

LES BASES BIOMECHANIQUES DE LA NATATION

1. La flottabilité du nageur	2
1.1. Définition de la flottaison.....	2
1.2. Les forces s'exerçant sur un nageur immobile dans l'eau.....	2
1.3. La flottabilité ou capacité de flotter	3
1.3.1. La densité du corps humain.....	3
1.3.2. Essai de justification des différences de flottabilité entre les individus	4
1.3.3. Flottabilité et détection	5
2. L'équilibre aquatique	6
2.1. Le couple de redressement :	6
2.2. S'équilibrer horizontalement.....	7
2.2.1. Construction d'un nouveau référentiel	7
2.2.2. Construction de l'équilibre horizontal dynamique.....	7
2.3.3. Construction de de nouvelles modalités respiratoires.....	8
2.2.4. Construction de de nouvelles prise d'informations	9
3. La notion de résistance.....	10
3.1. La notion de résistance à l'avancement.....	10
3.2. Différenciation entre résistance à l'avancement et résistance de propulsion.....	10
3.3. Les facteurs de résistance à l'avancement dans l'eau	10
3.3. Les différents types de résistance à l'avancement dans l'eau	12
3.4. Conséquences des résistances chez le nageur selon les niveaux de pratique	14
3.5. Synthèse sur l'ensemble des résistances à l'avancement lors de la nage	15
4. La propulsion du nageur.....	15
4.1. Le modèle de propulsion basé sur la 3 ^{ème} loi de Newton (action / réaction) :	15
4.2. Rôle des jambes en natation.....	16
5. Bibliographie.....	17

En natation, la biomécanique est l'étude des forces qui agissent et réagissent sur le corps et sur les mouvements du nageur dans et à la limite des deux milieux : air, eau.

1. La flottabilité du nageur

1.1. Définition de la flottaison

La flottaison correspond à une forme d'équilibre statique dans le milieu aquatique. Pour le corps humain cet équilibre se fait sur un axe vertical, la plus grande partie du corps étant immergé et la tête étant plus ou moins émergée.

1.2. Les forces s'exerçant sur un nageur immobile dans l'eau

Si nous observons un nageur en équilibre statique, il est soumis aux forces suivantes :

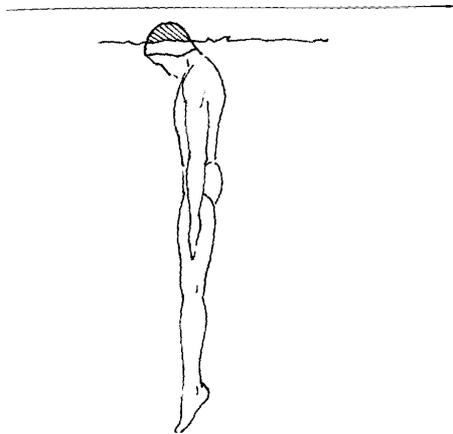


Fig 1. Forces s'exerçant sur un nageur immobile en équilibre statique

- La première force est **la force de pesanteur** ou poids :

La force de pesanteur = la masse M (quantité de matière) $\times g$ (accélération de la pesanteur)

Cette force est verticale et s'exerce de haut en bas. Cette force est appliquée au centre de gravité G (qui est le point d'application de la résultante de actions de pesanteur sur chaque partie du corps). Chez l'homme ce point G se situerait au niveau de la 5^{ème} vertèbre lombaire.

- La seconde force est **la poussée d'Archimède** :

Principe d'Archimède : Tout solide plongé dans un liquide subit de la part de celui-ci une poussée verticale dirigée de bas en haut, égale au poids du volume du liquide déplacé. Cette force de poussée est verticale, son point d'application P est appliqué au centre géométrique du solide (qu'il soit homogène ou non). Chez l'homme ce point P se situerait au niveau de la 1^{ère} vertèbre lombaire.

Remarque : Chez l'homme, les 2 forces : pesanteur et poussée d'Archimède sont donc orientées en sens inverse, et n'ont pas sur le même point d'application.

1.3. La flottabilité ou capacité de flotter

La flottabilité d'un nageur dans l'eau est déterminée par les densités du milieu (ici l'eau) et du sujet (% muscle, os, graisse...).

Pour comparer la flottabilité de différents corps dans un même liquide, on définit leur densité.

La densité = poids du corps / sur le poids de son volume en eau.

La densité de référence est celle de l'eau car 1 litre d'eau pèse 1 Kg.

Sa densité est donc de $1\text{Kg}/1\text{Kg} = 1$.

Ainsi dans de l'eau douce plus un corps aura une densité inférieure à 1, mieux il flottera.

Par contre, un corps flottera mieux dans l'eau salée. En effet, la densité de l'eau de mer tenu de la présence de sel sera plus élevée ($d=1.025$ à 15°). Le poids du volume corporel en eau de mer sera plus important que dans l'eau douce et donc la densité du corps humain immergé sera plus faible, d'où une meilleure flottabilité de celui-ci.

