

9. Propulsion aquatique : d'une logique des pressions à une logique des dépressions



La majeure partie des caractéristiques concernant les résistances à l'avancement sont directement transposables en les inversant aux résistances propulsives. En effet, si le nageur doit rechercher la réduction des résistances négatives (celles intervenant en opposition à son déplacement), à l'inverse, il recherche l'augmentation des résistances intervenant dans le sens de son déplacement. C'est par la création et le maintien de ces résistances propulsives qu'il va réaliser le déplacement de son corps.

Hay (1980) parle de traînée propulsive (*fig. 39*) dans laquelle la force de traînée exercée par exemple contre les bras du nageur, en réaction à ses efforts pour le déplacer correctement vers l'arrière, est responsable de sa propulsion vers l'avant.

Il est indispensable de noter, dans cette logique, que la création de résistances propulsives ne peut se réaliser qu'avec un déplacement relatif des segments propulsifs plus rapide que l'avancée du corps qui est lui-même en continuel déplacement.

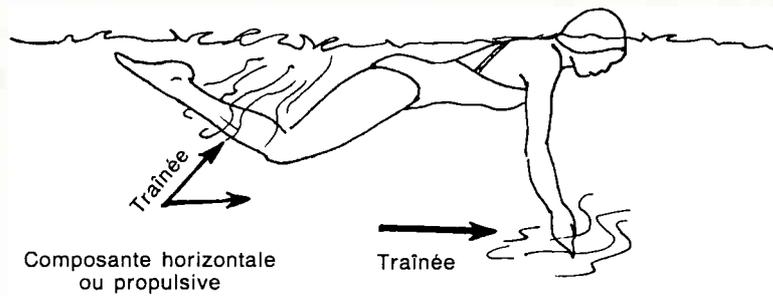


Figure 39. Traînée propulsive d'après Hay 1980.

Synthèse sur l'ensemble des résistances lors de la nage

Avant d'analyser une autre théorie de la propulsion aquatique humaine, nous présenterons les différentes formes de résistances que rencontre ou que produit le nageur lors de sa propulsion (fig. 40).

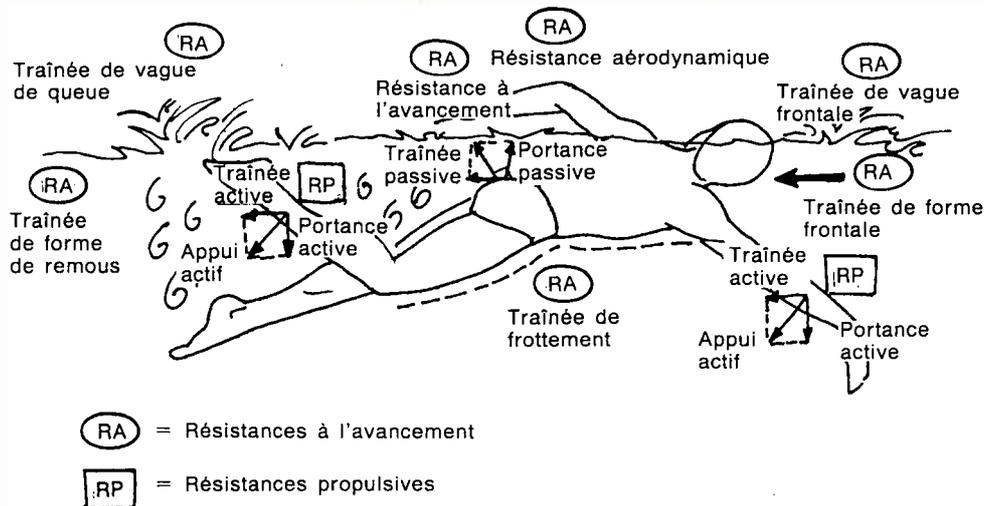


Figure 40. Différentes formes de résistances lors de la nage.

Il est donc possible de différencier pour l'étude, les résistances à l'avancement des résistances ou traînées propulsives. Les résistances à l'avancement sont composées des résistances ou traînées de forme (frontales et de remous), des résistances ou traînées de vague (frontales et de queue), des traînées de frottement ainsi que des traînées aérodynamiques (négligeables). Les résistances propulsives créées par les appuis actifs sont décomposées en traînées actives (propulsives) et portances actives.

