



Adaptation de la technique à l'évolution du matériel :

Le palmage

**Comité Inter Régional Pyrénées Méditerranée
Commission Technique Inter Régionale
Mémoire d'instructeur régional
Gérard Clabé - 2009**

Avant propos

L'apprentissage de la plongée vu sous l'angle des savoirs et des savoirs faire représente un domaine, sommes toutes, assez borné.

Même dans la formation de l'encadrant, beaucoup de ce qui touche à la progression de l'enseignement et à la pédagogie a été déjà exposé et disséqué et en reparler a de fortes chances de représenter une redite, sous un éclairage différent. Le fond étant connu (les évolutions réglementaires mises à part) souvent une présentation s'exprime en innovant majoritairement sur la forme.

Plutôt que travailler directement les progressions pédagogiques j'ai préféré me pencher sur l'évolution du matériel et les adaptations qu'ont nécessités ces améliorations. Nous parlerons de pédagogie à l'issue.

Cette recherche peut être intéressante dans le cadre de nos prérogatives. En effet, nous sommes amenés à enseigner aux élèves la maîtrise des équipements et à les familiariser avec les différents modèles existants. Ceci doit nous permettre de guider leurs choix en connaissance de causes, compte tenu des objectifs visés (loisir, examens) et aussi des capacités physiques de chacun.

Ce mémoire est donc un document à disposition du moniteur chargé de l'aider dans son approche pédagogique du palmage et de faciliter son rôle de conseil en achat et en utilisation de ce matériel.

Je tiens à remercier Jean-Claude Ripoll et Gilbert Chambon, Instructeurs Régionaux, pour leur aide et leurs encouragements au cours de ce travail, mes remerciements vont aussi aux personnes et sociétés suivantes :

- Denis Evezard, du magasin de plongée et de chasse Mio Palmo, distributeur des palmes Dessault, situé à Fréjorgues (34). Consultez <http://www.miopalmo.fr>
- La société SOMMAP, un des deux fabricants français de matériel de plongée par injection de plastiques, silicone, caoutchouc, pour le compte de grands acteurs du secteur de la plongée, située à Aubagne (13) <http://www.sommap.com>

Organisation du document

Dans ces pages le chapitre 1 introduit le sujet. Il présente des évolutions du matériel et des changements de techniques sportives dans quelques disciplines puis en natation avec palmes, dans le but d'améliorer la performance.

Les trois chapitres suivants présentent des éléments de palmage permettant d'étayer un propos pédagogique ou tout simplement de cultiver des connaissances autour du palmage et des palmes. Dans cet esprit :

Le chapitre 2 essaie d'établir par le calcul et par une modélisation les **performances du mouvement de palmage et de la palme en tant que matériel**.

Avertissement : ce chapitre est technique et intéressera les moniteurs sensibles précisément à ce type d'approche. Il se termine par une synthèse qui sert de support aux propos de pédagogie.

Dans le chapitre 3 on présente **la fabrication des palmes du marché** et on met en relation les techniques employées dans cette fabrication avec les caractéristiques du produit fini : comportement dynamique, coût de production...etc.

Le chapitre 4 rappelle ce que signifie **le mouvement de palmage sur les plans anatomie et physiologie du corps humain** ainsi que les pathologies associées.

Exploitation :

Le chapitre 5 présente des éléments de **choix des palmes** en fonction du niveau et des objectifs des pratiquants.

Le chapitre 6 donne quelques éléments de **pédagogie** à disposition de l'enseignant ou de l'apprenti enseignant pour le palmage, des éléments qui ne prétendent pas bien sûr être exhaustifs ni limitatifs.

Table des matières

| | |
|---|----|
| Avant propos | 2 |
| Organisation du document | 3 |
| 1 Relations générales entre technique et matériel dans le domaine sportif..... | 6 |
| 2 Le palmage – analyse mécanique de ce mode de propulsion..... | 10 |
| 2.1 Les résistances à l'avancement chez le nageur en libre | 10 |
| 2.2 Les résistances de propulsion | 11 |
| 2.3 Les forces propulsives, modèle traditionnel de Newton | 12 |
| 2.4 Des précisions sur ce modèle des forces propulsives..... | 14 |
| 2.4.1 Portance et traînée en natation | 15 |
| 2.4.2 Il faut bien différencier propulsion en traînée et propulsion en portance | 17 |
| 2.4.3 La notion de « pas ». | 18 |
| 2.5 Le modèle des forces propulsives est-il applicable pour le palmage ? | 19 |
| 2.6 Une étude mécanique du palmage..... | 20 |
| 2.6.1 La fermeture du ciseau | 20 |
| 2.6.2 L'ouverture du ciseau | 22 |
| 2.7 En synthèse..... | 24 |
| 3 La palme moderne – fabrication, caractéristiques..... | 26 |
| 3.1 Normalisation | 26 |
| 3.2 La palme en plastique ou polypropylène..... | 27 |
| 3.2.1 La voileure | 27 |
| 3.2.2 Le chausson | 29 |
| 3.2.3 L'écoulement de l'eau | 30 |
| 3.3 La palme en carbone | 31 |
| 3.4 La fibre de verre | 32 |
| 4 Anatomie physiologie du corps humain et palmage | 33 |
| 4.1 Un mot sur le développement moteur général et les différents publics | 33 |
| 4.2 Le rôle des différents groupes musculaires dans le mouvement de palmage..... | 35 |
| 4.2.1 Muscles de l'abdomen et mouvement de la cuisse | 35 |
| 4.2.2 Muscles de la hanche et de la cuisse : mouvement de la cuisse | 36 |
| 4.2.3 Muscles de la cuisse et articulation du genou : mouvement de la jambe | 37 |
| 4.2.4 Muscles de la jambe et articulation de la cheville : mouvement du pied | 38 |
| 4.2.5 Muscles du pied : mouvement de la voûte plantaire | 39 |
| 4.3 Le mouvement de palmage..... | 40 |
| 4.3.1 Sans déplacement | 40 |
| 4.3.2 Avec déplacement (horizontal ou vertical) | 40 |
| 4.3.3 Le palmage sur et sous l'eau | 41 |
| 4.3.4 Un mot sur la mono palme | 41 |
| 4.4 Les pathologies..... | 42 |