1.3.1. La densité du corps humain

Le corps humain est constitué de différents composants ayant chacun une densité différente :

- les os : $d = 1,5$ (ils entraînent fortement vers le fonds)
- les muscles : $d = 1,1$ (ils entraînent légèrement vers le fonds)
- la graisse : $d = 0,9$ (elle maintient en surface)
- les poumons : $d = 0,5$ (fort maintien en surface)

La densité moyenne d'un corps est environ de 1,03 ce qui est très légèrement plus lourd que l'eau douce (rappel : l'eau pure a une densité de 1).

Les pourcentages variables des différents éléments composant le corps humain peuvent expliquer certaines variations individuelles : Ainsi les bébés et les personnes "enveloppées" flotteront mieux qu'un athlète possédant des masses musculaires importantes.

En résumé : si la force de pesanteur est supérieure à la poussée d'Archimède, le corps coule. Si c'est l'inverse le corps flotte avec une surface plus ou moins émergée.

1.3.2. Essai de justification des différences de flottabilité entre les individus

Différents cas de figures peuvent se présenter, en effet, analysons le cas suivant :

- Un homme pesant 80 kg et ayant un volume corporel de 84 litres aura une densité de $80 / 84 = 0.95$. Comme sa densité est inférieure à 1, il flottera.

- Un autre homme pesant toujours 80 kg mais ayant un volume corporel de 77 litres aura une densité de $80 / 77 = 1.04$. Comme sa densité est supérieure à 1, il coulera.

Comment expliquer ces différences : plusieurs explications sont possibles :

1. Le volume pulmonaire

A conséquence égale de flottaison, un litre d'air équivaut à huit kilogrammes-poids de graisse. Chez l'homme, la bouée naturelle, la "vessie natatoire" est représentée par les poumons.

La mesure de la capacité vitale (volume d'air que l'on peut mobiliser par une expiration active faisant suite à une inspiration forcée) permet surtout d'apprécier l'évolution de son développement, développement largement favorisé par la pratique de la natation, sport d'endurance par excellence.

Attention, la valeur obtenue devra nécessairement être relativisée avec le poids et la taille du nageur.

Le volume pulmonaire peut être diminué par un état psychologique (stress) tel qu'il entraîne une contraction des muscles expiratoires de la sangle abdominale. Dès lors, l'ampliation thoracique est modifiée momentanément.

Pour augmenter la flottabilité, on peut augmenter le volume corporel par une inspiration forcée et chercher un allongement maximum du corps en position horizontale.

Lors de l'inspiration, les poumons vont jouer le rôle de « bouée », le volume de la cage thoracique augmente de quelques litres sans modification du poids, ce qui entraîne une augmentation de la poussée d'Archimède qui tend à faire émerger le corps de l'eau. Lors de l'expiration, c'est le phénomène inverse qui se produit, le nageur étant moins soumis à la poussée d'Archimède tend à couler.

Un individu flottera donc mieux si sa capacité inspiratoire est importante et si sa densité corporelle est faible.

2. L'âge

Trois périodes de la vie sont favorables pour flotter au mieux

- Au cours de l'enfance, à cause de la présence d'un fort pourcentage de cartilages de croissance dans la constitution des os (moins denses que les os adultes minéralisés).
- Durant la pré-adolescence (10 - 13 ans), en raison de l'accroissement du tissu adipeux.
- Durant le troisième âge car les os deviennent de plus en plus « légers » (diminution de la minéralisation de ceux-ci).

3. Le facteur sexuel

La flottabilité supérieure des femmes est particulièrement sensible après 13 ans suite aux changements pubertaires. La gènte féminine présente un pourcentage de masse grasse supérieur à la gènte masculine, elle même "alourdie" par une masse musculaire plus importante (Whiting, 1965).

4. Le facteur ethnique

L'hypothèse que la race Noire rencontre plus de difficultés pour flotter que la race Caucasienne a été étudiée par Ghesquiere et Karvonen, en 1971. Un tégument de peau moins épais, des poumons et un volume résiduel plus petits, un pourcentage supérieur d'os compacts peuvent expliquer en partie cette différence de flottabilité.

Toutefois le facteur densité corporelle n'explique pas la non-présence des noirs dans le milieu de la natation sportive. En se basant sur la littérature, l'effet de chacun des facteurs suscités sur la capacité à nager apparaît comme incertain. La relation entre flottabilité et compétence en natation n'a également jamais été clairement établie (Singer, 1972, Miller, 1975). Par contre les réalités socio-économiques ont longtemps repoussées l'accès de la natation aux gens de couleur.

Les podiums des derniers championnats du monde de natation semblent à présent montrer que toutes les ethnies sont aujourd'hui présentes au plus haut niveau.

1.3.3. Flottabilité et détection

Chez les jeunes nageurs, la qualité de flottabilité est un élément important pour favoriser la pratique de la natation (essentiellement dans la phase d'apprentissage).

On peut mesurer l'aptitude à flotter par un test de flottaison : on demande au sujet en inspiration forcée et bloquée de s'équilibrer, en statique, verticalement les bras le long du corps et le regard horizontal. Il est alors possible de repérer la ligne de flottaison.

