

# TECHNIQUE DE NAGE EN MONOPALME

## B. Grammaticos

### TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos.....	3
1.Introduction : technique et style.....	4
2. Techniques de nage en piscine .....	5
Nage en surface.....	6
Nage en immersion avec scaphandre.....	9
Nage en immersion en apnée.....	11
3. Technique de nage en eau libre.....	11
4. Départs, virages, arrivée.....	14
Le départ.....	14
La prise de relais.....	16
Arrivée.....	17
Les virages.....	18
5. Les techniques annexes.....	20
Crawl-dauphin et nage sur le dos.....	21
Autres éducatifs sans accessoire.....	22
Exercices avec accessoires.....	23
Nage en opposition ou avec résistance.....	24
6. Défauts de style. Moyens de correction.....	26
APPENDICES – Quelques notions théoriques sur la nage avec palmes.....	29
A. Les résistances lors du déplacement d'un nageur dans l'eau.....	29
B. La biomécanique de la nage avec palmes.....	31
C. Un modèle simple pour la propulsion à l'aide d'une monopalme.....	32

# Avant-propos

Ce petit ouvrage sur la technique de la Nage en Monopalme est basé sur mes notes qui ont servi de support aux nombreux cours que j'ai donné à des futurs entraîneurs et initiateurs fédéraux ainsi qu'à des candidats au BEES d'activités de natation. Le manque de temps est à l'origine du décalage entre la rédaction des notes à usage personnel et celle de cet ouvrage qui est sensé être mis à disposition du monde de la palme française. Cette première édition au format HTML est sensée apporter une meilleure portabilité à ce document. Si le temps le permet une édition au format PDF verra peut-être le jour dans un avenir pas trop lointain.

Je veux remercier ici tous ceux qui ont contribué à l'amélioration de la qualité de cet ouvrage. J.L. Kervinio a mis à ma disposition les excellents dessins sur la technique de nage et les éducatifs dont il est l'auteur. La présentation du mouvement-type en monopalme est largement inspirée des travaux de J. Macé. H. Kerll m'a autorisé à utiliser ses clichés sur la biomécanique du mouvement de la palme. C. Guillerm et C. Schmeiser ont lu d'un oeil critique la première version de ce manuel. A tous ces amis je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance.

# 1. Introduction: Technique et Style

Chaque sport a sa propre technique. Pour certains sports, comme par exemple la course à pied, cette technique est entièrement instinctive. Pour d'autres elle est totalement artificielle, comme pour tous les sports mécaniques. Dans tous les cas il existe une technique optimale, mais le critère de qualité varie d'un sport à l'autre. Pour les sports fonciers, comme la Nage avec Palmes, il s'agit de couvrir une distance donnée dans un temps minimal tout en respectant les contraintes posées par les ressources énergétiques limitées de l'organisme. La technique optimale se trouve ainsi liée au geste le plus efficace, qui évite au maximum le gaspillage d'énergie. Quelle plus belle preuve de l'efficacité du mouvement en monopalme que le fait que la Nature l'ait choisit pour le déplacement des mammifères marins? Il suffit d'assister à une compétition de Nage avec Palmes de haut niveau pour se rendre compte que le mouvement de nage en monopalme, exécuté par des nageurs expérimentés, est d'une simplicité et d'une harmonie extrêmes.

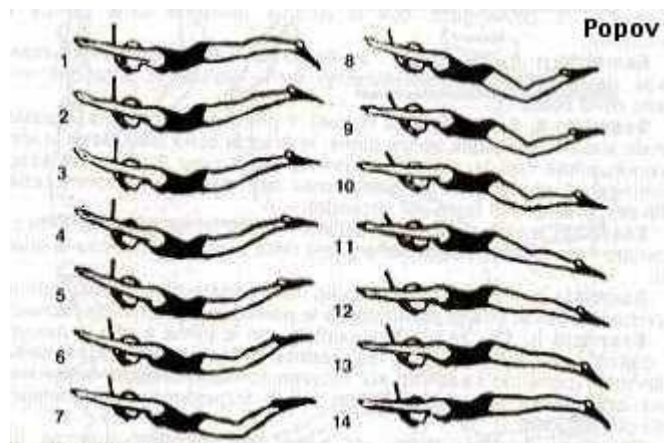
Dans ce qui suit je tenterai de donner un bref aperçu de la technique de nage en monopalme. Je ne m'occuperai pas du tout de la technique de nage en bi-palmes. Les lecteurs intéressés trouveront une description détaillée de celle-ci, due à Claude Schmeiser, dans le Guide de l'Entraîneur (qui date des années 70 et qui est, hélas, épuisé). Je suis persuadé que l'ère des bi-palmes en tant que matériel de compétition est révolue. Les bi-palmes restent, et resteront toujours, un excellent accessoire d'initiation et de loisir, voire d'entraînement complémentaire, mais, en ce qui concerne la compétition, la monopalme n'a plus de rival. Cet ouvrage sera donc consacré au matériel qui a donné à la Nage avec Palmes son identité propre en introduisant une technique qui l'a distingué à jamais de la natation classique.

Avant d'entrer dans la partie purement technique il convient de préciser les deux termes qui sont utilisés souvent avec une certaine confusion. La "technique" correspond à un ensemble de gestes qui, dans leur succession spatio-temporelle, permettent l'exécution d'un mouvement sportif. La technique est donc une donnée objective mais aussi un peu abstraite. Elle est soumise aux lois de la biomécanique, dépend de façon cruciale du matériel et doit obéir aux contraintes du règlement. Ce que l'entraîneur enseigne est la technique de nage. La technique peut être

adéquate ou pas. Nager avec les bras le long du corps est un exemple d'une technique non-optimale. Le "style" est l'adaptation de la technique à la morphologie de chaque nageur, son matériel et son niveau de compétence. Il dépend aussi de l'état du sportif et des conditions extérieures. Le style est une donnée personnelle : chaque nageur a le sien. Le résultat de l'enseignement de la technique est un style de nage. Le nageur peut commettre des fautes de style et non pas de technique. Bien évidemment il n'existe que des styles de nage : la technique de nage est une abstraction issue de ces styles. C'est le travail d'analyse de toute une génération d'entraîneurs qui a défini la technique optimale de nage.

## 2. Technique de nage en piscine

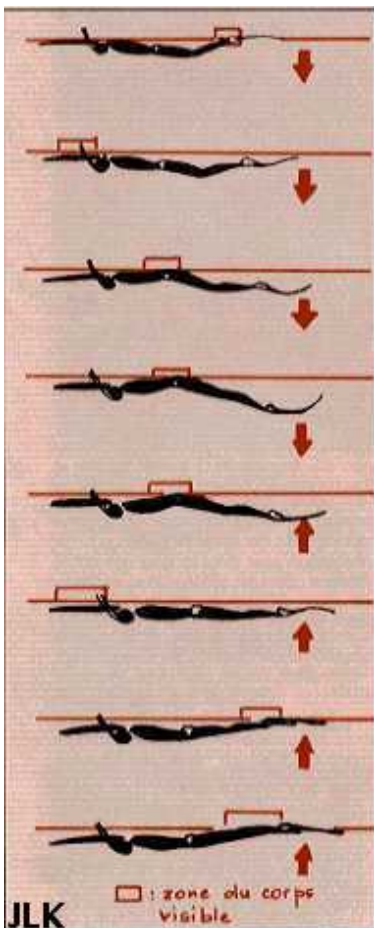
Le mouvement ondulatoire en monopalme peut se décomposer en deux phases consécutives : descendante et ascendante. Vu l'anatomie humaine les deux phases ne sont pas équivalentes et par conséquent le mouvement n'est pas symétrique : on a tendance à privilégier la phase descendante, qui devient le temps fort. En effet les muscles qui y participent, quadriceps, psoas et, dans une certaine mesure, abdominaux sont tous des muscles puissants. Par contre, la remontée de la monopalme est assurée par des muscles de force moindre, ischio-jambiers, para vertébraux, et est, donc, moins efficace pour la propulsion. Les deux phases peuvent se distinguer de façon claire sur les dessins (dus à Popov):



## Nage en surface

### *Phase descendante.*

Partant d'une position horizontale, le nageur déclenche son mouvement descendant par une légère flexion de la jambe sur la cuisse. Le fait de plier le genou est une nécessité biomécanique qui vise à rendre plus efficace le muscle droit antérieur. (Ceci ne veut en aucun cas dire que la flexion des genoux doit être recherchée : une flexion exagérée tendrait à diminuer le bras de levier de l'appui de la palme et rendrait son mouvement inefficace). Le nageur arme ainsi son geste et commence la poussée de la palme vers le bas. Le mouvement se poursuit alors que l'angle entre jambe et cuisse diminue. En même temps le bassin remonte vers la surface de l'eau et l'angle entre tronc et membres inférieurs diminue. Suivant la description de J. Macé, nous distinguons trois temps dans cette phase descendante:



1e temps : déclenchement du mouvement par flexion de la jambe sur la cuisse, les genoux s'enfoncent légèrement.

