

POLYVALENCE NATATION

PREAMBULE ; LE CRAWL : Un peu d'histoire	P.2
1. FORCES DE L'ENVIRONNEMENT AGISSANT SUR LE NAGEUR	P. 3
2. DESEQUILIBRE ET EQUILIBRE	P. 4
3. L'EQUILIBRATION SUR TERRE ET DANS L'EAU	P. 6
4. L'HYDRODYNAMIQUE	P. 9
5. NATATION, RESPIRATION, VENTILATION	P. 12
6. LES TECHNIQUES : PLONGEON, VIRAGE, CRAWL	P. 14
7. TERMINOLOGIE	P. 18

Bibliographie du cours :

R.CATTEAU & GAROFF, (1974), L'enseignement de la natation. Paris VIGOT p. 77 - 114.

R. CATTEAU (2008), La natation de demain, une pédagogie de l'action, cahiers du sport populaire FSGT et Atlantica Biarritz

D. CHOLLET, (1990), Approche scientifique de la natation sportive. Paris. Vigot. p. 17 - 97.

D.L.COSTILL, B.W. MAGLISCHO, A.B. RICHARDSON (1994). La natation. Paris. Vigot. p. 43 – 63

FOX, MATHEWS, (1981), Bases physiologiques de l'activité physique. Paris. Vigot

N.GAL (1993), Savoir Nager. Paris Ed. Revue EPS p. 21 – 46

PELAYO, P., MAILLARD, D., ROZIER, D., CHOLLET, D. (1999) Natation au collège et au lycée.

Ed. Revue EPS p. 229 – 255

SCHMITT, P., (1992) Nager, De la découverte à la performance. Paris. Vigot

Attention : Ce document n'est pas conçu pour dispenser les étudiants de leur présence attentive aux Cours Magistraux, il vient tout au plus compléter utilement les notes personnelles prises en cours.

En préambule

Ce cours rassemble quelques connaissances théoriques relatives à la biomécanique, au bio informationnel, à la bioénergétique, permettant ainsi de mieux comprendre les interactions entre un nageur dans son fonctionnement et son environnement physique. En pratique polyvalence natation, la compétence attendue en L1 est la réalisation d'une performance chronométrique sur une épreuve de 400 m crawl départ plongé, sans le moindre arrêt, en respectant la contrainte de sorties aériennes de la face limitées par la durée du passage aérien d'un bras. Pour l'épreuve de 400 m, la moyenne des performances pour les filles est de 9'16 ; pour les garçons, elle est de 8'37. Pour certains ayant déjà acquis, par leur pratique antérieure, un certain niveau de compétence en crawl, il conviendra de s'investir dans les cours pratiques pour améliorer l'efficacité de sa nage ; pour d'autres, l'investissement se fera par l'action assidue dans des apprentissages plus fondamentaux. Pour tous, nous viserons ensemble la réussite d'un parcours maîtrisé en crawl sur des distances de plus en plus longues. Dans ces expériences pratiques de formation, se construiront des savoirs de l'action qui viendront utilement compléter les savoirs sur l'action, développés dans ce cours théorique.

LE CRAWL

C'est la solution technique utilisée actuellement par les nageurs dans toutes les épreuves de nage libre (épreuves dans lesquelles les contraintes portant sur la nage sont minimales). C'est sur un plan énergétique et chronométrique le mode de déplacement le plus efficace et efficient parmi toutes les techniques actuelles de nage sportive. Si l'on s'en tient à la natation de longue distance, de forme sportive ou de loisir, le crawl reste le mieux adapté à des déplacements en milieu naturel (vitesse, économie d'énergie).

Un peu d'histoire :

- D'abord maîtrisée sur les distances courtes pour nager vite, la résolution des problèmes ventilatoires va imposer cette technique sur toutes les distances,
- Dès 1902, tous les records de sprints courts (100m) seront battus en adoptant le crawl de bout en bout,
- Il faut attendre 1923 pour voir un nageur : Johnny Weissmuller descendre le record du 400 m sous la barre mythique des 5' et ce grâce à l'adoption d'une respiration aquatique (1^{er} nageur à passer sous la 1' au 100 m en 1922).

3 grandes étapes pour résumer l'histoire de cette technique

1. Jusqu'en 1925, l'évolution consiste en une mise à plat du corps et une continuité des actions propulsives par des trajets de bras courts et fréquents.

2. 1925 à 1960, la respiration se perfectionne, les nageurs adoptent des fréquences proches de 70cy/mn (140 CB/minute) et des amplitudes moyennes de 1,50m/cycle (le corps avance de 1,50m tous les 2 coups de bras)

3. Les années 60 à 80 voient les nageurs intégrer des déséquilibres par le roulis des épaules permettant des trajets plus longs, plus profonds et plus sinusoïdaux améliorant l'amplitude de nage

Actuellement, les coulées ondulées et sous marines, l'allongement du corps et les trajectoires de mains de plus en plus rectilignes apparaissent comme les principaux signes d'évolution technique.

1. FORCES DE L'ENVIRONNEMENT AGISSANT SUR LE NAGEUR

1.1 Qu'est ce qu'une Force ?

On appelle force, toute cause capable de modifier le mouvement, la direction, la vitesse d'un corps ou de le déformer.

La poussée d'Archimède : Tout corps intégralement plongé dans un liquide y subit une poussée verticale de bas en haut, égale au poids du volume du fluide déplacé par le corps et appliquée au centre de gravité de la partie du fluide déplacée.

Définition Physique :

La représentation vectorielle d'une force doit nécessairement préciser :

- sa direction,
- son sens,
- son point d'application (origine),
- son intensité.

Son unité est le Newton (symbole N)

NB : Il est essentiel de préciser également la durée d'application d'une force, en pratique, on remarque que les effets d'une force diffèrent en fonction de la durée d'application.

Définition Physique des deux forces agissant sur un corps immergé

Le poids du corps $P = m.g$

m = masse du corps en kg,

g = en $N.kg^{-1}$,

P = poids en Newton

La poussée d'Archimède $PA = \mu Vg$

μ = masse volumique du fluide en $kg.m^{-3}$

	POIDS	POUSSEE D'ARCHIMEDE
DIRECTION	VERTICALE	VERTICALE
SENS	DU HAUT VERS LE BAS	DU BAS VERS LE HAUT

POINT D'APPLICATION	CENTRE DE GRAVITE	CENTRE DE POUSSEE
INTENSITE	$P = m.g$	= au poids du volume de fluide déplacé

V = volume de la partie du solide qui est soumis au forces pressantes du fluide en m³

g = en N.kg⁻¹

PA = Poussée d'Archimède en Newton

1.2 Poids apparent

Il résulte des effets combinés du poids et de la poussée d'Archimède et il dépend du degré d'immersion du corps.