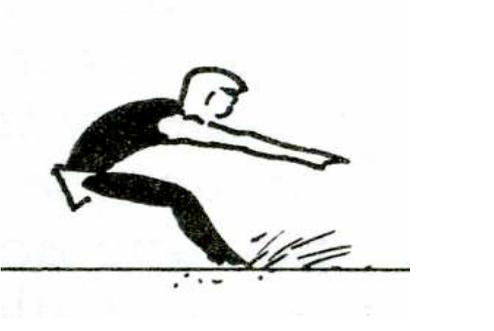
| | | |
|-------|---|----|
| 5 | Choix des palmes aux niveaux de plongeurs | 43 |
| 5.1 | A quoi servent les palmes dans la pratique | 43 |
| 5.2 | Lesquelles choisir : accompagner le plongeur dans sa progression | 44 |
| 5.3 | Améliorer des performances (ex : examens) | 47 |
| 6 | L'enseignement du palmage en plongée sous-marine..... | 48 |
| 6.1 | Approche des différents publics | 48 |
| 6.2 | Approche par les différentes positions de déplacement | 49 |
| 6.2.1 | Le palmage ventral en surface (en immersion ?) | 49 |
| 6.2.2 | Le palmage vertical | 50 |
| 6.2.3 | Le palmage dorsal | 51 |
| 6.2.4 | Le palmage costal | 51 |
| 6.3 | Eclairage des erreurs de palmage les plus communes..... | 52 |
| 6.3.1 | Problèmes en relation avec le positionnement du corps..... | 52 |
| 6.3.2 | Questions liées à l'usage des membres inférieurs | 54 |
| 6.4 | La séance et la place du palmage dans la séance | 57 |
| 6.4.1 | Rappels : positionnement du temps de travail effectif dans une séance | 57 |
| 6.4.2 | Place possible du palmage dans le corps de séance | 58 |
| 7 | Conclusion..... | 61 |
| | Bibliographie et références..... | 62 |

1 Relations générales entre technique et matériel dans le domaine sportif

Les résultats sportifs peuvent être améliorés selon trois directions.

Avec un même matériel, adoption d'améliorations dans le domaine de la technique.

Prenons pour exemple le saut en longueur, dans les années 60. A cette époque on adopte un nouveau style de réception, sur les fesses en roulade et non plus en glissade, sur les pieds, jambes semi fléchies. Les résultats progressent : si les pieds touchent les premiers le temps de vol plané est plus court que si, jambes relevées, on tombe en glissade et sur les fesses.

| Pieds | Fesse |
|--|---|
| Record du monde de Ralph Boston : 8,35m (1965) | Bob Beamon : 8,90m (1968) |
|  |  |

A technique donnée, par évolution du matériel.

Au 1^{er} semestre 2008, période pré Jeux Olympiques censée ne pas correspondre encore aux pics de forme sportifs, donc aux exploits, trente-neuf records du monde de natation sont pourtant battus, dont trente-six avec usage de la nouvelle combinaison en LZR Racer de Speedo.

Il s'agit d'un vêtement « révolutionnaire » en polyuréthane ultra fin, déperlant, résistant au chlore, soudé par ultrason (la traînée en est réduite de 6%) et qui inclue un stabilisateur de position hydrodynamique.

Michael Phelps vante une tenue « qui élève la natation à un niveau encore inconnu », Pieter Van den Hoogenband loue ses qualités de flottaison : « les hanches sont plus haute dans l'eau, c'est comme si tu volais ».

Dans le même esprit on pourrait citer pêle-mêle l'apparition du vélo de vitesse en fibre de carbone ou du ballon de foot en synthétique dont les performances mécaniques sont normalisées et stables par tous les temps.

Par adaptation de la technique à l'évolution du matériel.

Saut à la perche où le passage de la perche rigide en zical ou en acier à la perche flexible en fibre de verre ou de carbone a fait progresser les performances de près de deux mètres avec, aussi, des styles complètement différents.

Venons- en à la plongée.

Même matériel, diversification des activités. La table de plongée à l'air permet, à travers des cheminements spécifiques, de maîtriser la plongée en lacs d'altitude, la plongée aux mélanges enrichis.

Même technique, amélioration du matériel : amélioration du confort de la ventilation dû à l'évolution des détendeurs, fiabilité accrue de l'étanchéité des jupes, plus fines sur les bordures de masques, amélioration de la qualité des néoprènes ...

Evolution du matériel permettant une adaptation de la technique : le direct- system, le manomètre immergeable, le deuxième détendeur, la systématisation du gilet à tous les niveaux, la palme.

Evolution du matériel nécessitant une refonte des techniques existantes, assimilable au passage perche rigide perche souple qui a donné lieu à deux disciplines n'ayant en commun que le nom : Apparition du volume constant, des combinaisons étanches ou semi- étanches, des Nitrox standards, des Trimix et de leurs tables propres qui relèvent de qualifications spécifiques.

Revenons en détails sur chacun de ces points qui méritent des commentaires.

Même matériel, diversification des activités.

A défaut de constituer un moyen de calcul de sa décompression sur le terrain (on utilisera pour ça des tables spécifiques) l'utilisation des tables fédérales pour la plongée en altitude est utile pédagogiquement dans les problèmes.

Pour les mélanges enrichis, une règle de trois classiques sur les pourcentages volumiques en Azote dans l'air et dans le mélange permet d'aborder les problèmes à l'aide de ces mêmes tables.

Mêmes techniques, amélioration du matériel.

Par leur douceur, les détendeurs se sont fait oublier.

Les problèmes d'entrées d'eau dans le masque ont été considérablement améliorés par les jupes souples. Toutefois si la moustache ou le collier ne posent généralement pas de problème, une barbe de deux ou trois jours perturbe toujours l'étanchéité et oblige à une purge fréquente, susceptible de gâcher la plongée.

Les néoprènes se sont améliorés. A l'origine ceux-ci étaient peu élastique, c'est-à-dire bien déformables en compression mais assez peu en traction (comme les éponges synthétiques de cuisine). Très sensibles à l'écrasement dû à l'augmentation de pression, le plombage confort en surface était beaucoup trop lourd au fond. Peu élastiques en traction, les parties fortement étirées lors de l'habillage étaient de nature fragile : chevilles, poignées, taille au passage des épaules. Ce dernier point avait été résolu par la fermeture éclair de poitrine. Les fermetures éclair de chevilles et de poignets sont apparues plus tard. Le néoprène était très sensible aux déchirures.

Les néoprènes actuels sont plus denses (plus « mousse », moins « éponge »). Les bulles d'air emprisonnées sont plus petites et plus nombreuses, donc moins sensibles à l'écrasement. De ce fait, le poids apparent varie moins avec la profondeur. Ces néoprènes sont par ailleurs beaucoup plus étirables, les fermetures éclairs peuvent être supprimées sans que les chevilles ni les poignets ne posent de problème lors de l'enfilage du vêtement.

Evolution du matériel permettant une adaptation de la technique.