2e temps : début de la descente par action combinée de l'ouverture de l'angle (environ  $140^\circ$ ) et de l'extension progressive de la totalité du membre inférieur. Légère cassure de l'angle pelvien.

3e temps : fin de la descente, le membre inférieur est à ce moment complètement tendu et le bassin, par réaction mécanique, à moitié sorti de l'eau. Le flexion ventrale des membres inférieurs sur le tronc traduit une cassure maximale de l'angle pelvien (environ  $150^\circ$ ). Afin de bénéficier d'une propulsion efficace l'amplitude recherchée doit être maximale. En cette fin de phase descendante le monopalméur atteint sa vitesse optimale de nage, l'axe tronc-tête-bras doit rester parfaitement profilé de façon à minimiser les résistances hydrodynamiques.

Les mains doivent être l'une sur l'autre à une profondeur d'à peine quelques centimètres. les bras bien allongés, les épaules renferment la tête au dessus des oreilles et la fixent. Le regard du nageur est dirigé vers le bas. Pour le maintien d'une position correcte, une souplesse articulaire est nécessaire afin que les épaules restent fixes et n'accompagnent pas le tronc d'un mouvement ondulatoire.

*Phase ascendante.*

Dans cette phase le nageur déclenche son mouvement par une ouverture de l'angle tronc-membres inférieurs et en même temps par une remontée des jambes vers la surface. La monopalme s'appuie sur la masse d'eau qui se trouve au dessus d'elle. Le mouvement se poursuit avec des membres inférieurs en extension. Vu la forme bien tendue du nageur, il est clair que cette phase sera celle de la meilleure "glisse". D'après J. Macé, nous distinguons trois temps dans cette phase ascendante :

1e temps : déclenchement du mouvement par remontée du membre inférieur tendu vers la surface de l'eau. Début de l'ouverture de l'angle pelvien.

2e temps : le monopalmeur est en position totalement horizontale. Seul le haut des bras crève la surface de l'eau, la recherche du meilleur profil de glisse reste concomitante à une diminution de la traînée d'onde.

3e temps : fin du mouvement ascendant. Après une remontée active, la monopalme vient effleurer la surface de l'eau. L'extension des membres inférieurs reste maximale, l'angle postérieur formé avec le tronc est d'environ 160°.

Un mouvement ondulatoire correctement exécuté doit inclure une remontée active de la monopalme. De nombreux monopalmeurs débutants ne respectent pas cette règle et laissent leur monopalme progresser mollement vers le haut. Cette négligence est souvent la conséquence directe d'un manque de travail technique en surface mais principalement en IS. En surface le monopalmeur est limité par la hauteur d'eau lors de la remontée : un réglage technique s'avère nécessaire pour amener la monopalme juste à la

surface de l'eau sans précisément la dépasser. Nous verrons plus loin que cette contrainte n'existe pas pour la nage en immersion où le nageur évolue à une profondeur "idéale" de 80cm et il peut rechercher une remontée maximale de sa monopalme.



Comme nous avons expliqué plus haut le mouvement en monopalme ne décrit pas une sinusoïde parfaite. La photo ci-dessous obtenue par H. Kerll nous le montre clairement.

Voici quelques points concernant la technique de nage en surface d'après Orlov et Kebkalo (cités par Popov).

- 1) Le mouvement débute à proximité des épaules et s'amplifie vers la partie inférieure. Le mouvement propulsif lui, part de la partie inférieure du corps au niveau de l'articulation coxo-fémorale et il est obtenu par la flexion de la hanche.
- 2) Les genoux sont toujours plus ou moins fléchis.
- 3) Les chevilles sont allongées.
- 4) La position des bras et de la tête doit garantir l'"hydrodynamisme": les mains superposés cherchent un appui pour les épaules dans l'eau et, pendant la nage, fonctionnent comme guide de profondeur. Ajoutons aussi qu'il est important de ne pas avoir de temps "mort" entre les deux phases de remontée et descente de la monopalme. L'uniformité du mouvement et de la puissance mise en jeu par les chaînes antérieures et postérieures contribueront à accentuer la vitesse de progression du monopalmeur.

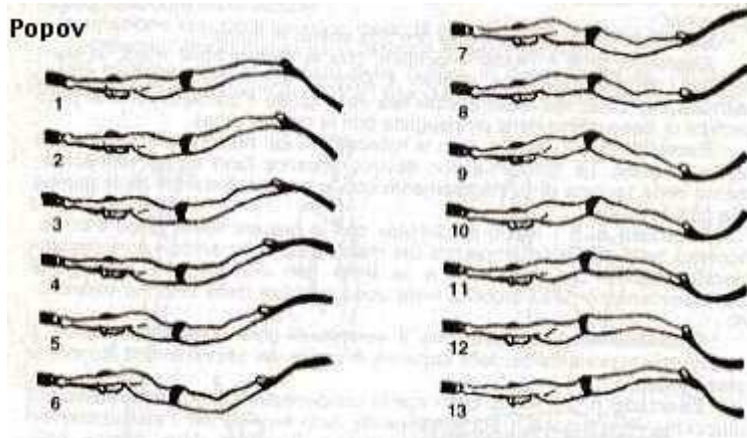
Jusqu'ici nous avons décrit la technique de nage en surface comme correspondant à une succession de mouvements parfaitement équivalents. Mais si cette répétitivité est la règle, il existe des techniques où ceci n'est pas le cas. Dans la technique dite "à deux temps" il y a un temps fort où le nageur insiste particulièrement sur sa poussée qui est suivi d'un temps faible où le nageur effectue un mouvement d'une amplitude moindre et cherche à rester allongé au maximum pour profiter d'une meilleure glisse. On pourrait même imaginer des variantes de cette technique avec, soit un temps fort, soit un temps de glisse placé tous les trois ou plus mouvements mais la maîtrise d'une telle technique serait extrêmement difficile.

Un exemple très particulier de style à deux temps est celui de la nageuse Chinoise Zhao Xiaolian (championne du monde '94 sur les distances de 800m et 1500m). Le temps fort de son style est très puissant avec une remontée de monopalme hors du commun. Ceci a comme conséquence la création d'une vague au niveau de la voilure sur laquelle celle-ci vient prendre appui pour donner une meilleure glisse lors du temps suivant. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que Zhao Xiaolian n'utilise ce style que lorsqu'elle nage en demi-fond. Pour les courses de vitesse (en relais par exemple) elle utilise un style plus classique, "à la chinoise", avec une position beaucoup plus enfoncée dans l'eau. L'utilisation de vague à l'arrière du corps n'est pas une invention chinoise même si le cas de Zhao Xiaolian est spectaculaire. En effet les premiers nageurs à utiliser cet effet étaient les deux étoiles de l'école de Novosibirsk S. Akhapov et L. Boutenko, et aussi, dans une certaine mesure, K. Koudriaev (tous multiples champions du monde). Ces nageurs nagent tous dans un style à simple temps mais en insistant sur la remontée de la monopalme qui, grâce aussi à une voilure d'une dureté extrême, crée une forte vague à l'arrière. Ceci leur permet de nager "plus haut" dans l'eau, et de diminuer ainsi les résistances, tout en ayant un mouvement de monopalme efficace qui ne travaille donc jamais dans le vide. Bien évidemment ce style s'adresse à des individus exceptionnels et n'est envisageable qu'à partir d'une certaine vitesse élevée.

## Nage en immersion avec scaphandre

La technique de nage en immersion n'est pas fondamentalement différente de celle de la nage en surface. Toutefois, des différences existent liées au matériel (le nageur doit transporter une bouteille plus ou

moins volumineuse) et le fait que le mouvement ascendant peut avoir une amplitude nettement plus grande qu'en nage en surface.