Immergé jusqu'au cou le poids apparent d'un individu est inférieur à 10 % de son poids réel,

Immergé jusqu'à la taille son poids apparent est d'environ 50 % de son poids réel,

Immergé jusqu'aux cuisses, le poids apparent est d'environ 80% de son poids réel

1.3 La pression hydrostatique : ses effets sur le corps humain

L'eau est essentiellement incompressible, la pression de l'eau sur un corps augmente proportionnellement avec la profondeur d'immersion. La pression résulte de deux forces, le poids de la colonne d'eau directement au dessus du corps et le poids de la colonne d'air à la surface de l'eau. En surface, la pression est d'une Atmosphère, la pression augmente d'une atmosphère lorsque la profondeur d'immersion du corps augmente de 10 m.

Les lois de Boyle établissent les relations entre pressions et volumes :

Le volume qu'occupe un gaz est inversement proportionnel à la pression à laquelle il se trouve. Si un volume de gaz est soumis à une pression deux fois plus élevée, il diminue de moitié. De même si la pression diminue de moitié, le volume du gaz double.

Le volume d'un liquide n'est pas modifié par les changements de pression.

Les tissus de l'organisme humain sont surtout constitués d'eau, ils ne sont pas affectés par l'augmentation de la pression externe en plongée. Mais l'organisme renferme de l'air notamment dans les poumons, les voies respiratoires, les sinus et l'oreille moyenne. Le volume et la pression du gaz dans ces cavités peuvent se modifier grandement selon la profondeur de plongée. Ceci amène à utiliser des techniques pour équilibrer les pressions externes et internes à l'oreille moyenne séparée de l'oreille externe par une membrane, le tympan.

Une de ces techniques se nomme manoeuvre de Valsalva. Elle consiste à utiliser les procédures suivantes :

- Se pincer le nez, fermer la bouche, pour empêcher l'air de s'échapper,
- réaliser à plusieurs reprises lors de la descente les actions correspondant normalement à l'expiration pour faire monter la pression aérienne pulmonaire jusqu'à ce que les trompes d'Eustache s'ouvrent et que les pressions de part et d'autre des tympanes se rééquilibrent.

2. Déséquilibre et équilibre

2.1. Définitions

Etat d'Equilibre : La somme des forces appliquées au solide est nulle.

Soit, lorsque PA et Pesanteur sont :

- alignées sur une même droite verticale,
- d'égale intensité.

Etat de déséquilibre : La somme des vecteurs forces appliquées au solide n'est pas nulle.

Dans ce cas, dans l'eau, le couple de forces (P et PA) entraîne :

- une rotation du solide jusqu'à l'alignement vertical des 2 forces,
- et/ou un déplacement vertical du solide (comprenant parfois des oscillations) jusqu'à l'obtention des conditions d'équilibre.

2.2. Les différents types d'équilibres

Equilibre statique, au plan mécanique

- Stable, si le système matériel écarté de sa position initiale tend à y revenir.

Ex : le pendule, suspension à la barre fixe.

L'équilibre statique du nageur dans l'eau est un équilibre stable

- Instable, si écarté de sa position initiale, il se met en équilibre dans une position différente. Ex : Chaise.

- Indifférent : écarté de sa position initiale, il reste en équilibre dans toute nouvelle position. Ex : roue de bicyclette.

Equilibre dynamique

Au plan physiologique, l'équilibre du nageur dans le déplacement est un équilibre dynamique actif dans la mesure où l'ensemble des mouvements segmentaires du corps est perçu, intégré et régulé finement pour maintenir une orientation générale du corps (pour le nageur : l'horizontal). La marche, la nage peuvent apparaître comme une succession de déséquilibres instantanés maîtrisés.

2.3. Les conditions de l'équilibre en fonction de l'environnement

Sur terre, il y a équilibre lorsque la projection verticale du centre de gravité est à l'intérieur du polygone ou surface de sustentation.

Dans l'eau, il y a équilibre lorsque PA et P sont alignés verticalement, CG et CP sur une même droite verticale, « PA » et « P » sont d'égale intensité.

L'équilibre statique dans l'eau est un équilibre de type STABLE.

PROPRIETES DU CORPS HUMAIN

HÉTÉROGÈNE	Composé de masses de densités¹ différentes en quantité différente² (masses maigres, masses grasses)
DÉFORMABLE	Change de forme, modifie les rapports spatiaux entre ses différents segments, change de volume.
SENSIBLE	Capte et gère des informations : Sur l'environnement Sur lui même
MOBILE	Se meut à partir de sa propre énergie, de ses propres forces

¹ Densités : de la masse osseuse 1,8 ; de la masse musculaire 1,05 ; de la masse grasse 0,95

² Pourcentage moyen de masse grasse : chez les hommes, 15 % ; chez les femmes 23%

2.5. ATTITUDE OU POSTURE

Une posture du corps ou une attitude se traduit par une disposition particulière des segments corporels les uns par rapport aux autres.

La position du centre de gravité est dépendante de la posture du corps.

RAPPORTS DE MASSES CORPORELLES PARTIELLES A LA MASSE TOTALE DU CORPS

TETE 7 % / MEMBRES SUPERIEURS 13 % / TRONC 43 % / MEMBRES INFERIEURS 37 %

TOTAL 100 %

Par exemple :

a) "normale" membres supérieurs le long du corps, dans cette attitude le centre de gravité est situé au niveau de la 5^{ème} lombaire, le centre de poussée, au niveau de la 12^{ème} dorsale ou 1^{ère} lombaire.

N.B. : L'utilisation de ceintures ou de flotteurs modifie les localisations du CG et du CP de l'ensemble matériel (corps + flotteur) et donc les conditions de l'équilibre.

Les positions relatives des masses corporelles contribuent à modifier CG et CP. La position de la tête et des membres supérieurs est déterminante pour l'orientation du corps en équilibre stable.

2.6. Variabilité du volume corporel en fonction de l'attitude et de la respiration

Sont favorables à la flottabilité du corps :

- les postures corporelles accroissant le volume corporel tels : l'extension dorsale, l'étirement, le redressement, sortir la poitrine et projeter les épaules en arrière,
- le blocage respiratoire après une inspiration forcée.

2.7. *Des conséquences à retenir*

A) UN PARADOXE : Plus le corps est immergé, meilleures sont les conditions de flottaison ou plus on veut flotter, plus il est nécessaire de s'immerger.

B) Le volume corporel immergé et ses variations possibles pour un individu, vont déterminer l'intensité de la PA, donc la flottaison et son niveau.

C) À chaque posture, ou forme du corps, correspond un équilibre stable différent, donc une orientation du corps différente.

2.8. Des tests de flottaison

Le sujet prend une orientation verticale, une attitude immobile, bras le long du corps, mains aux cuisses, après une inspiration forcée, il reste en apnée et attend la stabilisation verticale de son corps. On note alors le niveau de la surface de l'eau sur le visage.

