PHYSIOLOGIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IDEM BATTERIE AIDE AU CHOIX</li> </ul>

Au plan physique et physiologique, le développement de l'endurance aérobie, de la vitesse gestuelle et de l'amplitude articulaire sera prioritaire. Caractérisée par une relative stabilité, tant au plan psychomoteur que morphologique, cette phase est aussi la plus favorable **pour identifier chez les jeunes nageurs les qualités** qui pourraient permettre à certains d'envisager la pratique au niveau le plus élevé.

Ce sont ces raisons qui nous ont conduits à proposer de commencer les opérations de « repérage des talents » à partir de cet âge. Pour ce faire, nous avons élaboré et validé la seconde batterie ou batterie « détection » (tableau 14).

Cette batterie ne s'adresse qu'aux jeunes nageurs licenciés en club et motivés par la natation de compétition. Son but est de déceler parmi ces débutants ceux dont les capacités sont susceptibles de les conduire vers le haut niveau. Ensuite pour ces derniers il s'agit de mettre en place les structures et les conditions les plus favorables à l'épanouissement de leur éventuel talent. Concrètement, ceci conduit chaque club à envisager plusieurs niveaux d'entraînement dont un devrait être réservé aux nageurs « espoirs de haut niveau ». **Pour autant, les autres ne sont pas abandonnés mais continuent de pratiquer à un niveau correspondant à leurs possibilités avec toujours des passerelles ouvertes entre les différentes structures d'entraînement (figure 22).**

A l'instar de la phase précédente, une observation des comportements dont nous avons dégagé les points essentiels, doit toujours accompagner les résultats des mesures et tests. Ceux-ci s'inscrivent dans la logique de l'évolution : *Capacités générales exprimées par tous* → *Capacités spécifiques exprimées seulement par les nageurs*, et appréhendent ces deux aspects en ne retenant que les mesures et tests liés à la réalisation de la performance de haut niveau : morphologie, surfaces propulsi-

ves, qualités hydrodynamiques, capacités motrices, capacités physiologiques et performance.

- **L'étape du début de la spécialisation** : Cette étape peut être envisagée dans la période où morphologiquement, psychologiquement, physiquement et physiologiquement, le jeune adolescent de 13 à 14 ans commence à révéler ses principales caractéristiques. Selon de nombreuses études c'est aussi la période la plus favorable au développement de la capacité aérobie (endurance et puissance maximale aérobie), ce qui permet de penser qu'une augmentation importante du volume mais aussi un début d'augmentation de l'intensité de l'entraînement seraient des plus opportuns. C'est en principe au cours de cette période que le jeune nageur est susceptible de réaliser les progrès les plus remarquables. En général, c'est en effet entre 13 et 15 ans que la pente de la courbe individuelle des performances est la plus marquée. Dans la perspective d'une pratique de haut niveau, c'est donc la période privilégiée pour **confirmer ou non la valeur du talent sportif**.

En conséquence, c'est la même batterie qui doit être utilisée tout le long de l'opération dite de « détection des talents ». Cette opération couvre elle-même une période d'une durée totale de cinq années = 10 à 14 ans. Dans cette phase, trois étapes d'évaluation sont à envisager : **l'identification** des jeunes nageurs aux capacités les plus élevées, **la formation** des jeunes espoirs identifiés dont il s'agit d'apprécier la courbe des progrès réalisés, et enfin, **la confirmation** du talent qui relève d'une évaluation « bilan » (figure 25).

Potentiel supérieurement développé et importance des progrès réalisés constituent, en effet, les deux conditions indispensables pour juger de la qualité du talent et surtout, pour établir un pronostic sur les chances futures d'atteindre un haut niveau de performance.

- **L'étape de haute spécialisation** : Cette étape débute vers 15 ans. Elle est déterminante et révélatrice des capacités individuelles de poursuivre ou non une carrière vers le haut niveau. Pour de multiples raisons d'ordre physique, mais aussi psychologique, sociologique, matériel, scolaire... la strate 15-16 ans constitue à la fois une charnière et un aiguillage de la pratique. Beaucoup de jeunes nageurs abandonnent ici. Parmi ceux qui veulent ou peuvent poursuivre, on observe généralement deux types de comportement : Continuer avec des ambitions limitées par simple goût de la compétition et de la vie associative au sein de leur club ou poursuivre pour tenter d'aller le plus loin possible dans la pratique du haut niveau. Pour ces derniers, afin de pallier des conditions d'entraînement quelques fois incompatibles ou insuffisantes présentées par leur club d'origine, plusieurs structures spécialisées leur sont proposées : sections natation études (SNE), centres permanents d'entraînement et de formation (CPEF) et centre national d'entraînement de l'INSEP. A la condition d'harmoniser au plan national les critères de sélection, ces structures devraient constituer d'excellents moyens à la disposition de la pratique de la natation de haut niveau. Pour ce faire, dans le prolongement et en complémentarité avec les contenus des deux batteries précédentes, nous avons élaboré plus spécifiquement la batterie « sélection ». (tableau 15).

