

6. LES PRINCIPES BIOMÉCANIQUES QUI ORGANISENT LA PROPULSION SONT-ILS LES MÊMES QUEL QUE SOIT LE NIVEAU DU NAGEUR ?

Résumé

Associée à la réduction des résistances à l'avancement, la vitesse de déplacement du corps est le résultat de l'action coordonnée des membres supérieurs et inférieurs. Ceux-ci créent et maintiennent des appuis sous forme de forces propulsives dans le milieu aquatique fuyant.

Si de nombreuses solutions expliquées biomécaniquement existent, elles n'ont pas toutes la même efficacité. Leur coût énergétique et leur difficulté de réalisation motrice ne sont pas non plus équivalentes.

Un des progrès engagés dans la construction de l'expertise réside dans le passage (quasi obligé) des différentes étapes de la complexité des modalités de propulsion. Par exemple, à partir d'actions propulsives du type roue à aube, le passage du type rame, pagaie, ondulation ou godille devrait permettre une amélioration conséquente de l'efficacité du déplacement aquatique.

La propulsion, en natation, répond aux logiques biomécaniques communes des habiletés locomotrices cycliques continues où chaque action propulsive est reproduite de manière répétitive. Les principes biomécaniques permettant de créer des résistances (ou traînées) propulsives sont les mêmes que ceux décrits concernant les résistances à l'avancement. Plus la surface du maître couple (S), la forme (K) et la vitesse (V) d'une surface propulsive sont importantes, plus celle-ci a de résistance (R) et joue un rôle actif dans la propulsion.

QUELS PRINCIPES BIOMÉCANIQUES PEUVENT EXPLIQUER LA PROPULSION AQUATIQUE ?

De nombreuses solutions différentes existent. Pour mieux comprendre ces principes, il est possible de décrire et de comparer les modèles possibles de propulsion utilisés dans le domaine de la navigation, chez l'animal, puis chez l'homme. En effet, il est possible de tenter un inventaire non exhaustif des principales modalités de propulsion mises en œuvre par l'homme pour se déplacer en autonomie à partir d'une analyse de nature didactique déjà proposée par Chollet (1990 et 1997), tout en s'appuyant sur d'autres références (Sidney, 1992) (cf. figure 19).

