

L'aisance aquatique : Un éclairage biomécanique de la facilité à agir dans le milieu aquatique

L'aisance aquatique peut se définir en fonction des contraintes et de l'objectif de mouvement à atteindre (et éventuellement du cadre institutionnel). En effet, selon le modèle Newell (1986) être compétent, c'est être capable de s'adapter à des interactions de contraintes qu'il divise en 3 catégories (figure 1): les caractéristiques propres à l'individu (sa densité), les buts qu'il poursuit dans une tâche (chercher à inspirer, nager de manière économique ou nager vite) et les contraintes du milieu (densité, viscosité, température, ...)

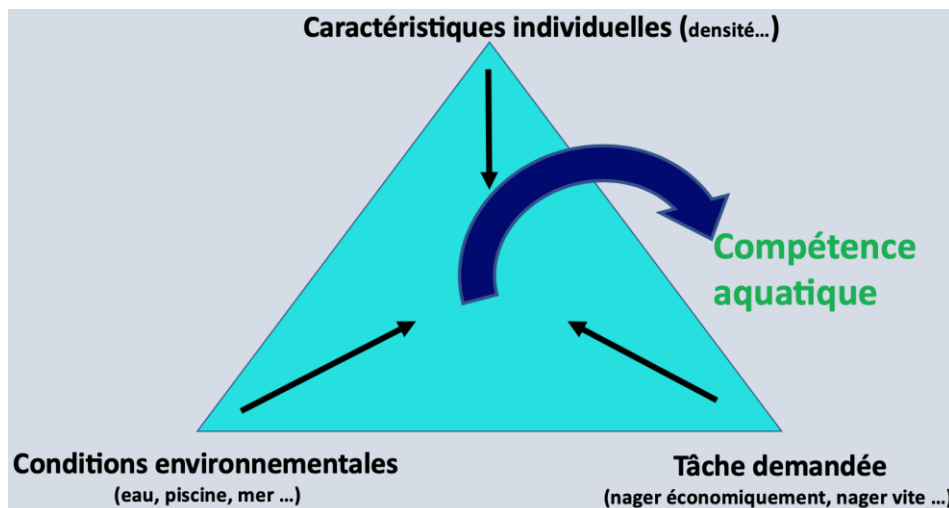


Figure 1 : Le modèle adapté de Newell de la théorie des systèmes dynamiques.

Etre compétent c'est donc savoir « jouer » avec l'ensemble de ces contraintes.

S'il s'agit de nager vite (diminuer les traînées et améliorer la propulsion), l'aisance aquatique peut être associée au coût énergétique (i.e. la dépense d'énergie par unité de parcours pour une vitesse constante donnée). Celui-ci peut varier d'environ 50 % entre un nageur débutant et un nageur confirmé (Di Prampero, 1983). Cette différence s'explique par une technique de progression plus économique, ce qui permet d'atteindre des vitesses plus élevées pour la même puissance métabolique.

Ma contribution se centre sur les interactions entre les contraintes individuelles anthropométriques, les propriétés du milieu aquatique et la nécessité d'assurer les échanges respiratoires.

En ce qui concerne **les enfants de 4-6 ans**, il ne s'agit donc pas de nager vite mais plutôt de s'engager dans le milieu aquatique. Choisir de s'y confronter sans artifice suppose le franchissement « d'obstacles » qui permettent de s'en soustraire à **moindre coût**. En effet, le séjour dans l'eau reste toujours subordonné à la nécessité d'assurer des échanges respiratoires. Ce risque encouru et parfois délibérément recherché et le souci d'engagement

en autonomie complète constituent la signification profonde et l'essence même de l'aisance aquatique (Sidney & Pelayo, 2004).

Quels sont alors les **obstacles biomécaniques** qui s'opposent à l'aisance aquatique ?

La biomécanique est la science qui étudie les forces internes et externes agissant sur le corps humain et les effets produits par celles-ci.

