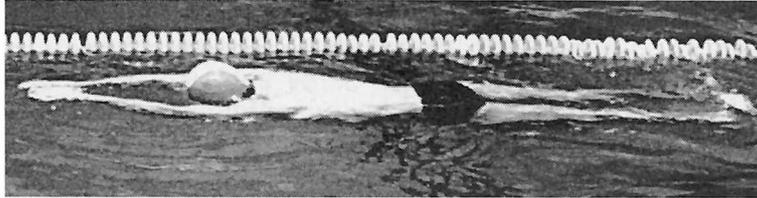


### 3. L'équilibre aquatique

---



L'équilibre aquatique correspond à l'état de repos du corps d'un sujet soumis aux forces de pesanteur équilibrées par celles de la poussée d'Archimède. Cet état de repos fait apparaître le caractère statique de l'équilibre. L'équilibre dynamique considéré comme un éternel rééquilibre, sera appelé « équilibration ».

#### Equilibre de nage : flottaison horizontale

L'équilibre de nage imposant une horizontalité du corps, la flottaison correspond donc pour l'homme à une position verticale statique, l'équilibre aquatique à une position horizontale statique et l'équilibration aquatique à un état horizontal et dynamique.

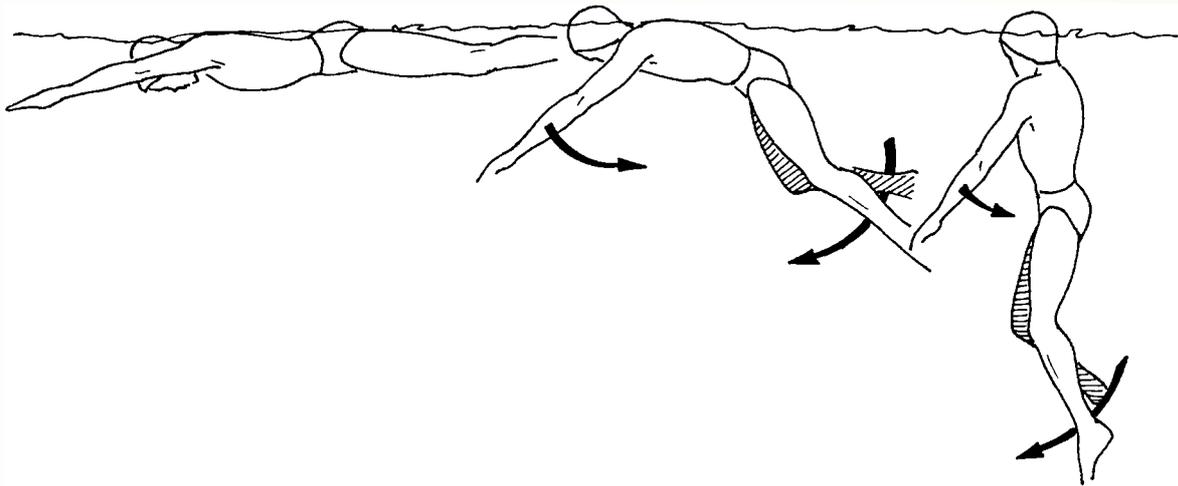
En ce qui concerne l'équilibre, il est possible d'en distinguer 3 sortes :

- l'équilibre stable : dans lequel le système reste dans la position dans laquelle il a été lâché ;
- l'équilibre instable : la position du corps est en mouvement de façon à rejoindre un équilibre stable ;
- l'équilibre indifférent, lorsque, quelle que soit l'orientation d'un corps au départ, celle-ci se conserve.

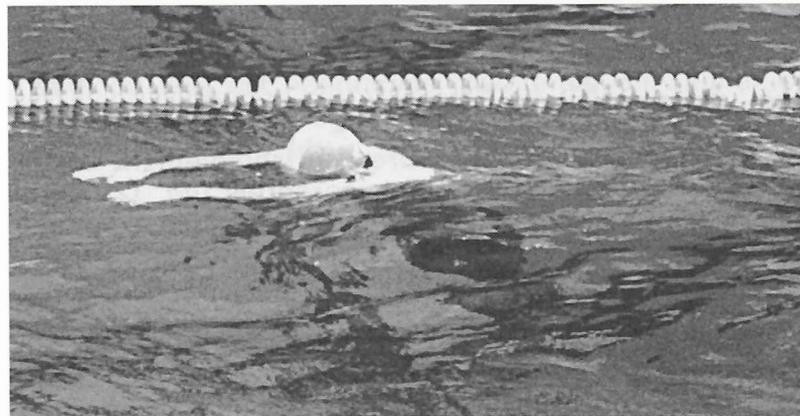
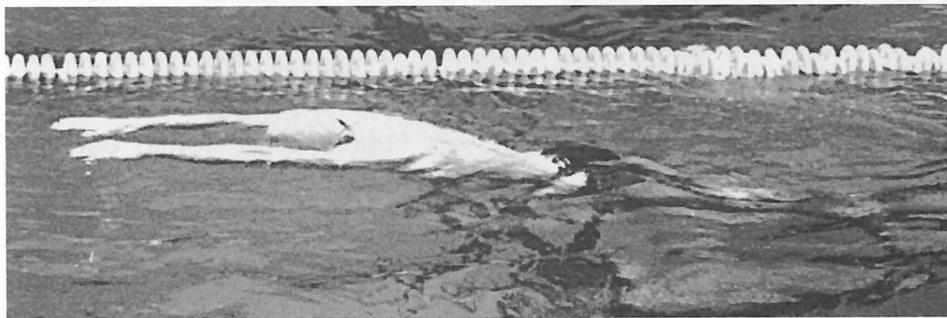
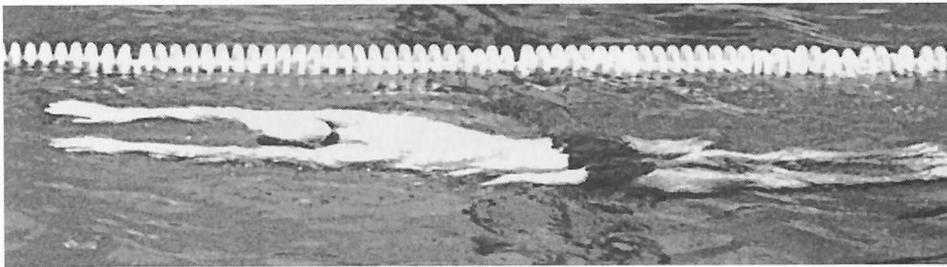
#### Couple de redressement