⇒ Le direct- system avait sonné le glas du détenteur Mistral démunie de moyenne pression bien que, par ailleurs, irréprochable. Il a permis de supprimer la petite bouteille de Fenzy comme le démarreur électrique a supprimé sur les motos le lanceur à pied.

⇒ Le manomètre immergeable a permis la suppression de la commande de réserve et surtout de s'affranchir de certains problèmes de gestion de la consommation. Dans la mesure où la remontée a toujours lieu avec une quantité d'air restant conséquente on ne jouera pas à l'économie et au fond on s'équilibrera généralement au direct- system.

⇒ Le deuxième détenteur ou Octopus constitue un progrès sur lequel nous ne nous étendrons pas.

⇒ Le gilet à tous les niveaux. Il y a longtemps, les vieilles photos en témoignent, la Fenzy représentait la prérogative des deuxièmes échelons ou au-delà. Pour les autres, se retrouver à poids apparent nul au palier, bouteille sur réserve, signifiait un poids apparent au fond prohibitif et la mise en vitesse pour la remontée, au départ du fond, était laborieuse. A quelque chose malheur est bon... à cette époque, au moins affinait-on son lestage au possible.

⇒ La palme.

La chaussante : épouse bien la forme du pied et transmet donc la poussée dans des conditions optimales. Le caoutchouc se fragilise avec le temps et surtout avec le soleil. Les parties les plus sensibles sont celles à grand étirement. C'est le cas du talon en cours de chausse. Un talon fendu c'est une paire de palme bonne à jeter et le prix en est élevé. Autre inconvénient, leur taille unique, incompatible avec les deux usages pieds nus / bottillons.

La réglable : pied un peu moins bien tenu, quoique cette tenue puisse être améliorée avec des tripodes en caoutchouc. En cas de rupture d'une lanière de talon il suffit de la remplacer. D'où un moindre coût à l'usage.

Synthèse : existe une catégorie très restreinte de plongeurs ou chasseurs sponsorisés. L'expérience montre que dans leur très grande majorité, le prix n'intervenant pas, ceux-ci ont des combinaisons sans fermeture éclair et des palmes chaussantes. L'absence de fermeture éclair diminue la longévité mais confère une meilleure isolation au froid. Par ailleurs, avec un approvisionnement fréquent, il est possible d'avoir plusieurs jeux de palmes, l'un pour pieds nus, l'autre pour pieds chaussés.

La palme tout caoutchouc : l'ancienne « Pro » de la Marine Nationale représentait le top de l'époque. Petites, lourdes et raides. Palmes très nerveuses à l'impulsion mais limitées en vitesse de croisière. Une PRO moulée d'une seule pièce dans du caoutchouc (lanière arrière de réglage amovible) pesait 1,750 kg et mesurait 46,5 cm.

La palme à voilure composite : palme moderne comprenant une grande variété de modèles plus ou moins performants. Ci après les caractéristiques techniques (et les arguments commerciaux) de quelques modèles actuels :

DESSAULT CARBONE (DESSAULT)

Chaussant en techno polymère injecté.

Renfort cou-de-pied pour une plus grande transmission d'énergie.

Voilure carbone de dureté moyenne idéale pour la chasse sous-marine.

Longueur de la voilure : 60 cm. Longueur totale : 90 cm. Poids : 1,900 kg la paire en 42/44.

BI PALME 760 B4 C5 (E BREIER)

Matière pré imprégnée pressée à chaud en époxy verre carbone, propriétés mécaniques d'un rendement 15 à 20 % supérieur à l'autre série EG du même fabricant, en époxy verre.

Usage : Chasse : déplacement en surface sur 400 à 800 m et dans la zone des plus de 25 m.

Apnée dynamique horizontale et poids constant.

Chaussons : réglage du cou-de-pied par Velcro marine, permet d'ajuster le chausson et aussi de changer d'épaisseur de chaussettes néoprène en fonction de la température de l'eau.

Guides latéraux en T pour un bon guidage lors du palmage.

Longueur de la voilure : 59 cm. Longueur totale : 87 cm. Poids : 1,500 kg la paire.

MUNDIAL CARBONE (BEUCHAT)

Chaussant élastomère bi matière renforcé par une ceinture au cou-de-pied, permettant de transmettre davantage (Beuchat dit « intégralement ») la puissance.

Voilure en composite verre et carbone

Longueur de la voilure : 61 cm. Longueur totale : 90 cm. Poids : 2 kg la paire en 43/44.

Nous verrons plus loin la relation censée exister entre certaines de ces caractéristiques et la performance du palmage.

Dans les palmes à voilure composite notons la particularité de la mono palme. Comme en aéronautique l'aile d'avion, la palme génère une portance qui portera le poids, mais aussi une traînée qui nécessitera un moteur. De ce fait, aux deux extrémités des ailes existent des tourbillons marginaux. Ces tourbillons freinent de façon non négligeable puisqu'ils représentent environ 37% de la traînée totale. Sur une palme en mouvement apparaissent deux de ces tourbillons marginaux, l'un à droite l'autre à gauche. On voit qu'en passant de deux palmes à la mono palme on passe de quatre à deux tourbillons et la traînée s'en trouve considérablement réduite.

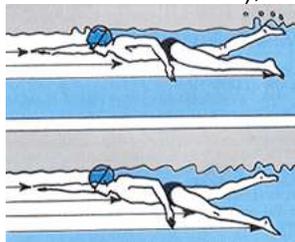
Revenons sur ces dernières notions.

2 Le palmage – analyse mécanique de ce mode de propulsion

2.1 Les résistances à l'avancement chez le nageur en libre

Ces résistances proviennent :

- du coefficient K de pénétration du nageur dans l'eau, directement issu de sa géométrie de corps, toute eau égale par ailleurs, comme le Cx d'une voiture,
- de la surface S du maître couple du nageur, à savoir la projection orthogonale du nageur sur un plan perpendiculaire à sa vitesse (en crawl, réduire le maître couple revient donc à se placer le plus près possible de la position horizontale, en Démonstration Technique avec Handicap, remonter bien vertical),



- du carré de la vitesse du nageur V. Multiplier la vitesse par 2 revient à quadrupler la résistance à l'avancement, ce qu'il faudra atténuer par une réduction du maître couple : horizontalité, verticalité.

$$R = K.S.V^2$$

(Didier Chollet – 1992 – « Approche scientifique de la natation sportive »)

La résistance à l'avancement se décompose en plusieurs éléments; on distingue :

a) Une résistance de forme, tourbillonnaire (ou « **traînée** ») : cette composante est associée aux mouvements latéraux et verticaux excessifs. Elle dépend de la forme du corps du nageur au cours de son déplacement. Elle se divise en :