Le nageur se déplaçant jusqu'à des vitesses de deux mètres par seconde, les résistances propulsives sont beaucoup plus importantes que les résistances à l'avancement.

Déplacement par la création de dépression

Un exemple simple et concret devrait démontrer la possibilité de déplacement par la création de dépression.

Si l'on prend une feuille de papier dans les mains face à soi, très légèrement en avant de la bouche, que cette feuille est tenue horizontalement (*fig. 41a*) et que l'on souffle sur elle, celle-ci se déplace soit par création d'une force postéro-inférieure à la feuille (*41b*) soit d'une force antéro-supérieure à la feuille (*41c*).

Ces deux forces sont soumises au principe d'action-réaction. En effet, dans les deux cas, une action produit une réaction mais seule l'action directe de pression (*41b*) correspond à la troisième loi de Newton: « à toute action correspond une réaction égale et opposée ». Dans le cas de l'action par création de dépression (*41c*) la réaction ne lui est pas opposée.

En réalité dans l'eau comme dans l'air, le modèle proposé par la figure 41 ne correspond qu'à une analyse purement théorique. Dans la réalité le flux d'air se propage au-dessus et au-dessous de la feuille, c'est donc l'ensemble des deux forces créant surpression et dépression qui vont avoir un effet sur la feuille (*fig. 42*). Dans un mouvement, on crée des zones de haute pression (surpression) et des zones de basse pression (dépression). Les zones de surpression repoussent; celles de dépression attirent.

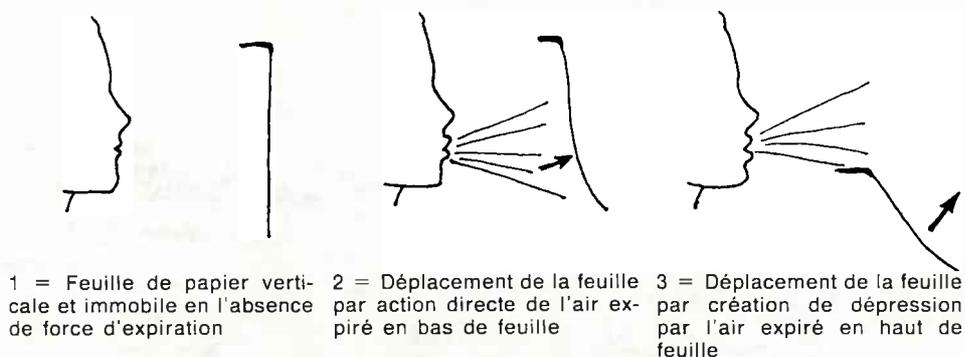


Figure 41. Déplacement d'une feuille de papier grâce à l'effet de l'air expiré par la création d'une surpression en partie postéro-inférieure de la feuille (*b*); par la création d'une dépression en partie antéro-supérieure de la feuille (*c*).

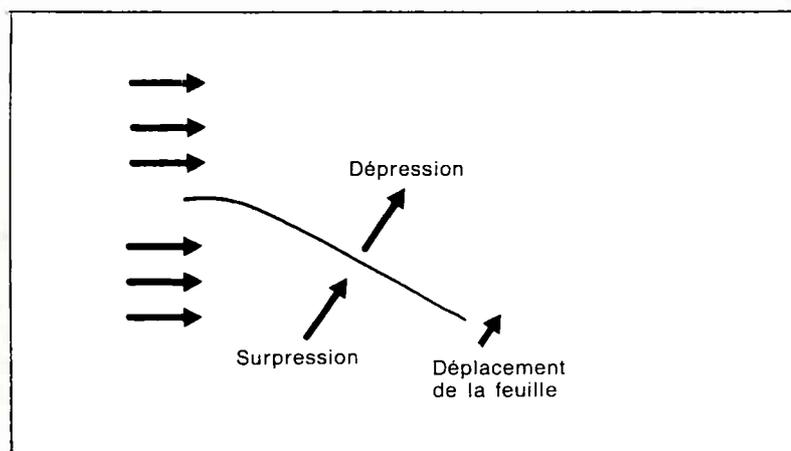


Figure 42. Déplacement d'une feuille lié à la surpression et à la dépression réalisées par les forces s'exerçant de part et d'autre de celle-ci.