Dans le cas d'un corps humain en recherche d'équilibre dans l'eau, une particularité apparaît dans la mesure où il s'agit d'un organisme vivant donc déformable et hétérogène. Si l'on étudie ce corps humain, inerte dans l'eau, on s'aperçoit que les masses denses ont tendance à couler (membres inférieurs, membres supérieurs et tête) alors que les masses peu denses ont tendance à flotter (cage thoracique).

Un corps humain placé en position d'équilibre horizontal statique, sans action spécifique, va subir un couple de redressement dans la mesure où les deux points d'application des forces de pesanteur et d'Archimède ne sont pas confondus. Il se retrouvera en équilibre vertical (*fig. 9 et fig. 10*).



**Figure 9.** A partir de la position équilibrée horizontale, si le sujet est passif, un couple de redressement va amener progressivement le corps en équilibre à peu près vertical.

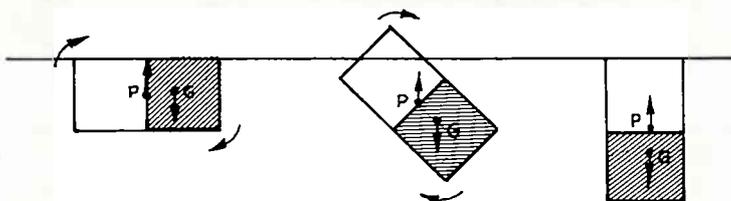


**Figure 10.** Même situation en réalité.

Ce couple de redressement est mis en action lorsque le corps ou l'objet est dissymétrique ou hétérogène. Il a pour effet de mettre en alignement vertical des centres de poussée et de gravité.

Pour expliquer ce mécanisme, prenons l'exemple d'un objet composé de deux cubes accolés : le premier, constitué de liège, le second de métal. Le volume total est donc un parallélépipède rectangle non homogène. Lorsqu'on dépose cet objet en surface dans l'eau horizontalement, il est mobilisé par le couple de redressement qui met en alignement vertical les deux centres : l'objet se retrouve alors en équilibre vertical (*fig. 11*).

Si nous schématisons : le cube en liège correspond pour l'homme à la cage thoracique et le cube en métal aux membres inférieurs.



**Figure 11.** Décalage des points d'application des forces de pesanteur et de poussée d'Archimède créant un couple de redressement.

## Niveau d'équilibre du nageur

Un test d'équilibre statique peut être mis en place chez le nageur, il consiste à évaluer le temps séparant le moment où le sujet est en équilibre statique horizontal de celui où il est en équilibre vertical ; plus ce temps est long, meilleur est l'équilibre horizontal du nageur. On remarque que la phase initiale du déséquilibre est la plus longue : le déséquilibre une fois enclenché entre alors dans une deuxième phase plus rapide ; le redressement est plus rapide lorsque la tête est en position relevée ou lorsque le corps est déjà initialement à l'oblique.

Il faut bien mettre en évidence que la recherche d'équilibre horizontal est une nécessité pour le sujet qui voudra nager efficacement dans la mesure où cette position est la seule position d'équilibre limitant les résistances à l'avancement dans le cas d'un déplacement envisagé.

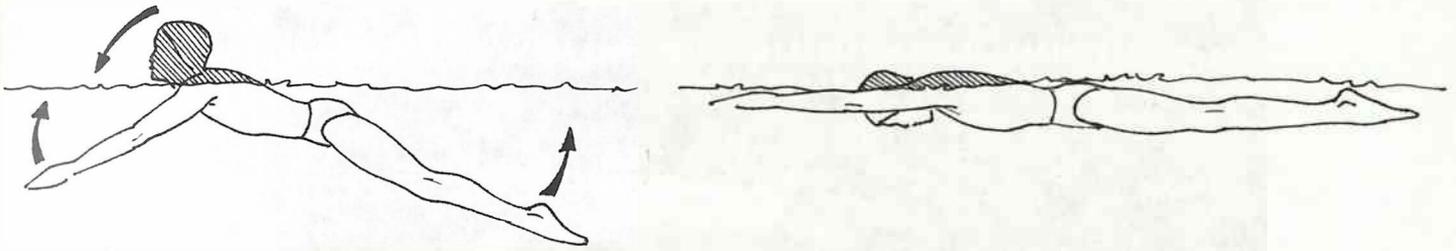
Mais cet équilibre horizontal est à construire, en effet, il devra être la conséquence d'actions volontaires spécifiques.