Quand l'individu s'immerge, il y a une redistribution des forces agissant sur son corps. Sur terre, l'homme est soumis principalement aux forces gravitationnelles (son poids) et aux réactions du support (le sol en général). Quand il ne bouge pas, ces deux forces s'annulent. Dans l'eau, la réaction du support est remplacée par la poussée d'Archimède. L'état d'équilibre résultant de l'application des forces de pesanteur au centre de gravité et de la poussée d'Archimède au centre géométrique du corps immergé définit alors la notion de **flottabilité**. Si la densité d'un corps immergé est plus faible que la densité du liquide, le corps flottera ; si sa densité est plus grande, le corps coulera. La densité du corps humain varie d'un individu à l'autre et, par conséquent, nous n'avons pas tous la même flottabilité. *Pour des enfants de 4-6 ans dont le corps est essentiellement constitué de matières dont la densité est inférieure à 1 (densité minérale osseuse < 0,9 pour les enfants de moins de 6 ans (van der Sluis et al., 2002), la flottabilité sera positive.* En outre, en phase d'inspiration complète, le volume thoracique ainsi agrandi procure une plus grande flottabilité : la masse reste la même, mais le volume corporel est un peu plus grand (pour 1l d'air inspiré, la poussée d'Archimède augmente d'environ 10N soit 1 kg). Ainsi, il est possible de profiter d'une plus grande poussée de l'eau. A ce stade, l'expiration forcée recommandée à des niveaux de pratique supérieurs n'est assurément pas une bonne consigne car la densité du corps diminue sensiblement. La flottabilité devient alors négative.

Si l'enfant tombe à l'eau habillé (origine récurrente de noyade), la variation de la porosité du tissu, du volume des vêtements ainsi que le poids des chaussures, des ceintures ou d'autres équipements portés sur le corps ont une influence marquée sur la flottabilité. Le port de vêtement procure une aide dans les premiers instants (les habits emprisonnant l'air). Par contre, une fois complètement imbibés, les vêtements deviennent un poids supplémentaire (jusqu'à 10N) et diminuent la flottabilité. De plus, il ne fait aucun doute qu'une fois émergés (signes d'aquastress et/ou retour aérien des bras lors de déplacement), les vêtements mouillés sont lourds et accentuent fortement l'influence du poids du corps au détriment de la poussée d'Archimède et donc de la flottabilité.

Lorsqu'on essaie de **se maintenir allongé** à la surface de l'eau, les jambes ont tendance à couler. Il en est ainsi car le centre de gravité du corps ne coïncide pas avec le centre de poussée (centre de volume). La force de gravité et la poussée d'Archimède sont parallèles mais de sens contraire. Le couple de forces ainsi créé a tendance à faire basculer les jambes jusqu'à ce que les deux forces s'équilibrent (figure 2).

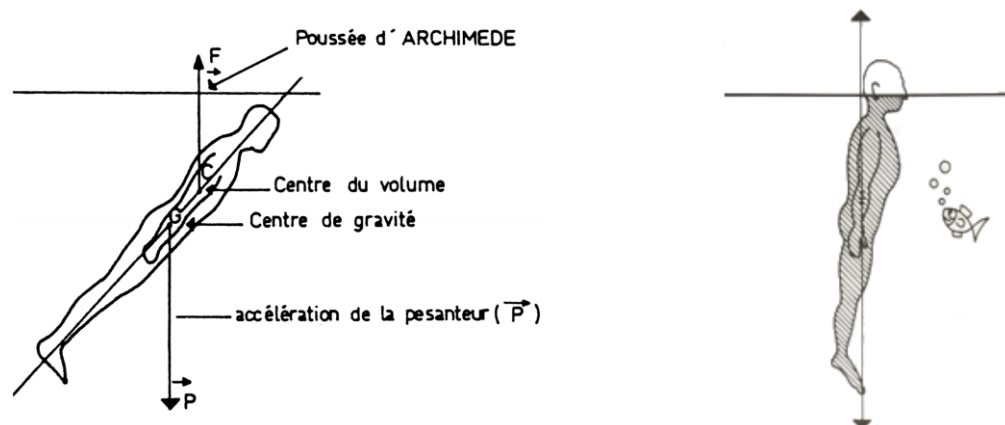


Figure 2 : Effet du couple de redressement sur le corps humain

NB : L'équilibre horizontal peut être maintenu plus longtemps en plaçant les bras dans le prolongement du corps pour rapprocher le centre de gravité du centre de poussée.