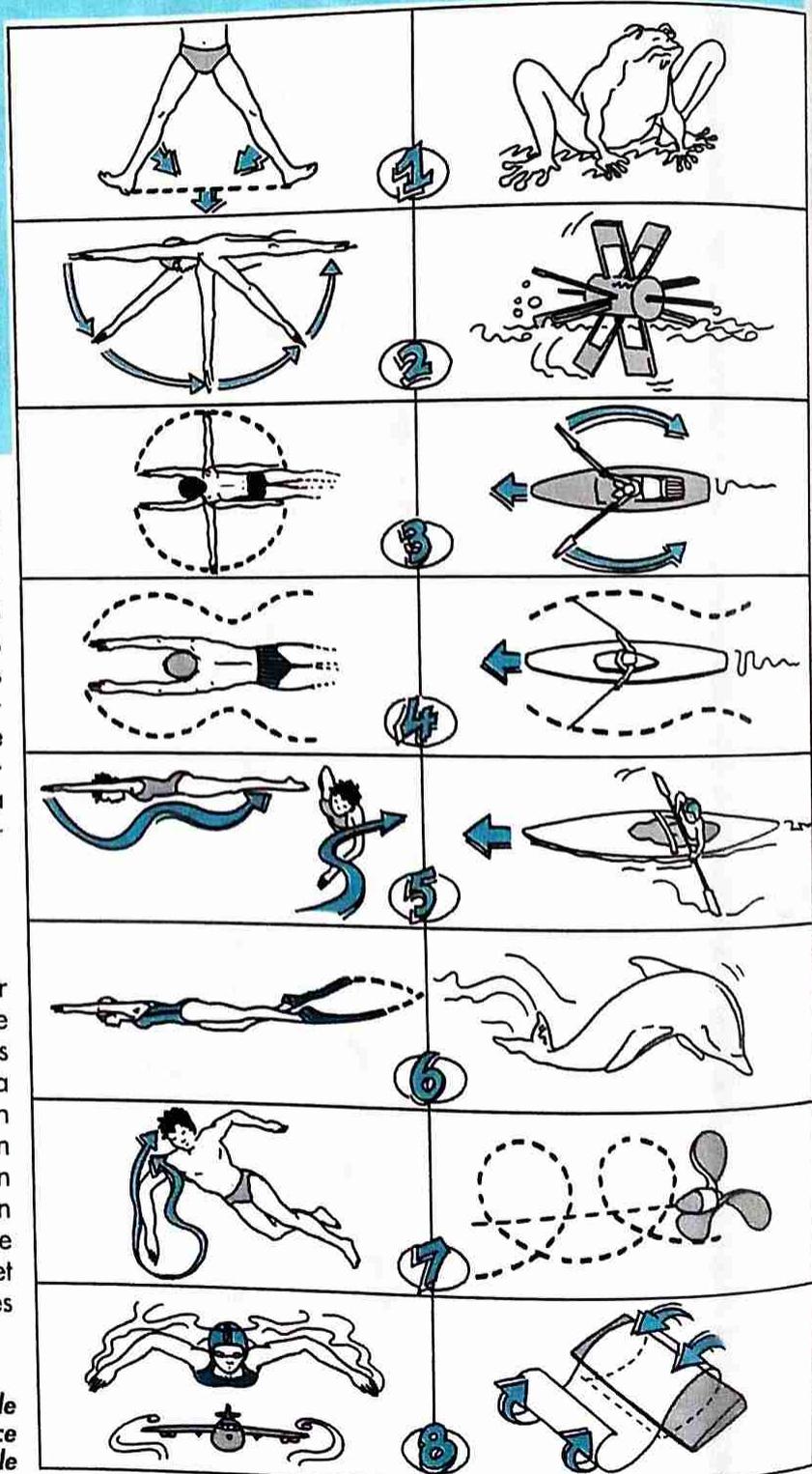


Figure 19. Tentative d'inventaire des modalités de propulsion utilisées par le nageur en correspondance avec la navigation ou la locomotion animale

QUELS SONT LES PARAMÈTRES DE L'EFFICACITÉ PROPULSIVE ?

Quelle que soit la logique biomécanique de référence, il s'agit de réaliser cycliquement des actions locomotrices dont l'efficacité dépend d'un certain nombre de paramètres spatiaux ou temporels (cf. « Tentative d'inventaire des principaux facteurs intervenant sur la propulsion aquatique »). Ils peuvent contribuer à la propulsion directement (la quantité de surface propulsive) ou indirectement (retour des bras). Ils participent à l'amplitude de nage (distance par cycle) ou, au contraire, à la fréquence de nage (nombre de cycles par unité de temps).

Facteurs Amplitude d'un cycle de nage	Intervention directe (+) ou indirecte (o) sur la propulsion	+	1 Quantité de surface propulsive	Facteurs spatiaux	
		+	2 Profil des surfaces propulsives		
		+	3 Orientation des surfaces propulsives		
		+	4 Longueur du trajet des appuis		
		+	5 Profondeur des appuis		
		+	6 Coordination spatiale		
		o	7 Forme spatiale des retours		
	Fréquence		+	8 Vitesse de déplacement des appuis	Facteurs temporels
			+	9 Rythme de déplacement des appuis	
			+	10 Continuité temporelle du cycle	
			o	11 Forme temporelle des retours	
			+	12 Durée d'un cycle complet	

Tableau 1. Tentative d'inventaire des principaux facteurs intervenant sur la propulsion aquatique (d'après Chollet, 1997)

PARAMÈTRES SPATIAUX DE LA PROPULSION

• **La quantité de surface corporelle effective dans le déplacement** : plus la surface propulsive est importante, meilleure est la propulsion. Par exemple, il vaut mieux nager mains ouvertes que poings fermés.

• **Le profil des surfaces propulsives** : à surfaces propulsives égales, la forme de celles-ci intervient également comme facteur d'efficacité. En référence aux composantes de la résistance ($R = KSV^2$), le profil, et par conséquent la forme du segment propulsif, est une composante de la résistance, et donc de la traînée propulsive. Deux plaquettes de nage (*paddle*) de même surface n'ont pas la même efficacité propulsive si l'une est plate et l'autre incurvée.