## Importance de la tête dans l'équilibre aquatique

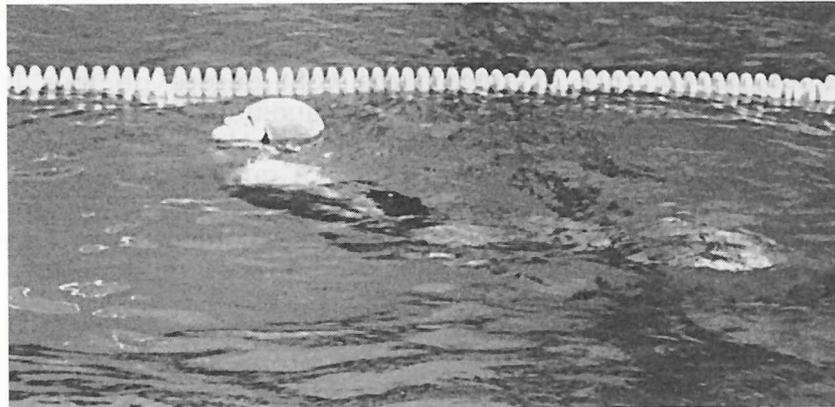
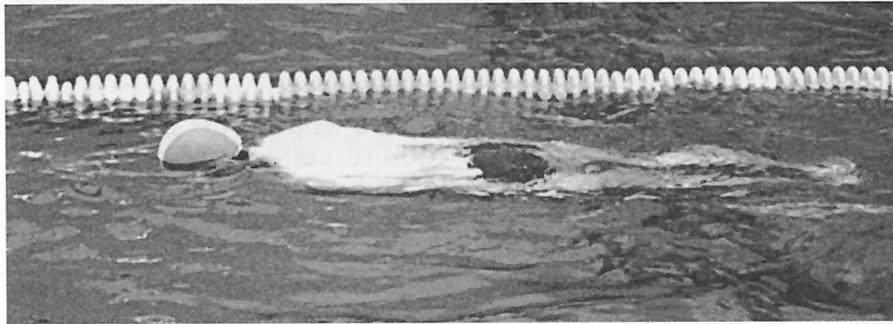
Une des premières actions à réaliser pour s'équilibrer horizontalement est la bascule de la tête afin d'aligner à l'horizontale les segments corporels (*fig. 12*). Cette bascule permet également comme nous l'avons vu précédemment de gérer le volume corporel émergé de manière à répartir celui-ci le plus centralement possible par rapport à l'ensemble corporel.

A l'inverse, le relèvement de la tête va accélérer le processus de redressement vertical (*fig. 13*).

Cette bascule, dans le cas de l'équilibre ventral, va avoir des conséquences sur la respiration, dans la mesure où les voies respiratoires seront alors immergées. Le

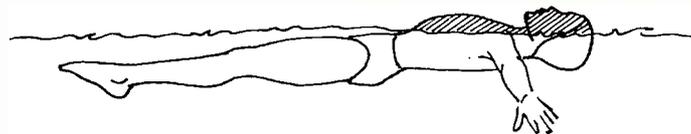


**Figure 12.** Bascule de la tête permettant la remise en équilibre horizontal.

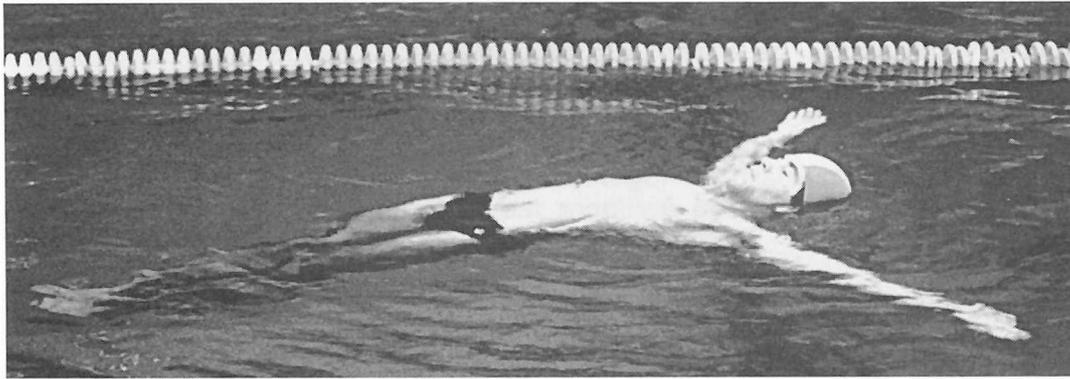


**Figure 13.** Le relevé de la tête occasionne rapidement un effet de redressement vertical.

problème de l'équilibre statique durable ne peut être résolu que grâce à un équilibre dorsal (« la planche ») qui permet aux voies respiratoires d'être maintenues hors de l'eau. La tête est néanmoins maintenue en alignement horizontal pour les raisons déjà évoquées, la partie occipitale est franchement immergée, les oreilles externes en immersion (*fig. 14*).



**Figure 14.** En équilibre dorsal la respiration devient possible dans la mesure où les voies respiratoires sont émergées.



**Figure 15.** Ecartement des bras pour améliorer latéralement l'équilibre dorsal.

Dans le cas de l'équilibre dorsal, une autre source de déséquilibre peut intervenir : la rotation latérale. Pour éviter ou réduire celle-ci, la position judicieuse des bras sera, comme pour l'équilibriste, écartée latéralement (*fig. 15*).

Dans la mesure où, dans l'équilibre statique, ventral ou dorsal, le corps est horizontal et où le segment céphalique (tête) est dans l'alignement corporel, la position de ce segment est modifiée par rapport aux repères habituels. Des conséquences sensorielles vont alors intervenir. En effet, la tête renferme les organes récepteurs sensoriels permettant le contrôle de la motricité humaine. Le rôle essentiel de ce segment céphalique dans la régulation de la motricité a été démontré par de nombreuses études (Chollet, 1981).

Les modalités de contrôle extéroceptives vont perdre de leur importance en faveur des modalités proprioceptives. En effet, l'audition du fait de l'immersion des oreilles externes va être sensiblement diminuée de même que la vision, du fait de l'immersion des yeux dans le milieu aquatique. La qualité de la prise d'information visuelle va être réduite (voire même annulée dans le cas de débutants fermant les yeux) dans la mesure où l'œil est directement en contact avec l'eau, ce qui ne permet que des perceptions visuelles floues. Le port de lunettes spécialement conçues pour les piscines limite cet inconvénient.