TABLEAU 15 : SELECTION DES JEUNES NAGEURS ESPOIRS : 15 ANS ou PLUS	
I. OBSERVATIONS GENERALES (Entraîneur Club)	II. MESURES ET TESTS (Médecin, parents, Entraîneur Club, CTD)
<p><b>MORPHOLOGIE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IDEM BATTERIE AIDE AU CHOIX Envergure, + Age osseux</li> </ul> <p>debout</p> <p><b>MOTRICITE GENERALE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IDEM BATTERIE AIDE AU CHOIX</li> </ul> <p><b>CAPACITES PSYCHOLOGIQUES</b></p> <p><i>Comportement à l'entraînement :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volonté</li> <li>- Assiduité</li> <li>- Application</li> <li>- Compréhension</li> <li>"</li> </ul> <p><i>Comportement en compétitions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anxiété</li> <li>- Maîtrise du stress</li> <li>- Prédilection</li> </ul> <p><b>QUALITE TECHNIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dans les différentes nages</li> <li>- plus particulièrement dans une ou deux nages</li> </ul> <p><b>CAPACITE PHYSIOLOGIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu fatigable</li> </ul>	<p><b>ANTHROPOMETRIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IDEM BATTERIE AIDE AU CHOIX +</li> <li>- Somme des 4 plis, % de Graisse,</li> <li>- Rapport Longueur Membres Sup. / Taille</li> <li>- Rapport largeur Epauls / Bassin.</li> </ul> <p><b>CAPACITES MOTRICES GENERALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Détente verticale</li> <li>- Test navette aérobie</li> </ul> <p><b>CAPACITES MOTRICES SPECIFIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Force propulsion nage</li> <li>- Efficacité propulsive crawl</li> <li>- Efficacité relative/Taille</li> <li>- Efficacité propulsive spécialité</li> <li>- Efficacité relative spécialité/Taille</li> </ul> <p><b>PERFORMANCES (spécialité)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre points table de cotation FFN</li> </ul> <p><b>CAPACITES HYDRODYNAMIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Longueur coulée ventrale</li> <li>- Longueur départ coulée</li> <li>- Longueur virage coulée</li> <li>- Poids dans l'eau en expiration</li> <li>- Flottaison horizontale</li> <li>- Flottaison verticale</li> </ul> <p><b>CAPACITES PHYSIOLOGIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VO<sub>2</sub> max dans l'eau</li> <li>- Vitesse aérobie maximale nage</li> <li>- Indice d'efficacité à VAM (Nb cycles/min)</li> </ul>

Cette troisième batterie a pour objet de sélectionner les nageurs âgés de 15 ans et plus, candidats aux différentes structures régionales et nationales d'entraînement, mais aussi, offre un outil de suivi des progrès qui peut tout à fait être utilisé au cours de la dernière étape que nous avons envisagée : l'étape du haut niveau. Partagée toujours entre l'observation, les mesures et les tests, cette évaluation est surtout composée de mesures et d'épreuves

spécifiques, proches des conditions réelles de la nage de compétition.

Comme la sélection doit se fonder sur la complémentarité de deux critères : les meilleurs résultats immédiats aux différentes épreuves de sélection et les possibilités de progrès que pourront réaliser les nageurs sélectionnés lorsqu'ils bénéficieront de meilleures conditions d'entraînement, il est absolument indispensable de connaître : leurs conditions antérieures d'entraînement (nombre d'années d'entraînement, nombre, durée et qualité de leurs entraînements hebdomadaires) et la courbe de progrès des performances réalisées en compétitions officielles au cours des deux dernières saisons.

- **L'étape du haut niveau** qui peut débiter plus précocement chez les jeunes filles et chez les nageurs de longue distance, se caractérise par une relative stabilité des performances obtenues en compétitions nationales et internationales. L'accession en équipe nationale constitue un des premiers objectifs avant de mettre, à la disposition du nageur, les meilleures conditions d'entraînement et de suivi, de définir avec lui les objectifs principaux des différentes saisons futures et de viser le meilleur état de forme au moment des principales échéances internationales.

Si les évaluations permettent l'orientation, le contrôle et le suivi rigoureux de l'entraînement, concernant plus particulièrement les nageurs faisant partie de l'élite, elles n'en demeurent pas moins importantes à l'échelle individuelle de l'entraîneur de club et ce, quel que soit le niveau des nageurs. Tout dépend de la qualité que l'entraîneur veut donner à son entraînement...

## CONCLUSION

Que de chemin parcouru depuis le « Premier Congrès International de Médecine Sportive appliquée à la Natation » organisé à Monaco par la Fédération Française de Natation les 12 et 13 septembre 1947 ! D'une approche médicale de l'évaluation réalisée en cabinet -seul le test de Flack et, plus tard, celui de Ruffier et Dickson étaient à l'honneur- progressivement, les composantes physiologiques furent prises en compte. Elle ne le furent cependant qu'au moyen d'ergomètres non spécifiques comme le cycloergomètre et le tapis roulant. En France, le premier à adopter une démarche plus spécifique fut Charbonnier (1974). Ce médecin s'intéressa à deux aspects jugés essentiels : la consommation maximale d'oxygène mesurée directement en utilisant le pédalage des membres inférieurs et supérieurs sur un cycloergomètre adapté, et la glisse évaluée à partir de la traction du nageur en position horizontale passive dans l'eau. Ce n'est qu'à partir de 1978, et ce grâce à un projet de recherche franco-québécois, que notre approche s'inversa. Plutôt que soumettre les nageurs aux exigences du laboratoire, tenant compte de la spécificité, notre volonté fut de soumettre nos différentes évaluations aux contraintes de la pratique. Il nous fallut donc créer et valider de nouvelles techniques. D'une dé-

marche obligatoirement essayiste au début, les résultats d'expérimentations menées dans le but d'évaluer les variables nous semblant les plus congruentes, nous conduisent naturellement à la nécessité de les intégrer au sein d'un modèle plus systémique. Aujourd'hui, nous sommes par contre convaincus de la complémentarité des deux approches. Le modèle multifactoriel est essentiel pour permettre de comprendre le rôle des interactions des variables entre elles et pour tenter d'en dégager un ou des algorithmes mais, ne nous renseigne pas sur la nature des « maillons faibles de la chaîne ». C'est par contre ce que nous permet l'évaluation individualisée de chacune des composantes de la performance. Ainsi, l'entraîneur peut être mieux renseigné pour fonder des contenus d'entraînement sur une éventuelle faiblesse plus précisément identifiée.