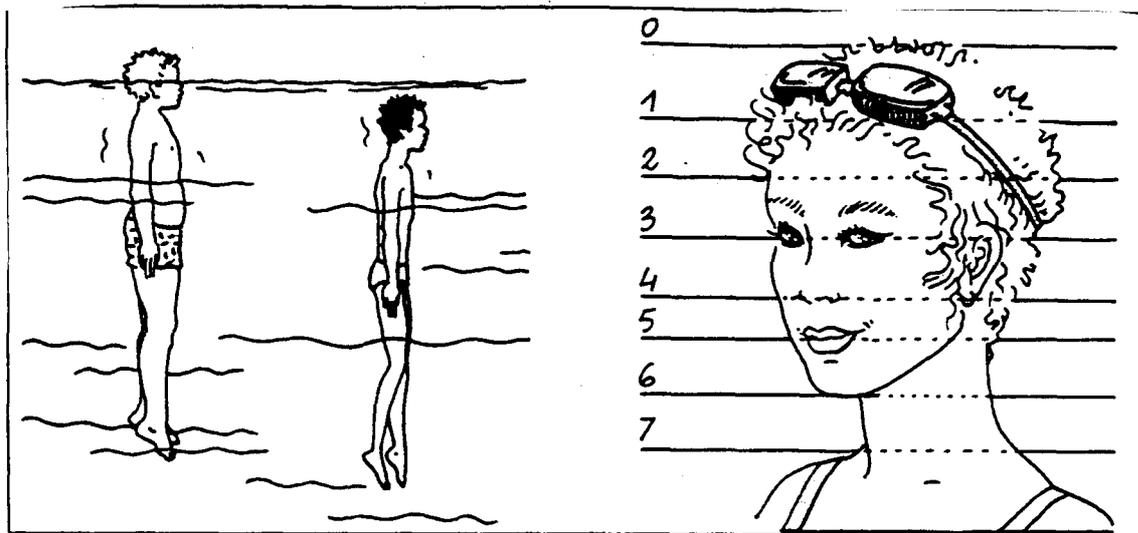


Fig 2. Test de flottaison verticale en correspondance avec les niveaux observables (Cazorla, 1993)

2. L'équilibre aquatique

2.1. Le couple de redressement :

Le corps humain est déformable et hétérogène ; les masses dures ont tendance à couler (membres inférieurs, membres supérieurs, tête), et les masses peu denses (cage thoracique) ont tendance à flotter.

Les forces de pesanteur et de poussée n'ont pas les mêmes points d'application : la forces de pesanteur : L5, et la poussée d'Archimède : L1.

Le corps humain placé en position d'équilibre horizontal statique, sans action spécifique va subir un couple de redressement dans la mesure ou les deux points d'application des forces de pesanteur et d'Archimède ne sont pas confondus.

Le couple de redressement a pour effet de remettre en alignement vertical les centres de poussée et de gravité.

Schéma (vu en cours)

G : point d'application 5^{ème} vertèbre lombaire, on est plus dense vers le bas

P : point d'application : 1^{ère} vertèbre lombaire, on est plus volumineux vers le haut

L'équilibre horizontal est donc à construire par des actes volontaires spécifiques.

2.2. S'équilibrer horizontalement

2.2.1. Construction d'un nouveau référentiel

La position horizontale dans l'eau a des conséquences sensorielles sur nos repères habituels de terrien.

En effet le référentiel terrestre (sujet en position verticale en appui sur ses 2 pieds) s'organise autour :

- du référentiel géocentrique (l'oreille interne a pour rôle de détecter la verticale des forces de pesanteur et de positionner automatiquement la tête par rapport à cette direction invariante)
- du référentiel céphalo-centrique (constitué par la tête qui permet la stabilisation automatique de l'horizontalité du regard lorsqu'elle change de position), ainsi que des propriocepteurs situés au niveau de la nuque
- du référentiel de l'axe du corps
- du référentiel de la surface d'appui du corps sur le sol (appuis plantaires) et des réflexes proprioceptifs de soutien.

Avoir son corps à l'horizontal dans l'eau nécessite donc de réorganiser ce référentiel terrestre.

Il arrive que des mouvements réflexes perturbent les actions des sujets débutants. C'est le cas du plongeon pour le nageur novice qui lors de la chute en avant cherche à retrouver un équilibre de terrien en replaçant sa tête dans sa position habituelle (c'est à dire verticale), ce qui se traduit par un redressement de la tête et du corps et un « plat » à l'arrivée.

2.2.2. Construction de l'équilibre horizontal dynamique

L'horizontalité du corps doit être recherchée de manière active et volontaire. Il est important de basculer la tête (flexion menton / poitrine) afin d'aligner à l'horizontale les segments corporels. A l'inverse le relèvement de la tête accélère le processus de redressement.

En conséquence, il est important d'avoir une respiration courte dans les nages ventrales afin de perturber le moins possible l'équilibre horizontal et de chercher à placer les bras (masses denses) dans le prolongement de la cage thoracique (masse peu dense) pour mieux équilibrer la répartition des masses.