En revanche, le référentiel vestibulaire augmente très sensiblement son importance dans l'équilibre aquatique. Cette modalité proprioceptive aussi bien chez les quadrupèdes que chez les bipèdes permet aux « fils à plomb » que sont nos oreilles internes d'assurer une fonction basale d'orientation et de stabilisation de la tête dans le champ des forces de gravité (Paillard, 1976). Les deux appareils vestibulaires situés dans le labyrinthe de l'oreille interne, sont composés d'une part d'un système dynamique sensible aux accélérations angulaires, c'est le système ampulaire (canaux semi-circulaires) et d'autre part des organes otolithiques (sacculé et utricule) sensibles à la position dans l'espace ; ce sont eux qui jouent le rôle essentiel d'information statique.

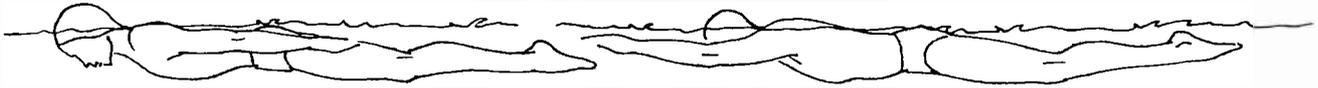
La régulation motrice de l'équilibre statique de l'extrémité céphalique va également être liée au rôle proprioceptif des récepteurs situés au niveau de la nuque.

## **Autres facteurs de l'équilibre aquatique**

Pour pouvoir être équilibré dans l'eau, en position horizontale, il faudra donc, en plus des facteurs précédemment énoncés, être tonique pour solidariser l'ensemble des segments autour du tronc. D'autre part, toute partie du corps laissée hors de

l'eau sera sujette à la force de pesanteur, mais ne sera plus sujette à la poussée d'Archimède (fonction du volume d'eau déplacé).

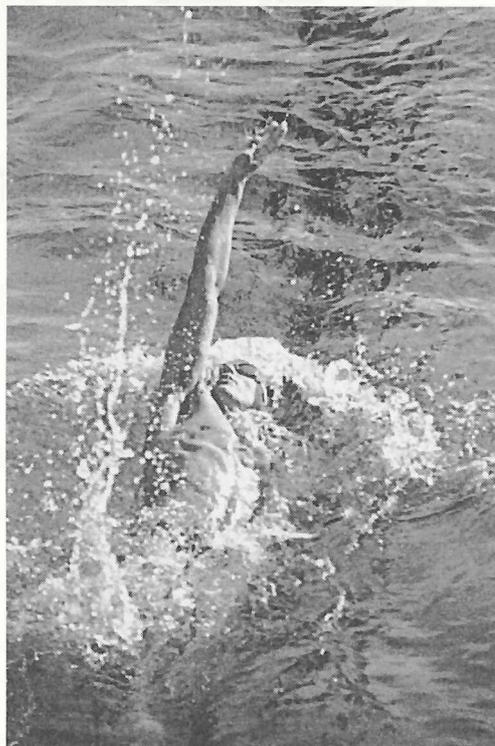
Dans le cas où l'équilibre est mal réalisé pour un corps immergé et tonique mais dont les bras sont positionnés le long des cuisses, il est possible de rechercher un meilleur équilibre en plaçant les bras dans le prolongement du corps. Ceci permettra de mieux répartir les masses denses par rapport aux masses peu denses (membres inférieurs d'un côté de la cage thoracique et membres supérieurs et tête de l'autre) (*fig. 16*).



**Figure 16.** Amélioration de l'équilibre statique horizontal par le placement des membres supérieurs dans le prolongement du corps.

## 4. L'équilibration aquatique

---



Si le concept d'équilibre revêt un caractère statique, l'équilibration au contraire est une notion dynamique « c'est la fonction grâce à laquelle l'homme maintient à tout moment son équilibre » (Gribenski 1980). Cette fonction dynamique peut donc avoir comme but la récupération d'un équilibre détruit, il s'agit donc d'une fonction de rééquilibrage actif.

Dans le milieu aquatique, du fait de l'absence de point d'appui fixe et du caractère déformable du corps, la fonction d'équilibration va être essentielle, quelles que soient les positions du corps en mouvement dans l'espace aquatique.

Les premiers mécanismes d'équilibration seront d'abord liés au maintien du positionnement horizontal du corps qui, nous l'avons vu, ne peut être totalement passif, mais également liés à la récupération des déséquilibres dus aux mouvements de nage : il s'agit alors de l'équilibration dynamique.

### **Relation équilibration et respiration**

L'analyse de la rééquilibration sera dans un premier temps étroitement associée aux différentes formes de déséquilibre. Un des premiers déséquilibres statiques est lié à la prise d'inspiration. En effet, la durée de l'équilibre horizontal ventral est

fonction des capacités respiratoires du sujet. Dans la mesure où la tête est immergée, elle interdit provisoirement l'inspiration. Cette phase respiratoire lorsqu'elle se réalise, a des conséquences sur l'équilibre car le relevé de la tête nécessaire à la prise d'air détruit partiellement l'alignement corporel et son horizontalité (*fig. 17*).

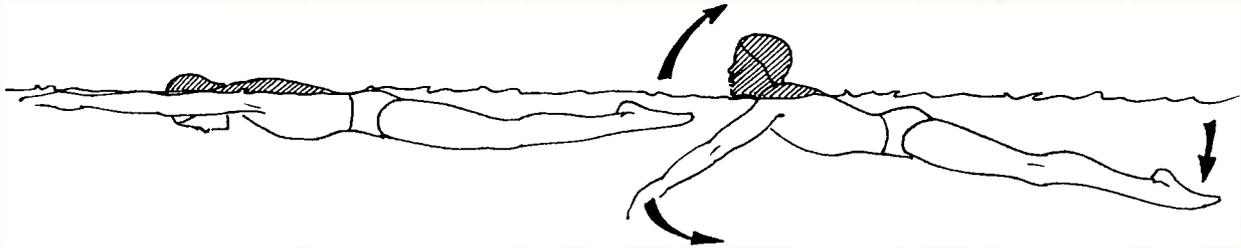


Figure 17. Mouvements de redressement liés à la prise d'inspiration.