Écoulement laminaire

En transposant l'idée générale de la feuille à la voile d'un bateau, les forces s'exerçant de part et d'autre de la feuille vont correspondre à la force du vent s'exerçant de part et d'autre de la voile.

Utilisons le modèle du vent sur la voile d'un bateau (*fig. 43*). Dans le cas où le vent est orienté perpendiculairement à un bateau équipé d'une dérive, si la voile est parallèle à la direction du vent et bat passivement (*a*), elle n'aura aucun effet sur la propulsion d'un bateau. Lorsque la voile est amenée dans la direction du vent (*b*), le flux d'air sur sa surface est en écoulement laminaire (sous forme de lames parallèles à la voile), c'est dans ce cas que la voile développe sa plus grande puissance.

En écoulement laminaire (*b*), on obtient une poussée sur la face au vent de la voile (pression), une succion sur la face sous le vent (dépression), (Creagh-Osborne 1974). Nous retrouvons là les deux composantes de la figure 42.

Si la voile est encore plus bordée (tirée vers le vent), il ne peut plus y avoir d'écoulement laminaire du flux d'air qui devient turbulent en particulier sous le vent (*c*).

En écoulement turbulent la puissance diminue car il n'y a plus de succion (dépression). Le bateau n'est que poussé.

Au vent arrière (*fig. 43d*) la succion n'existe pas et l'écoulement de l'air est forcément turbulent. C'est ce qui explique que, bien que l'orientation du vent soit directe, la propulsion du bateau soit limitée.

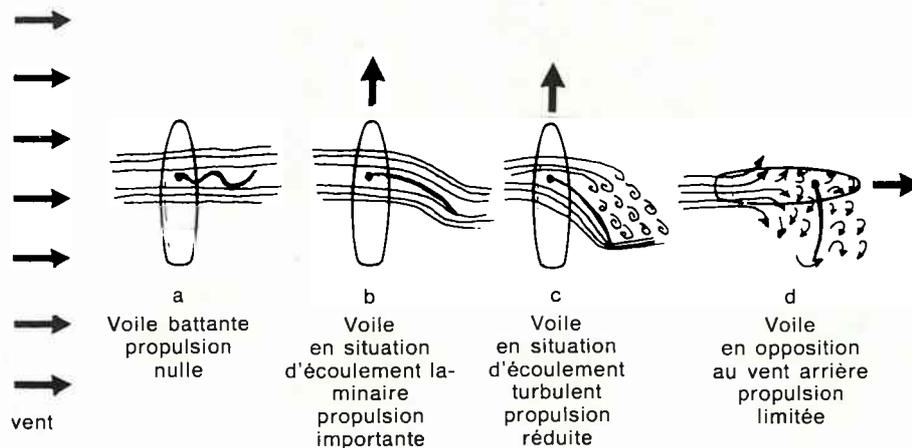


Figure 43. Relation entre la position du bateau, la position de la voile et l'orientation du vent
Conséquences sur la propulsion.

En effet comme l'explique Creagh-Osborne (1974), il faut tenir compte de la force du vent apparent. Au près serré la vitesse du bateau s'additionne à la vitesse du vent pour donner la vitesse réelle du flux d'air sur la voile (*fig. 44a*). C'est ce qu'on appelle la « vitesse du vent apparent ». Avec le vent venant de l'arrière, la vitesse du bateau doit être soustraite pour obtenir la vitesse du vent apparent (*fig. 44b*).

C'est également ce qui contribuera à expliquer pourquoi lors de la nage les appuis propulsifs dirigés directement dans le sens inverse de l'avancement s'ils ont une action réelle, ne sont pas les plus efficaces dans la propulsion.