Un autre test permet d'évaluer le temps requis pour que le corps passe d'un équilibre horizontal à un équilibre vertical. Il mesure l'effet du couple de rotation s'exerçant sur le corps lorsque CG et CP ne sont pas alignés verticalement. Il consiste à s'allonger sur le dos, à l'horizontale, bras le long du corps, mains aux cuisses, un partenaire maintient les pieds à la surface de l'eau éventuellement. Au signal, après blocage de la respiration en inspiration forcée, l'aide lâche le sujet. On chronomètre la durée nécessaire pour que le corps passe de l'horizontale à la verticale.

Cazorla (1993) établit les valeurs les plus faibles à 3 secondes, 8 secondes pour les moyennes, 20 secondes pour les meilleures.

3. L'EQUILIBRATION sur terre et dans l'eau

3.1. Définition

L'équilibre de référence est propre à l'espèce. Pour l'espèce humaine, il s'agit d'un équilibre bipède vertical.

S'équilibrer, c'est être capable de maintenir ou de retrouver (sans chuter) une posture cohérente de bipède érigé malgré les variations liées : aux conditions environnementales, ou aux actions entreprises.

L'activité d'équilibration est permanente, elle consiste à maintenir ou varier l'orientation de la tête et du corps et des segments les uns par rapport aux autres. Celle-ci s'effectue en anticipant, en accompagnant, ou en réagissant en cohérence avec les actions entreprises ou en fonction des variations de l'environnement.

L'activité d'équilibration comporte deux facettes, la facette informationnelle et la facette tonique et motrice.

Le corps dispose de capteurs de gravité lui permettant de repérer l'orientation de la tête par rapport à la direction verticale.

Sans tonus, le corps s'écraserait au sol comme une poupée de chiffon, il y a donc une activité musculaire tonique anti-gravitaire.

Toute activité motrice a besoin d'un accompagnement postural permanent pour donner aux mouvements les points d'appuis nécessaires.

3.2. Exemples

- Se maintenir debout dans un bus qui freine ou qui accélère brusquement.
- Maintenir l'équilibre d'un plateau malgré un déplacement, le rajout ou l'enlèvement d'une masse (Garçon de café).
- S'équilibrer sur un barque ou un flotteur qui s'enfonce lorsque l'on pose le pied dessus.
- Ne pas déformer l'axe du corps lors des poussées d'eau vers l'arrière avec les membres supérieurs, lors d'un plongeon ou d'une poussée au mur.

3.3. S'INFORMER, SE REPERER (problèmes posés à l'organisme)

(Equilibre du chat dans sa chute) replacer la tête par rapport à la verticale puis l'ensemble du corps vient se positionner par rapport à la tête stabilisée). Retenons ici le rôle fondamental de l'orientation de la tête.

Le principal problème dans les activités sur terre est d'organiser ses actions en fonction de la gravité, c'est en effet un repère permanent vertical (chute des corps), pour éviter la ou les chutes.

Les réactions doivent être rapides et efficaces, ajustées, coordonnées. Les mouvements d'équilibration sont non conscients.

3.4. REGULER

La régulation mobilise deux facettes : la facette perceptive et la facette motrice (tonique et cinétique).

Pour la facette motrice, l'équilibration s'opère par le déplacement de masses corporelles pour compenser le déplacement d'autres masses.

Ex : le mouvement des bras dans la marche, les battements de jambes dans la nage.

La facette perceptive s'appuie sur le système sensitivo-sensoriel.

- La perception de l'environnement ou du monde extérieur, (le sensoriel avec les 5 sens)
- La perception de son propre corps par la proprioception ou le sensitif (présence de capteurs dans le corps)

Le TOUCHER

Perception de la résistance à l'avancement, la pression des appuis au sol ou propulsifs dans l'eau, l'écoulement de l'eau.

Les contacts des segments entre eux ou avec une partie du corps ou avec la surface de l'eau permettent d'objectiver leur position.

La VUE

Informations directes limitées au champ visuel, Informations indirectes situant le déplacement du corps par rapport au milieu (lignes de nage, plafond ...)

L'OUÏE

Signaux externes dans l'air ou dans l'eau (départ, clameur, bruits d'eau)

Signaux liés aux actions (attaques de bras, battements éclaoussure, bulle d'airs de l'expiration)

Le GOUT

Ce sens intervient très peu dans la régulation de la nage

L'ODORAT

Ce sens intervient très peu dans la régulation de la nage

LA PROPRIOCEPTION

Perception de la position des différents segments du corps les uns par rapport aux autres, la direction, le sens, l'ampleur des déplacements.

L'apprenti nageur doit se construire un nouvel espace d'action et ajuster ses perceptions, il y a discordance entre son orientation et ses positions segmentaires réelles et la perception qu'il en a. De nouvelles mises en relation doivent s'opérer entre les informations proprioceptives et les informations extéroceptives (vue, toucher).

Une cohérence de soi dans l'environnement (schéma corporel) se construit progressivement par l'action et l'expérience dans un constant dialogue avec l'environnement.

Ainsi, le schéma corporel est le résultat et la condition de justes rapports entre l'individu et le milieu. Il n'y a pas d'adaptation possible aux objets et aux buts de l'activité sans une exacte interdépendance entre l'espace subjectif et l'espace objectif.

Exemple : sur terre, lever les deux bras à l'horizontale et ne pas chuter, se pencher en avant.

Chaque action a une composante perceptive et posturale consistant à accompagner ou à anticiper sur les effets prévisibles de l'action en fonction des contraintes environnementales.

3.4. S'équilibrer dans des actions spécifiques et un environnement nouveau

Dans l'eau on ne chute pas, l'équilibre est stable physiquement. Il est donc superflu de s'organiser pour éviter des chutes, par contre la recherche dans ses déplacements d'un freinage minimum suppose d'orienter et de tonifier son corps de manière optimale.

L'équilibre de référence propice à la locomotion performante en natation n'est plus vertical mais horizontal.

Axe du corps et axe de déplacement sont confondus. Ceci suppose une organisation posturale radicalement différente. Cette orientation du corps nécessite de prendre une posture adéquate.