Chez l'enfant, le centre de gravité est situé plus haut que chez l'adulte (Swearingen & Young, 1968.). Le couple de redressement sera donc moins prononcé que pour un adulte.

Se maintenir en surface verticalement ou horizontalement sans trop d'effort n'apparaît pas comme étant une difficulté pour les enfants de 4-6 ans.

Les obstacles qui se présentent alors sont liés aux échanges respiratoires nécessitant d'émerger les voies aériennes. En effet, malgré une flottabilité positive, la ligne de flottaison reste déterminante car dans la plupart des cas elle se trouve au-dessus des voies respiratoires, rendant problématique la maîtrise des échanges.

Deux options s'offrent alors : **se maintenir en équilibre horizontal dorsal ou émerger la tête**, deux habiletés motrices dites protectrices.

Si l'enfant reste sur place tête hors de l'eau, il devra obtenir une poussée verticale ascendante avec ses membres supérieurs et/ou inférieurs car la poussée d'Archimède s'exerçant sur sa tête va diminuer. Or le ratio tête/poids total diminue au cours de la croissance (figure 3). Chez l'enfant, le poids de la tête est en proportion supérieur à celle de l'adulte.

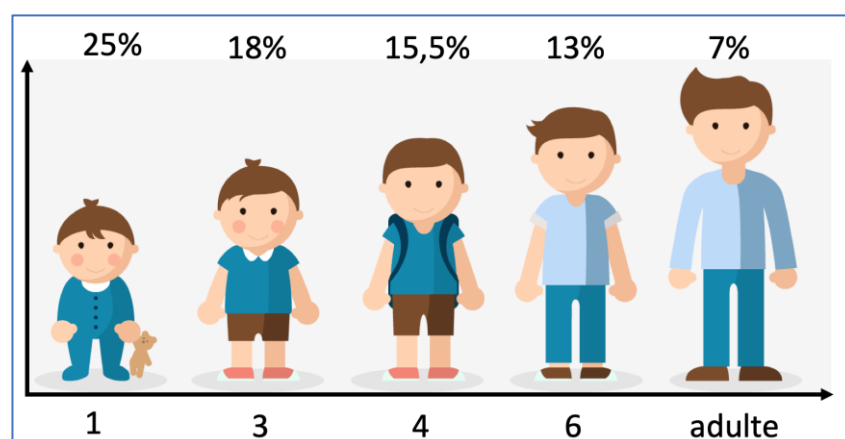


Figure 3 : Rapport tête/poids total au cours de la croissance (adapté de Young et al., 1976)

Demander à l'enfant de se maintenir ou de se déplacer la tête hors de l'eau est donc beaucoup plus coûteux chez l'enfant que chez l'adulte.

Imaginons un adulte de 80kg se sustenter tête hors de l'eau avec une masse additionnelle de 50N (5 kg) !



Pour obtenir cette poussée verticale, il devra agir sur l'eau de façon à propulser l'eau vers le bas. L'efficacité des actions motrices dépend de facteurs spatiaux (quantité, orientation, profil des surfaces motrices, longueur et profondeur des trajets) mais aussi de facteurs temporels (vitesse et accélération des surfaces motrices, fréquence et continuité des actions motrices) (Chollet, 1997).

Il semble que avant 1 an, les mouvements aquatiques (flexion-extension) des enfants sont essentiellement effectués de manière réflexe avec les membres inférieurs soit de manière simultanée soit alternée. Après 1 an, ces mouvements apparaissent comme volontaires et s'affinent jusqu'à pousser l'eau vers l'arrière grâce à un mouvement de pédalage (Wielki & Houben, 1983).

Si l'on se réfère à la formule générale $R_p = K S V^2$ (R_p : résistance ; S : surface du maître-couple ; V : vitesse de déplacement) , on note combien la résistance opposée par l'eau s'accroît avec la vitesse de déplacement. Mais cet effet devient positif lorsqu'on examine l'effet de propulsion dû à la poussée de la main vers le bas. Le problème est qu'en agissant de la sorte et selon le principe de s'émerger pour mieux s'immerger, l'individu « bouchonne » et ne maintient que très peu de temps sa tête hors de l'eau. En effet, le mouvement des mains se fait vers le bas pour pousser l'eau mais leur retour vers le haut va accentuer la redescente du corps.