Chaque prise d'inspiration devra donc être suivie d'un mouvement actif de flexion de la tête rétablissant l'équilibre provisoirement détruit et ceci en cherchant à replacer correctement les segments corporels mobilisés pendant cette phase respiratoire.

D'autre part, la respiration, sauf dans le cas de la nage dorsale où les voies respiratoires sont émergées, sera donc un élément perturbateur important de l'équilibre. Une contradiction apparaît ainsi : plus on respire et plus on détruit l'équilibre de nage par la modification de la position de la tête, mais plus on respire efficacement, plus on alimente en oxygène les muscles mis en jeu dans l'action, leur permettant une efficacité maximale. Ceci montre que la respiration ne doit pas être un élément laissé au hasard mais organisé en fonction d'un certain nombre de facteurs. Le nombre d'inspirations sur un parcours devra être optimal, c'est-à-dire qu'il doit permettre un apport suffisant d'oxygène mais déséquilibrer le moins possible le corps. Ce qui implique l'efficacité de chaque cycle respiratoire où l'inspiration devra être la plus complète possible.

Un aspect montrant l'importance de la réduction du temps d'inspiration est directement lié à l'équilibre : pour créer le moins de perturbations, comme il a été dit, l'inspiration devra être très brève. Cette brièveté a pour but de limiter dans le temps la diminution de la poussée d'Archimède et le déséquilibre dynamique dû à la sortie de l'eau d'une partie ou de la totalité de la tête. D'autre part, le moment choisi pour réaliser cette inspiration ne sera pas laissé au hasard ; il se fera à la fin d'un trajet moteur, quelle que soit la nage.

## Relation équilibration et prise d'information

La prise d'information visuelle va également être l'objet de déséquilibre. Rappelons que la prise d'information dans le milieu aquatique est tout à fait spécifique par rapport aux actions habituelles. La prise d'information principalement visuelle, floue, doit renseigner le nageur en utilisant des repères indirects (par exemple, le nageur se déplaçant vers l'avant regarde à 90 degrés sous lui les lignes de fond de la piscine, conçues pour le renseigner sur sa position dans l'espace du bassin).

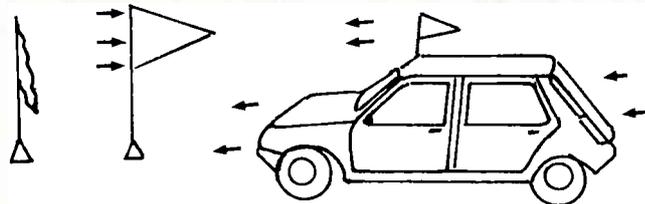
Cette prise d'information visuelle pose pourtant un certain nombre de problèmes liés à l'équilibration : on s'aperçoit particulièrement chez le nageur débutant mais aussi au stade suivant, que la sortie de la tête de l'eau, perturbant l'équilibre, n'est pas due au seul fait de prendre une inspiration, mais aussi, et dans certains cas surtout, au fait de prendre une information visuelle. Il est aisé de s'en apercevoir dans certains cas en demandant aux nageurs en question, de fermer les yeux chaque fois qu'ils sortent la tête de l'eau. On s'aperçoit alors que la sortie de la tête, justifiée uniquement par l'inspiration peut être nettement moins accentuée qu'auparavant.

## Relation équilibration et propulsion

Une autre action de rééquilibrer est associée aux conséquences déséquilibrantes mais également rééquilibrantes du déplacement du corps dans le milieu aquatique. L'expérience montre qu'un drapeau qui tombe sans vent se maintient lorsque le vent souffle. Il en est de même lorsque sans vent ce drapeau est mobilisé à une grande vitesse (*fig. 18*).

Les pieds du nageur à l'arrêt nous l'avons vu, ont tendance à tomber au fond. Par contre, lorsque ce nageur est tracté vers l'avant, il subit les résistances de l'eau qui ont tendance à redresser ses membres inférieurs (*fig. 19*).

Cette propulsion avant peut être due soit à une traction extérieure (exemple perche tirée du bord par un maître nageur) mais également peut être provoquée par des actions propulsives des membres antérieurs (c'est par exemple le cas d'un crawl bien réalisé). Il est également possible que la vitesse du corps faisant remonter les membres inférieurs soit provoquée par un plongeon ou une poussée au mur vers l'avant.