- une résistance **frontale** (à l'avant du corps) liée au coefficient de forme. COUNSILMAN (1968) note que cette traînée augmente très significativement quand la tête est en position d'extension au lieu de se trouver dans l'axe du corps. (Johnny Weissmuller, le premier homme sous la minute au cent mètres crawl, qui durant toute sa carrière n'a jamais été battu, nageait pourtant tête hors de l'eau),
- une résistance **de remous** ou de queue. Lorsque la surface du maître couple augmente et plus particulièrement quand l'arrière du corps est mal profilé, il y a création d'une dépression qui exerce un effet de succion ou d'aspiration derrière le nageur. Relation directe avec le scaphandre, en particulier.

b) Une résistance **de vague** : elle est liée aux mouvements réalisés à proximité de la surface de l'eau (entrée et sortie de l'eau des segments propulsifs, notamment). En avant du corps se situe la crête de la vague d'étrave et en arrière le creux de la vague de poupe. Ainsi, en avançant, le nageur crée une pente liquide qu'il doit surmonter. Il rencontre sans cesse une zone de haute pression à l'avant de son corps.



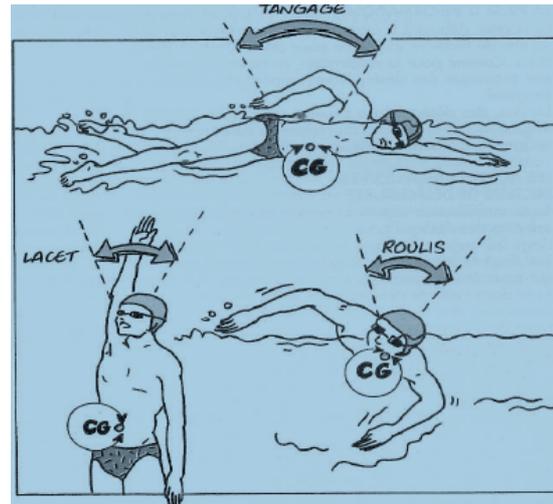
c) Une résistance **de frottement**, liée à l'écoulement de l'eau le long du corps.

d) La turbulence de surface : due au clapot naturel ou sillage des corps voisins en mouvement. Notons qu'en piscine les rigoles latérales absorbent les ondes de sillage qui sinon viendraient perturber les nageurs suivants, en se réfléchissant sur les parois.

2.2 Les résistances de propulsion

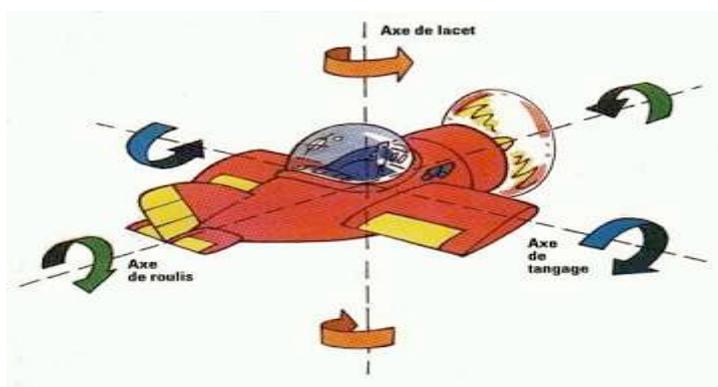
Les résistances de propulsion sont essentiellement attachées aux mouvements de la partie supérieure du corps : tête, bras, épaules, tronc. On note :

- Le tangage : oscillation autour d'un axe transversal gauche droite passant par le centre de gravité du nageur. Le tangage provient d'un retour aérien des bras trop lent ou avec temps mort, par exemple dans la nage en rattrapé. (Il est voulu dans la brasse papillon, dans la nage en dauphin et dans la mono palme).



- Le lacet : oscillation autour d'un axe haut bas passant par ce même centre de gravité tête non fixée, action motrice désaxée.

- Le **roulis** des épaules : oscillation autour d'un axe longitudinal tête pieds. Le roulis est issu chez le crawlleur de problèmes respiratoires, un temps respiratoire trop long. (Avantageusement supprimé par l'utilisation du tuba en surface). Or ce temps subordonne la propulsion, par un rapport entre le nombre de mouvements de bras et le nombre de battements de pied. Par exemple voici un battement simple à 2 temps pour une épreuve de fond : l'opposition bras jambe, le bras droit descend, la jambe gauche remonte.



Comparativement au crawlleur, le nageur avec palme pratique une nage de type « en rattrapé ». Du fait de cette lenteur des mouvements de bras, désynchronisés des pieds, tangage et roulis sont susceptibles de l'affecter.

2.3 Les forces propulsives, modèle traditionnel de Newton

Maintenant, chacun sait qu'avant d'accéder à un quai il est sage d'y attacher d'abord le bateau et d'y avoir une prise. Sinon au moment de débarquer le bateau s'éloigne du quai et on manque le saut en poussant l'embarcation hors de portée. Pourquoi ?

Parce que si les jambes poussent le corps vers le quai, elles appliquent également au bateau une force dans la direction opposée qui l'éloigne du quai.

Le principe physique traditionnel qui explique le déplacement d'un corps (de nageur) dans un fluide (l'eau) est celui de la troisième loi de Newton, ou « principe d'action réaction » :

Si l'objet A (le nageur) exerce une force F sur l'objet B (l'eau),
Alors l'objet B exerce une force d'intensité égale et de sens opposé : $-F$, sur l'objet A.

En réaction à une action du nageur sur l'eau, orientée vers l'arrière, par les mains et par les pieds, l'eau pousse le nageur... et le fait avancer.

En crawl, la propulsion est assurée principalement par les membres supérieurs (bras) et cinq fois moins par les membres inférieurs, d'ailleurs il n'est qu'à voir la musculature des sprinteurs de nage libre pour s'en convaincre, très développée aujourd'hui du haut du corps... (École Alain Bernard versus Alexander Popov). Ceci, malgré les résistances propulsives correspondantes.

Dans le modèle traditionnel de Newton :

a) La **vitesse** de déplacement du nageur est

- proportionnelle à l'intensité de la force qu'il applique et au temps pendant lequel il l'applique,
- fonction décroissante de sa propre masse corporelle (ça c'est un invariant),
- antinomique des frottements : dépend de sa position dans l'eau, travail technique.

Théorème des quantités de mouvement : $M.V = \text{constante}$. La petite balle de fusils est projetée à grande vitesse alors que la grosse masse du chasseur subit un faible recul.