Outil dont l'élaboration a nécessité et nécessite toujours la définition d'un nouveau paradigme, outil à la disposition de l'entraîneur mais aussi des fédérations, soucieuses de mieux organiser l'émergence et le suivi des meilleurs espoirs, l'évaluation fait non seulement partie intégrante de l'entraînement mais, à la condition de l'utiliser à bon escient, constitue en outre une aide indispensable à la décision, tant à l'échelle individuelle du couple entraîneur-entraîné, qu'à celle institutionnelle d'une fédération bien structurée.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Astrand P.O., Engström L., Eriksson B.O., Karlberg P., Nylander I. et al.** : Girl swimmers with special reference to respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects. *Acta Paediatrica (Suppl.)*: 147, 1963.
- Bedart R., Paquet R., Gagnon M.** Natation : Les enseignants aux Jeux Olympiques, Montréal, 1976. Une analyse à caractère paramétrique. Québec, 1979.
- Billat V.** : Puissance critique déterminée par la lactacidémie en régime continu d'exercice musculaire pour la validation d'une méthode d'évaluation de la capacité maximale aérobie. Thèse pour le Doctorat de l'Université J. Fourier, Mention STAPS, Grenoble, 1988.
- Bonen A., Wilson B.A., Yarkony M. and Belcastro A.N.** : Maximal oxygen uptake during free, tethered and flume swimming. *J. Appl. Physiol.* : *Respirat. Environ. Exerc. Physio.* 48: 232-235, 1980.
- Bulgakova N.Z., Voroncov A.P.** O prognozowaniu sposobnostejw plawanü na osmowie longitudinalnych issledowani. *Teoria Praktyka Fizycznej kultury*, 7, 37-40, 1978.
- Bylund-Fellenius A.C., Walker P.M., Elander A., Holm S., Holm J.** Energy metabolism in relation to oxygen partial pressure in human skeletal muscle during exercise. *Biochemical Journal* 200: 247-255, 1981.
- Catteau A., Renoux Y.** Comment les hommes construisent la natation. In: *Sport et plein air* (Edt), Paris, 1977.
- Cazorla G.** : Contribution à l'étude de la performance en natation. Mémoire pour le diplôme de l'Institut National du Sport et de l'Education Physique. INSEP, 1978.
- Cazorla G.** : La consommation maximale d'oxygène du nageur. Mémoire INSEP. Compte rendu de recherche. Déc. 1982.
- Cazorla G., Montpetit R., Fouillot J.P. et Cervetti J.P.** : Etude méthodologique de la consommation maximale d'oxygène au cours de la nage. *Cinésiologie*, 83: 33-36, 1982.
- Cazorla G. et Chatard J.C.** : Evaluation du niveau technique du nageur à partir de l'étude de sa consommation d'oxygène mesurée au cours de la nage. 2ème journée d'automne. Congrès int. de biomécanique ; Carcans, 1983.
- Cazorla G. et Montpetit R.** : Niveau d'entraînement et spécificité de la consommation maximale d'oxygène chez le nageur. *Motricité humaine*. Institut national du sport et de l'éducation physique, 1: 50-55, 1983.
- Cazorla G., Montpetit R., Prokop P. et Cervetti J.P.** : De l'évaluation des nageurs de haut niveau à la détection des talents. Dans : *Spécial évaluation*. Ed. INSEP, Paris, 1984.
- Cazorla G., Montpetit R., Chatard J.C.** : Aspects biologiques de la natation de compétition. Dans : *Culture Technique : sport CRCT* (Ed) 13: 127-158, 1985.
- Cazorla G. and Montpetit R.** : Metabolic and cardiac response of swimmers, modern pentathletes and water polo players during freestyle swimming to a maximum. In : Ungerechts B.E., Wilke K. and Reischle K. (Eds) *Swimming Science V*. Champaign, Human Kinetics, 18: 251-257, 1988.
- Charbonnier J.P.** Consommation maximale d'oxygène et aptitude physique du nageur de compétition. Thèse pour le titre de Docteur en Médecine. Lyon, 1974.
- Chassain A.P., Menier R., Antonini M.T., Dalmay F., Simon-Rigaud N.L.** Notions de « seuils » au cours de l'exercice musculaire : une méthode générale de détermination des puissances critiques de l'organisme en vue de l'évaluation de l'aptitude physique. *Med. Sport* 60: 254-258, 1986.
- Chatard J.C., Lacour J.R. et Cazorla G.** : Influence des facteurs morphologiques sur la performance en natation. 2ème journée d'automne. Congrès int. de biomécanique. Carcans, nov. 1983. Congrès int. du sport, Houston, 1984.
- Chatard J.C., Padilla S., Cazorla G., Lacour J.R.** : Influence of body height, weight, hydrostatic lift and training on the energy cost of the front crawl. *NZ J. Sports Med.* 13, 3: 82-84, 1985a.
- Chatard J.C.** Influence des facteurs morphologiques et de l'entraînement sur le rendement énergétique. In: *Le message de l'ARN* pp. 53-63, Canet, 1986.
- Chatard J.C., Paulin M., Lacour J.R.** : Postcompetition blood lactate measurements and swimming performance : illustrated by data from a 400 m olympic record holder. In : *Int. Series on Sport Sci. Vol. 18. Swimming Sci. V*. Ungerechts B.E., Wilke K., Reischle (Eds). Human Kinetics books champaign, Illinois, p. 311-316, 1988.
- Chatard J.C.** : Physiologie de la performance en natation. Thèse d'Etat. Université Claude Bernard, Lyon I, 1989.
- Chatard J.C., Lavoie J.M., Lacour J.R.** : Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61 : 88-92, 1990.
- Chollet D.** : Approche scientifique de la natation sportive. Collection sport + initiation. Vigot (Edt). 1990.
- Chollet D., Tourny C.** : Caractéristiques spatio-temporelles des performances compétitives en natation. Compte rendu des actes des III journées de re-