3.5. Les formes de déséquilibres en référence aux axes du corps

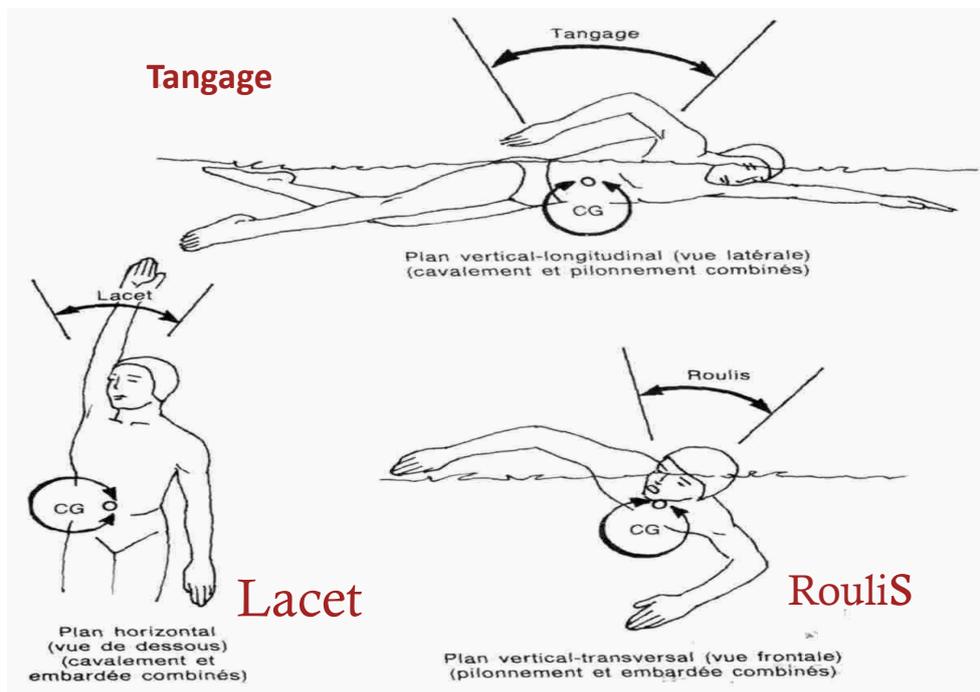
Ces déséquilibres sont :

- soit subis (au cours de l'action) par déformation non intentionnelle du corps
- soit recherchés intentionnellement dans l'action.

o **Le roulis des épaules et dans une moindre mesure des hanches est recherché car propice aux nages alternées (crawl et dos crawlé),**

o **Le « tangage » est recherché car lui aussi propice dans les nages simultanées (brasse et papillon dauphin).**

Le lacet est un déséquilibre néfaste au déplacement efficace du nageur



4. L'HYDRODYNAMIQUE

C'est l'étude des propriétés du fluide, en mouvement autour d'un corps fixe, ou inversement d'un corps en mouvement dans un fluide.

4.1. Propriétés du fluide

Densité et viscosité de l'eau par rapport à l'air

	AIR	EAU	RAPPORT
MASSE VOLUMIQUE (kg.m ³)	1,3	998	x 770
VISCOSITE (Poise)	0,00017	0,010	x 58,9

Masse volumique et viscosité en fonction de la température

TEMPERATURE de l'EAU °C	DENSITE	VISCOSITE (Poise)
20	0,998	0,010
25	0,987	0,008
30	0,973	0,005

L'eau froide plus dense favorise la "prise d'appui" du nageur et donc la propulsion, l'eau chaude moins dense est moins favorable à ces "appuis", moins visqueuse elle diminue les frottements et facilite la glisse

DENSITE : Du fait de sa densité il est possible en utilisant les segments appropriés de se mettre en mouvement en réaction aux masses d'eau mises en mouvement.

VISCOSITE : Désigne les forces de frottement qui s'exercent sur un solide en déplacement dans ce milieu.

Plus le liquide est visqueux, plus les frottements sont élevés.

4.1. Agir dans ce fluide

L'eau apparaît comme un fluide résistant et non consistant. Il est possible à la fois de passer à travers lui, et de prendre des appuis, bien qu'ils soient fuyants, en créant des résistances.

Par comparaison avec un athlète, le nageur se doit d'être attentif aux forces de freinage (résistances) qu'il rencontre au cours de son déplacement pour les limiter. Dans l'air, à des vitesses élevées (cyclisme, automobile...), le problème rencontré est comparable. La vitesse du nageur résulte du rapport entre les forces propulsives qu'il produit et qui lui permettent d'accélérer sa masse et les forces de résistance qui le décèlent et qu'il subit.

4.2. Les forces de freinage

La résistance est la somme des forces qui s'exercent sur le nageur et s'opposent à sa translation. Les valeurs relatives de ces forces varient suivant la vitesse. A vitesse proche de la vitesse limite la résistance de vague peut représenter jusqu'à 60 % de la résistance totale.

La force de résistance du fluide est une force qui ne dépend que du mouvement relatif du corps et du fluide. Les bassins à courant d'eau sont utilisés pour l'étude de ces forces. Le principe de ces mesures est basé sur l'équivalence des situations. Dans un bassin à courant d'eau, l'objet est fixe et le fluide est en mouvement, dans une piscine le nageur est mobile et l'eau est immobile.

4.3. Deux types d'écoulement

Ce qui compte, c'est la vitesse relative du fluide par rapport à l'objet. Selon l'importance de cette vitesse on distingue deux modes d'écoulement du fluide autour de l'objet immergé.

L'écoulement laminaire : Lorsque la vitesse relative est très faible, l'écoulement est laminaire. La couche qui est en contact du solide est immobile par rapport à lui, et les autres glissent sur elle d'un mouvement qui tendent à ralentir les forces de viscosité.

La résistance est proportionnelle à la vitesse et au coefficient de viscosité.

L'écoulement turbulent : Il se caractérise par l'existence d'un sillage dans lequel le fluide est en moyenne immobile par rapport au solide mais est animé de tourbillons intenses. La force est due essentiellement à la dissymétrie des vitesses d'écoulement entre l'avant et l'arrière de l'objet.

4.3.2. La résistance à l'avancement

$$R = 0.5 C S \rho V^2$$

ou encore de manière simplifiée $R = K S V^2$

S : surface du "maître couple" : surface de projection orthogonale du corps immergé sur un plan perpendiculaire à son axe de déplacement

K : coefficient de forme

V : la vitesse de déplacement élevée au carré.

L'augmentation de la vitesse de nage s'accompagne d'une augmentation des forces de résistance à l'avancement et occasionne une dépense énergétique accrue.

L'augmentation de la dépense énergétique en fonction de l'accroissement de la vitesse n'est pas linéaire. (cf tableau suivant)

Augmentation de la vitesse de nage en pourcentage de la vitesse maximale	70 à 75 %	80 à 85%	90 à 95 %	95 à 100 %
--------------------------------------------------------------------------	-----------	----------	-----------	------------