$V_{\text{nageur}} \times M_{\text{nageur}} = V_{\text{eau éjectée}} \times M_{\text{eau éjectée}}$ tout frottement de l'eau mis à part

Nous voyons tout de suite que masse du nageur et quantité de frottements du fluide desservent le plongeur en particulier en bouteille. Nous y reviendrons.

b) La **poussée** du nageur, qui est égale à la traînée $K.S.V^2$ vue § 2.1 est, quant à elle :

- proportionnelle à la vitesse d'éjection de l'eau,
- proportionnelle à la masse d'eau éjectée et ceci, par unité de temps.

$\text{Poussée} = Q_M (V_s - V_e)$ où Q_M est le débit massique, $Q_M = (M_{\text{eau éjectée}} / \text{Temps d'éjection})$ et V_s et V_e sont respectivement la vitesse de sortie (d'éjection) et d'entrée (vitesse du nageur)

Pour qu'une poussée existe il faut que $V_s > V_e$ et que V_s soit la plus grande possible.
Il faut donc que le mouvement propulsif **accélère constamment**.

Pour une masse d'eau éjectée donnée (supposons qu'elle soit, dans le cas de la palme, attaché au type de palme) et une vitesse d'eau éjectée donnée, un mouvement bref sera plus **puissant** qu'un mouvement lent (Plus grand débit QM).

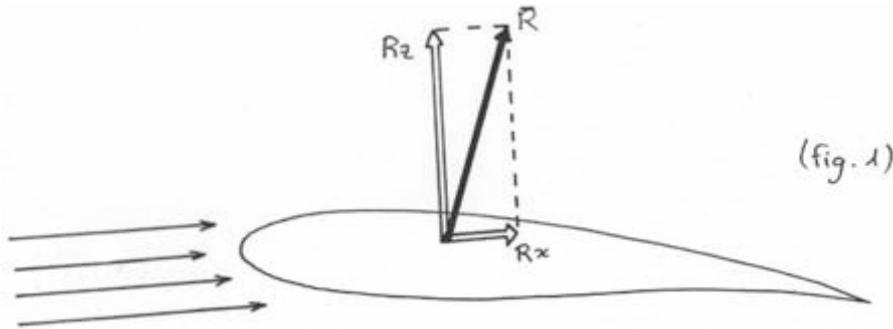
En tout cas, le modèle de Newton est basé sur :

- une orientation des surfaces propulsives perpendiculairement au sens de déplacement,
- l'appui sur une certaine masse d'eau et une accélération progressive de la force d'appui, pour augmenter la vitesse d'éjection de l'eau.

2.4 Des précisions sur ce modèle des forces propulsives

Le modèle est issu des appuis. Le nageur va chercher la plus grande résistance possible au niveau des membres.

Pour avancer il s'agit de combiner des forces dites de « Traînée » et de « Portance ». De quoi s'agit-il ?
La Traînée (R_x) est toujours parallèle au sens de déplacement et s'applique en sens inverse de celui-ci.
La Portance (R_z) est perpendiculaire à la Traînée.
La somme de ces deux forces correspond à la résultante hydrodynamique.



Sur une aile d'avion, la force aérodynamique qui se développe a donc une composante perpendiculaire à la vitesse appelée portance (R_z) et une composante parallèle à la vitesse appelée traînée (R_x).
En croisière R_z est 15 à 20 fois plus grande que R_x . Il est donc impératif de travailler en portance.
C'est R_z qui emportera le poids, un petit moteur suffisant à vaincre R_x .

On retrouve ce principe dans le vélo, la moto, l'auto, le chariot de grandes surfaces, la valise à roulettes, où le moteur ne sert qu'à vaincre la traînée.

Dans certains cas au rendement déplorable le moteur doit à la fois assurer portance et traînée : l'hélicoptère, la valise sans roulettes, la marche ou la course à pieds où la majeure partie de l'énergie dépensée est utilisée pour les déplacements verticaux du centre de gravité, puisqu'on est condamné à progresser par bonds. Au contraire, le cycliste est assis et assure seulement une translation pure : les records à pieds et à vélo ne sont pas comparables.

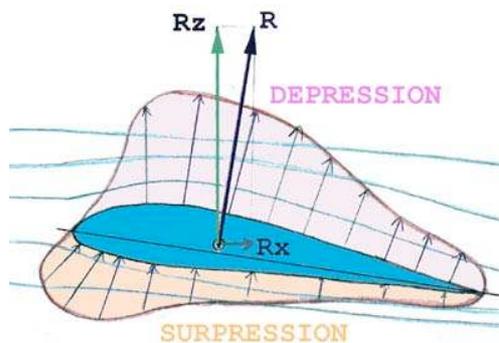
On retrouve le travail en poussée dans la rame qui se déplace parallèlement à la vitesse, dans les anciens bateaux munis de roues à aubes. Un cas original où la poussée tient lieu de portance est le parachute classique qui, sans vent, descend verticalement. La vitesse étant parallèle au poids, paradoxalement $R_x = mg$ et $R_z = 0$.

L'hélice par contre travaille en portance puisque les pales tournent dans un plan perpendiculaire à la vitesse. Elle a de ce fait supplanté la rame ou la roue à aubes. La rame peut travailler en portance : dans la godille où elle se déplace perpendiculairement à la vitesse.

2.4.1 Portance et traînée en natation

Soit la main du nageur dans l'eau, mouvement de bras mis à part

De part et d'autre du bord d'attaque de la main, l'eau se sépare. Toutefois, elle arrive au même point de sortie, au même moment. Or sur le haut de la main, convexe, la distance à parcourir est plus grande que sur le bas, concave. Pour parcourir une plus grande distance et parvenir tout de même au même point de sortie au même moment, il faut que la vitesse de déplacement soit plus grande sur le haut que sur le dessous (Théorème de BERNOULLI). La grande vitesse crée une basse pression et la petite vitesse une haute pression. Ainsi **sur la main apparaît une force de Portance**, elle agit de la HAUTE pression vers la BASSE pression.



Qu'en est-il du cas du crawl ? La main s'y déplace apparemment en traction dans un plan horizontal, d'avant en arrière. Travaille-t-elle en traînée ?

Plaçons-nous debout bras droit tendu horizontal, le bout des doigts affleurant le montant vertical de l'encadrement d'une porte. On avance lentement en descendant progressivement le bras tendu, de telle sorte que les doigts suivent toujours la verticale. Bientôt on se retrouve bras vertical à hauteur du passage. Continuons d'avancer et relevons maintenant le bras vers l'arrière en gardant toujours le contact. Bientôt le bras se retrouve horizontal, doigts toujours au contact du chambranle. Dans notre déplacement vers l'avant, la main a reculé comme dans le crawl. Mais c'est par rapport à soi qu'elle recule. Par rapport au mur que l'on vient de franchir elle s'est déplacée dans un plan vertical perpendiculairement à la vitesse.