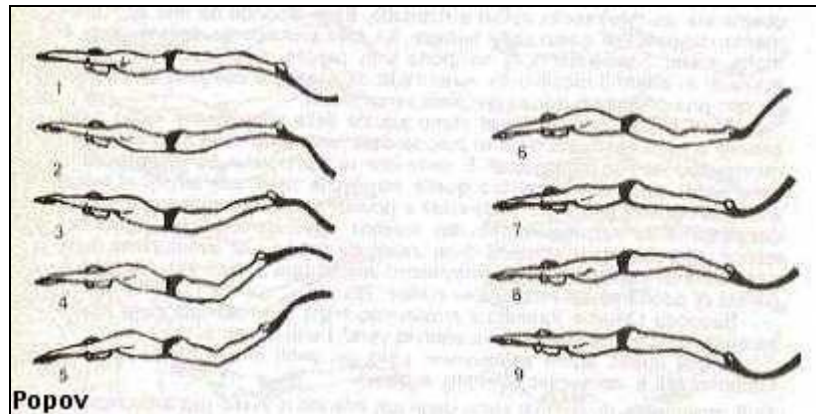


Commençons par la bouteille. La prise correcte est fonction de la robinetterie et du premier étage du détenteur. Elle est d'une importance capitale parce qu'elle conditionne la bonne position de la bouteille.

Une bouteille bien horizontale, dans le prolongement du corps, peut même améliorer la forme hydrodynamique du nageur. Il faut toujours penser au contrôle de la stabilité latérale de la bouteille à l'aide des index. La tenue correcte de la bouteille nécessite une bonne mobilité articulaire et de la force musculaire aux avant-bras et aux doigts, surtout pour les bouteilles les plus lourdes.

Le mouvement a une amplitude plus importante qu'en nage en surface surtout grâce à un mouvement ascendant plus actif. Les jambes sont plus tendues, l'angle au niveau des genoux ne doit pas descendre en dessous de  $140^{\circ}$ . Le tronc est aligné avec l'axe bouteille-bras-tête. Cette dernière est maintenue entre les bras et il faut veiller à ce qu'elle ne soit ni trop haute ni trop basse. La bouteille doit rester parfaitement horizontale, même si de légers mouvements verticaux peuvent permettre à la bouteille de mieux épouser le mouvement sinusoïdal du nageur.

## Nage en immersion en apnée



L'apnée s'exécute avec une technique semblable à celle de l'immersion avec scaphandre mais sans l'encombrement de l'appareil. Vu la vitesse très élevée il est très important de maintenir une position offrant une résistance minimale à l'avancement. Le triangle formé par le bras et les épaules doit être maintenu fermement en position. En ce qui concerne le mouvement d'ondulation, plusieurs techniques sont possibles: en progression avec des mouvements amples et puissants au début devenant de plus en plus rapides ou bien avec, dès le début, des mouvements assez "plats" mais puissants et de grande fréquence. La chose importante est de maintenir du début à la fin de la course une grande efficacité de mouvement: ce n'est pas la fréquence d'ondulation qui compte mais la vitesse de progression du monopalmeur.

### 3. Technique de nage en eau libre

La nage en eau libre (traversée, nage de longue distance ou de grand fond), tout en faisant partie intégrante de la nage avec palmes, possède sa technique propre. Le point que je considère comme le plus important est le fait que, loin de la piscine, le nageur perd ses repères visuels habituels. L'absence de ligne de fond l'oblige à chercher à s'orienter et donc à lever la tête régulièrement. Ce mouvement doit être exécuté sans rompre la

continuité de l'ondulation, la tête sort de l'eau pas plus qu'il ne faut pour prendre les repères. La reconnaissance du parcours avant la course et le bon choix de repères aident considérablement. La fréquence de sortie de tête dépend de la capacité du nageur à garder une trajectoire rectiligne : d'une fois tous les quatre-cinq mouvements pour ceux qui dévient facilement jusqu'à une fois tous les dix mouvements pour les experts. Afin de permettre à la tête de glisser facilement entre les bras on nage souvent sans superposer les mains. Dans ce cas il faut faire attention à ce que les bras restent bien tendus et que les coudes ne se plient pas. De toute façon s'il faut accélérer à un moment de la course il ne faut pas hésiter à revenir à une position "normale", avec mains superposées, ne serait-ce que pour le temps de quelques ondulations.

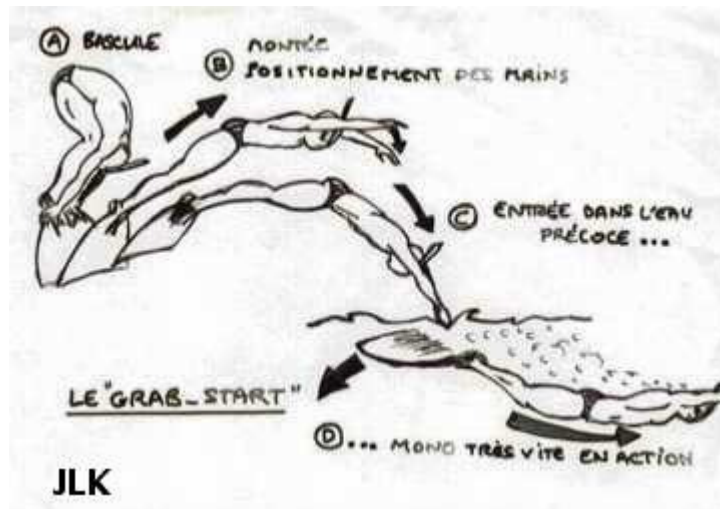
Un deuxième point qui doit attirer notre attention est lié au port du vêtement iso thermique. Il faut remarquer d'emblée que dans le domaine des combinaisons, en ce qui concerne la nage avec palmes, tout reste à faire. Les vêtements en néoprène qu'on peut trouver dans le commerce ne tiennent pas compte des spécificités de notre nage. Dans la plupart des cas la coupe ne prévoit pas la position des bras en extension, ce qui a comme résultat que la combinaison tire sur les bras du nageur, ce qui le fatigue et l'empêche d'avoir une position correcte. Les monopantalons ont fait leur apparition depuis quelques années déjà mais il n'est toujours pas clair si leur utilisation présente de vrais avantages. Le principal effet de la combinaison sur le style de nage est lié à l'augmentation de la flottabilité. Le nageur se trouve ainsi positionné "plus haut" dans l'eau que d'habitude. Le mouvement descendant de la monopalme nécessite plus d'effort que lorsqu'il est exécuté sans combinaison, par contre le mouvement ascendant est considérablement facilité. Il faut donc insister sur le mouvement descendant qui doit absolument garder une amplitude normale. Certains nageurs préfèrent garder le pantalon de néoprène même lorsque la température de l'eau est assez élevée pour permettre de nager en maillot de bain. Ceci n'est concevable que pour des nageurs expérimentés, qui ont un bon style et peuvent ainsi profiter du fait que le port du pantalon diminue les résistances. (Le pantalon peut être maintenu en place facilement à l'aide d'un maillot de water-polo, ou de quelque chose d'équivalent que l'on porte par dessus). Un dernier point concernant le matériel annexe : il faut nager avec des lunettes comme en piscine et pas avec un masque de plongée, sauf s'il s'agit d'un masque spécial conçu pour l'orientation subaquatique. Le tuba ne doit pas être trop serré, surtout parce qu'il est porté à l'extérieur de la cagoule. Quant aux gants,

mon avis personnel est qu'il ne faut pas en porter sauf si le froid est excessif : les mains nues sentent bien l'eau et se trouvent mieux placées.