- cherche en APS, UFR STAPS. Université Aix-Marseille II. ACTIO (Edt). A paraître 1992.
- Clarys J.P., Jiskoot J. et Lewillie L.** : L'emploi de traces lumineuses dans l'analyse biomécanique de différents styles de nage. 1973.
- Clarys J.P., Jiskoot J., Rijken H., Brouwer P.J.** : Total resistance in water and its relation to body form. In : Int. Series on sport sci. biomechanics IV. R.C. Nelson and C.A. Morehouse (Eds) : 187-196, Univers. Park Press, Baltimore, Maryland, 1974.
- Clarys J.P. et Olbrecht J.** : Electromyographie, télé-métrie, mouvements et feed-back. Congrès int. activités phys. sports et biomécanique. 1er journée d'automne. Beg Rohu, nov. 1982.
- Clarys J.P.** A review of EMG in swimming explanation of facts and/or feedback information. In: A.P. Hollander, P. Huijting and G. De Groot (Eds). Biomechanics and medicine in swimming. pp. 123-135, Champaign : Human Kinetics, 1983.
- Connan A., Cazorla G., Lofi A. et Van Hoecke J.** : Méthode de détermination de la force globale maximale développée au cours de la nage. VI Congrès int. de la société de biomécanique, Bruxelles, sept. 1981.
- Costill D.L.** : Use a swimming ergometer in physiological research. Res. Quart. 37: 564-567, 1965.
- Costill D.L., Kovalski J., Porter D., Fielding R., King D.** : Energy expenditure during front crawl swimming: predicting in middle distance events. Int. J. Sports Med. 6: 266-270, 1985.
- Costill D.L., Lee G., d'Acquisto L.J.** Video computer assisted analysis of swimming technique. Swimming Research, 3, 5-9, 1987.
- Counsilman J.E.** The application Bernouilli's principle to human propulsion in water. In: I. Lewillie and J.P. Clarys (Eds). First international symposium on biomechanics in swimming Brussels : University Park Press, 1971.
- Counsilman J.E.** Hand speed and acceleration. In: J. Troupe and R. Roses (Eds). A scientific approach to the sport of swimming. pp. 41-52, Gainesville : Scientific Sports Inc., 1983.
- Craig B.A. and Pendergast D.R.** : Relationships of stroke rate distance per stroke and velocity in competitive swimming. Med. Sc. Sports 11, 3: 278-283, 1979.
- di Prampero D.E., Peeters L., Margaria R.** : Alactic O<sub>2</sub> debt. and lactic acid production after exhausting exercise in man. J. Appl. Physiol. 34 (5): 628-632, 1973.
- East D.J.** Swimming : An analysis of stroke frequency, stroke length and performance. New Zealand Journal of Health Physical Education and Recreation, 3, 16-27, 1970.
- Gagnon M. and Montpetit R.** : Technical development for the measurement of the centre of volume in the human body. J. Biomechanics 14: 235-241, 1981.
- Gollnick P.D., Bayly W.M., Hodgeson D.R.** : Exercise intensity, training, diet and lactate concentration in muscle and blood. Med. Sci. Sports Exerc. 18: 334-340, 1986.
- Hollander A.P., De Groot G., Van Ingen Schenau G.I., Toussaint H.M., Best H., Peeters W., Meulemans A., Schreurs A.W.** : Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. J. Sports Sci. 4: 21-30, 1986.
- Holmer I. and Astrand P.O.** : Swimming trainings and maximal oxygen. J. Appl. Physiol. 33: 510-513, 1972.
- Holmer I.** : Physiology of swimming man. Acta Physiol. Scand. suppl. 407, Stockholm, 1974 (a).
- Holmer I.** : Propulsive efficiency of breaststroke and freestyle swimming. Eur. J. Appl. Physiol. 33: 95-103, 1974 (b).
- Holmer I.** : Energy cost of arm stroke leg kick and the whole stroke in competitive swimming styles. Europ. J. Appl. Physiol. 33: 105-118, 1974 (c).
- Holmer I., Lundin A. and Eriksson B.O.** : Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. J. Appl. Physiol. 36: 711-714, 1974 (f).
- Issourin V.B., Glozkov A.B.** : Comment déterminer les forces de résistance hydromécanique et les forces de traction en natation. In : Teorija i prakiska fizigeskoy fultury. 9: 20-24, 1977.
- Jorfeldt L., Juhlin-Dannfeldt A., and Karlsson J.** Lactate release in relation to tissue lactate in human skeletal muscle during exercise. J. Appl. Physiol. 44: 350-352, 1978.
- Karpovich P.V.** : Water resistance in swimming. Res. Quart. 4: 21-28, 1933.
- Kearney J.T. and Van Handel P.J.** : Economy : a physiologic perspective. In : W.A. Grana, J.A. Lombardo, B.J. Sharkey and J.A. Stone (Eds). Advances in sports med. and Fitness. Vol. 2, Year book medical publishers inc., 1989.
- Lavoie J.M., Taylor A.W. and Montpetit R.** : Physiological effects to training in elite swimmers as measured by a free swimming test. J. Sports Med. Physiol. Fitness 21: 38-42, 1981.
- Lavoie J.M., Léger L.A., Léone M., Provencher P.J.** : A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. J. Swimming Research 1: 17-22, 1985.
- Lavoie J.M. et Montpetit R.** : Applied physiology of swimming. Sport Med. 3: 165-189, 1986.
- Léger L.A., Boucher R.** : An indirect continuous running multistage field test. The "Université de Montréal" track test. Can. J. Appl. Spt. Sci. 5, 77-84, 1980.
- Léger L.A., Seliger V., Brassard L.** : Backward extrapolation of VO<sub>2</sub> max from the O<sub>2</sub> recovery curve. Med. Sci. Sports and Exerc. 12: 24-27, 1980.
- Léger L.A., Lambert J.** : A maximal multistage 20 m shuttle run test to predict VO<sub>2</sub> max. Eur. J. Appl. Physiol. 49: 1-12, 1982.
- Loetz C., Reischle K., Schmitt G.** The evaluation of highly skilled swimmers via quantitative. In: B.E. Ungerechts, K. Wilke and K. Reischle (Eds). Swimming Sci. V. pp. 361-368, Champaign : Human Kinetics Publishers, 1988.
- Mader A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Rost R., Schuerch P. and Hollmann W.** Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt Sportmedizin 4: 80-88; 5: 109-112, 1976.
- Magel J.R. and Faulkner J.A.** : Maximum oxygen uptake of collar swimmers. J. Appl. Physiol. 22: 929-933, 1967.
- Magel J.R., McArdle W.D.** : Propelling force and metabolic and circulatory considerations in swimming scholastic coach. 40: 58-60 et 67-70, 1970.