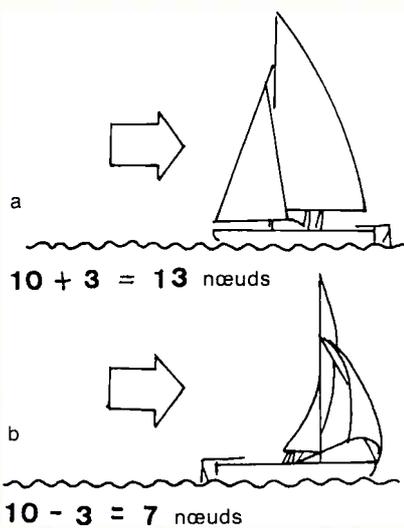
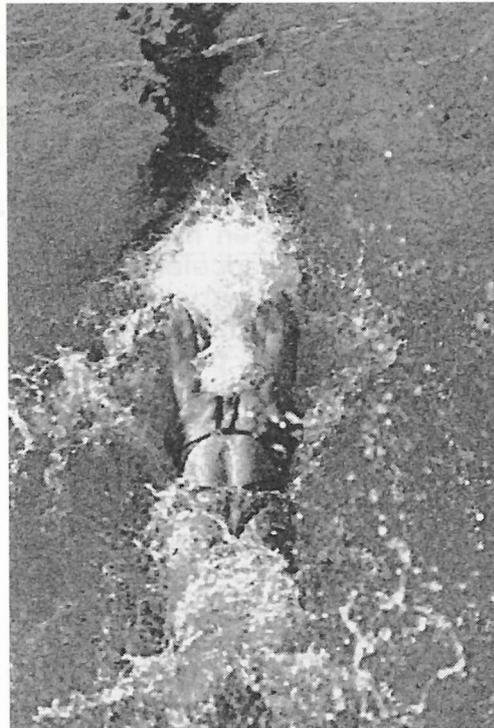


Figure 44. Vitesse du vent apparent lorsque le voilier remonte au près serré (a) et lorsqu'il est au vent arrière (b). (D'après Creagh-Osborne 1974).

10. La notion de portance active hydrodynamique



De la même manière que la compréhension des lois fondamentales régissant la propulsion des bateaux à voile peut être d'un grand intérêt pour comprendre les principes biomécaniques de la propulsion aquatique, la compréhension des lois propulsives des avions peut également nous aider.

Portance active aérodynamique

Pourquoi un avion, plus lourd que l'air vole-t-il ? C'est qu'il possède deux éléments indissociables : une source de propulsion horizontale et des ailes. L'aile est constituée d'un profil de base, dont le bord avant généralement arrondi est appelé bord d'attaque, et le bord arrière toujours effilé bord de fuite. La partie supérieure s'appelle l'estrados et la partie inférieure, l'intrados (Lachnitt 1974), (*fig. 45*).

L'avion possède un système de propulsion horizontal pour se déplacer dans un flux d'air. Ce flux engendre une composante de résistance à l'avancement (traînée dirigée dans la direction opposée à son avancement) mais également une composante de sustentation en passant par dessus et par dessous les ailes.

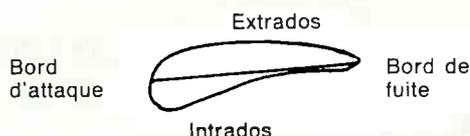


Figure 45. Profil de base d'une aile.

Compte-tenu de la forme non symétrique de l'aile dans ses composantes supérieure et inférieure, la distance que l'air a à parcourir pour aller du bord d'attaque au bord de fuite est plus grande par dessus que par dessous l'aile. Selon le théorème de Bernouilli, l'air passant au-dessus sera donc accéléré de façon à arriver au bord de fuite, en même temps que l'air passant par dessous (Aviation Research Associates 1943 cité par Maglischo 1987). Il se produira donc une différence de pression entre les deux surfaces. Une force verticale va se créer dans la mesure où les fluides ont tendance à aller des aires de haute pression (+) aux aires de basse pression (-). Cette force verticale va s'exercer de bas en haut. Il s'agit de la portance (fig. 46).

Dans le cas de l'avion il faut se rappeler qu'il y a indépendance entre les éléments responsables de la portance (ailes) et ceux de la propulsion (moteur).

Par contre dans le cas de l'hélicoptère la portance et la propulsion sont assurées (indépendamment du moteur qui les meut) par les pales.

C'est le cas également de l'hélice du bateau ou de la godille.

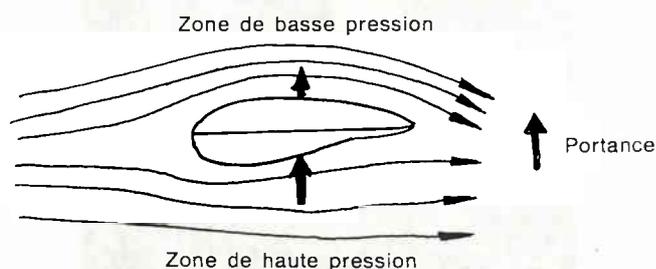


Figure 46. Aile soumise à un écoulement laminaire : la forme incurvée va provoquer une zone de basse pression en haut et une zone de haute pression en bas créant une force verticale de bas en haut : la portance.