• **L'orientation des surfaces corporelles effectives dans le déplacement** : les particules de fluide initialement inertes doivent être repoussées vers l'arrière. Quelle que soit la logique biomécanique de référence, l'orientation

de nageurs de haut niveau utilisant des mouvements de godille en S avec leurs mains montre que l'efficacité maximum de la propulsion est obtenue en déplaçant vers l'arrière un grand volume de particules fluides sur une courte distance, plutôt qu'un petit volume sur une grande distance. La surface propulsive, dans cette logique, doit sans cesse rechercher des couches nouvelles de particules au repos, à la manière des pales d'une hélice (utilisant la portance). Par contre, la propulsion de traînée traditionnelle est une force engendrée par le mouvement de la main dans l'eau, de façon rectiligne, dirigée vers l'arrière. Ces deux forces, propulsion de traînée et force de portance, produisent un effet maximum lorsqu'elles

s'harmonisent dans une constante coordination. Ces composantes, et donc la force propulsive résultante, sont déterminées par une combinaison de la vitesse de la main et de son positionnement. Le positionnement de la main doit être continuellement ajusté dans les directions d'un mouvement propulsif sans cesse changeant. Cet aspect perceptif essentiel en natation est difficile à acquérir.

• La longueur du trajet des surfaces corporelles effectives dans le déplacement : les deux logiques évoquées plus haut n'aboutissent pas aux mêmes conclusions, puisque dans un cas il faut un trajet le plus long possible sur une même masse d'eau, alors que dans l'autre cas, il faut un grand volume d'eau sur une courte distance. En ce qui concerne l'action des bras, dans les deux situations,

la meilleure position est :

- bras tendus devant au départ ;
- bras tendus derrière à l'arrivée.

• **La profondeur des surfaces corporelles effectives dans le déplacement** : plus la profondeur des surfaces est importante (jusqu'à un optimum), plus les « appuis » propulsifs sont efficaces. Les travaux de référence montrent que la résistance hydrodynamique à la surface de l'eau est d'environ 20 % plus faible qu'à une profondeur de 60 cm.

• **La coordination spatiale** : il est essentiel d'organiser spatialement le rapport entre les différentes actions motrices aquatiques et les retours aériens par exemple.

• **La forme spatiale des retours** : moins il y a de résistances sur le retour, plus l'efficacité sera grande. C'est ce qui explique la supériorité des nages où les retours sont aériens.