- Magel J.R., Fogia G.F., Mc Ardle W.D., Gutin B., Pechard G.S. and Katch F.I.** : Specificity of swim training on maximum oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.* 38: 151-155, 1975.
- Mc Ardle W.D., Glaser R.M. and Magel J.R.** : Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J. Appl. Physiol.* 30: 733-738, 1971.
- Montpetit R., Léger L., Lavoie J.M., and Cazorla G.** :  $\text{VO}_2$  max during free swimming using the backward extrapolation of the  $\text{O}_2$  recovery curve. *Eur. J. Appl. Physiol.* 47: 385-391, 1981.
- Montpetit R.** : La morphologie du nageur, un facteur important. In : *Natation Québec 1*, n° 3, 18-19, fév.-mars 1983.
- Montpetit R., Cazorla G. and Lavoie J.M.** : Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In : *Proceedings of the congress in biomechanics and medicine in swimming*. Amsterdam, 1982 and *Biomechanics and Med. in swimming*. Int. Series on sport sci. Vol. 14, 228-234, 1983.
- Montpetit R., Duvallat A., Cazorla G. and Smith H.** : The relative stability of maximal aerobic power in elite swimmers and its relation to training and performance. *J. Swimming Res.* 3 (1): 15-18, 1987.
- Montpetit R., Cazorla G., Lavoie J.M.** : Energy expenditure during front crawl swimming : a comparison between males and females. In : B.E. Ungerechts, K. Wilke, K. Reischle (Eds). *Swimming Sci. V, Human Kinetics Books*, Champaign, Illinois, 229-236, 1988a.
- Montpetit R., Smith H., Boie G.** : Topic report : swimming economy : how to standardise the data to compare swimming proficiency. *J. Swimming Res.* 4: 5-8, 1988b.
- Montpetit R.** : Analyse des exigences biomécaniques et physiologiques de la natation sportive. Actes du colloque "Aquitaine, sciences et sports" sur l'évaluation physiologique et la traumatologie en sport. Bordeaux, février 1992.
- Nomura T.** : Maximal oxygen uptake of age group swimmers. *J. Appl. Physiol. Educ.* 22: 301-309, 1978.
- Onoprienko B.I.** Méthodes de détermination de l'efficacité des efforts de poussée dans les différents styles de nage. *Teoriya i prskiska fiziceskoj kultury*, 12: 12-13, 1976.
- Pendergast D.R., Di Prampero P.E., Craig J.R., Wilson D.R. and Rennie D.W.** : Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J. Appl. Physiol.* 43 (3): 475-479, 1977.
- Pendergast D.R., Di Prampero P.E., Craig J.R. and Rennie D.W.** : The influence of selected biomechanical factors on the energy cost of swimming. In : Eriksson B.E. and Furberg : *Swimming Med. IV*. Baltimore Univ. Park Press : 367-378, 1978.
- Peronnet F.** : Aspects métaboliques des exercices continus et intermittents de courtes et de longues durées. Les interactions des métabolismes aérobie et anaérobie lactacides. Dans : *Colloque Aquitaine Sciences et Sports, Evaluation physiologique et traumatologie en sport*.
- Persyn U., Hoeven R.C., Daly D.** An evaluation procedure for competitive swimmers. In : J. Terauds et E.W. Bedingfield (Eds). *Swimming III*. pp. 182-195, Baltimore : University Park Press, 1979.
- Persyn U., Daly D.** Developping evaluation system. *Swimming Technique*, august-octobre, 27-30, 1982.
- Persyn U.** Computer aided evaluation : Report. Paper presented at the Olympic solidarity Seminar, Leuven, Belgium, 1984.
- Persyn U., Vervaecke H.** Drogtraining voor zwemmers (dryland training for swimmers). In : V. Stijnen and A. Claessens (Eds). *Physical fitness : Een multidisciplinaire benadering Hermes* (Leuven), 17, 255-264, 1984.
- Persyn U., Vervaecke H., Verhetsel D.** Factors influencing stroke mechanics and speed in swimming butterfly. In : H. Matsui, K. Kobabayashi (Eds). *Biomechanics VIII-B*. pp. 833-841, Champaign : Human Kinetics Publishers, 1983
- Persyn U., Van Tilborgh L., Daly D., Colman V., Vijfinkel D., Vergetsel D.** Computerized evaluation and advice in swimming. In : B.E. Ungerechts, K. Wilke and K. Reischle (Eds). Champaign : Human Kinetics Publishers, 1988.
- Rieu M.** : L'intervention du métabolisme aérobie lactique en fonction de l'intensité de l'effort rectangulaire. VI<sup>e</sup> séminaire de bioénergétique. La zone de transition "aérobie-anaérobie". *Revue EPS Edition*. Paris, le 20-21 mars 1986.
- Sawka M.N., Knowlton R.G., Miles D.S. and Critz J.B.** : Post-competition blood lactate concentrations in collegiate swimmers. *J. Appl. Physiol.* 41: 93-99, 1979.
- Schleihauf R.E.** 3-D computer stroke analysis. *Swimming Technique*, 19, 2, 20-25, 1982.
- Schleihauf R.E., Higgins J.R., Hinrichs R., Luedtke D., Maglischo C., Maglischo E.W., Thayer A.** Propulsive techniques : front crawl stroke, butterfly, backstroke and breaststroke. In : B.E. Ungerechts, K. Wilke and K. Reischle (Eds). *Swimming Sci. V*. pp. 53-59, Champaign : Human Kinetics Publishers, 1988.
- Stegemann H. and Kindermann W.** Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol.l<sup>-1</sup> lactate. *Int.J. Sports Med.* 3: 105-110, 1982.
- Tesch P.A., Daniel W.L., Sharp D.S.** : Lactate accumulation in muscle and blood during submaximal exercise. *Acta Physiol. Scand.* 114: 441-446, 1982.
- Tokmakidis S.** Anaerobic threshold in perspective : physiological, methodological and practical applications of the concept. Thèse de doctorat, Département d'Education Physique, Université de Montréal, 1989.
- Torma Z.D., Székely G.** : Parameters of acid-base equilibrium at various swimming intensities and distances. In : Eriksson, Furberg (Eds) : *Swimming Med. IV*, pp. 274-281, Univers. Park Press, Baltimore, 1978.
- Torre C.** : Théorie des sportschimmens. Kinematische überlegungen zum Kraulen. In : *Sportwissenschaft*, 2: 1-76, 1972.
- Van Handel P.A., Katz A., Morrow J.R., Troup J.P., Daniels J.T. and Bradley P.W.** : Aerobic economy and competitive performance of U.S. elite swimmers. In : B.E. Ungerechts, K. Wilke and K. Reischle (Eds). *Swimming science V. Isss*, Vol. 18, Human Kinetics publishers, Champaign, Illinois, pp. 219-227, 1988.
- Walsh M.L., Banister E.W.** Possible mechanisms of the anaerobic threshold. *A review Sports Med.* 5: 269-302, 1988.