Le nageur est en constante recherche d'équilibre pour maintenir la position horizontale du corps, et pour compenser les déséquilibres dus aux mouvements des différentes nages. Cette fonction d'équilibration dynamique est perturbée par l'absence d'appui fixe dans l'eau.

2.3.3. Construction de de nouvelles modalités respiratoires

2.3.3.1. Spécificité de la respiration en natation

La respiration (inspiration + expiration) habituelle du terrien est automatique et inconsciente : l'inspiration est active du point de vue musculaire, tandis que l'expiration est passive et se traduit par un relâchement musculaire. Le temps de ces deux phases est équilibré, celles-ci ne sont pas coordonnées aux actions motrices.

En natation c'est le contraire. L'expiration est active et mobilise les muscles expirateurs. En effet, comme la tête reste le plus longtemps possible dans l'eau (pour améliorer la flottaison et l'équilibre), les voies respiratoires sont immergées (sauf sur le dos).

Pour expirer, le nageur doit lutter contre la densité de l'eau, il doit donc souffler activement en mobilisant les muscles intercostaux et les abdominaux.

Cette phase d'expiration est plus longue dans l'eau que dans l'air.

L'inspiration est brève et passive. L'expiration dynamique crée une dépression intra-thoracique inférieure à la pression atmosphérique. Quand les voies respiratoires sont hors de l'eau, l'air est aspiré dans les poumons par le jeu des différences de pressions.

Pour une meilleure flottaison on recherche un allongement maximum tête rentrée (en position ventrale), or à chaque prise d'inspiration, la tête peut se relever plus (brasse) ou moins (crawl) entraînant une rupture dans l'alignement corporel et un enfoncement des jambes. Chaque prise d'inspiration est un élément perturbateur (sauf en dos crawlé), ce qui implique une inspiration courte et un remplacement actif de la tête pour maintenir cet équilibre horizontal.

2.3.3.2. Distance de compétition et respiration en natation

Il est nécessaire de respirer régulièrement et souvent pour oxygéner correctement les muscles. Il s'agit donc de trouver le meilleur compromis pour inspirer efficacement en déséquilibrant le moins possible le corps. Pour créer le moins de perturbations l'inspiration doit être brève et faire suite à une expiration aquatique complète.

Le nageur doit trouver le bon compromis entre le nombre d'inspirations sur un parcours pour bien s'oxygéner et déséquilibrer le moins possible le corps. Ce compromis est fonction du type d'épreuve : en nage libre pour effectuer un 800m, il est nécessaire d'apporter régulièrement de l'oxygène aux muscles, par contre, pour une épreuve courte (comme un 50m) il y a peu d'inspiration.

2.3.3.2. Inspiration placement de la tête en natation

Dans toutes les nages, l'inspiration se réalise à la fin du trajet moteur du (ou des) bras.

L'expiration dynamique et forcée se fait en phases d'efforts intensifs, l'inspiration se place en phase passive dans le relâchement du retour des bras (l'inspiration prend fin avant le milieu du retour des bras).

Par exemple

Dans la nage papillon, l'inspiration se fait à la fin de la poussée des bras et avant le retour de ceux-ci. La position haute du corps due à l'action des bras et à l'appui des jambes permet une meilleure sortie de la tête qu'à tout autre moment. Le nageur débutant a tendance à rechercher son équilibre vertical de terrien, c'est à dire qu'il inspire plus tôt, et pour y arriver il oriente sa poussée vers le fond ce qui entraîne un redressement de l'ensemble du corps. Ainsi le débutant par un mauvais placement de son inspiration perturbe son équilibre horizontal, sa flottabilité et la qualité de sa propulsion.

Pour résumer : la respiration du nageur est inversée par rapport à celle du terrien, l'expiration est aquatique, complète, active et longue. L'inspiration est brève et passive et placée en dehors des appuis moteurs. Les phases d'inspiration et d'expiration sont donc coordonnées aux actions motrices.

2.2.4. Construction de de nouvelles prise d'informations

Lorsque le débutant est en position d'équilibre horizontal, il recherche des informations visuelles en relevant la tête lors des inspirations, ce qui est une source de déséquilibres importants.

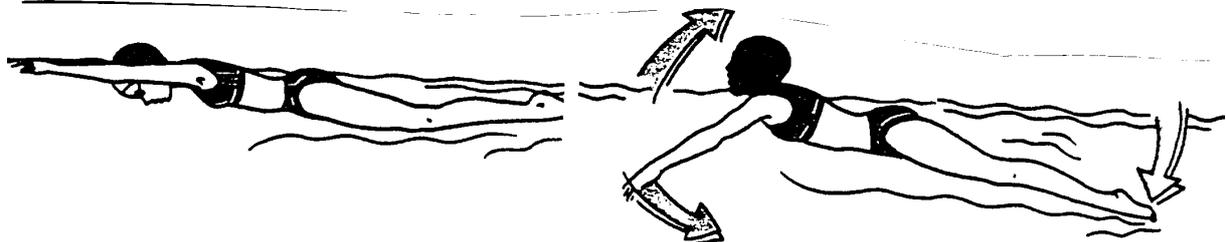


Fig 5. Mouvements de redressement liés à la prise d'inspiration

Souvent pour avancer, un nageur débutant pousse les masses d'eau vers le fond, ceci a pour conséquence de redresser le corps et d'en faire émerger une grande partie (= diminution de la poussée d'Archimède et augmentation des résistances frontales).