Utilisation de la théorie de la portance aérodynamique dans la propulsion aquatique

Counsilman en 1971 pour observer les trajets moteur des nageurs de haut niveau, place des lampes clignotantes sur leurs mains et filme ces trajets. Il en conclut que ceux-ci n'étaient en aucune manière rectilignes quels que soient les plans de l'espace (fig. 47). Il publie alors une théorie où le modèle explicatif de la nage n'est plus la force de poussée de la rame en accord avec la troisième loi de Newton sur l'action-réaction, mais il compare plutôt la main du nageur à une hélice, une godille de bateau ou une aile d'avion.

Il apparaît que les mains se déplacent surtout verticalement et latéralement, celles-ci finissent, dans un repère fixe, le trajet propulsif près du point où elles l'ont commencé, démontrant que c'est le corps qui se déplace et non les mains. Une représentation schématique peut être montrée (fig. 48).

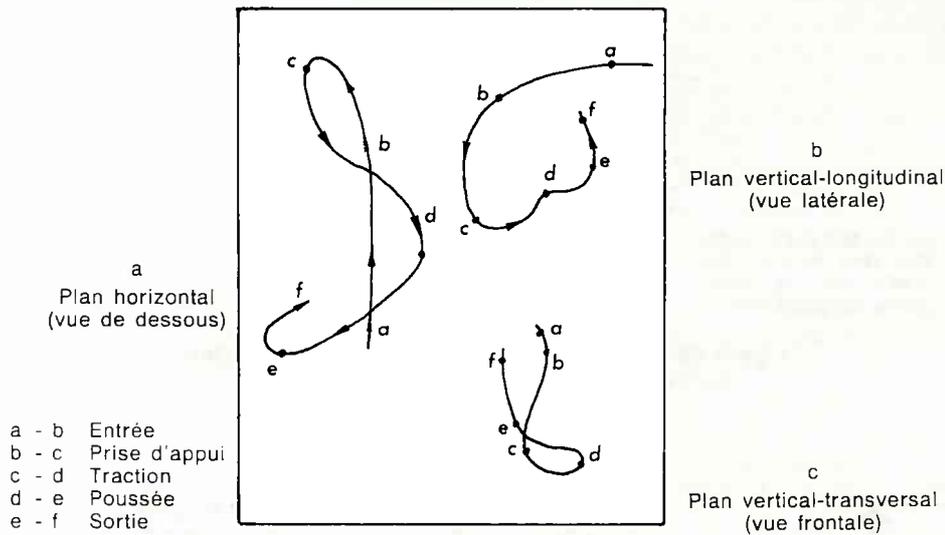


Figure 47. Trajets moteur en crawl (d'après Counsilman 1971)