De même la main du crawlleur qui descend puis remonte se déplace verticalement par rapport au mur de la piscine.

Donc **en crawl sur les phases de traction le travail est en portance**. Les mouvements de la main se rapprochent de ceux de l'hélice. Au début du siècle passé il y avait la nage indienne dans laquelle les mains se déplaçaient parallèlement à la vitesse, puis la brasse de l'époque où les mains travaillaient dans un plan horizontal. Le chien travaille en traînée, la queue du poisson en portance puisqu'elle godille. Les brasseurs actuels combinent des mouvements verticaux qui rapprochent du travail en portance.

Mais la nage avec des palmes est moins fondée sur les mains que la nage en crawl. En nage avec palme la godille des mains nous intéresse moins.

En tout cas, le modèle des appuis est basé sur :

- une orientation des surfaces propulsives proche de la perpendiculaire au sens de déplacement,
 - l'appui non pas sur une seule mais une succession de masses d'eau différentes.
- Le mouvement n'est pas uniformément accéléré mais il est une suite d'accélération en fonction du changement des appuis.

2.4.2 Il faut bien différencier propulsion en traînée et propulsion en portance

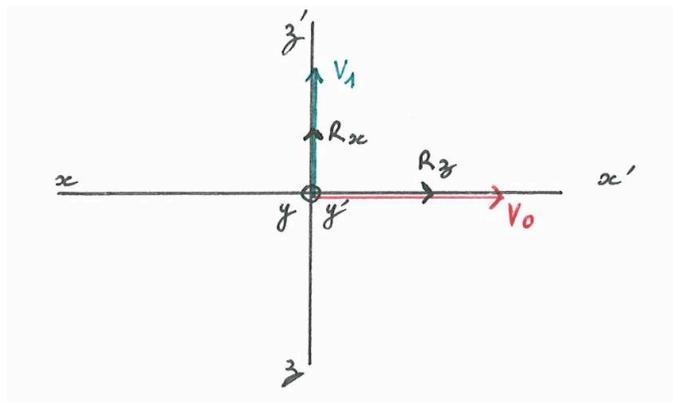
Portance ne veut pas nécessairement dire emport du poids, la portance peut très bien avoir une composante essentiellement propulsive.

Certes sur l'aile d'avion, vu le poids important et vertical de l'appareil on mettra la portance R_z verticale et c'est le moteur qui fournira la traction R_x . Mais l'hélice, elle, a intérêt à fournir une grande traction, donc on mettra R_z horizontal et R_x travaillera en rotation dans le plan vertical.

Pour le nageur c'est comme pour l'hélice. Afin de maximiser la composante horizontale de R_z (c'est cette projection horizontale qui donne la propulsion) la palme se déplace le plus proche possible de la verticale.

En fait :

Soit un *élément propulsif*, convenablement orienté et qui se déplace à la vitesse V_1 , en générant une traînée R_x , parallèle et une portance R_z , perpendiculaire.



Si le *corps propulsé* se déplace à V_0 perpendiculaire à V_1 c'est la portance R_z qui est propulsive. Le corps propulsé « nageur » avance à V_0 et les éléments propulsifs « palmes » battent à V_1 dans le plan $y' z'$

Si le *corps propulsé* se déplace à V_2 opposé de V_1 c'est la traînée R_x qui est propulsive. La rame recule et le bateau avance.

2.4.3 La notion de « pas ».

C'est une notion fondamentale et universelle. Le pas est le chemin parcouru pour un tour [par exemple d'hélice] ou pour un cycle [de mouvement propulsif... ou de battement de palme].

Les moteurs ont généralement un régime (une fréquence) optimum autour duquel leur rendement est le meilleur. Pour conserver toujours ce même nombre de cycle par seconde ou par minute, il est évident que, selon la vitesse, il faudra une avance par tour différente.

Prenons un coureur de 100 mètres qui tourne à quatre foulées par seconde. Au départ, quand sa vitesse vaut 1m/s, chaque foulée fait 25 cm. Sur la fin lorsqu'il se déplace à 10 m/s, sa foulée vaut 2,5m. La longueur d'une foulée est justement le pas.

On voit qu'il faut démarrer plein petit pas et l'augmenter progressivement avec la vitesse.

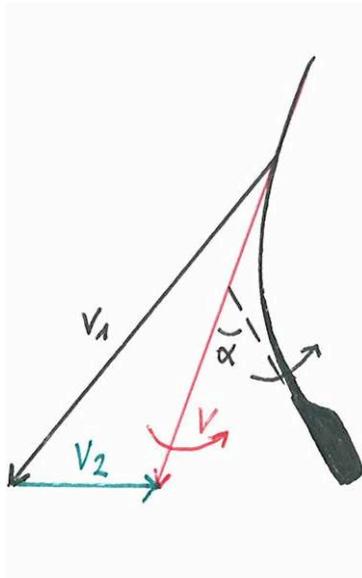
En auto le petit pas est la première (plein petit pas signifie plein gaz en première), le grand pas la cinquième ou sixième vitesse. Pareil en vélo : en montagne, faible vitesse = plein petit pas soit grand pignon derrière et petit devant. L'inverse en plat contre la montre.

Le pas d'une vis est aussi son avance par tour. Les petits pas (pas fins) sont utilisés pour ne pas se desserrer intempestivement : Vis de fixation des roues d'autos. Les grands pas nécessitent un freinage car elles se desserrent aux vibrations.

Venons-en à la palme. La notion de pas pour la palme ne se trouve pas dans la littérature, pourtant cette notion existe.

De même qu'un moteur ne peut pas fonctionner en cinquième à dix à l'heure ou en première à 120 à l'heure, il faut s'attendre à ce qu'une palme ait une utilisation adaptée à la vitesse. Un plongeur aguerri a une fréquence de palmage qu'on appellera fréquence confort (x battements / minute) et qu'il garde en permanence. Il est capable avec ce palmage d'aller plus ou moins vite par un calage adéquat, de même qu'une auto peut, en jouant sur les rapports balayer une grande plage de vitesse avec un régime de 2500 tours.

Illustration :



Pour avoir l'incidence α il faut déterminer la vitesse palme v_{eau} .

Nous l'obtiendrons par une addition vectorielle :

Vitesse palme v_{eau} = vitesse palme v_{nageur} + vitesse nageur v_{eau} .

Soit : (figure)

$$V = V_1 + V_2.$$

A palmage donné (à V_1 donné, la vitesse palme v_{nageur}) :

si V_2 augmente (la vitesse nageur v_{eau})

alors V bascule (vitesse palme v_{eau}).