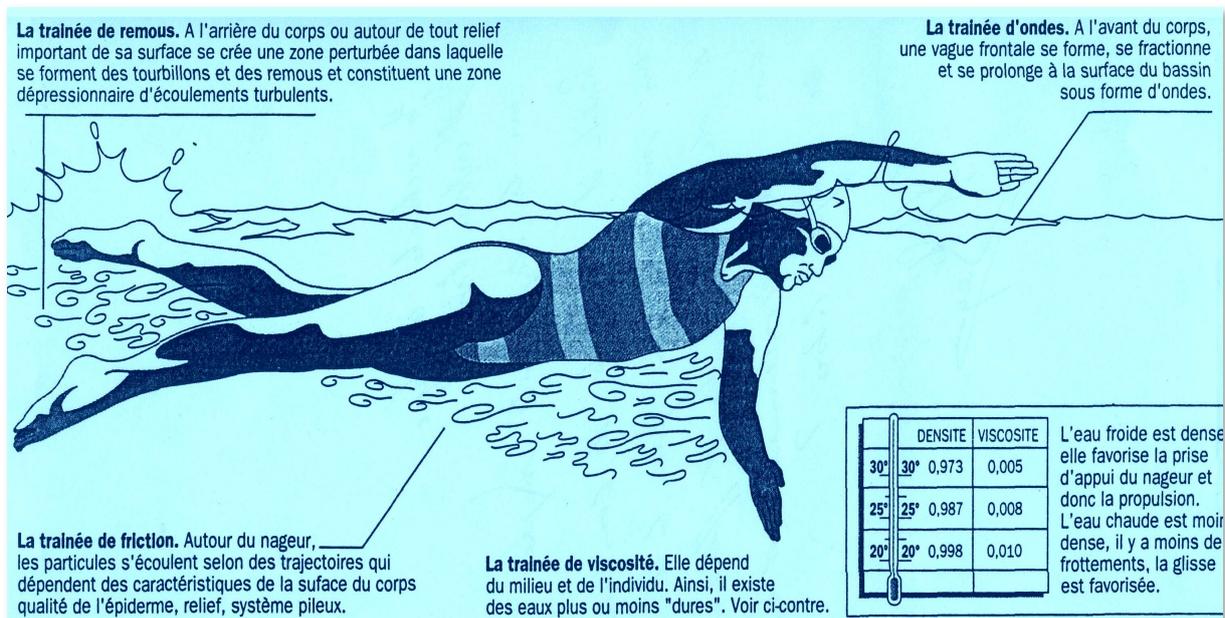
Augmentation de la dépense énergétique	5%	9%	12%	20%
----------------------------------------	----	----	-----	-----

4.4. Les formes de résistance

Résistance frontale ou résistance de vague en surface résulte de la rencontre de particules d'eau inertes et des parties frontales du corps en déplacement.

Résistance d'écoulement ou de friction ou de frottement dépend des caractéristiques de la vitesse d'écoulement des particules fluides sur et autour du corps et des caractéristiques de cette surface.

Résistance de remous ou de queue ou tourbillonnaire liée aux différents reliefs du corps en arrière desquels les particules d'eau sont perturbées et forment des zones dépressionnaires d'écoulements turbulents.



4.5. Les forces de freinage à la surface, ou entièrement immergé

Pour une vitesse déterminée, le coût énergétique d'un déplacement en surface est plus élevé que celui d'un déplacement en immersion complète.

En immersion

Il n'y a pas de résistance de vague, l'énergie dépensée est moindre.

A 2,5 m.s⁻¹, un mobile consomme deux fois plus d'énergie s'il n'est pas totalement immergé, cette valeur serait multipliée par 5 à 5 m.s⁻¹, par 10 à 7,5 m.s⁻¹.

Le coût énergétique d'un déplacement en surface est nettement plus élevé.

En surface

Le déplacement du nageur rencontrera la résistance de vagues.

A volume immergé égal, la résistance de vague est fonction de la vitesse et varie en sens inverse de la racine carré de la longueur de flottaison.

Solutions pour réduire la résistance de vague

Pour une même vitesse de déplacement la hauteur de la vague d'étrave est nettement moins importante chez des nageurs experts. Ils ont construit des solutions techniques leur permettant d'être plus économes dans leur nage, de dépenser le moins d'énergie possible en mouvements d'eau au profit de leur propre déplacement.

On peut énoncer quatre règles :

- S'immerger

- Accroître la longueur de flottaison
- Rendre régulier le plan de flottaison (obtenue par le roulis)
- Produire un effet bulbe (bras en avant tendu sous l'eau)

4.6. *Les forces propulsives*

- La propulsion est la force de sens opposé, égale ou supérieure à la résistance, qui résulte de l'action des propulseurs (main et Av bras en crawl) sur le milieu.
- Principe : prendre appui sur une masse d'eau consiste à rendre l'eau résistante par des mouvements segmentaires pertinents
- (cf 4 facteurs : Surface, Forme, Vitesse, Accélération).
- Une force n'est propulsive que si elle accélère le corps vers l'avant
- **PRINCIPE : prendre appui sur une masse d'eau consiste donc à rendre l'eau résistante par des mouvements segmentaires pertinents.**

4.7. *Facteurs d'efficacité propulsive* (d'après Chollet 1997)

Spatiaux

1. + Quantité de surface propulsive
2. + Profil des surfaces
3. + Orientation des surfaces
4. + Longueur du trajet des appuis
5. + Profondeur des appuis
6. + Coordination
7. 0 Forme des retours

Temporels

8. + Vitesse des appuis
9. + Rythme de déplacement des appuis
10. + Continuité temporelle du cycle
11. 0 Forme temporelle des retours
12. + Durée d'un cycle

5. NATATION, RESPIRATION, VENTILATION

Sur le plan de la ventilation, par rapport aux autres APS, la natation présente des caractères spécifiques :

- dans la nage, pour maintenir une orientation du corps propice au déplacement la tête est immergée totalement et la face ne s'émerge que sur des durées très brèves, la ventilation doit se coordonner à l'action des membres propulseurs,
- Les muscles mobilisateurs des segments propulseurs ont des insertions sur la cage thoracique qui doit elle-même être mobilisée par la ventilation

5.1. *Le système respiratoire et ses fonctions*

Les éléments du système :

- lieux d'échange gazeux : l'alvéole pulmonaire et le muscle
- le système de transport : artères et veines du système circulatoire
- le volume sanguin (réserve)
- la pompe (débit) : le cœur
- le soufflet (débit) : les poumons

Sa fonction : les échanges gazeux entre l'organisme et l'atmosphère

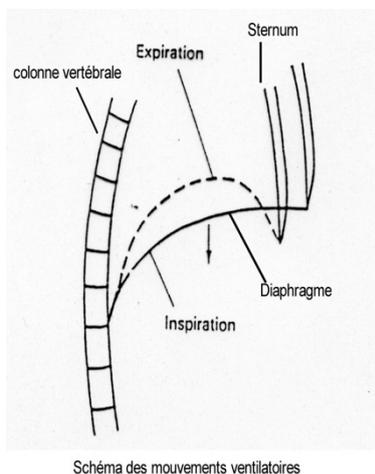
Contrairement à ce qui est généralement dit, la respiration ne se limite pas aux échanges gazeux intra pulmonaires. Par souci de clarification, on distinguera, la notion de ventilation et la notion de respiration. La ventilation désigne un courant d'air. La

respiration désigne l'ensemble des processus mis en jeu pour que les échanges gazeux puissent se faire entre les tissus de l'organisme vivant et son environnement. On parle donc de ventilation pulmonaire (mouvement d'air entre les poumons et l'environnement extérieur), de ventilation alvéolaire (mouvement d'air entrant et sortant au niveau des alvéoles). La respiration suppose que l'oxygène et le dioxyde de carbone soient échangés au niveau alvéolaire et au niveau tissulaire notamment musculaire. La respiration met donc en jeu le système cardiaque et circulatoire, en plus du système ventilatoire.