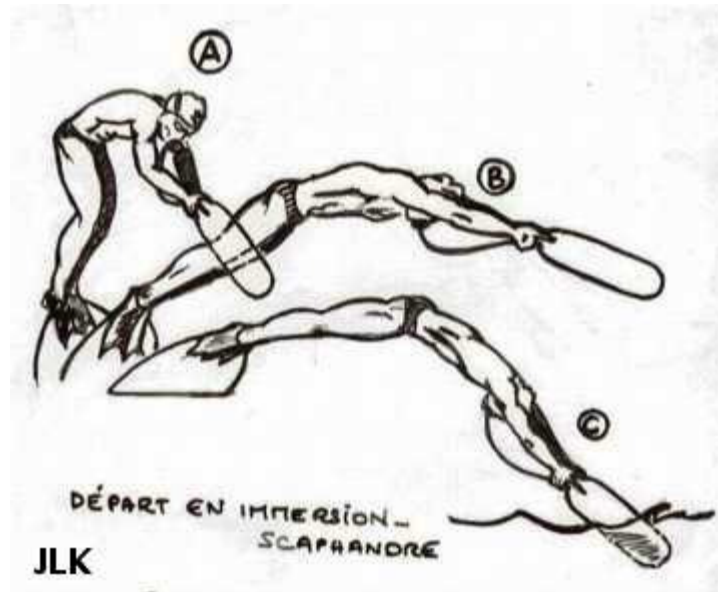
La nage en rivière pose des problèmes qui sont liés à l'existence du courant qui peut favoriser le nageur s'il sait évoluer là où le courant est maximal. Ceci est très important sur le plan tactique mais la technique de nage ne se trouve pas affectée. Ceci n'est pas le cas en mer où les vagues peuvent vraiment gêner les nageurs. Les monopalmes doivent surveiller leur style tout particulièrement : le corps doit être encore plus tendu que d'habitude et l'ondulation doit s'accorder avec les vagues de façon à ce que la monopalme ne travaille pas dans le vide. Il est clair que lorsque la mer devient trop agitée et les vagues trop grandes il n'est plus possible de nager correctement. La traversée présente aussi d'autres particularités : ce n'est qu'en nage en eau libre que le nageur peut être au contact de ses adversaires. Ceci pose des problèmes techniques et tactiques, surtout au début de la course : il faut se démarquer vite, garder un style efficace même lorsqu'il n'y a pas beaucoup de place pour nager, se protéger de coups (volontaires ou pas) sans toutefois gêner les autres nageurs. La durée, parfois très considérable, de ce genre d'épreuves peut avoir comme résultat une dégradation du style de nage à cause de la fatigue, voire du froid et des blessures. Contre ces derniers désagréments on ne peut pas faire grand chose sinon se préparer de façon minutieuse à faire face au froid et éviter les blessures. Par contre la dégradation du style due à la fatigue peut être dominée par la volonté du nageur à condition que ce dernier ait eu une préparation correcte.

## 4. Départs, Virages et Arrivée

### Le départ



S'il y a un moment de la course auquel entraîneurs et nageurs attachent beaucoup trop d'importance c'est bien le départ. Si un bon départ confère un net avantage au nageur (allant jusqu'à 0.5 sec, selon Popov) il est certain que le départ ne suffit pas à lui seul pour emporter la course. Très souvent le meilleur partant n'est pas le vainqueur et, chose impressionnante, n'est pas toujours le premier à la ligne des 15m. Popov définit le départ comme étant l'action motrice qui vise à surmonter l'inertie du corps et le mettre rapidement en mouvement. Les deux composantes d'un départ réussi sont un temps de réaction court (qui est, essentiellement, une qualité innée, peu entraînable) et une conduite de départ qui consiste à mettre le corps dans la position la plus adaptée. La conduite de départ peut être subdivisée en trois phases : la phase préparatoire, l'exécution du départ avec la poussée et le trajet aérien et la phase de conclusion dans l'eau avec la reprise de nage.



Dans la phase préparatoire le nageur prend la position de départ et s'immobilise. Plusieurs positions de départ existent pour la nage en surface et l'apnée. Une, plus traditionnelle, prépare les bras en les emmenant complètement en arrière ou juste à côté du corps, pour un mouvement puissant vers l'avant qui va ajouter son énergie cinétique à celle du corps. Dans le style "grab-start", ou départ agrippé, le nageur s'abaisse et saisit l'avant des plots. Il est ainsi dans une position à la limite de l'instabilité et maintenu en équilibre grâce à l'action des bras. Ici le nageur recherche une mise à l'eau rapide et un trajet aérien plutôt court. Finalement il existe une position, qui est aussi la seule possible pour les départs avec scaphandre, où les bras du nageur sont placés devant le corps.

Dans ce style, au départ le nageur fait appel à la puissance de ses jambes (mais ceci est une qualité qui caractérise tous les grands monopalmes). Dans les trois types de départ il est important que la tête du nageur soit inclinée vers le bas à la fin de la phase préparatoire.

Voici les recommandations de Popov pour les phases successives du départ. La phase d'exécution commence en même temps que la poussée. La rapidité d'entrée dans cette phase dépend de la réaction au signal du départ. Quand l'attention est concentrée sur le mouvement qui devra être exécuté la durée de réaction est plus courte que quand au contraire la tension est concentrée sur la perception du signal. La vitesse de réaction augmente en fonction d'une certaine tension musculaire. Au signal du départ, les bras partent vers le haut pour arriver à être tendus. L'angle d'envol est entre 10°

et 15° et il diminue en fonction de l'élévation du plot de départ. La position pendant le trajet aérien doit être aérodynamique : bras tendus vers l'avant, tête serrée entre les épaules, jambes tendues jusqu'à la pointe des pieds, chevilles en extension. Le corps entier est placé sur une seule trajectoire d'envol : une fois le trajet aérien terminé, les mains touchent l'eau alors que la tête ne doit pas se relever pour ne pas augmenter la résistance frontale. L'entrée dans l'eau aura lieu avec un angle de 20° à 30°. En Nage avec Palmes un facteur important est l'utilisation des 15 m d'immersion. Avec un angle moins important, il n'y aurait pas pénétration suffisante. La phase de glissement doit se faire sans modification de la position du corps vis à vis de celle de la phase du trajet aérien. Les sensations du nageur lui permettront de passer du glissement à la nage.

Il faut insister sur le fait que le départ ne doit pas faire l'objet d'un entraînement poussé per se. Il faut habituer le nageur à nager une certaine distance, ne serait-ce que 15m, après chaque départ parce que ceci correspond aux conditions, réalistes, d'une course. Un dernier point sur les faux départs. Il est parfaitement clair que plus de 90% des faux départs sont dûs à l'absence de discipline des nageurs. Le travail de l'entraîneur consistera à enseigner aux nageurs pas seulement la technique des départs mais aussi la discipline en corrigeant inlassablement toutes les fautes commises. Il est important que le nageur connaisse les signaux de départ et qu'il ait appris à les respecter. Il est aussi essentiel que les juges sanctionnent tout faux départ sans hésiter de disqualifier tout nageur qui essaye de "voler" le départ de façon flagrante.

## Prise de relais

La prise de relais est un départ pas comme les autres. Ce qui est important ici est que le nageur ne doit pas obéir à un signal quelconque mais doit juste respecter le règlement : il ne doit pas avoir quitté le plot avant que son coéquipier ait touché le mur de la piscine. Pour cela le nageur observe le relayeur qui arrive et déclenche son départ lorsque les mains de celui-ci se trouvent à moins d'un mètre du mur. (La règle empirique qu'on utilise est que le nageur doit se lancer lorsqu'il voit les mains de son coéquipier passer sous sa monopalme). Aux vitesses habituelles de nage, 1m correspond à 0.4-0.5 sec et ceci est pratiquement le temps nécessaire au nageur pour quitter le plot, "quitter" étant ici entendu dans le sens où même sa monopalme ne touche plus le plot. Les différences importantes entre les départs en prise de relais

et les départs normaux se trouvent dans le fait que la tête est légèrement relevée, pour pouvoir suivre des yeux la progression du coéquipier, et aussi le fait que le nageur peut être en déséquilibre avant, en "bascule". Ce dernier point facilite la mise en action du nageur et permet finalement un gain de temps sur un départ au "start" qui peut atteindre 0.7-0.8 sec. Il va sans dire que le déséquilibre doit être dosé très précisément pour ne pas anticiper sur l'arrivée du coéquipier. Certaines installations de chronométrage électronique sont équipées de plaque de détection des prises de relais anticipées. Un simple mécanisme détecte la poussée du nageur mais le départ n'est signalé comme irrégulier que si le temps d'anticipation dépasse un temps ajustable (de l'ordre de 0.3-0.4 sec). Ce temps correspond à l'intervalle entre la poussée et le moment où la palme du nageur quitte le plot et doit, en nage avec palmes, être plus grand que le temps limite fixé pour la natation classique. Un dernier point concerne la position du relayeur par rapport au milieu de la ligne à l'arrivée de son parcours. Pour faciliter la mise à l'eau du relayeur suivant et éviter des chocs entre monopalmes, le nageur qui est dans l'eau se déporte vers la gauche ou la droite du couloir de nage laissant le milieu de la ligne au relayeur plongeant.