Pour conserver l'angle d'incidence α optimal la palme doit suivre c'est-à-dire que la corde de la palme (la tangente au talon) doit pivoter d'autant :

Augmentation de l'amplitude, augmentation du pas.

A l'inverse si V_2 diminue : diminution du pas.

Si $V_2 = 0$, palmage de sustentation, la palme doit talocher bien à plat, plein petit pas.

2.5 *Le modèle des forces propulsives est-il applicable pour le palmage ?*

Maintenant, soit une palme à laquelle on imprime une amplitude angulaire de 90 degrés : elle passe de moins 45 à plus 45. Alors qu'elle est très cambrée je la stoppe brusquement au point mort de 45 degrés. Au début du cycle inverse elle commence par se désarmer : la voilure est redevenue plane vers 30 degrés. Puis elle se réarme en se cambrant dans l'autre sens sur encore une quinzaine de degrés. Alors seulement, se retrouvant en tension, elle recommence à travailler, jusqu'à moins 45 degrés.

Et recommence le cycle : 15 premiers degrés de désarmement, 15 degrés suivants d'armement et travail sur les 60 degrés restant. Etc. ...

Finalement seul le cœur du mouvement est actif, nous le nommerons phase « active ». Sur 90 degrés il y a trente degrés de déchets qui servent aux armements et aux désarmements et que nous nommerons phase « passive ». En phase passive la palme revient naturellement à sa position de repos par la mémoire de forme des matériaux qui la composent, l'énergie employée est faible, la force propulsive aussi (nous la négligerons).

Dans le cycle (15 ° de désarmement 15 ° suivants d'armement et travail sur 60 °) **plus la palme est souple plus important est le déchet des angles de désarmement/armement.**

La palme moderne est en graphite avec une voilure légère longue et souple. L'amplitude du palmage a donc considérablement évolué avec l'avènement de ces palmes, dans le but d'augmenter la phase active (souplesse), de pair avec le volume d'éjection de l'eau (surface). Jadis avec les palmes en caoutchouc de la Marine Nationale, lourdes courtes et raides, une petite amplitude suffisait : Palmes très nerveuses à l'impulsion mais limitées en croisière.

Les palmes actuelles ne donnent au contraire leur pleine mesure qu'au prix d'une grande amplitude.

Mais **le comportement propulsif de la palme est inabordable par le calcul.** En effet :

Les voilures rigides (ailes d'avion) résistent aux efforts aérodynamiques et gardent leurs formes propres. Les voilures souples (voile de bateau, delta plane, parachute) n'ont pas de rigidité et ne travaillent qu'en traction en se gonflant, en se tendant, sous l'action du fluide en mouvement.

Sur la palme, voilure semi-rigide, les forces sont en première approximation proportionnelles au carré de la vitesse. A chaque vitesse correspond donc un champ de forces qui façonne une palme différente.

En aérodynamique le vecteur vitesse est repéré par son incidence, angle qu'il forme avec la corde du profil d'aile, indéformable. Ici pour une ouverture donnée (hanche- genoux- cheville verrouillés) et en prenant comme corde de référence de la palme la tangente au talon, il existe pour chaque vitesse une palme différente. D'où une double infinité de solutions obtenues par variation de l'incidence à vitesse donnée, et par variation de la vitesse à incidence donnée.

Par ailleurs le problème se complique car, contrairement aux voilures rigides et souples évoquées précédemment, la palme ne se translate pas. Elle associe au mouvement de translation du nageur une rotation autour du bassin. Ces restrictions ne permettent donc qu'une approche qualitative. S'il est possible d'imaginer une balance donnant les efforts développés en translation, il est impossible d'obtenir ceux résultants d'une rotation : La palme ne se retrouverait plus dans une eau calme mais dans un tourbillon consécutif à l'entraînement du fluide. Les mesures seraient faussées car les efforts mesurés seraient largement sous-estimés.

2.6 Une étude mécanique du palmage

A défaut de modèle de calcul applicable étudions le palmage sous un angle purement mécanique et attachons-nous à la phase active.

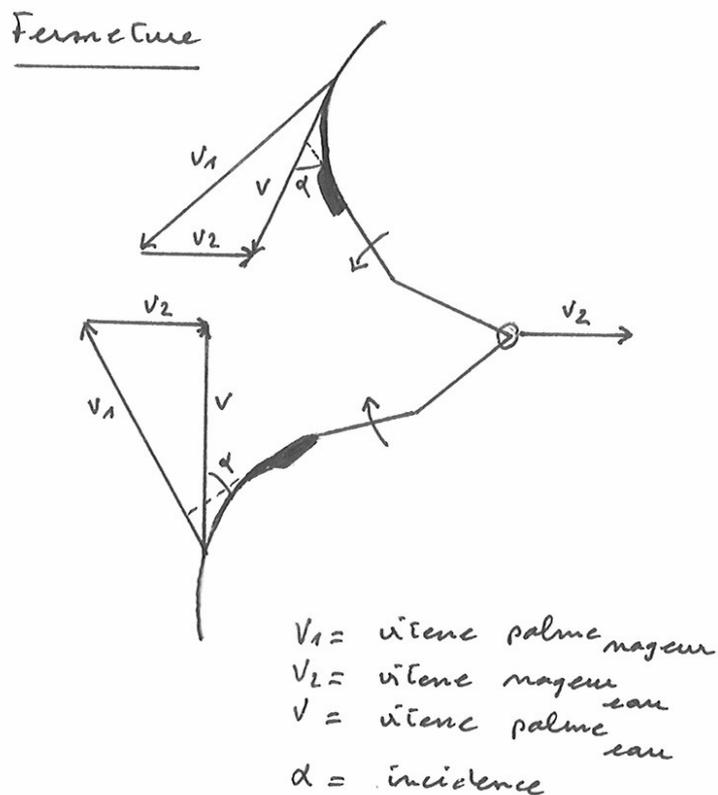
Dans un demi cycle une jambe descend, l'autre monte, l'inverse pour l'autre demi cycle. Par symétrie d'action de chaque jambe les deux demi cycles sont identiques et nous n'en étudierons qu'un seul.

Soit, comme auparavant : Vitesse palme_{eau} = vitesse palme_{nageur} + vitesse nageur_{eau}.
Que l'on écrira : (cf. figures ci après) $V = V_1 + V_2$.

Les palmes tournant autour du bassin, V_1 est tangente au cercle centré en ce point et varie donc selon la position de la palme. V_2 par contre est une translation, la même dans tous les cas.