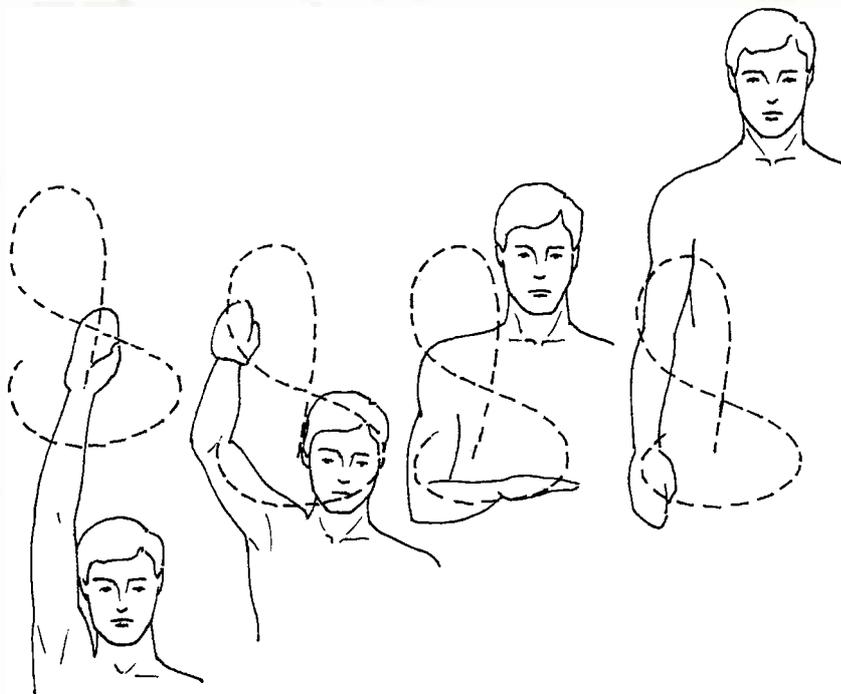


Figure 48. Représentation schématique du trajet du bras droit en crawl sur le plan horizontal montrant que la main finit son trajet propulsif près du point où elle l'a commencé (d'après Colwin 1982).

Utilisant le théorème de Bernoulli dans cette nouvelle théorie explicative, Counsilman en 1977 précise que la main du nageur peut en effet se servir de l'effet de portance pour propulser le nageur. Dans ce cas, au lieu de se servir de la traînée créée comme dans le cas de la pagaie, la différence de pression entre le dessus et le dessous qui dépend de son inclinaison par rapport au trajet moteur, va contribuer directement à la propulsion (fig. 49).

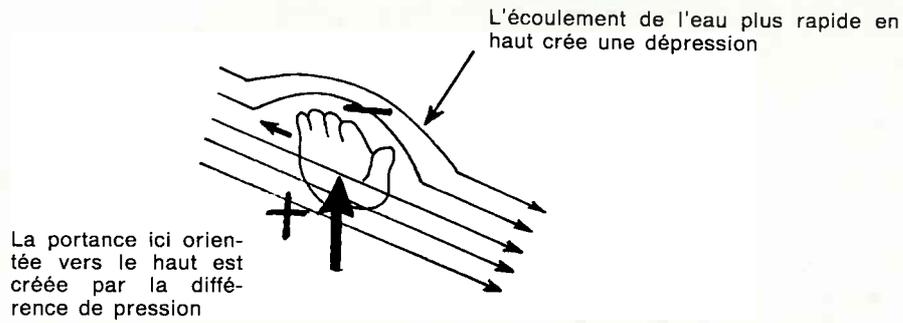


Figure 49. Le positionnement de la main du nageur contribuant à la portance hydrodynamique.

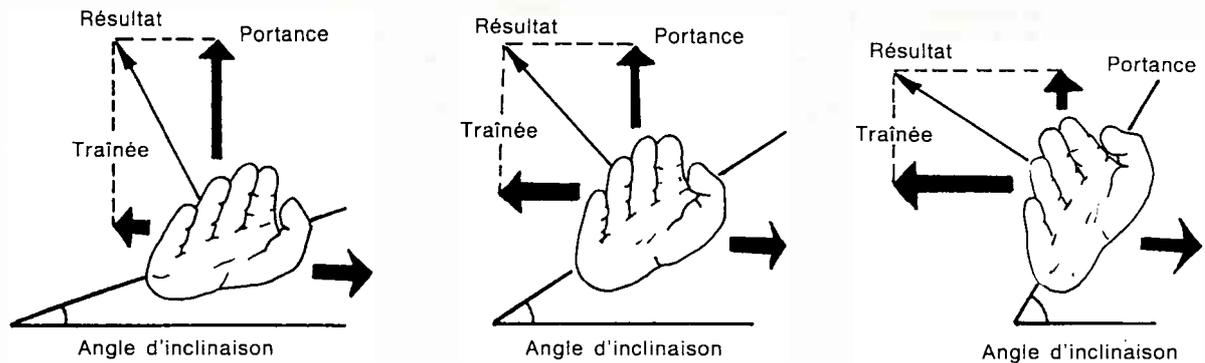


Figure 50. Modifications de portance et de traînée liées à l'orientation de la main (d'après Colwin 1982).