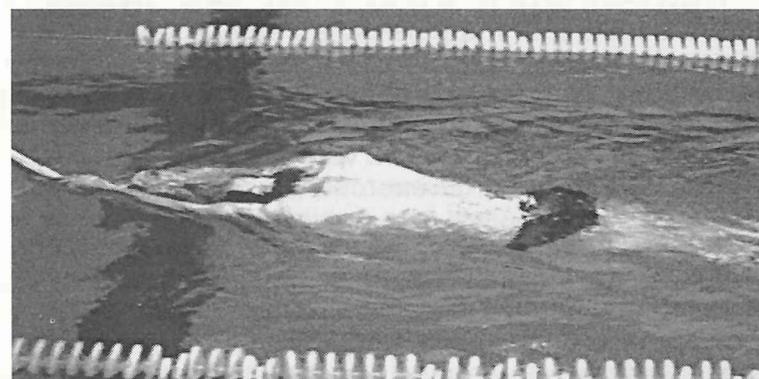
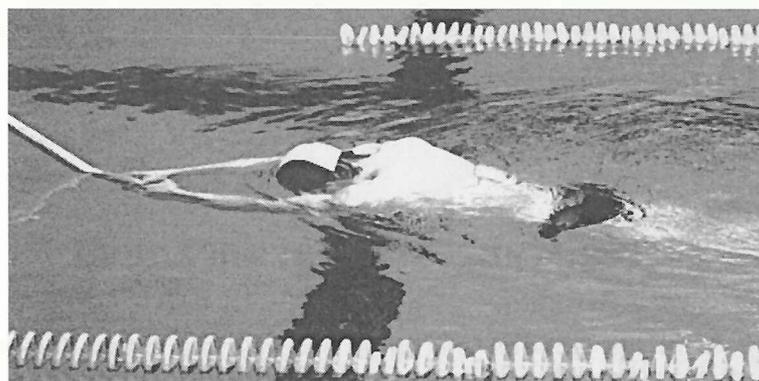
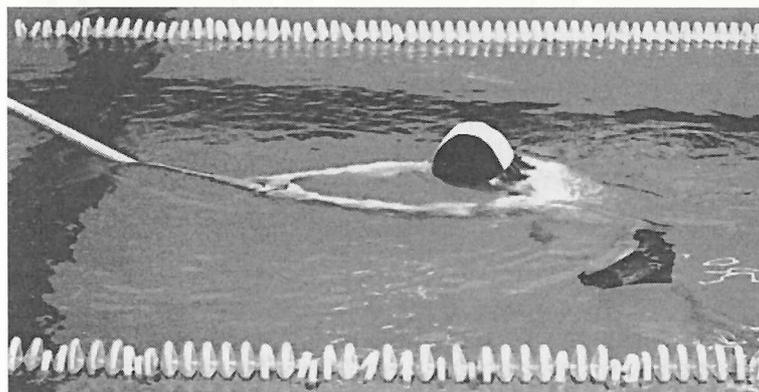
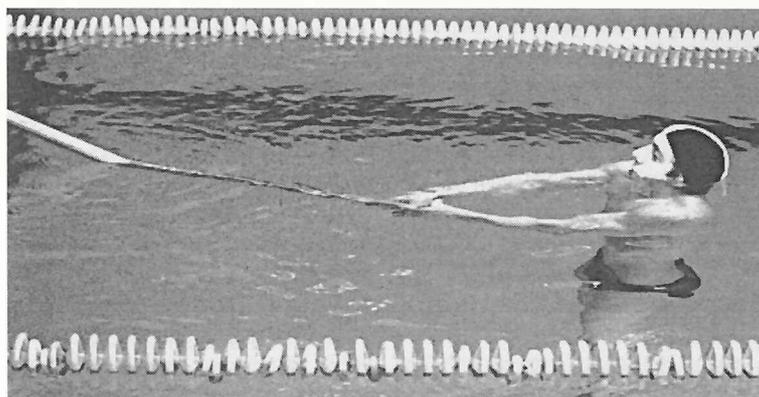
**Figure 18.** Réactions d'un drapeau soumis à une force extérieure (vent) ou à une mobilisation (déplacement).

## Équilibration active

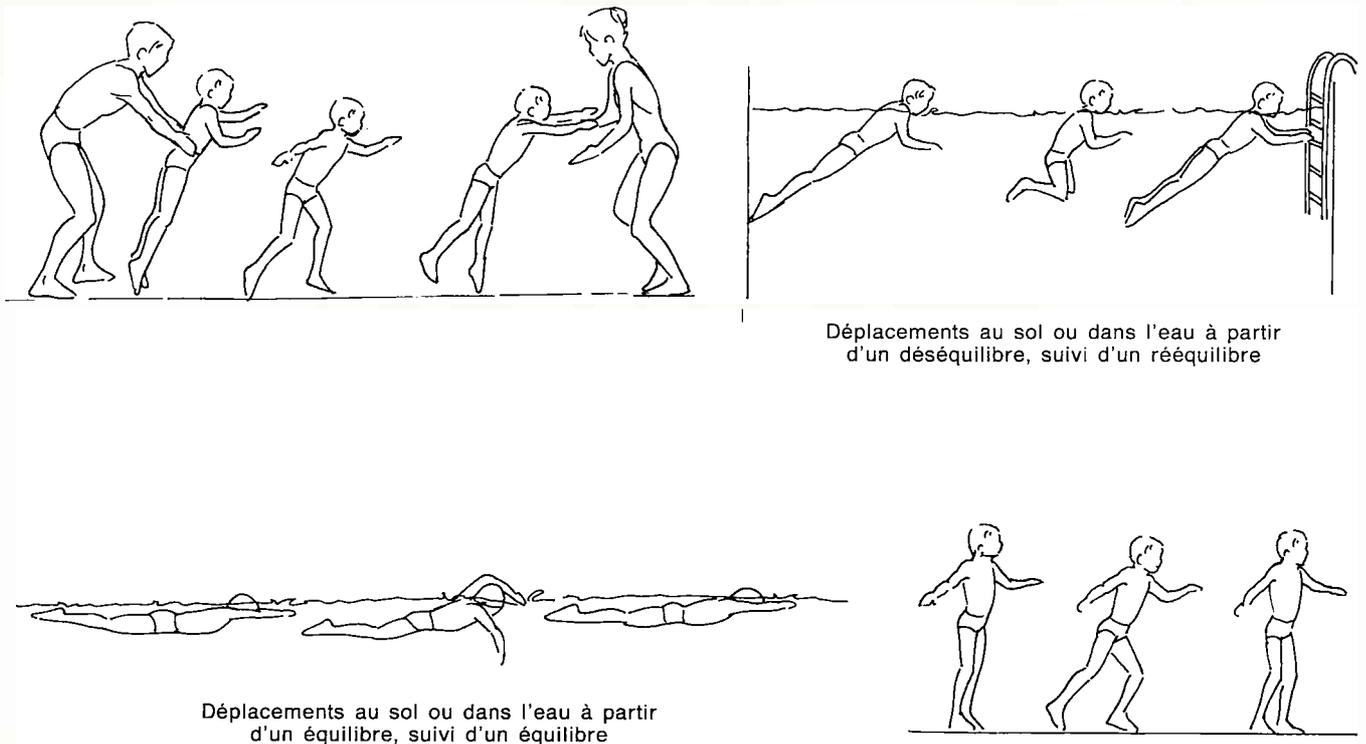
Il apparaît donc, que ce que l'on appelle une glissée ventrale (ou coulée ventrale) c'est-à-dire une poussée du bord, corps à plat, soit une action dont l'équilibre est facilité par une part active de l'eau. Si lors d'une stabilisation en équilibre statique les segments corporels sont seuls à intervenir activement, l'équilibre horizontal est pour sa part plus complexe.