**A N N E X E**

**TABLEAU 12 : PLACE DU PROGRAMME D'ÉVALUATION**

**« NATATION-EVAL »**

**DANS LE CADRE D'UN PROJET DE POLITIQUE SPORTIVE FÉDÉRALE :**

**« *DU JEUNE NAGEUR DÉBUTANT... AU NAGEUR DE HAUT NIVEAU* »**



<p><b>IV- QUALITES REQUISES DU NAGEUR</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Goût affirmé pour la pratique de la Natation</li> <li>. Goût pour la compétition</li> <li>. Développement harmonieux</li> <li>. Bonne scolarité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Intérêt pour la compétition</li> <li>. Motivation, volonté, assiduité</li> <li>. Endurance, vitesse, souplesse, flottabilité, "glisse"</li> <li>. Bons résultats scolaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Pugnacité, motivation, endurance psychologique, contrôle</li> <li>. Excellente technique</li> <li>. Dimensions morphologiques importantes</li> <li>. Endurance, vitesse, force propulsive élevées</li> <li>. Bons résultats sportifs et scolaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Pugnacité, motivation, résistance aux stress, ambition, contrôle émotionnel</li> <li>. Technique efficace</li> <li>. Caractéristiques morphologiques adaptées</li> <li>. Capacité aérobie ou anaérobie, flottabilité, souplesse, force, vitesse élevées</li> <li>. Bons résultats sportifs et scolaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Ambition, combativité, motivation, résistance aux stress, contrôle émotionnel</li> <li>. Bonne connaissance de soi</li> <li>. Technique efficace</li> <li>. Qualités morphologiques : idem</li> <li>. Qualités physiologiques : idem</li> <li>. Performance haut niveau</li> </ul>
<p><b>V- QUALITES REQUISES DE L'ENTRAINEUR ET DES CADRES PEDAGOGIQUES ET TECHNIQUES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Connaissance du développement psycho-moteur de l'enfant</li> <li>. Animateur - organisateur</li> <li>. Bon pédagogue</li> <li>. Connaissance sur la préparation initiale des jeunes</li> <li>. Connaissance des qualités requises par les différents sports (aide à l'orientation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Connaissance des caractéristiques psycho-motrices des pré-adolescents</li> <li>. Parfaite connaissance des qualités requises par la natation sportive</li> <li>. Connaissance des méthodes d'évaluation et de détection</li> <li>. Connaissance des procédés ludiques d'entraînement et d'amélioration des techniques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Connaissance des caractéristiques des adolescents</li> <li>. Bon pédagogue</li> <li>. Bon technicien</li> <li>. Connaissance des méthodes de planification de l'entraînement</li> <li>. Connaissances biomécaniques et physiologiques de la natation</li> <li>. Notions sur l'organisation de de l'environnement du sportif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Connaissance des caractéristiques psycho-motrices des adolescents et des post-adolescents</li> <li>. Solides connaissances scientifiques sur la préparation psychologique, physiologique, technique et tactique du nageur de haut niveau</li> <li>. Connaissance sur l'organisation des conditions de vie du sportif (scolaires, affectives, sociales...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Connaissance des particularités individuelles de chaque nageur</li> <li>. Connaissance du suivi psychologique, médical, physiologique et technique de l'entraînement</li> <li>. Parfaite connaissance de la planification des étapes d'une saison, des cycles, microcycles, séances et exercices en fonction des compétitions visées</li> <li>. Spécialiste des sciences du sport</li> </ul>
<p><b>VI- MODALITES PEDAGOGIQUES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Apprentissage en groupe</li> <li>. Utilisation du "jeu"</li> <li>. Organisation des équipes et en clubs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Entraînement et apprentissage en groupe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Entraînement et apprentissages mixtes en groupe et individualisés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Entraînement et perfectionnements individuels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Perfectionnement individuel très rigoureux (utilisation des technologies scientifiques modernes : vidéo...)</li> </ul>