La mécanique ventilatoire du « soufflet »

Pour l'inspiration, le volume intra thoracique est augmenté par un abaissement du diaphragme et une élévation des côtes qui accroît le diamètre antéropostérieur et latéral de la cage thoracique. Au contraire pour l'expiration, le volume intra thoracique est diminué par une élévation du diaphragme et une réduction des diamètres avant arrière et latéral de la cage thoracique.

Ces variations de volume amènent des variations de pressions intra pulmonaires permettant les mouvements de sortie et d'entrée d'air.



Au repos le diaphragme s'élève et s'abaisse d'un centimètre permettant une ventilation de 250 cm³, à l'effort c'est de 10 cm qu'il varie.

Consommation en O₂ et manière de nager : Pour une même vitesse de nage, l'utilisation exclusive ou combinée des membres supérieurs et inférieurs nécessite une quantité d'oxygène variable.

Selon Counsilman, en crawl, le rendement du travail avec les bras est 2,34 fois supérieur au travail de jambes.

La résolution des difficultés respiratoires perçues (déséquilibre entre la consommation excessive et la capacité de transport et

d'échanges gazeux) passe par une modification de la manière de nager qui privilégiera l'action des membres supérieurs au meilleur rendement.

5.2. Quelques repères à propos de la ventilation

	Fréquence mvt/min	Amplitude en litre	Débit en l/min
Repos	10 à 12	0,5	5 à 8
Effort	50 à 60	4,2 à 4,7	Sédentaire : 80 l/min Sportif : 120 l/min
Augmentation	X 5	X 8 à 9	X 10 à 15

Au cours d'un effort, la dépense occasionnée par l'action des muscles ventilatoires peut représenter jusqu'à 10 % de la dépense énergétique totale.

D'après Cardelli, Chollet, Lerda 2001, les durées des phases du cycle ventilatoire du nageur sont estimées aux valeurs suivantes : l'apnée (10.83 %), l'inspiration (18.7 %), l'expiration (70.44 %). La durée des phases pour un nageur confirmé sur 100 m est de 0.17 s pour l'apnée, 0.18 s pour l'inspiration, de 0.95 s pour l'expiration, pour un nageur débutant toutes ces valeurs sont supérieures.

5.3. Les principes de la technique ventilatoire du nageur

	RESPIRATION USUELLE	RESPIRATION DU NAGEUR
Inspiration	Active	Passive, Aérienne, Brève, Buccale, en fin d'action propulsive, sans appui des membres supérieurs
Expiration	Passive	Active, Volontaire, Ample, Complète, Aquatique, Buccale
Apnée		

Le passage de la ventilation usuelle à la « ventilation du nageur » nécessite un long apprentissage et un entraînement.

6. Les TECHNIQUES : plongeon, virage, crawl

6.1. Le plongeon

Il consiste à se projeter en haut et en avant pour avoir une trajectoire aérienne longue et entrer dans l'eau comme un projectile, selon un angle favorable pour produire une trajectoire aquatique orientée d'abord brièvement vers le bas puis vers le haut et l'avant pour sortir à la surface loin du mur avec un maximum de vitesse horizontale. La posture du corps épouse puis détermine la trajectoire. Le corps est tonique et indéformable de l'extrémité des doigts aux orteils. La tête en hyperflexion est placée sous les bras qui eux sont en hyperextension, les mains sont placées l'une sur l'autre. La concavité est ventrale dans la phase aérienne, elle s'inverse et devient dorsale lors de la phase aquatique. La vitesse instantanée lors de l'entrée à l'eau est évaluée environ à 5 m.s⁻¹. L'articulation de l'épaule et les membres supérieurs jouent le rôle de « gouvernail de profondeur ».

6.2. Le virage

Le virage en natation consiste à changer de sens sur une même direction (sur un même axe de déplacement). Dans une épreuve de 400 m en bassin de 50 m, il y a 7 virages, l'augmentation de la durée du virage a des conséquences inévitables sur le résultat chronométrique final (un arrêt de 5 secondes à chaque virage augmente le temps de la performance de 35 sec ! Au contraire, un virage réussi dans lequel il y a continuité entre les actions de nage et le changement de sens, permet de gagner du temps, car la vitesse résultant d'une poussée sur un solide (le mur) est supérieure à la vitesse de nage.

Sept phases peuvent être repérées :

l'approche du mur, le déclenchement de la rotation du corps sur un axe, placement orienté et l'alignement du corps en immersion, la poussée au mur corps immergé, la phase du corps projectile qui se pilote par la posture, maintien de la vitesse par des actions des membres inférieurs, reprise de nage en surface.

6.3. Le crawl

C'est la solution technique utilisée actuellement par les nageurs dans toutes les épreuves de nage libre (épreuves dans lesquelles les contraintes portant sur la nage sont minimales). C'est sur un plan énergétique et chronométrique le mode de déplacement le plus efficace et efficient parmi toutes les techniques actuelles de nage sportive. Si l'on s'en tient à la natation de longue distance, de forme sportive ou de loisir, le crawl reste le mieux adapté à des déplacements en milieu naturel (vitesse, économie d'énergie).

Il s'agit ici de comprendre ses principes essentiels.

6.3.1. L'orientation du corps

L'orientation du corps est déterminée par la position relative des segments corporels. A cet égard la position de la tête et l'alignement des segments jouent un rôle déterminant dans l'orientation du corps dans la nage. Pour diminuer les freinages, le grand axe du corps et de la tête sont alignés ainsi que la plus grande partie des membres, confondus avec l'axe horizontal du déplacement. Le déplacement se fait en immersion compatible avec les contraintes (ventilation et retours des propulseurs) pour minimiser la résistance de vague. En dehors des phases inspiratoires, la tête est fixée, immergée, le regard à la verticale.

Le maintien de l'alignement de cet axe et son indéformabilité dans la nage sont primordiaux, ils nécessitent une activité tonique intense et régulée des muscles vertébraux ainsi que ceux de la ceinture abdominale.

Lors des inspirations, la rotation de la tête s'effectue en pivotant seulement autour de cet axe.

Les mouvements de rotation des épaules autour de cet axe facilitent le passage aérien d'un membre supérieur et la recherche avec l'autre d'appuis profonds. Le roulis des épaules est donc recherché dans la nage.

Les hanches pivotent également autour de cet axe facilitant la sortie des mains. Mais ce mouvement est limité par les battements alternés des membres inférieurs qui fixent relativement le bassin. Par leurs mouvements oscillatoires, les membres inférieurs ont un rôle stabilisateur et équilibrateur essentiel.

6.3.2. Les prises d'information

Les prises d'information permettent au nageur de se situer dans son environnement. C'est une nécessité pour piloter son corps dans l'espace du déplacement. Elles permettent de répondre aux questions : Où suis-je dans mon couloir de nage ? Quelle distance dois-je encore parcourir pour atteindre le mur du virage, de l'arrivée ? Où en sont les autres concurrents ? Contrairement aux stratégies perceptives usuelles, **le crawlleur ne regarde pas l'espace dans lequel il s'engage et se déplace.**

Pour se situer dans son espace de nage, le crawlleur utilise une autre stratégie indirecte ou plus intermittente. En effet l'espace de nage est balisé par des repères stables (lignes de fond), (lignes d'eau) qui perçus et interprétés donnent les indices suffisants pour se repérer. En raison des conséquences possibles sur l'orientation du corps, le redressement de la tête en avant est proscrit.