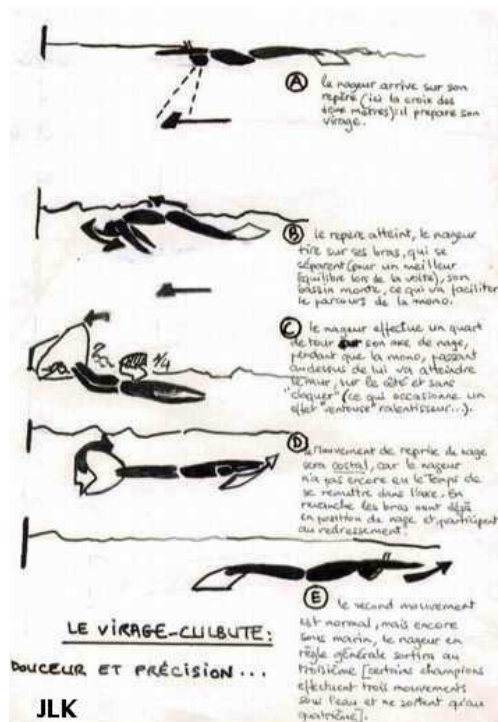
## L'arrivée

L'arrivée d'une course est un moment très important parce que ce n'est que lorsque le nageur touche au mur que la course est vraiment finie. Le nageur doit donc penser à poursuivre son effort jusqu'au dernier moment et ne pas laisser son style se décomposer à l'approche du mur. Pour les courses de surface il arrive souvent que les nageurs terminent en utilisant bras et jambes. Cette pratique est justifiée par le fait qu'au moment où les jambes sont fatiguées, les bras sont encore dans un état de fraîcheur qui permet une action efficace. Toutefois il n'est pas question de négliger l'ondulation des jambes mais juste l'assister. Il faut bien doser ce passage en bras parce que l'organisme ne sera pas capable de fournir de l'énergie aux bras et aux jambes pendant très longtemps : une quinzaine de mètres est souvent un maximum. En plus l'utilisation des bras devrait être réservée aux nageurs qui ont une traction efficace (souvent des anciens nageurs classiques). Il faut toutefois préciser que la technique d'arrivée la plus efficace est celle qui garde le même mouvement d'ondulation tout du long, sans faire intervenir les bras. Ceci présuppose une préparation sérieuse qui permet au nageur de faire face aux exigences énergétiques d'un tel effort.

En immersion avec scaphandre ou en apnée, l'arrivée ne diffère pas de la nage en pleine eau. Il faut penser à garder la tête en position et à ne pas la lever pour regarder le mur. Il est important de maintenir sa profondeur et de ne pas se laisser emporter vers le fond de la piscine surtout s'il y a un chronométrage électronique, auquel cas il faut toucher la plaque. Le dernier mouvement en apnée consiste à un tiré vigoureux de bras qui envoie l'autre bras vers le mur avec plus de vitesse. En immersion avec scaphandre on tire sur la bouteille, qui est envoyée vers l'arrière. On augmente ainsi sa vitesse d'arrivée et on évite aussi le risque de disqualification, au cas où la bouteille toucherait le mur de la piscine.

Enfin un mot concernant l'arrivée en traversée: le règlement en vigueur ne prévoit pas de signalisation de la ligne d'arrivée dans l'eau, l'arrivée étant jugée au bout de l'entonnoir réglementaire. Il est donc important pour le nageur de repérer l'arrivée et de prolonger son effort jusqu'à ce qu'il soit sûr qu'il a effectivement traversé la ligne. Il arrive souvent qu'une course, même de plusieurs kilomètres, se décide sur les dernières ondulations, d'où l'importance de cette recommandation.

## Les virages

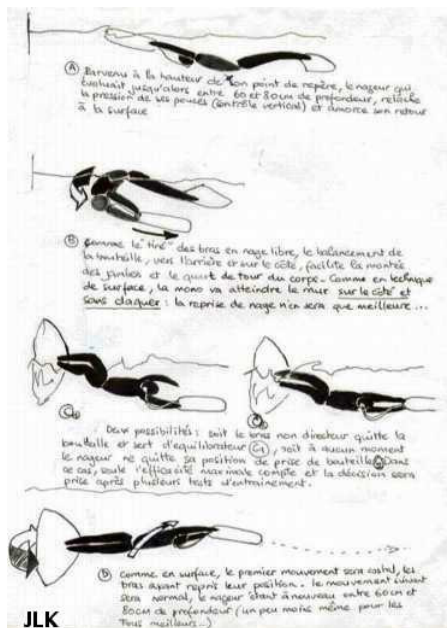


Les virages qui vont nous intéresser ici sont les virages en piscine, c'est à dire la succession de mouvements par lesquels le nageur inverse le sens de sa progression. Le virage est un mouvement technique délicat qui a toujours une petite composante aléatoire et qui peut poser des problèmes même à un nageur expérimenté.

L'analyse permet de repérer trois phases : a) la phase préparatoire qui correspond aux derniers mouvements de nage, b) la phase principale qui comprend la culbute, le positionnement de la palme contre la paroi de la piscine et la poussée, c) la phase finale de la sortie de culbute, c'est à dire du glissement après la poussée et le début de la nage.

Pour la phase préparatoire, il faut être attentif aux points suivants : avant tout il ne faut pas réduire la vitesse de la nage et d'autre part il ne faut pas lever la tête afin de ne pas augmenter la résistance. Dans la phase principale, le nageur doit exécuter la culbute avec un mouvement de rotation de 180° et porter les jambes en appui sur la paroi. A ce moment là, dans un virage correctement exécuté, le nageur a conservé une bonne partie de sa vitesse ce qui conduit à un effet de "rebond" sur le mur de la piscine. La vitesse pousse les jambes du nageur contre la paroi et les arme pour la détente qui suit. Il ne faut donc pas trop plier les jambes dans cette phase du virage parce qu'au delà d'un certain angle la poussée devient lente et inefficace.

On distinguera ici deux différentes techniques de virage. Dans la première, le nageur se contente de culbuter ce qui fait qu'au début de sa poussée il se trouve en position dorsale. Dans la deuxième, il effectue une rotation de 90° et il pousse en position latérale. L'avantage du premier virage se trouve dans sa grande vitesse d'exécution. Par contre, le nageur doit effectuer (dans la phase concluante) une vrille complète pour se mettre en position ventrale. Donc ce virage est à déconseiller aux nageurs qui ont tendance à escamoter les mouvements ondulatoires lors de leur vrille. Le deuxième type de virage, avec demi-vrille, convient mieux à ceux derniers. Dans les deux types de virage il est important que dans la phase concluante le nageur cherche à profiter au maximum du passage en immersion pour augmenter sa vitesse.



Le virage en immersion avec scaphandre n'est pas fondamentalement différent de celui en nage en surface. Le point auquel le nageur doit faire très attention est sa profondeur, pour éviter une remontée à la verticale près du mur. La bouteille est portée à l'arrière, maintenue par les deux mains et placée parallèle à la surface. Elle matérialise ainsi la direction que suivra le nageur après la culbute. Lacher la bouteille d'une main pendant la culbute ne constitue pas une erreur technique à condition que le nageur puisse contrôler parfaitement la conduite de sa bouteille avec

une main et qu'il la reprenne à deux mains aussitôt la culbute complétée.

Il est clair que l'inertie de la bouteille, surtout celle de 7 lt, s'ajoutant à la masse du nageur, le virage en immersion avec scaphandre nécessite une poussée beaucoup plus vigoureuse. En contrepartie, le nageur n'a pas l'inconvénient de l'apnée, auquel il doit faire face dans le passage immergé (de 15m maximum) de la nage en surface. La technique du virage étant assez complexe, elle nécessite un apprentissage assez long. Il faut veiller à développer les automatismes du virage, surtout en ce qui concerne l'estimation de la distance au mur dans des exercices exécutés à vitesse proche de la vitesse de compétition. Un enseignement de la culbute sans palmes ne sert pas beaucoup puisqu'elle ne profite pas de la vitesse accrue due aux palmes. Selon les recommandations de Popov, l'apprentissage du virage doit se faire à une vitesse submaximale mais assez élevée. La vitesse submaximale permet ainsi un meilleur contrôle du geste tout en maintenant une allure réaliste. Il est clair, enfin, que ce geste technique sera d'autant mieux assimilé qu'il s'inscrit dans des séances de nage : comme pour les départs, il ne faut pas travailler les virages seuls mais incorporer un travail technique de virage dans une certaine distance à nager.