A ce propos une définition originale de « savoir nager » peut être proposée « c'est, à partir d'un équilibre statique volontaire réalisé de manière autonome, une suite de mobilisations segmentaires visant à déplacer le corps dans l'élément aquatique, avec la capacité de terminer ce déplacement en équilibre stable » (*fig. 20*).

En effet, lorsque l'enfant réalise ses premiers pas, ses parents sont très fiers d'affirmer très tôt que celui-ci sait « marcher », même lorsque ces premiers pas sont la récupération d'un déséquilibre provoqué par le père au départ. Ces pas de rééquilibrer seront d'ailleurs le plus souvent suivis d'un rattrapage par la mère à l'arrivée. Il en est de même dans l'eau : en effet, on ne peut pas accepter que « savoir nager » soit se déplacer en éternel déséquilibre dans le milieu aquatique, par exemple à partir d'un déséquilibre par poussée du bord, terminé par une récupération au mur ou à l'échelle.



**Figure 19.** Redressement à l'horizontale du corps dû à une force tractant le corps horizontalement vers l'avant.



**Figure 20.** Savoir nager comme savoir marcher nécessite une autonomie complète du sujet agissant.

## Équilibration et résistances à l'avancement

En ce qui concerne les actions de nage proprement dites, les mécanismes de rééquilibration sont également étroitement liés aux réductions des résistances à l'avancement.

Un corps équilibré utilisant des appuis dans l'eau se déplace dans une direction opposée à celle de ses appuis : s'il pousse vers le fond, il a tendance à remonter par rapport au niveau de l'eau, mais alors la poussée d'Archimède diminue puisqu'une partie du corps sort de l'eau, ce qui a pour effet une limitation importante de cette action. Dans le cas d'une poussée vers l'arrière le corps va donc avancer et la limitation sera fonction de la force exercée par rapport à la résistance du corps à l'avancement.

Une liaison très importante apparaît entre l'équilibre et le déplacement : pour aller à la même vitesse, un individu ayant un meilleur équilibre dépensera moins d'énergie qu'un autre ; il pourra donc nager plus longtemps et s'il a la même propulsion, avec un meilleur équilibre, il ira plus vite.

Pour augmenter sa vitesse, le nageur a le choix entre diminuer sa résistance à l'avancement, augmenter la propulsion efficace, ou utiliser une combinaison de ces deux facteurs.

A titre d'exemple, le passage aérien dans le retour du bras en crawl (technique de nage libre), se justifie par la réduction des résistances à l'avancement. En effet, pour reprendre une action propulsive après la phase sous-marine, un ramené de bras sous l'eau provoquerait des résistances à l'avancement qui n'existent pas lorsque le retour du bras est réalisé hors de l'eau. Par contre, si l'avantage de ce retour aérien se justifie pleinement pour un nageur efficace, lorsque la vitesse du nageur est très faible ou lorsque celui-ci a un équilibre peu élaboré, la sortie d'un bras de l'eau risque à l'inverse de provoquer un déséquilibre important et à vitesse très faible, l'équilibre statique étant dominant, cette sortie du bras de l'eau va réduire la quantité immergée et réduire pour un temps l'action de la poussée d'Archimède.

En ce qui concerne les mécanismes de rééquilibrage liés au déplacement du corps dans l'eau, il apparaît dans la nage libre (où la technique utilisée est le crawl) que les membres inférieurs jouent un rôle essentiel de rééquilibrage. En effet, alors qu'à vitesse de nage élevée, il a été démontré que le battement de jambes n'avait que peu, voire pas d'action propulsive (Counsilman, 1975), pourquoi le nageur de haut niveau bat-il des jambes? Il utilise les actions de celles-ci pour rétablir l'équilibre dans les trois plans de l'espace. Premièrement, afin de remonter les pieds à la surface (réduction du tangage). Deuxièmement, afin d'éviter les oscillations latérales dues aux mouvements alternés des bras (réduction du lacet). Troisièmement, pour réduire le roulis longitudinal lié à l'enfoncement d'un bras propulsif et au dégagé de l'autre bras durant son retour aérien.

Ces exemples font apparaître clairement que les lois et leurs conséquences pratiques ne sont pas les mêmes en statique et en dynamique, mais également que de très nombreux paradoxes compliquent l'analyse de l'activité natation.

Si l'on considère la tâche complexe de nager, il est alors possible de subdiviser cet ensemble en sous-tâches : s'équilibrer, s'organiser par rapport aux résistances rencontrées, assurer les échanges respiratoires, s'informer pour se diriger et se déplacer, donc se propulser (Catteau et Garoff 1980).

Il apparaît à l'étude que l'équilibre corporel est hiérarchiquement et chronologiquement le premier problème moteur à résoudre. Mais dans une perspective de déplacement aquatique efficace, il ne peut pas être longtemps isolé des autres facteurs de la natation.

## Comparaison des différentes sources de déséquilibre avec les mouvements de coque d'un bateau

Pour Gutelle (1979), les mouvements d'une coque de bateau se définissent par des translations et des rotations selon et autour de trois axes de référence (*fig. 21*) :

- le roulis et le cavalement sur l'axe longitudinal x,
- le tangage et l'ambardée sur l'axe transversal y,
- le lacet et le pilonnement sur l'axe vertical z.

Il est également possible de situer ces mouvements combinés selon les trois plans de références (plans vertical-longitudinal xz, vertical-transversal yz et horizontal xy).