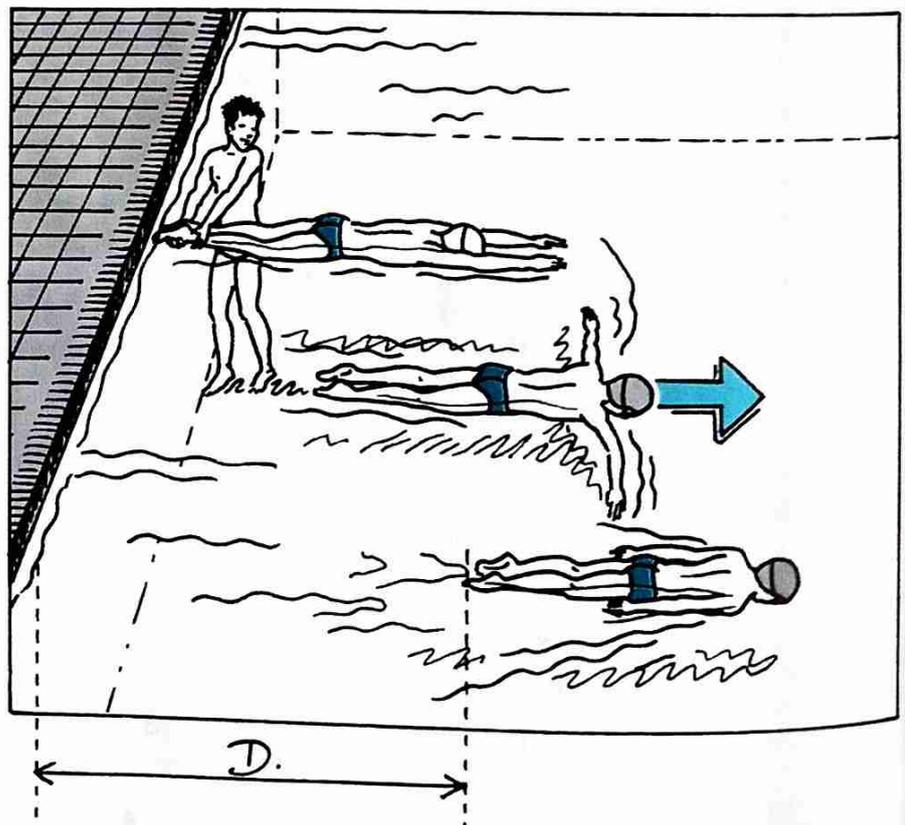
PARAMÈTRES TEMPORELS DE LA PROPULSION

- **La vitesse des surfaces corporelles effectives dans le déplacement** : dans le sens de la propulsion, la vitesse de la surface motrice détermine en partie l'efficacité de la résistance de l'appui ($R = KSV^2$).
- **Le rythme des surfaces corporelles effectives dans le déplacement** : le rythme se définit comme la succession de temps forts et de temps faibles à l'intérieur d'une structure donnée, ici un trajet moteur. Des accélérations se justifient par le caractère fuyant du fluide sur lequel on tente de prendre appui. Cette notion de rythme oppose les deux logiques abordées précédemment :
 - si le trajet moteur est rectiligne, le rythme doit être accéléré du début à la fin ;
 - si le mouvement est plus elliptique ou en forme de S, le mouvement doit être composé de plusieurs accélérations successives.
- **La continuité des actions motrices effectives dans le déplacement** : une bonne liaison bras/jambes et bras droit/bras gauche en nage alternée peut entretenir la continuité des actions motrices, facteur d'efficacité propulsive, et diminuer la dépense énergétique. Il en coûte davantage de créer une nouvelle force que d'entretenir une force déjà existante. Ce principe est à la base des coordinations.
- **La forme temporelle des retours** : alors que le trajet propulsif doit être accéléré, il ne peut en être mécaniquement de même pour les retours sous-marins, au risque d'offrir une résistance importante. Par contre, la rapidité des retours aériens, non sujets au freinage aquatiques, sera recherchée.

QUELLES SITUATIONS PERMETTENT DE CONSTRUIRE CES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES ?

De nombreux enseignants considèrent que demander aux élèves de diminuer le nombre de cycles par parcours (donc demander d'augmenter leur distance par cycle) est une situation pédagogique en soi. Mais améliorer la distance par cycle, c'est régler de nouveaux problèmes en jouant sur les différents facteurs de la propulsion présentés dans le tableau 1, p. 243 – après avoir évidemment joué sur l'équilibre de nage, la réduction des résistances à l'avancement, l'optimisation de la coulée qui débute tout parcours de nage. À chaque facteur de la propulsion (cf. tableau 1, p. 243), un exemple (non un modèle) de situation doit pouvoir être proposé. Cette situation a généralement comme objectif la prise de conscience du facteur, le critère d'évaluation étant le plus souvent le nombre de cycles parcourus par longueur dans le but d'objectiver le résultat. Moins le nombre de cycles est important sur un même parcours, plus la distance par cycle est grande et meilleure est l'efficacité propulsive. Il est bien sûr aisé de comparer les conditions visant à mettre en évidence un facteur sur un même parcours, par un exemple sur une longueur de bassin. Mais il est également possible de comparer l'efficacité propulsive par la situation suivante : les deux pieds au niveau d'un mur de bassin, en surface, sont tenus par un aide. Au signal, l'aide lâche les pieds. Il s'agit alors de réaliser un cycle propulsif et de mesurer la distance effective – sans poussée du mur (cf. figure 20).

Figure 20. Situation permettant la mesure d'une distance effective du déplacement du corps suite aux actions propulsives, ici celles des bras.



• **Quantité de surface propulsive** : réalisation d'un même parcours dans trois conditions :

- nager poings fermés ;
- nager mains normales ;
- nager avec des *paddles*.

Pour améliorer la distance par cycle, on joue donc sur les paramètres du tableau 1, p. 243.

• **Profil des surfaces propulsives** : bien qu'important à un stade avancé de motricité aquatique, ce facteur est accessoire au collègue. Il est difficile de le mettre en évidence, sauf en adaptant une paire de *paddles* sur laquelle on place un profil bombé (cf. figure 21). La situation consiste alors à comparer les distances par cycle réalisées avec les deux sortes de *paddles* pour faire comprendre à l'élève que le profil réduisant les résistances à l'avancement (plaquette bombée) n'est pas compatible avec la recherche d'efficacité propulsive.