## 5. Les techniques annexes.

Les techniques annexes sont toutes les techniques de nage qui ne sont pas celles utilisées en compétition ou, alors, de façon exceptionnelle. Elles correspondent plutôt à des éducatifs qui, par l'intermédiaire d'une nage "déstructurée" ou par l'utilisation des accessoires, visent à corriger ou renforcer certains points dans le style du nageur. Voici, d'après J. Macé, les buts recherchés dans les éducatifs effectués dans l'eau :

- l'équilibre et le tonus postural,
- la sensation du mouvement ondulatoire,
- l'orientation des différents leviers,
- le placement bras/tronc et jambes/tronc
- la musculature de soutien abdominale et dorsale, avec et sans charge,
- l'adaptation à l'immersion,
- le travail d'amplitude ascendante et descendante, et, la glisse.

Voyons maintenant ces éducatifs en détail.

## Crawl-dauphin et Nage sur le dos

Commençons par les deux techniques de nage, sans accessoire, les plus importantes : le crawl-dauphin et la nage sur le dos. Le crawl avec ondulation se retrouve souvent dans la phase de l'arrivée d'une course de surface. Le dos n'est pas pour l'instant un style reconnu à part entière en nage avec palmes (mais il pourrait le devenir un jour).



Dans le crawl-dauphin, le nageur cherche à synchroniser le mouvement des bras, asymétrique, avec l'ondulation, symétrique, de la partie inférieure du corps.

Il est important d'éviter tout mouvement de roulis du corps, ce qui est, tout de même, facilité par la présence de la monopalme. Mise à part son utilité lors du sprint terminal d'une course, ce style aide à décontracter les épaules d'un nageur, surtout après un travail prolongé en position "normale" de nage.



La nage sur le dos présente l'avantage de mettre en contribution les muscles abdominaux qui normalement sont des muscles antagonistes dans le mouvement en monopalme.

Dans l'absence de compétitions spécifiques de nage sur les dos le style optimal, conduisant à la vitesse maximale, n'a pas pour l'instant été fixé. Mais certains éléments existent pour nous guider.

Il est évident que le nageur doit chercher à être le plus tendu possible. Le mouvement d'ondulation doit s'exécuter avec les genoux tendus : c'est le bassin qui doit remonter en surface et non pas les genoux. Sinon le nageur risque d'être à moitié "assis" dans l'eau et de ressentir une grande

résistance à l'avancement. Les bras doivent être tendus et ne pas sortir de l'eau, ce qui aide le corps à rester horizontal. Il faut insister sur l'amplitude de l'ondulation. La position dorsale fait que la monopalme se trouve un peu plus enfoncée dans l'eau qu'en position ventrale. Ceci permet donc une plus grande amplitude efficace d'ondulation avant que celle-ci ne soit limitée par la surface. Un dernier point concerne les virages en nage sur le dos. Ils peuvent s'effectuer normalement en culbute. Pour cela il suffit que le nageur passe en position ventrale dans les cinq derniers mètres avant le mur. Dans certaines piscines la ligne de 5m est matérialisée par des petits drapeaux (réglementaires pour les dos en natation classique) mais de toute façon on peut se repérer à l'aide du changement de couleur des bouées des lignes d'eau.

### Autres éducatifs sans accessoires.

Nage bras le long du corps. Cet éducatif a pour but d'augmenter l'amplitude du mouvement au niveau du bassin. De cette façon l'amplitude de l'ondulation entière se trouve accentuée. Il faut cependant faire attention à ce que la partie supérieure du corps ne participe pas à l'ondulation, ce qui est rendu difficile par l'absence de l'appui des bras.

### Nage avec un bras devant et un bras le long du corps.



Cet exercice permet de garder plus facilement que le précédent une position allongée et immobile de la partie supérieure du corps, et en même temps favorise l'amplitude de l'ondulation du bassin. L'asymétrie au niveau de la partie supérieure ne doit pas perturber l'équilibre du corps. Il faut faire attention à ce que le bras soit bien tendu et la main posée bien à plat.

## Nage costale

C'est un éducatif qui a une utilité sur le plan kinesthésique. Le nageur apprend à onduler étant sur le côté, ce qui lui permettra par la suite de ne pas présenter de temps mort lors de la vrille à la sortie de la culbute.

## Nage en position de chien

C'est à dire, les bras devant et la tête hors de l'eau. C'est un exercice qui s'adresse à des nageurs bien mûrs sur le plan musculaire parce qu'il entraîne des charges considérables au niveau du dos. Ceci fait de cet éducatif un excellent exercice de musculation, à manier avec prudence.



## Exercices avec accessoires

Plusieurs exercices peuvent être exécutés avec accessoires n'augmentant pas la résistance que ressent le nageur mais modifiant seulement sa position dans l'eau ou son inertie.

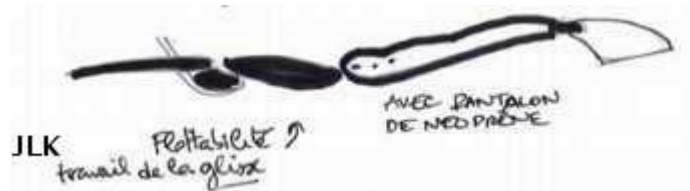
Le premier de ces éducatifs est un style de nage à part entière: la nage en immersion avec scaphandre (IS). Je ne répèterai jamais assez que la nage en immersion fait partie des exercices incontournables en nage avec palmes : toute séance en piscine doit comporter des exercices en IS, même si le nageur ne se spécialise pas en immersion. Si l'inertie du nageur se trouve considérablement augmentée par le scaphandre, surtout avec une bouteille de 7lt ou plus, sa position immergée lui permet d'effectuer une ondulation beaucoup plus efficace qu'en surface.

Un autre éducatif très utile est la nage avec planche. Il faudra faire attention à ce que la planche soit horizontale, d'où la nécessité de poser les

avant bras sur toute la longueur de la planche. L'appui amélioré qu'offre la planche permet une recherche d'une plus grande amplitude d'autant plus que, comme les bras sont plus haut, la monopalme est plus enfoncée dans l'eau. Dans cet éducatif, il faut essayer de garder les genoux les plus tendus possibles. Il peut être exécuté avec ou sans tuba. Dans le dernier cas, la face doit être dans l'eau et sortir à minima au moment de la respiration.



La nage avec pantalon de néoprène présente aussi de l'intérêt. (Voir figure plus haut). Elle offre au nageur une meilleure glisse et en même temps lui permet de s'accoutumer à la flottabilité accrue et à la nécessité d'insister sur la descente de la monopalme pour garder une amplitude correcte à son mouvement.



De bons exercices de musculation peuvent être effectués avec des accessoires adéquats : monopalme lestée, chevilles lestées, bouteille d'IS lestée.



Un autre exercice qui peut être utile aussi bien en IS qu'en surface, pour la correction de la position des bras, est la nage en surface avec tuba, la bouteille d'IS dans les mains.

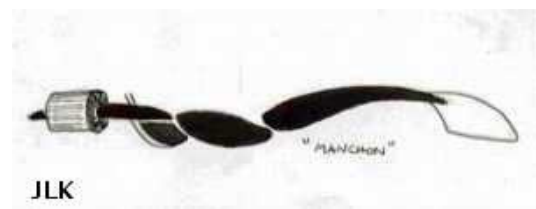
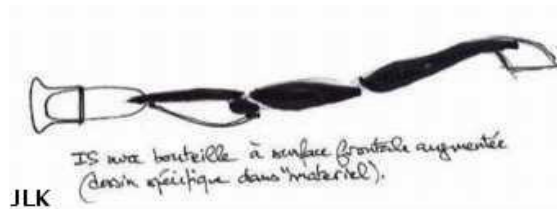
## Nage en opposition ou avec résistance

Dans ce paragraphe, on regroupe tous les éducatifs où le nageur est obligé de vaincre, pour nager, une résistance plus grande que d'habitude. De

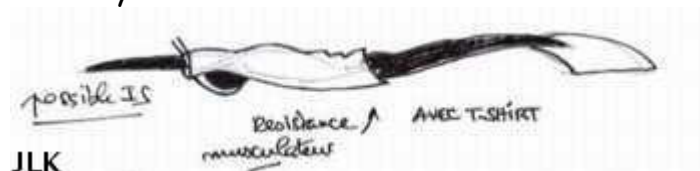
façon un peu arbitraire, je subdivise ces éducatifs en exercices en opposition, lorsque la résistance accrue se trouve à l'avant du nageur, et exercices avec résistance, quand les forces additionnelles s'appliquent sur le tronc ou la partie inférieure du corps du nageur. Ces exercices servent essentiellement à la musculation du nageur.