Chez le nageur, l'absence de terminologie pour caractériser les mouvements de déséquilibre amène le plus souvent à des erreurs d'analyse. La notion d'oscillation, par exemple, caractérise tout autant le roulis que le lacet. Il peut alors être intéressant d'utiliser la terminologie précédente pour caractériser les mouvements de déséquilibre du nageur (*fig. 22*).

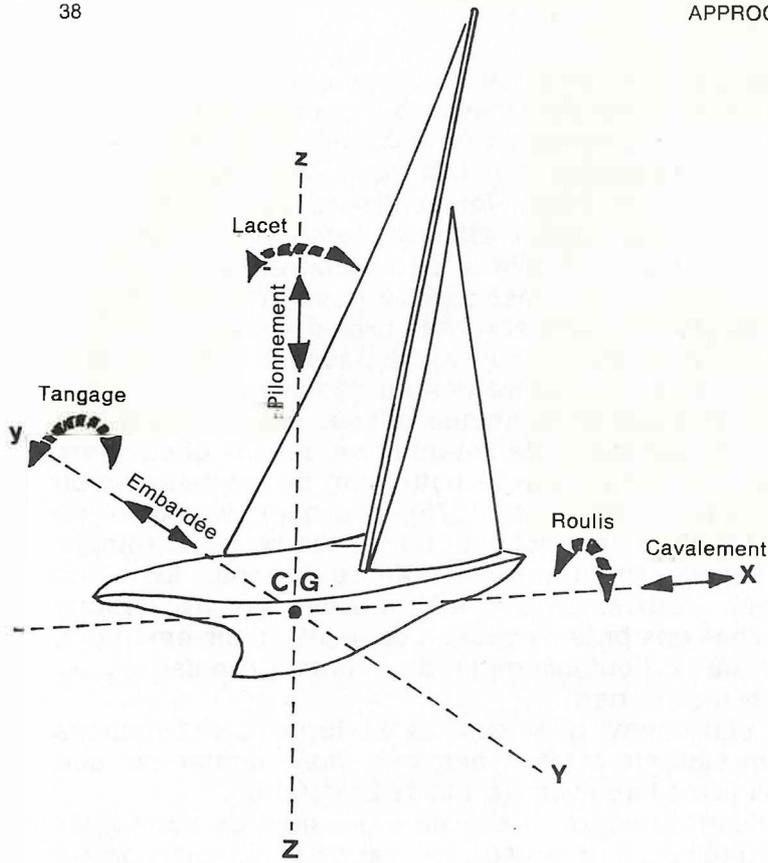


Figure 21. Definition des mouvements d'un voilier selon ses trois axes de références (d'après Gutelle, 1979)

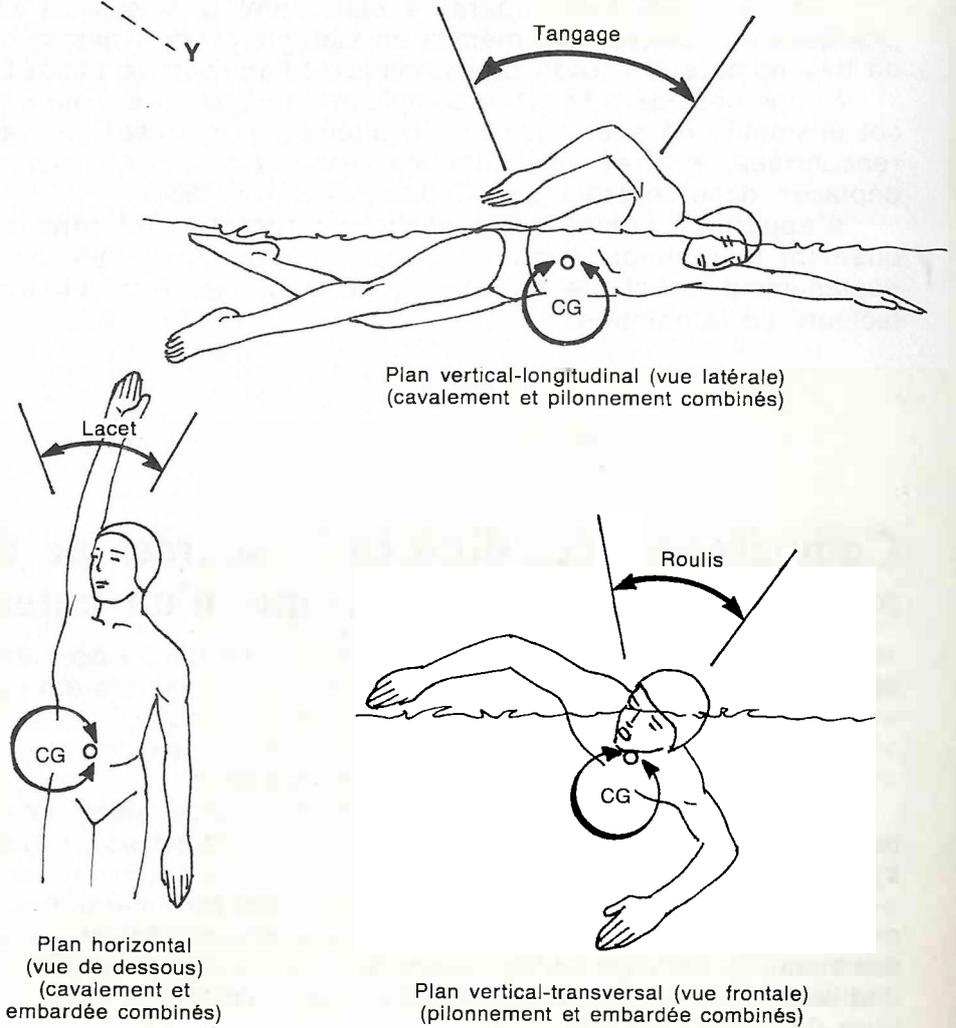


Figure 22  
Mouvements de déséquilibre du nageur selon ses trois plans de référence.