Une force de portance (basée sur le principe de Bernoulli), agissant perpendiculairement à la direction du mouvement de la main peut intervenir positivement sur la propulsion comme le montre le phénomène de godille. La résultante de ces deux forces dépend fortement de l'angle d'attaque représentant l'angle formé par l'inclinaison de la main à sa direction de mouvement. Cet angle doit donc être continuellement adapté pour orienter la force propulsive résultante vers le haut ou le sens de déplacement désiré. *L'aisance aquatique est certainement associée également à ce sens de l'eau.*

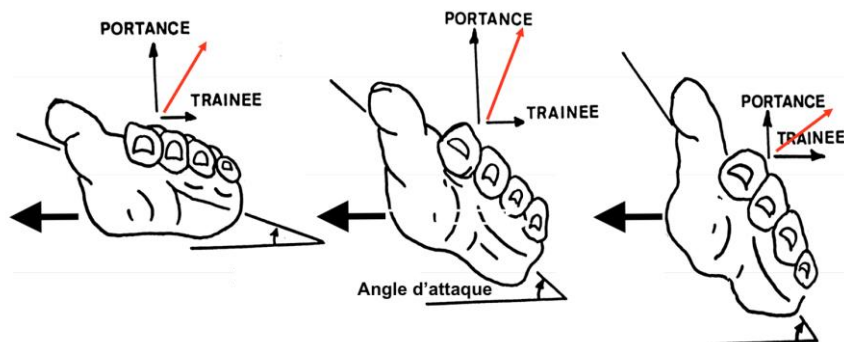


Figure 4 : Effet de l'angle d'attaque sur la force propulsive (d'après Schleihauf, 1979)

Conclusion

Cette contribution biomécanique peut s'inscrire dans les bases d'un savoir minimal et utilitaire développées par Pelayo *et al.* (1999) ; savoir permettant d'être prêt pour des situations improbables : rester sur place, s'immerger ponctuellement, se déplacer.

Références

- Chollet D. Natation sportive : Approche Scientifique – 1997. 2^e édition - Paris: Vigot
- Newell KM. Constraints on the development of coordination. In: MG Wade, HTA Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control*. Boston: Martinus Nijhoff; 1986. p. 341-60.
- Pelayo P, Maillard D, Rozier D, Chollet D, Natation au collège et au lycée, coll. « De l'école... aux associations », Éditions Revue EPS, 1999, p. 227-287.
- di Prampero P.E. Le coût énergétique de la locomotion humaine sur terre et dans l'eau. *Schweiz. Ztschr. Sportmed.*, 1983, 31: 87-94.
- Schleihauf, R.E. A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In J. Terauds & E.W. Bedingfield (Eds.), *International Symposium of Biomechanics: Vol. 8, Swimming III*, 1977, pp. 70-109. Baltimore: University Park Press.
- Sidney M., Pelayo P. Natation. In Les APS en licence STAPS : théorie des pratiques d'apprentissage. Collection STAPS, 2004, pp.127-136.
- van der Sluis IM, de Ridder MAJ, Boot AM, et al. Reference data for bone density and body composition measured with dual energy x ray absorptiometry in white children and young adults. *Archives of Disease in Childhood* 2002;87: 341-347.
- Swearingen JJ, Young JW. Determination of Centers of Gravity of Children, Sitting and Standing. Civil Aeromed Res Inst, Federal Aviation Agency; Oklahoma City, OK: 1965. Rep. No. AM 65-23 August.
- Wielki C., Houben M. Description of the leg movements of infants in an aquatic environment. *Biomechanics and Medicine in Swimming: Swimming Science IV*, Clarys et al. (pp 66-71): Human Kinetics Publishers: Champaign Ill.
- Young J.W., H.M. Reynolds, J.T. McConville, R.G. Snyder, R.F. Chandler Development and Evaluation of Masterbody Forms for 3- and 6-Year-Old-Child Dummies. US Department of transportation – Federal Aviation Administration – office of aviation medicine. Washington DC. National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22151, 1976