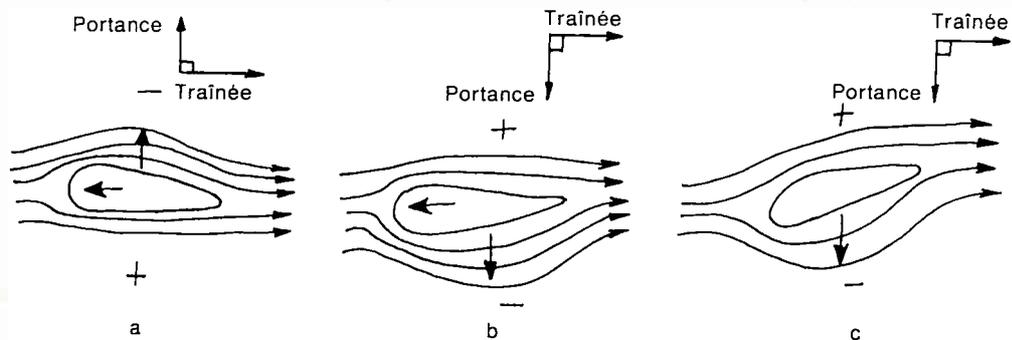


Figure 51. Portances négative et positive.

L'angle d'inclinaison de la main va être extrêmement important dans le résultat propulsif associant la traînée et la portance (fig. 50).

Compte-tenu des éléments théoriques relatifs à la portance il apparaît essentiel de donner quelques précisions complémentaires.

- La première concerne les directions respectives de la portance et de la traînée. Une relation constante existe : la portance s'exerce toujours perpendiculairement à la traînée qui est toujours opposée au déplacement.

Deux cas peuvent donc se produire ; lorsque le déplacement se réalise vers l'avant, la portance est positive (*fig. 51a*), c'est le cas de l'aile que nous avons étudiée, mais il est possible également que la portance soit négative (*fig. 51b et c*), il s'agit alors par exemple d'une aile à l'envers (*fig. 51b*) ou d'une aile orientée vers le bas (*fig. 51c*).

- La seconde précision est liée au fait que si la relation entre l'aile de l'avion et celui-ci est totalement solidarisée, dans le cas du nageur il est possible de dissocier la direction du corps en déplacement (vers l'avant) et l'orientation des appuis propulsifs (par exemple vers le bas).

Dans ce cas, si la main réalise un trajet orienté vers le bas, la traînée sera donc en sens inverse vers le haut et alors si l'orientation de la main est correcte, la portance sera dirigée vers l'avant (*fig. 52*).

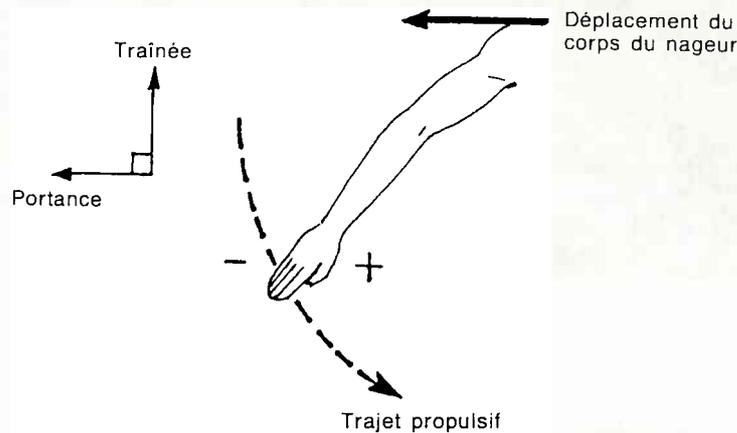


Figure 52. Possibilité pour la main du nageur de réaliser un effet propulsif de la portance hydrodynamique d'après Maglischo 1987.

Logiques théoriques et propulsion aquatique

Deux constatations vont tendre à nuancer les considérations théoriques préalablement évoquées. La première est le fait que même les nageurs qui n'ont pas connaissance de ces références théoriques sur la propulsion aquatique peuvent se situer au plus haut niveau.

Le deuxième est qu'à l'observation il n'est pas apparu, depuis 1971, date de la première publication de Counsilman révolutionnant les théories explicatives de la propulsion aquatique, de changements spectaculaires des techniques de nage, sauf en brasse où les modifications des règlements ont été essentielles.

En d'autres termes, la connaissance théorique se situe davantage comme un moyen de comprendre les comportements. Ce n'est que lentement que cette compréhension va faire évoluer positivement ces comportements en améliorant les performances chronométriques.