Au contraire Chez le nageur expérimenté, les prises d'information deviennent indirectes et le plus souvent perpendiculaires au déplacement. Ces informations

visuelles relevée permettent de situer le déplacement du corps par rapport à un milieu normé (ligne de fond, lignes latérales) et d'orienter les surfaces propulsives de façon à favoriser les déplacements vers l'avant en étant le plus à plat possible. Avec une même énergie le nageur le mieux équilibré avance plus rapidement.

3. La notion de résistance

3.1. La notion de résistance à l'avancement

L'eau oppose des résistances au déplacement du nageur. Pour réduire au maximum ces résistances, on cherchera la position la plus allongée possible. La continuité des actions motrices et des retours aériens fait du crawl la plus rapide des nages. En brasse, la résistance à l'avancement est forte à cause des retours sous-marins et du caractère discontinu de la propulsion. La réduction des résistances à l'avancement n'est pas de même nature pour le débutant ou pour le nageur expert. Le premier a plutôt une position oblique dans l'eau et essaye de réduire les résistances en cherchant un équilibre horizontal sans privilégier la vitesse. Le nageur expert, déjà en équilibre horizontal, cherchera à réduire ses résistances frénatrices tout en augmentant sa vitesse de nage.

3.2. Différenciation entre résistance à l'avancement et résistance de propulsion

Un nageur en déplacement est un système qui crée des zones de résistance, qui ont tendance à freiner son action. L'avancée en avant du corps du nageur est le résultat de plusieurs forces :

- la première est la propulsion (actions locomotrices qui cherchent des résistances afin de prendre des appuis sur l'eau)
- la seconde est la résistance à l'avancement (réactions frénatrices qui s'opèrent sur toutes les zones qui se déplacent moins vite que les appuis propulsifs)
- une troisième est la portance qui est liée au positionnement du corps, mais également aux segments propulsifs ou non propulsifs. La portance aura des implications indirectes sur les deux autres forces.

3.3. Les facteurs de résistance à l'avancement dans l'eau

Les résistances qui freinent le nageur sont liées à trois facteurs :

La vitesse de déplacement **V** ;

La surface qu'il oppose à l'avancement (notion de maître couple) **S** ;

La forme qu'il représente dans l'eau **K** ;

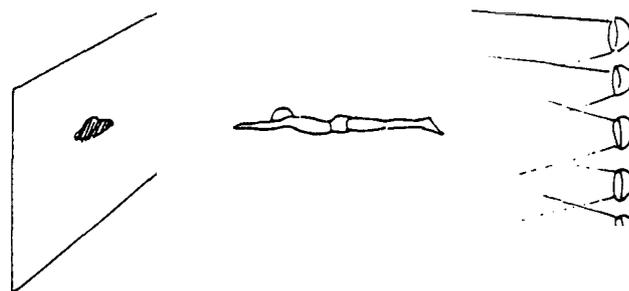
La formule : $R = K S V^2$, donne la résistance (R) qui sera égale au produit d'un coefficient (K) correspondant à la forme de ce corps par la surface du maître couple du corps concerné : S par le carré de la vitesse : V^2

Le facteur vitesse a une incidence directe sur les résistances à l'avancement. Pour un nageur qui se déplace à la vitesse de 1m/s (1m40 au 100), la résistance mécanique sera de $R = K \times S \times 1$, alors que pour un nageur qui se déplace à la vitesse de 2m/s (50s au 100) la résistance mécanique sera de $R = K \times S \times 4$. Les résistances passives : résistance frontale, frottement superficiel, aspiration tourbillonnaire vont dépendre de ce coefficient vitesse.

L'effet de la vitesse : plus la vitesse croît, plus les deux autres facteurs prennent de l'importance. Les variations de vitesse ont également des incidences directes sur les freinages du corps dans l'eau. Par exemple, un nageur qui nage la première moitié de sa course beaucoup plus vite que la deuxième aura dépensé plus d'énergie pour vaincre les résistances à l'avancement que s'il avait équilibré les deux parties de l'épreuve.

Le Cx dépend du coefficient de forme (K) et de la surface de maître couple (S)

- **Effet de la surface du maître couple** : cette surface représente la projection orthogonale du corps par rapport au déplacement sur un plan vertical. Par exemple, un nageur non expert qui relève la tête pendant une coulée ventrale offre plus de résistance à l'avancement car il augmente la surface de maître couple. Il en est de même pour un nageur qui a un battement de jambes trop ample.