Mais le pilotage de son propre corps requiert aussi la gestion d'informations relatives aux placements et aux déplacements de ses segments corporels. Par rapport à l'axe du corps et l'axe de déplacement où rentre ma main ? Jusqu'où est-elle conduite ? Dans quel plan s'exerce ma poussée ? etc.....

Le sens tactile et la proprioception jouent ici un rôle décisif.

6.3.3. Les échanges ventilatoires

Emerger les voies respiratoires devient une nécessité dès que les distances ne sont plus franchissables sur la durée d'une apnée.

La respiration du crawlleur répond aux principes évoqués dans les points précédents. Pour que les freinages dans la nage soient les plus réduits, le corps est aligné horizontalement grâce à l'immersion de la tête. Le nez et la bouche du nageur sont dans l'eau la plupart du temps. Si

l'immersion rend impossible l'inspiration, elle n'est pas incompatible avec l'expiration. L'expiration est donc aquatique, elle peut s'effectuer par le nez, la bouche, ou la gorge. Elle est active pour vaincre la pression de l'eau.

L'inspiration pour ne pas déséquilibrer par sa durée est la plus brève possible, elle s'effectue bouche grande ouverte pour avoir le plus grand débit possible. Elle se situe en dehors de l'action propulsive d'un bras. La tête pivote autour de son axe en même temps que le coude du même côté sort de l'eau. La rotation se limite à la bouche qui émerge juste à la surface puis la tête se replace immédiatement après la prise d'air avant que la main n'effectue une nouvelle entrée dans l'eau.

La rotation de la tête perturbant momentanément l'équilibre de la nage, les meilleurs nageurs réduisent son degré et sa durée.

La fréquence des échanges dépend de la durée des épreuves. Lors d'épreuves courtes (50 m.) il y a très peu d'échanges, tandis que sur les épreuves longues la régularité et la fréquence des échanges se constatent sans être mécaniquement fixées.

La capacité d'inspirer indifféremment de chaque côté représente un atout pour construire la symétrie de nage et gérer les courses.

Chez le nageur confirmé, des apnées sont constatées, sans doute permettent-elles aux muscles moteurs du bras de trouver sur la cage thoracique les points d'appui nécessaires pour développer toute la puissance requise.

6.3.4. La propulsion

La propulsion est la capacité à accélérer le corps en avant. Le plus souvent le nageur commence son déplacement avec une vitesse initiale acquise à partir d'impulsions prises sur des appuis solides (départs et virages). C'est dans ces phases que la vitesse instantanée du nageur est la plus élevée. Mais il est freiné, décéléré, par la résistance de l'eau qu'il doit compenser à intervalle régulier par des impulsions prises sur des masses d'eau pour accélérer à nouveau son corps vers l'avant. **La vitesse instantanée du nageur n'est donc pas constante, elle varie au cours du cycle de nage.**

Donc passer à travers l'eau et prendre appui sur l'eau sont inséparables dans les actions de nage. En crawl, les impulsions sont produites par les actions alternatives des membres supérieurs. La distribution des poussées se fait à intervalles réguliers. Toutefois les retours des membres supérieurs vers l'avant rencontrent dans l'air une résistance négligeable. Ils peuvent donc être très rapides. De ce fait, les membres supérieurs ne fonctionnent pas en permanence en opposition.

Les membres supérieurs, en raison de leur grande mobilité et de leur capacité à s'orienter de manière pertinente, sont les organes propulseurs.

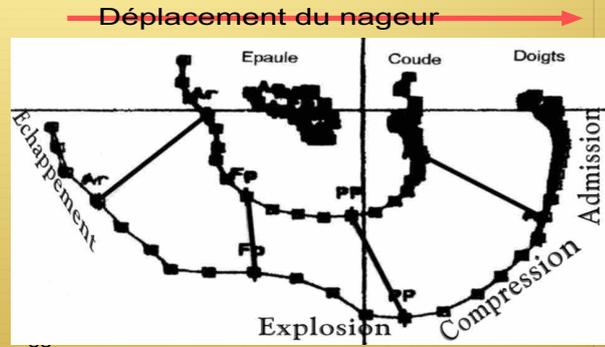
C'est donc à partir du train supérieur, qui dans la nage devient le train antérieur, que le nageur se tractera. (traction avant)

Mouvement du propulseur et phases de l'action d'un bras

- Le nageur se déplace de gauche à droite, la trajectoire de la main dans le plan vertical est relative au nageur (repère égocentré).

➤ On constate l'importante participation du mouvement de l'épaule qui est projeté en avant et vers le bas.

➤ Le déplacement de l'avant bras et de la main vers le bas est lent. On repère ensuite leur accélération réalisée dans les phases de compression et d'explosion.



Dans ce second schéma, ci-contre, le nageur se déplace de droite à gauche, la trajectoire de la main dans le plan vertical est combinée au déplacement du nageur. Le référentiel est dans ce cas exocentré (centré sur un point fixe extérieur au nageur).

Le nageur se déplace de droite à gauche et la trajectoire de la main dans le plan vertical est combinée au déplacement du nageur

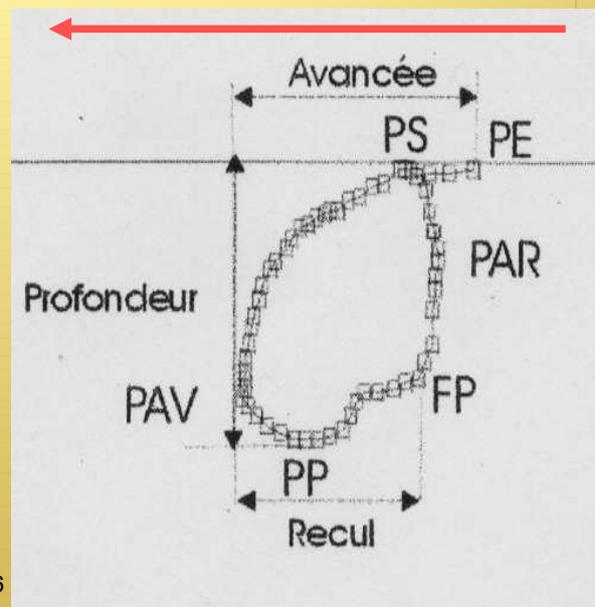
- De PE au point le plus avant (PAV) la main se déplace vers l'avant, c'est la partie aquatique de la fin du retour

- Au PAV, la vitesse horizontale est nulle, il y a changement de sens la main va se déplacer vers l'arrière

- De PAV à FP, le membre sup s'organise pour créer la masse d'appui qui sera intensément repoussée entre PP et FP :