Le premier exercice du groupe "en opposition" est le "petit train". Il s'exécute à deux. Le premier nageur prend la position de nage et reste bien tendu sans onduler. Le deuxième le saisit par les pieds (ou les épaules de la monopalmé) et le pousse en ondulant. Cet exercice est excellent même pour le premier nageur : il peut corriger sa position de nage. N'ayant pas à se mouvoir de ses propres forces il peut mieux sentir l'écoulement de l'eau autour de lui et optimiser sa position pour minimiser les résistances.

D'autres exercices de nage en opposition existent utilisant des accessoires plus ou moins spéciaux : nage avec planche en opposition (tenue verticalement et enfoncée dans l'eau), nage en IS avec une bouteille de section élargie par addition d'un carénage adéquat, nage en surface avec un manchon de mousse ou encore avec une bouteille plastique dont le fond aura été découpé tenue au bout des bras par le goulot.



L'éducatif de nage avec résistance augmentée le plus connu, et facile à mettre en oeuvre, est celui de la nage avec T-shirt. La friction due au T-shirt augmente considérablement la résistance à l'avancement du nageur sans trop modifier son style.



D'autres exercices existent aussi : nage avec une bouée placée à la taille, aux épaules ou aux genoux. La bouée augmente la résistance, à cause

de sa grande section, mais en même temps modifie la flottabilité des parties du corps de façon sélective.

Un autre exercice plus difficile à mettre en oeuvre est la nage attaché à un sandow. Ici la résistance additionnelle est proportionnelle à la distance que nage le nageur. Enfin, on doit mentionner la nage en traînant un objet, souvent un pain de mousse ou même une corbeille plastique, attaché par une corde à la taille du nageur.



L'inconvénient des exercices avec forte résistance est qu'ils empêchent le nageur de maintenir une vitesse raisonnable. Lorsque cette dernière diminue trop, le nageur ne peut plus maintenir une position correcte dans l'eau. Ceci m'amène donc à rappeler que le but recherché dans tous les éducatifs est l'amélioration du style du nageur. Il faudra veiller à ce que les contraintes imposées par l'exercice ne conduisent pas à une dégradation du style.

## 6. Défauts de style. Moyens de correction

Si le style parfait reste un idéal plutôt abstrait, la nage avec palmes moderne présente un avantage non négligeable en matière de technique de nage : si un style est agréable à l'œil il est sûrement efficace. Le critère esthétique peut donc devenir un guide précieux pour l'entraîneur et l'aider à corriger les fautes de style de ses nageurs. Ces derniers présentent souvent des défauts de leur style de nage et avant d'essayer de les corriger il faut les analyser et chercher leurs causes. Leurs origines sont variées. Elles peuvent être dues au matériel, à une insuffisance du nageur (au niveau des muscles ou de la souplesse) ou à un mauvais apprentissage.

Une monopalme trop dure obligera le nageur à plier trop les genoux pour faciliter son mouvement : ceci le rendra inefficace. Un socle qui blesse le nageur aura comme conséquence un mouvement asymétrique. Un tuyau de détenteur trop court empêchera le nageur de tendre les bras. On pourrait

multiplier les exemples des problèmes de style dus au matériel. Je pense que ce n'est pas la peine. Lorsque l'entraîneur connaît le matériel il peut vérifier rapidement son état et décider s'il est adapté au nageur. Il peut ainsi éliminer une première source de défauts de style.

Les défauts de style dus à une insuffisance du nageur sont plus difficiles à traiter. Si le nageur manque de souplesse il aura besoin d'un long travail pour assouplir ses articulations et trouver une bonne position dans l'eau. Ce défaut peut devenir pernicieux lorsque le nageur parvient à compenser son manque de souplesse, ou de puissance, pendant un certain temps, jusqu'à un certain niveau de fatigue. Une fois ce seuil franchi, le contrôle disparaît et le style se dégrade.

Les défauts dus à un mauvais apprentissage sont plus ennuyeux encore. "Désapprendre" un mauvais mouvement est une tâche pénible aussi bien pour le nageur que pour l'entraîneur. C'est pour cela qu'il faut être vigilant lors de l'apprentissage de la technique de nage pour que le nageur n'acquière pas des défauts de style.

Voici une liste des défauts de style que nous pouvons observer chez un nageur. Elle est loin d'être exhaustive, mais correspond à des fautes que l'on rencontre très souvent.

- **Les mains** : elles se relèvent, se mettent en appui sur l'eau, en opposition, elles ne sont pas superposées mais sont l'une à côté de l'autre les doigts sont écartés
- **La bouteille** : elle n'est pas horizontale, elle est relevée, en opposition elle bouge exagérément
- **Les bras** : les coudes s'écartent, les bras ne sont pas assez tendus, ne serrent pas la tête, ils sont trop bas dans l'eau
- **Les épaules** : elles sont trop raides, s'enroulent à chaque mouvement
- **La tête** : elle est trop haute, elle est trop basse, elle sort trop en traversée, elle bouge lors de l'ondulation
- **Le corps** : il n'est pas tonique, le mouvement ne part pas du haut du buste, de sous le omoplates
- **Le bassin** : il a une amplitude trop faible
- **Les jambes** : elles se plient trop aux genoux, les genoux s'écartent
- **Les chevilles** : elles ne sont pas tendues

- **La monopalme** : elle a une amplitude trop faible, le nageur frétille, elle a une amplitude trop forte, elle sort de l'eau et perd son efficacité

L'entraîneur doit observer constamment, voire de façon inconsciente, son nageur et remarquer les erreurs dans sa technique de nage. Les fautes doivent être toujours signalées et la correction exigée. Les éducatifs peuvent apporter une certaine aide dans ce domaine, surtout pour palier à des insuffisances, mais je ne pense pas qu'il faille les considérer comme une panacée. Le premier pas vers la correction du style, et souvent le plus difficile, est la prise de conscience du défaut de la part du nageur. Heureusement de nos jours les moyens technologiques sont là pour nous faciliter la tâche. Un enregistrement vidéo du nageur en pleine action suivi d'une analyse, des commentaires et des conseils de l'entraîneur, sont le meilleur moyen pour corriger des défauts de style. Et surtout, il ne faut pas oublier le critère de la beauté du geste. Quand le nageur aura vu que son mouvement n'est pas agréable à l'œil il sera le premier à chercher à le modifier.

## Appendice

# Quelques notions théoriques liées à la Nage avec Palmes.

## A. Les résistances lors d'un déplacement d'un nageur dans l'eau.

Les résistances que subit un corps qui se déplace dans l'eau ou à sa surface ont des origines diverses. Nous distinguons trois types de résistance:

1. La résistance due à la friction. Celle-ci est liée à la viscosité de l'eau qui vient au contact du corps du nageur. Cette force est grosso modo proportionnelle à la vitesse.
2. La résistance due à l'inertie de l'eau. Elle est liée au fait que le nageur doit déplacer un certain volume d'eau pour avancer. Cette force, pour la gamme des vitesses atteintes en nage avec palmes (et pour le nombre de Reynolds qui correspond au nageur) est proportionnelle au carré de la vitesse.
3. La résistance due à la création des vagues. Celles-ci emportent de l'énergie qui n'est pas ainsi utilisée pour la propulsion mais dépensée de façon inutile. Il est clair que cette résistance est moindre lors de la nage en immersion puisqu'il n'y a pas création de vagues (sauf lorsque le nageur remonte en surface). Il n'est pas facile du tout de calculer la dépendance de ce type de résistance de la vitesse.

La résistance globale que ressent un corps qui se déplace à la surface de l'eau est donc de la forme  $R=av+bv^2+f(v)$  où le dernier terme est celui lié à la résistance des vagues. Puisque ce terme n'est pas bien connu il est difficile de donner une expression exacte de la résistance totale. La situation se complique d'avantage si on tient compte du fait que le nageur qui ondule a une géométrie variable, que sa forme varie au cours du temps et qu'elle s'adapte à la vitesse de nage.