Figure 21. Modification du profil de plaquettes de nage

• **Orientation des surfaces propulsives** : la situation consiste à réaliser un certain nombre de parcours en modifiant l'orientation des surfaces propulsives avec, entre autres, la main perpendiculaire à l'axe de déplacement, mais également la main parallèle à cet axe. Dans ce cas, la main « coupe » l'eau et n'a aucune efficacité. Si aux niveaux initiaux on peut uniquement aborder les deux conditions, mains parallèles et mains perpendiculaires, la recherche de l'angle optimal doit être développée aux niveaux suivants.

• **Longueur du trajet des appuis** : ce facteur, qui peut être appelé « amplitude de mouvement », est trop souvent confondu avec l'amplitude de nage. Il ne suffit pas de réaliser un grand trajet pour améliorer la distance par cycle. Pour autant, ce facteur est essentiel à l'efficacité propulsive. Une situation pourra consister à marquer un très léger temps d'arrêt avant et après la réalisation du trajet moteur dans deux conditions :

- 1) le mouvement débute très loin en avant et finit très loin en arrière ;
- 2) la main débute plus près de la tête et finit plus près de la hanche.

Il est également possible de jouer sur ce facteur en allongeant la longueur du trajet par la transformation de la trajectoire rectiligne initiale en une trajectoire sinusoïdale, donc plus longue.

• **Profondeur des appuis** : en conservant une logique assez simple, type « roue à aube », (cf. figure 19, p. 242), il s'agit ici de différencier un trajet, les deux bras tendus simultanément juste sous la surface de l'eau (de part et d'autre des épaules), avec le même type de trajet, cette fois-ci réalisé bras tendus en profondeur.

Dans les deux cas, les retours sont évidemment identiques.

• **Coordination spatiale** : on réalise un trajet alterné des bras avec :

- dans la condition 1, l'autre bras perpendiculaire à l'avancement (donc en situation de freinage) ;
- dans la condition 2, l'autre bras en position de rattrapé avant mais bien profilé.

• **Forme spatiale des retours** : il s'agit de comparer un retour alterné sous-marin (donc offrant des résistances à l'avancement) avec un retour aérien. La même situation, en retour simultané, ne pourra être abordée que plus tard.

• **Vitesse de déplacement** : pour que ce facteur soit vraiment mis en évidence, il est utile de bien différencier les deux conditions, vitesse rapide et vitesse lente. Le même mouvement, par exemple simultané, se réalise :

- dans un premier cas en 5 s (compter 1, 2, 3, 4, 5 lentement) ;
- dans un deuxième cas en 1 s ou moins.

• **Rythme de déplacement des appuis** : ce facteur, différent du précédent, doit donc être réalisé globalement à même vitesse, par exemple dans un temps de 2 s. Une situation proposée sous forme de problème consiste à demander à l'élève de réaliser les mêmes mouvements dans le sens aller et dans le sens retour, en cherchant à se déplacer vers l'avant. Prenons l'exemple d'un mouvement simultané, tendu, juste sous la surface, en 2 s : pour que le déplacement soit effectif, il faut d'abord que le mouvement aller (de l'avant vers l'arrière) soit réalisé en accélération, suivi d'un temps d'arrêt, alors que le même mouvement retour (de l'arrière vers l'avant - également simultané, tendu, sous la surface, en 2 s) se fera sans accélération.

• **Continuité temporelle du cycle** : la situation consiste à réaliser un mouvement simultané avec les deux bras et à comparer son efficacité avec le même mouvement, réalisé alternativement (un bras puis l'autre). Il est essentiel que les conditions soient strictement les mêmes pour pouvoir évaluer spécifiquement ce facteur.

• **Forme temporelle des retours** : ce facteur pris en compte dans le sens des mouvements de retour, donc de l'arrière vers l'avant, intègre les trois précédents. Les conditions de vitesse, de rythme et de continuité sont donc à prendre en compte dans la logique des trajets retours.

• **Durée d'un trajet complet** : ce facteur temporel n'intervient pas dans l'amélioration de la distance par cycle, mais dans la fréquence. De ce fait, il intervient sur l'efficacité de la vitesse (égale à la distance par cycle multipliée par la fréquence). La situation qui consiste à réaliser le plus de mouvements dans un temps donné, donc de réaliser un mouvement dans un temps le plus court possible, n'est utile que lorsque la distance par cycle a été optimisée préalablement et qu'elle ne se dégrade pas par l'augmentation de fréquence.