- **Effet de la forme** : deux objets qui possèdent exactement la même surface de maître couple, mais qui n'ont pas la même forme, n'offrent pas les mêmes résistances à l'avancement.

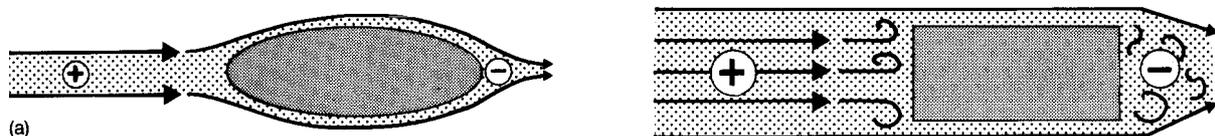
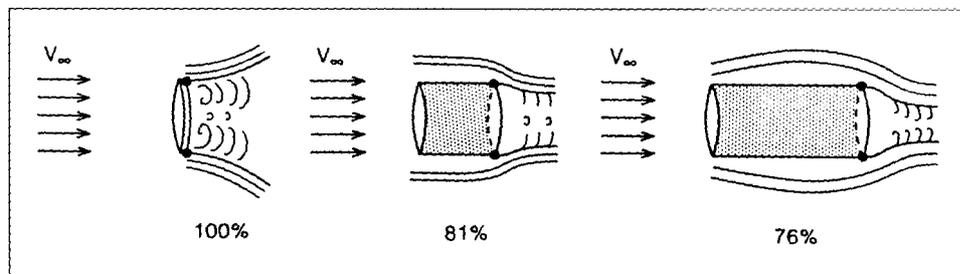


Fig 11. Représentation schématique de différents coefficients de forme.

D'autre part, une coulée avec les bras tendus dans le prolongement du corps permet de parcourir une distance supérieure à une coulée bras le long des cuisses. En effet, la longueur du corps intervient également sur les résistances à l'avancement. Plus un corps est allongé, plus les résistances sont faibles.

Ungerechts et Niklas (1994) montrent qu'à la même vitesse, les résistances passives se réduisent au fur et à mesure de l'allongement de l'objet.



3.3. Les différents types de résistance à l'avancement dans l'eau

Un nageur en déplacement est soumis à **trois formes** de résistance dans l'eau :

1. Une résistance ou traînée de forme :

Elle dépend de la forme du corps du nageur liée aux mouvements verticaux ou latéraux, qui augmentent la surface antérieure (résistances frontales donc liaisons avec : le maître couple et la forme du corps) mais également les surfaces postérieures intervenant négativement sur les aspirations (traînées de remous ou tourbillonnaires postérieures, encore appelées aspirations de queue) :

2. Une résistance ou traînée de vague :

Lorsqu'un corps se déplace à la surface d'un liquide, il se crée une zone de turbulence provoquant des vagues dont les plus importantes sont la vague frontale à l'avant du corps et la vague de queue à l'arrière. Comme toute résistance, elle dépend entre autre de la vitesse du nageur et de la forme de son corps, elle est liée directement aux mouvements réalisés à proximité de la surface de l'eau.

Les vagues et les turbulences de l'eau créent une zone de haute pression ayant pour effet un frein important sur la progression du nageur.

Certaines vagues extérieures au nageur peuvent être réduites par l'utilisation de « lignes anti-vagues », mais se sont surtout les vagues dues aux mauvais positionnement ou pénétration dans l'eau qui limitent l'efficacité propulsive. Les mouvements contribuant le plus à provoquer des vagues sont ceux de haut en bas et de bas en haut, particulièrement lorsqu'ils se réalisent près de la surface de

l'eau. Il s'agit plus souvent des phases d'entrée et de sortie de l'eau des segments propulsifs (mains et bras).

3. une résistance ou traînée de frottement

Lorsqu'un corps se déplace dans un fluide, les molécules du fluide les plus près du corps adhèrent à celui-ci. Au fur et à mesure que ces molécules s'éloignent de la paroi corporelle, leur vitesse se modifie et, passée une certaine distance, rejoint la vitesse du fluide dans l'écoulement extérieur du corps. La mince couche de fluide dans laquelle la vitesse se différencie s'appelle la couche limite. Du fait que ces deux couches de fluide infiniment voisines ont des vitesses différentes, il en résulte des forces de viscosité importantes.

La résistance de traînée est liée à la modification de l'écoulement de l'eau autour du nageur. L'écoulement peut être soit laminaire, soit turbulent. Les molécules composant l'eau s'écoulent en flux linéaires et homogènes (laminaires). Cet écoulement, lorsqu'il est laminaire, engendre peu de freinage car les molécules d'eau glissent sans perturbation des lames qui s'écoulent. Selon Hay (1980), on peut quasiment négliger ces forces de frottement.

Quand ces flux laminaires sont confrontés à un obstacle, comme le corps d'un nageur, les molécules se répartissent de manière non homogène dans toutes les directions: et l'écoulement devient turbulent.