Le meilleur moyen pour établir la dépendance de la résistance que ressent un nageur lors de sa progression est de la calculer de façon expérimentale. Ceci n'a jamais été fait pour la nage avec palmes. Par contre, di Prampero a réalisé cette expérience pour la natation classique. Il a calculé l'énergie dépensée par unité de temps, i.e. la puissance produite, en fonction de la vitesses de nage. A partir de la puissance  $P$  nous pouvons obtenir la résistance  $R$  à l'aide de la simple expression  $R=P/v$ . Le résultat net est  $R\sim v^c$  où l'exposant  $c$  est de l'ordre de 1.2-1.5. Le fait que l'exposant soit inférieur à 2 montre que l'effet du terme d'inertie est modulé par les autres termes et aussi par le fait que le coefficient du terme en  $v^2$  diminue en fonction de la vitesse (dans des limites raisonnables) lorsque le nageur adapte son style. Il est clair que l'étude de la résistance dans le cas de la nage avec palmes serait d'un grand intérêt. En attendant, le résultat de di Prampero peut être utilisé avec profit.

## B. La biomécanique de la Nage avec Palmes.

La biomécanique n'est rien d'autre que cette branche de la physique connue comme mécanique, appliquée aux êtres vivants et en particulier à leurs gestes et mouvements. Elle combine des connaissances issues de la physique, l'anatomie fonctionnelle et la physiologie. La biomécanique sportive a aussi comme composante essentielle la technique sportive. Un des objectifs de la biomécanique est l'analyse de style de chaque sportif et la comparaison de ses gestes avec la technique optimale. De plus, l'étude systématique des mouvements du sportif permet justement de définir la technique optimale en fonction de l'évolution de la discipline.

En ce qui concerne la biomécanique de la NaP, il n'existe pratiquement pas d'études dignes de ce nom. Nous ne retiendrons ici que celle du laboratoire de biomécanique de Rome. Cette étude a été basée sur une prise de vues par caméra ultrarapide qui a permis d'enregistrer en grand détail le mouvement du monopalmeur. Les images ont été numérisées de façon schématique sur la base de points de référence qui étaient les articulations principales et les centres des segments. Une succession des plans schématise le mouvement d'ondulation du nageur.




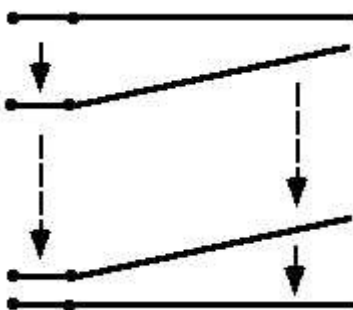
Sur la Figure on peut voir une superposition des plans qui montre de façon très claire ce que nous connaissons intuitivement : le mouvement du monopalmeur s'inscrit dans un triangle avec la pointe vers l'avant. L'amplitude du mouvement au niveau des mains est très faible, pratiquement nulle, alors que l'amplitude de l'ondulation de la monopalme est très importante. Ceci étant dit, cette analyse biomécanique n'apporte pas grand chose en ce qui concerne la technique optimale : elle nous permet simplement de visualiser la technique d'ondulation du monopalmeur. Elle pourrait tout de même servir de base pour des études ultérieures.

## C. Un modèle simple pour la propulsion à l'aide d'une monopalme.

La propulsion à l'aide d'une surface qui ondule (nageoire caudale ou palme) n'a pas fait l'objet d'études très poussées. Le simple fait qu'il n'y a pas d'application pratique de ce mode de locomotion fait que le domaine n'a intéressé que les spécialistes de la biomécanique animale. Nous ne possédons pas de solution des équations de l'hydrodynamique qui décriraient le mouvement d'un objet complexe comme la monopalme. Le problème est particulièrement compliqué puisque la monopalme a des propriétés élastiques qui jouent un rôle très important. A chaque ondulation une partie de l'énergie fournie par le nageur est d'abord emmagasinée sous forme d'énergie élastique pour être restituée dans une phase ultérieure du mouvement.

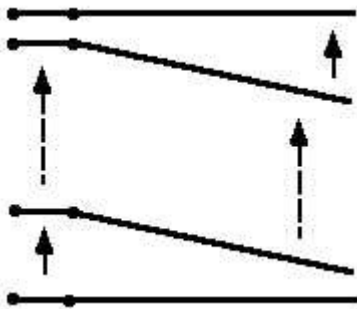
Dans ce qui suit nous allons présenter un modèle ultra simplifié de la propulsion à l'aide d'une monopalme. Notre première hypothèse est que la monopalme est parfaitement rigide. La deuxième simplification est que nous allons négliger toutes les complications de l'hydrodynamique, telles la viscosité et la vorticité, pour se concentrer sur un modèle purement mécanique. Au premier abord l'idée d'une monopalme parfaitement rigide peut paraître incompatible avec une possibilité de propulsion. Ceci n'est pas vrai. L'élément clé est que l'ensemble nageur-palme est un système articulé et que grâce aux articulations (chevilles, genoux etc.) il est possible d'orienter la monopalme.

Voici notre modèle de la monopalme rigide : . Le segment P correspond aux pieds du nageur alors que M est la voileure de la monopalme. (Par "pied" on entend plutôt la partie de la jambe qui participe au mouvement mais nous simplifierons la présentation en parlant de "pied" seulement).



Partant de la position horizontale, le pied amorce sa descente alors que la monopalme, en un premier temps, ne fait que changer son orientation. L'angle atteint ainsi sa valeur maximale, au vu des contraintes imposées par les articulations ou, tout simplement parce que cette valeur de l'angle correspond à l'optimum choisi par le nageur. A partir de ce point elle

n'augmente plus et la monopalme (et le pied) commencent leur descente : c'est la phase vraiment propulsive du mouvement d'ondulation. En fin de course, le pied arrête son mouvement et la palme le poursuit jusqu'à devenir horizontale. (Cette rotation de la monopalme est parfaitement naturelle dans le cas de la plaque élastique puisqu'elle correspond à la restitution de la quantité d'énergie emmagasinée lors de la première phase).



Le mouvement s'inverse lors de la phase ascendante mais suit grosso modo le même schéma. Le pied amorce sa remontée et la monopalme commence par changer son orientation. L'angle atteint sa valeur maximale, qui à cause des contraintes imposées par les articulations n'est pas nécessairement égale à celle obtenue lors de la descente. A partir de ce point, la monopalme commence sa remontée. Cette phase contribue à la propulsion. Au point le plus haut, le pied arrête son mouvement mais la monopalme ne devient horizontale qu'avec l'amorce du mouvement descendant.

D'où vient la force propulsive de la monopalme dans ce modèle? Lors de la rotation mais surtout lors du déplacement vers le bas et vers le haut en position orientée une masse d'eau  $m$  est poussée vers l'arrière avec une certaine vitesse  $v$ . Ceci a comme conséquence l'avancement du nageur vers l'avant avec une vitesse  $V$  qui est liée à celle de la vitesse d'éjection de l'eau  $v$  par la loi de conservation de l'impulsion :  $MV = mv$  où  $M$  est la masse du nageur. Pour estimer les quantités  $m, v$  on commence par faire l'hypothèse que la propulsion vient de la phase de déplacement de la monopalme orientée. De plus, pour simplifier le calcul on suppose que l'angle de la monopalme est de 45 degrés. Le volume d'eau ainsi balayé est de  $Sh\cos(45)$  où  $S$  est la surface de la monopalme,  $h$  le déplacement vertical et  $\cos(45)$  le cosinus de 45 degrés, égal à environ 0.7. La vitesse, dans l'hypothèse de l'angle à 45 degrés est égale à la vitesse verticale de la monopalme. On trouve ainsi  $MV = 0.7dShv$  où  $d$  est la densité de l'eau,  $d = 1\text{gr/cm}^3$ . En substituant des valeurs raisonnables pour les quantités qui apparaissent dans la

formule ci-dessus,  $S=0.6 \text{ m}^2$ ,  $h=0.8 \text{ m}$ ,  $v=2 \text{ m/sec}$  et  $M=70 \text{ kg}$ , on trouve une vitesse  $V$  de l'ordre de  $1 \text{ m/sec}$  ce qui est parfaitement acceptable au vu de toutes les approximations de ce calcul.

Il est clair que l'analyse présentée ici est incomplète. Elle ignore complètement la dynamique dans le sens où elle ne tient pas compte des résistances. Par conséquent, toute estimation quantitative ne doit être prise au pied de la lettre. Il reste que le modèle constitue un point de départ pour des modèles plus sophistiqués, tenant compte de la dynamique, considérant une monopalmes non rigide, et (même si ceci paraît excessivement difficile) traiteraient correctement l'hydrodynamique. Nous sommes très loin d'une telle situation où on pourrait, basé sur du calcul, optimiser le dessin des monopalmes.

[Basile Grammaticos](#)

Mars 2000