**PLACE DU PROGRAMME D'EVALUATION "NATATION-EVAL" DANS LE CADRE D'UN PROJET DE POLITIQUE SPORTIVE FEDERALE :**

**"DU JEUNE NAGEUR DEBUTANT... AU NAGEUR DE HAUT NIVEAU"**

Georges CAZORLA

	AVANT 10 ANS	11 - 12 ANS	13 - 14 ANS	15 - 16 ANS	Filles : 15 ANS et + Garcçons : 16 ANS et +
<b>DIFFERENCIATION DES ETAPES</b>	NIVEAU 1 ou étape préparatoire	NIVEAU 2 ou étape du début de l'entraînement	NIVEAU 3 ou étape du début de la spécialisation	NIVEAU 4 ou étape intensive de Haute Spécialisation	NIVEAU 5 ou étape du Haut Niveau
<b>I- OBJECTIFS DE PREPARATION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Développement harmonieux de toutes les qualités physiques de base : détente, vitesse souplesse, endurance, coordination</li> <li>. Apprendre à bien nager</li> <li>. Initiation et éveil d'un intérêt pour la natation sportive</li> <li>. Choix d'un club de natation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Consolidation de l'intérêt pour la natation sportive</li> <li>. Développement harmonieux des qualités physiques de base, à sec et dans l'eau</li> <li>. Augmentation progressive du volume de l'entraînement par l'utilisation de procédés ludiques</li> <li>. Amélioration des techniques de nage</li> <li>. Classement dans une des équipes du club</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Choix d'une ou de plusieurs spécialités</li> <li>. Renforcement musculaire généralisé et début du renforcement musculaire spécifique (vitesse, force propulsive, endurance souplesse).</li> <li>. Volume important d'entraînement, début d'augmentation de l'intensité</li> <li>. Perfectionnement technique (coordination de nage)</li> <li>. Sélection Equipes Régionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Confirmation de la spécialisation</li> <li>. Entraînement spécifique</li> <li>. Musculation généralisée + spécifique</li> <li>. Intensité importante</li> <li>. Début de la recherche de l'autonomie</li> <li>. Sélection dans une des équipes nationales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Accession en Equipe Nationale</li> <li>. Cogestion Nageur - Fédération - Entraîneur Club - Entraîneur National</li> <li>. Dans le choix :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- des compétitions les plus importantes,</li> <li>- du meilleur entraînement,</li> <li>- de l'environnement.</li> </ul> </li> <li>. Objectifs internationaux</li> </ul>
<b>II- ORGANISATION NATIONALE DES STRUCTURES CORRESPONDANTES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Convention avec les MNS</li> <li>. Sport à l'école primaire (tiers temps + activités de l'USEP)</li> <li>. Etablissements scolaires spécialisés</li> <li>. Horaire aménagé</li> <li>. Ecoles de sport (municipales ou clubs multisports)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Sport à l'école primaire ou au collège d'enseignement secondaire (EPS + USEP ou UNSS)</li> <li>. Club de natation</li> <li>. Stages d'été</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Sport au CES (EPS + UNSS)</li> <li>. Clubs de Natation</li> <li>. Section Sport-Etudes</li> <li>. Stages fédéraux départementaux ou régionaux (CTD et CTR)</li> <li>. Scolarité quotidiennement réduite mais étalée sur 11 mois dans l'année</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Sport au CES (EPS + UNSS)</li> <li>. Clubs de natation très structurés</li> <li>. Centres Permanents d'Entraînement et de Formation (CPEF)</li> <li>. Stages régionaux, inter-régionaux et nationaux (CTR) été + vacances</li> <li>. Conditions scolarité : idem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Sport au Lycée et à l'université (UNSS)</li> <li>. Clubs structurés pour le haut niveau (CPEF) ou Centre National d'Entraînement CTR Entraîneurs Nationaux</li> <li>. Conditions scolarité : idem</li> </ul>
<b>III - OBJECTIFS DU PROGRAMME D'EVALUATION NATATION-EVAL</b>	NIVEAU 1 <ul style="list-style-type: none"> <li>. AIDE AU CHOIX de la natation comme une des premières pratiques possibles (goûts personnels + capacités requises)</li> </ul>	NIVEAU 2 <ul style="list-style-type: none"> <li>. IDENTIFICATION DES JEUNES TALENTS (motivation + potentiels élevés)</li> </ul>	NIVEAU 2' <ul style="list-style-type: none"> <li>. CONFIRMATION DU "TALENT" (évolution des différentes capacités et des performances + motivation renforcée)</li> </ul>	NIVEAU 3 <ul style="list-style-type: none"> <li>. SELECTION D'ENTREE DANS UN CPEF (en vue de l'accession aux équipes nationales et à l'entraînement de haut niveau)</li> </ul>	NIVEAU 4 <ul style="list-style-type: none"> <li>. INDIVIDUALISATION et SUIVI DE L'ENTRAINEMENT</li> </ul>