Les molécules rebondissent dans toutes les directions, percutent les lignes de courants proches les rendant elles-mêmes turbulentes et ainsi de suite. A l'avant du corps, cette turbulence qui s'étend, crée une zone de haute pression et le freine. Les lignes de courant étant complètement perturbées, aucun écoulement laminaire ne peut se faire autour du corps immergé. Ces lignes de courant ne peuvent se refermer que loin derrière. Une zone de courant tourbillonnaire de basse pression se forme à l'arrière provoquant un effet de succion qui freine lui aussi la progression vers l'avant. On peut percevoir ces effets par les bulles d'air sous l'eau qui entourent les segments du nageur. L'écoulement turbulent crée des courants tourbillonnaires qui freinent le nageur

Le phénomène de basse pression et de succion à l'arrière du corps est bien utilisé à l'entraînement qui se met dans le sillage des battements de jambes du nageur qui le précède afin de profiter au mieux de la moindre résistance et de l'aspiration (cf. coureur à pied et coureur cycliste, formule 1 ...).

La forme plus ou moins profilée du corps plongé dans un fluide a donc une grande importance, le corps du nageur n'est malheureusement pas adapté à l'élément liquide. Il faut donc faire attention à sa position afin de réduire au maximum les

inconvénients dus à l'écoulement turbulent des différentes lignes de courant et aux différences de pression frontales et arrière.

3.4. Conséquences des résistances chez le nageur selon les niveaux de pratique

Chez le nageur débutant :

La caractéristique du débutant, c'est qu'il occasionne des résistances à l'avancement très importantes, tant dans les parties nagées que non nagées. Le débutant a tendance à adopter dans l'eau une position proche de la verticale correspondant à sa position de référence sur terre. Le problème essentiel concernant la réduction des résistances à l'avancement réside dans la réduction de la surface de maître couple. La vitesse étant faible et l'obliquité du corps importante, l'horizontalité devient prioritaire pour réduire la surface frénatrice opposée au déplacement lorsqu'on confronte le débutant à la recherche de la plus grande vitesse.

Chez le nageur débrouillé ou confirmé :

La vitesse de nage étant supérieure et l'horizontalité meilleure, la réduction des freinages est plutôt liée à la diminution des résistances de forme. Ces résistances de forme peuvent être illustrées par deux exemples :

- un relevé de la tête associé à un écartement des bras en avant lors d'une coulée ventrale ;
- un début de poussée propulsive des jambes en brasse alors que les bras, encore en phase de retour, ne sont pas placés en avant dans un profil hydrodynamique optimal.

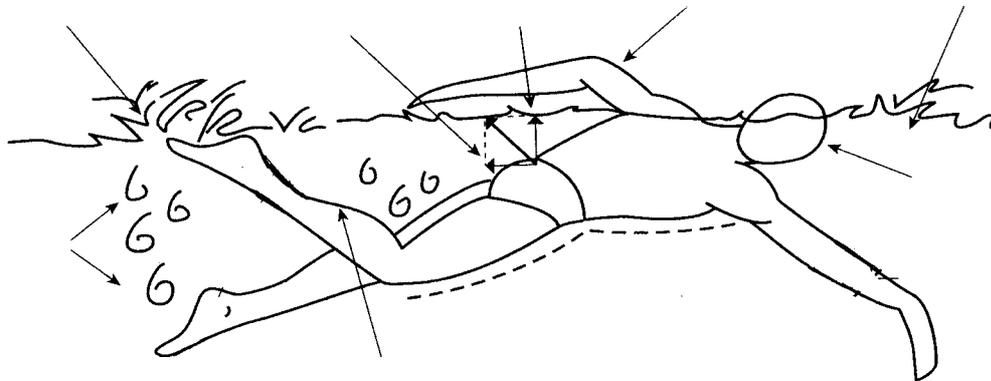
Pour caractériser ce niveau, on peut comparer la logique propulsion/résistance du nageur de niveau moyen à un conducteur novice qui appuierait sur l'accélérateur de son véhicule sans desserrer son frein à main.

Chez le nageur expert :

Un des buts de l'expert est d'améliorer le rendement biomécanique, particulièrement dans ses rapports résistance/propulsion. Par exemple, le nageur de brasse qui arrête un trajet propulsif lorsque les mains arrivent au niveau de la poitrine, alors que le règlement l'autorise à poursuivre son action jusqu'aux hanches, optimise ce rapport résistance/propulsion. Cette réduction des résistances frénatrices peut être associée :

- à un travail spécifique de gainage du bassin ;
- aux placements segmentaires associés aux coordinations et aux synchronisations de nage ;
- à une meilleure gestion de l'allure de nage

3.5. Synthèse sur l'ensemble des résistances à l'avancement lors de la nage



4. La propulsion du nageur

Le nageur se trouve confronté à un double impératif :

Réduire les résistances à l'avancement s'opposant à son déplacement et augmenter les résistances propulsives créées par ses membres pour se déplacer plus vite. Le déplacement du nageur va donc être conditionné par la création et le maintien de ces résistances propulsives.