Phase propulsive

- A partir de FP le propulseur doit sortir de l'eau, c'est le début de la phase de retour qui s'achèvera au niveau du point AV du cycle suivant



86

On pourra, par analogie, assimiler les phases de l'action d'un bras aux phases d'un moteur à explosion à quatre temps. L'admission du PE au PAV, la compression du PAV au PP,

l'explosion du PP au FP, l'échappement du FP au PE suivant. Au cours de l'admission, l'épaule sera projeté en avant et en profondeur, main et membre supérieur vont entrer dans l'eau en réduisant le plus possible les freinages, ils vont s'étendre et s'aligner pour accroître la longueur de flottaison et créer un effet bulbe. Au cours de la compression, main et avant bras vont se verticaliser, le coude restera haut, une pression vers l'arrière s'exercera par une accélération progressive sur une masse d'eau. Au cours de l'explosion, l'accélération se prolonge, main et avant bras sont projetés vers l'arrière avec la plus grande vitesse. Au cours de l'échappement, la pression sur l'eau cesse, la paume de la main se tourne vers l'intérieur, auriculaire vers le haut ; grâce à l'élévation de l'épaule, la montée du coude qui se fléchit, le membre supérieur va sortir au dessus de la surface. Par l'action de l'épaule, il sera alors tiré vers l'avant, le plus relâché possible. Puis l'entrée dans l'eau et l'admission seront conduites et contrôlées.

6.3.5 : REGLEMENT DE LA NATATION manuel FINA 2017 – 2021

SW 4 LE DEPART

SW 4.1 Pour les courses de Nage Libre, de Brasse, de Papillon et de 4 Nages Individuel, le départ doit s'effectuer par un plongeon. Au long coup de sifflet (article SW 2.1.5) du juge-arbitre, les nageurs doivent monter sur le plot de départ et y rester. A la commande " Take your marks " (" à vos marques " en français) du starter, ils doivent immédiatement prendre une position de départ

avec au moins un pied à l'avant des plots de départ. La position des mains est indifférente. Lorsque tous les nageurs sont immobiles, le starter doit donner le signal de départ.

SW 4.2 Le départ en Dos et dans les courses de Relais 4 Nages se fait dans l'eau. Au premier long coup de sifflet du juge-arbitre (article SW 2.1.5), les nageurs doivent immédiatement entrer dans l'eau. Au deuxième long coup de sifflet, les nageurs doivent retourner sans délai à leur position de départ (article SW 6.1). Lorsque tous les nageurs ont pris leur position de départ, le starter doit donner l'ordre " Take your marks ". Lorsque tous les nageurs sont immobiles, le starter doit donner le signal de départ.

SW4.3 Aux Jeux Olympiques, aux Championnats du Monde et dans les autres épreuves de la FINA, l'ordre " Take your marks " doit être donné en anglais et le départ doit être assuré par des haut-parleurs, montés sur chacun des plots de départ.

SW 4.4 Tout nageur partant avant le signal de départ sera disqualifié. Si le signal de départ est émis avant que la disqualification ne soit déclarée, la course continuera et le nageur ou les nageurs seront disqualifiés à la fin de la course. Si la disqualification est déclarée avant le signal de départ, le signal ne doit pas être donné, mais les nageurs restants doivent être rappelés, et le starter redonne le départ. Le Juge-arbitre reprend la procédure de départ à partir du long coup de sifflet (le second pour le dos) conformément à l'article SW 2.1.5.

Interprétation FINA :

Quand tous les nageurs sont immobiles (SW 4.1), tout nageur qui bouge avant le signal de départ doit être disqualifié si son mouvement est observé à la fois par le starter et par le juge-arbitre (SW 2.1.6). Si un dispositif de chronométrage vidéo est disponible (FR 4.7.3), il pourra être utilisé pour vérifier la disqualification.

SW 5 NAGE LIBRE

SW 5.1 La nage libre signifie que, dans une épreuve ainsi désignée, le nageur peut nager n'importe quel style de nage, sauf dans les épreuves de 4 nages individuelles ou de relais 4

nages, où la nage libre signifie tout style de nage autre que le dos, la brasse ou le papillon.
SW 5.2 Une partie quelconque du corps du nageur doit toucher le mur à la fin de chaque longueur et à l'arrivée.

SW 5.3 Une partie quelconque du corps du nageur doit couper la surface de l'eau pendant toute la course, sous réserve qu'il est permis au nageur d'être complètement submergé pendant le virage et sur une distance de 15 mètres au plus après le départ et chaque virage. A partir de ce moment-là, la tête doit avoir coupé la surface de l'eau.

7. TERMINOLOGIE

DENSITE : (Phys.) Rapport entre la masse d'un certain volume d'un corps homogène et celle d'un même volume d'eau à 4 °C.

FORCE : Toute cause capable de modifier le mouvement la direction, la vitesse d'un corps ou de le déformer.

Produit de la masse d'un corps par l'accélération que ce corps subit ($F = m.a.$) N (newton)

On peut effectuer une représentation vectorielle d'une force en précisant son point d'application, sa direction, son sens, son intensité; il s'agit alors d'une modélisation d'une action mécanique localisée ponctuellement.

MASSE : Quantité de matière d'un corps, rapport constant qui existe entre les forces qui sont appliquées à un corps et les accélérations correspondantes.

MASSE VOLUMIQUE : La masse volumique d'une matière correspond à la masse d'une unité de volume. Symbole μ . Unités: kg.m⁻³, g.cm⁻³

PESANTEUR : Force qui entraîne les corps vers le centre de la Terre. (Un corps qui tombe dans le vide et n'est soumis qu'à l'action de la pesanteur a un mouvement uniformément accéléré (loi de la chute des corps).

POIDS : Force due à l'application de la pesanteur sur les corps matériels ; mesure de cette force). Force exercée par un corps matériel, proportionnelle à sa masse et à l'intensité de la pesanteur au point où se trouve le corps. (Le poids d'un objet diminue légèrement du pôle à l'équateur. $P = mg$ (Newton)

POIDS APPARENT : Pour un corps partiellement immergé, on parle parfois de poids apparent en l'opposant au « poids réel ». Le poids apparent se calcule par la différence entre le poids du corps et la poussée d'Archimède qu'il subit. Par exemple une personne pieds au sol en petite profondeur immergée jusqu'à la taille aurait un poids apparent équivalent à 50 % de son poids sur terre, jusqu'à la poitrine, 30%, jusqu'au cou 10%.

PRESSIION : Force qui agit par unité de surface

VOLUME : Mesure de l'espace à 3 dimensions occupé par un corps.

Unités: le m³ = 10³ L = 10³ dm³

VISCOSITE : Grandeur relative aux fluides, la viscosité caractérise l'importance des frottements internes qui naissent pour s'opposer au glissement des couches fluides les unes sur les autres ou sur les parois, au cours des déformations de ce fluide, déformations qui résultent par exemple de son écoulement. Elle n'est bien définie que si l'écoulement est laminaire.