## VIII- MODES DE PREPARATION

1° - Technique	Acquisition globale de nombreuses techniques complexes : gymnastique, athlétisme, natation, judo, sports collectifs	Acquisition des principales techniques de base en natation et divers exercices spécifiques. Polyvalence recherchée	Accent mis sur la décomposition des différentes techniques de nage : exercices spécifiques	Recherche de la technique la mieux adaptée aux caractéristiques morphologiques et fonctionnelles de chaque nageur	Perfectionnement optimal de la technique individuelle et acquisition d'un style personnel.
2° - Tactique	Apprentissage et respect des règles, règlements et codes des différentes activités physiques	Acquisition d'une représentation générale de la signification de la tactique en natation	Acquisition des réflexes et habitudes tactiques : "train", observations subaquatiques, etc...	Analyse détaillée des processus tactiques : savoir contrôler une épreuve psychologiquement et physiquement	Développement maximal des processus tactiques au cours de compétitions de haut niveau.
3° - Physique	Préparation multiforme 100% (natation 20 à 30%)	Début d'une préparation plus spécifique (60%) comprend : - natation, renforcement musculaire, assouplissement - exercices propres à d'autres disciplines aquatiques : water-polo, plongeon, natation synchronisée... Polyvalence poursuivie (40%)	Approfondissement de la préparation physique spécifique par le recours à toutes les variantes de l'entraînement natation et tous les exercices spécifiques  Préparation multiforme et générale (30%)	Préparation spécifique à des niveaux progressivement plus intenses et dans des conditions de plus en plus difficiles  Préparation multiforme et générale (20 à 30%)	Individualisation de la préparation physique spécifique en sélectionnant les exercices les plus appropriés en fonction de leur efficacité, du moment de la préparation et des objectifs poursuivis  Préparation générale et multiforme (20 à 30%)
4° - Psychologique	Développement psychocinétique dans les situations les plus variées possibles	Apprentissage des règles de l'hygiène sportive : sommeil, repos, nutrition, auto-évaluation... Habitue de tenir un carnet d'entraînement	Apprentissages des règles fondamentales de l'entraînement (entretiens avec entraîneur, cours, lectures...)  Commencer à savoir se fixer des objectifs, à s'auto-évaluer.	Approfondissement des connaissances du système de préparation physique : entraînement, approche médicale, physiologique, biomécanique, psychologique. Savoir situer son "état de forme".	Bien se connaître Savoir interpréter certains résultats de tests physiques, physiologiques et biomécaniques. Affiner sa maîtrise psychologique (relaxation, auto-suggestion, relâchement...)

**VIII- ENTRAINEMENT**

. Jours d'entraînements annuels	. Variable 100 à 160 (dépend des possibilités ludiques individuelles)	. 180 - 190	. 200 - 250	. 280 - 300	. 280 - 310
. Nombre de séances annuelles	. Variable	. 180 - 270	. 400 - 500	. 480 - 600	. 560 - 600
. Nombre de séances hebdomadaires	. 3 à 4 cycles d'apprentissage.	. 4 à 5	. 5 à 8	. 8 à 12	. 10 à 15
. Nombre de séances quotidiennes	. 1	. 1 à 1.5	. 1 à 2	. 1 à 3	. 1 à 3
. Nombre de compétitions annuelles	. 1 à 2 /cycle d'apprentissage	. 10 - 15	. 15 à 20	. 20 à 25	. 20 à 25
. Kilométrage annuel ( <sup>1</sup> )		. 600 - 900	. 1600 - 2200*	. 2000 - 3200*	. 1500 - 3600*
. % de nage intensive (par rapport au volume total)		. 40	. 55	. 70 - 75	. 75 - 80

**X - RESULTATS**

. Goût pour la natation sportive . Développement psychomoteur optimal . Bien nager	. Développement harmonieux . Motivation pour la natation sportive . Meilleure vie de groupe . Habitude d'entraînement . Bonne exécution technique	. Choix d'une spécialité . Motivation pour Haut Niveau à atteindre . Compréhension des objectifs . Respect d'un plan d'entraînement . Réalisation des étapes programmées	. Préparation générale et spécifique suffisante pour la (ou les) spécialité(s) choisies . Résultats haut niveau . Accession à une équipe nationale	. Niveau élevé et stable des résultats . Participation aux compétitions internationales . Performances internationales
--	---	--	--	--

\* *En fonction de la spécialité*

<sup>1</sup> Le kilométrage dépend de la distance de compétition à laquelle se prépare le nageur : le chiffre le plus faible représente ici le kilométrage des sprinters ; le plus élevé celui des nageurs de longue distance.