Ainsi, dans un cas, les résistances sont la conséquence de l'action de l'eau sur le corps subie « passivement » par le nageur. Dans l'autre cas, c'est le nageur qui crée activement ces résistances. Sur un plan théorique, ces résistances propulsives peuvent être créées selon différents modèles biomécaniques avec des efficacités très variables.

4.1. Le modèle de propulsion basé sur la 3^{ème} loi de Newton (action / réaction) :

La troisième loi du mouvement de Newton intéresse directement toute la natation. En effet, à chaque action s'oppose une réaction inverse équivalente.

De fait, si un nageur veut se déplacer dans une direction, il doit exercer une poussée avec ses membres dans la direction opposée.

Cela se traduit pour le nageur par une orientation des surfaces propulsives (par exemple la main) perpendiculairement au sens de déplacement, avec une direction des forces propulsives parallèle au déplacement. Cette recherche d'une action propulsive doit intégrer la spécificité du milieu liquide à savoir que les molécules d'eau sont fuyantes et que tout mouvement réalisé perpendiculairement au sens de déplacement doit être effectué en accélération progressive. De fait, cette accélération va permettre d'emmener et de s'appuyer sur une même masse d'eau

durant tout le trajet moteur. Si le mouvement n'est pas accéléré mais uniforme, alors les molécules d'eau pourront s'échapper de derrière la main et la propulsion sera très faible voire nulle.

Ainsi, ce modèle est basé sur 2 principes :

- orientation des surfaces propulsives perpendiculairement au sens de déplacement et donc direction des forces propulsives parallèle au déplacement
- appui sur une masse d'eau et accélération progressive de l'appui pour conserver cette masse d'eau tout au long du trajet propulsif.

4.2. Rôle des jambes en natation

En natation, les jambes peuvent jouer un rôle propulsif important. Lors des nages alternées (crawl et dos crawlé) complètes (bras +jambes) les jambes ont un rôle de « stabilisateur », et interviennent dans la rééquilibration du corps. Ainsi, en "dos" et en crawl le battement alternatif atténue les déséquilibres engendrés par le roulis (rotation des épaules autour de l'axe longitudinal), et limite le tangage (oscillation suivant un axe transversal), ainsi que les lacets (oscillations latérales)

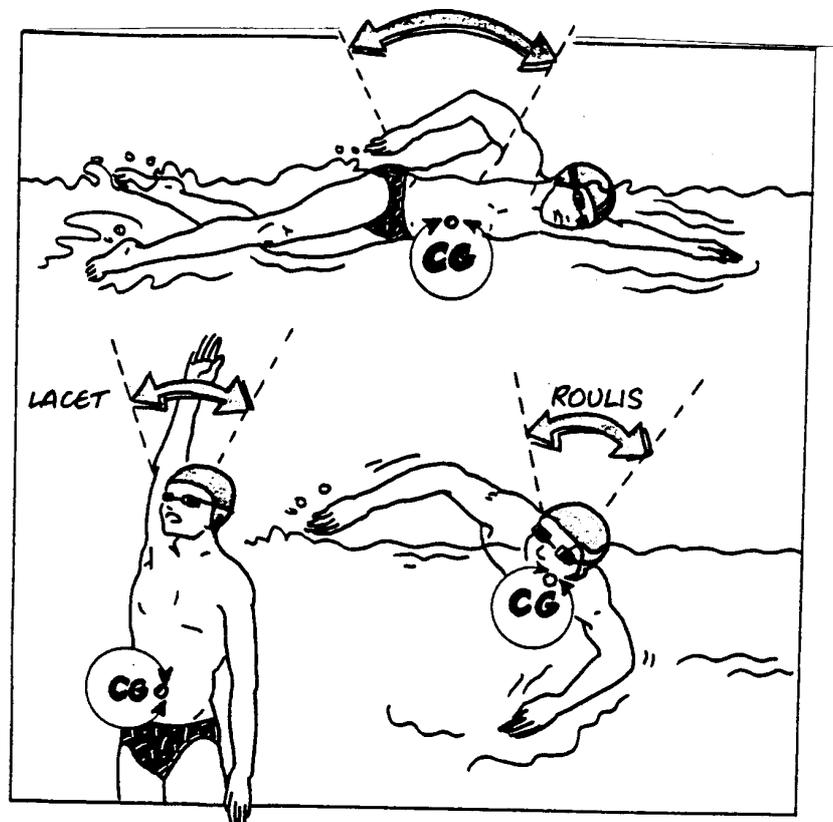


Fig 6. Mouvements de déséquilibres du nageur selon les trois plans de références.

5. Bibliographie

Chollet Didier -1997- (2^{ème} édition) *Approche scientifique de la natation sportive*. Ed Vigot, Paris, p 389.

Counsilman J.E -1986- *La natation de compétition*. Ed Vigot, Paris, p 221.

Costill D.L, Maglischo B.W, Ricardson A.B -1994- *La natation*. Ed Vigot, Paris, p 215.

Pelayo P, Maillard D, Rozier D, Chollet D -1999- *Natation au collège et au Lycée*. Ed Revue EPS, Paris, p 301.