2.6.1 La fermeture du ciseau

A la fermeture du ciseau : l'incidence est faible. Les champs de pression sont bien établis. Les deux faces de la palme travaillent dans des conditions optimales. **Grand effort de propulsion.**



Par ailleurs sur le schéma ci après sont représentées :

Rzu la composante – horizontale – de portance utilisable pour la propulsion et
Rxu la composante – horizontale aussi - de traînée utilisable pour la propulsion.

Si on veut que la propulsion du nageur ici appelée Tu soit *maximale*, il faut que

Rzu et Rxu soient vers l'avant, donc

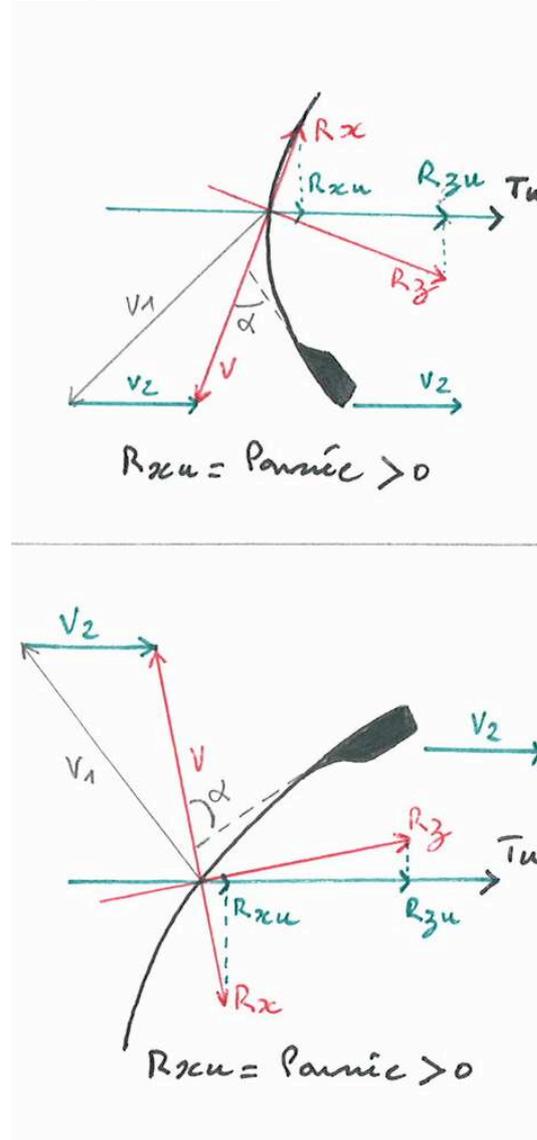
Rx et Rz soient aussi vers l'avant, donc

V vers l'arrière (puisque de sens opposé à Rx) et

V1 aussi vers l'arrière (puisque $V = V1+V2$).

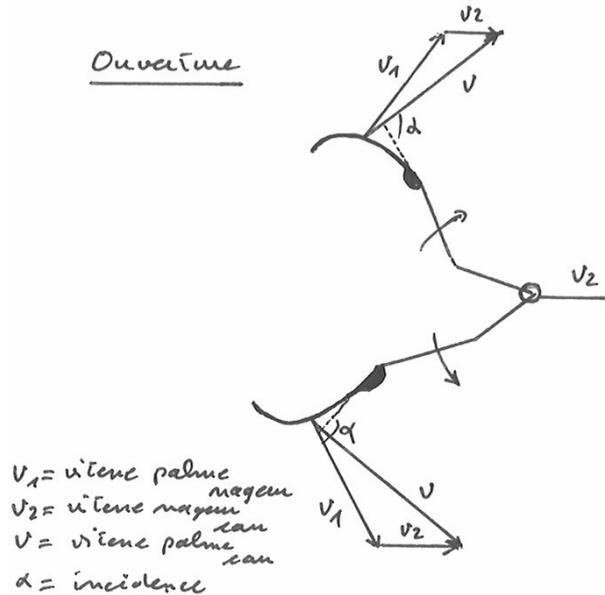
V1 vers l'arrière c'est bien de fermeture du ciseau qu'il s'agit : **Grand effort de propulsion.**

Tu : Propulsion utilisable en fermeture de ciseau



2.6.2 L'ouverture du ciseau

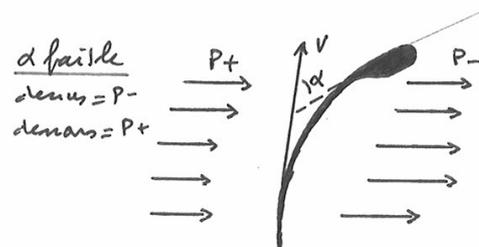
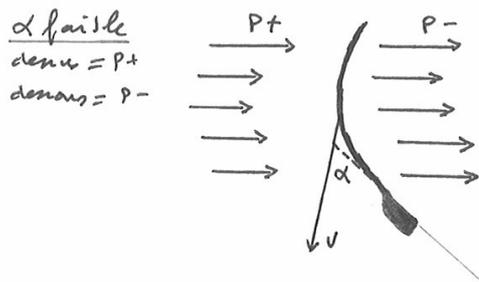
A l'ouverture du ciseau : Seule la partie extrême de la palme prend appui sur l'eau. L'incidence est grande.



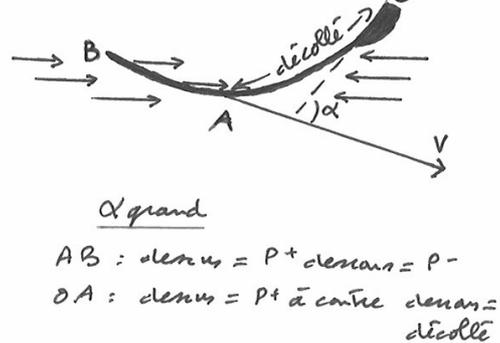
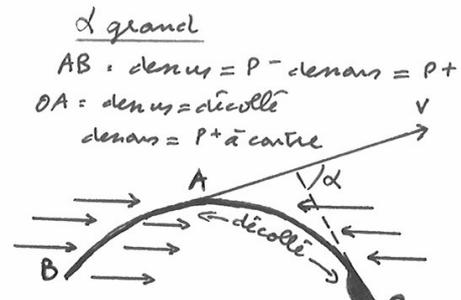
Dans ces conditions, de grande incidence, premièrement les dépressions de la face aval ne passent pas. Cette face qui devrait être aspirée ne l'est plus, on dit l'écoulement décollé, ci après. On voit que la zone d'emplanture de la palme travaille dans de très mauvaises conditions.

Moindre effort de propulsion

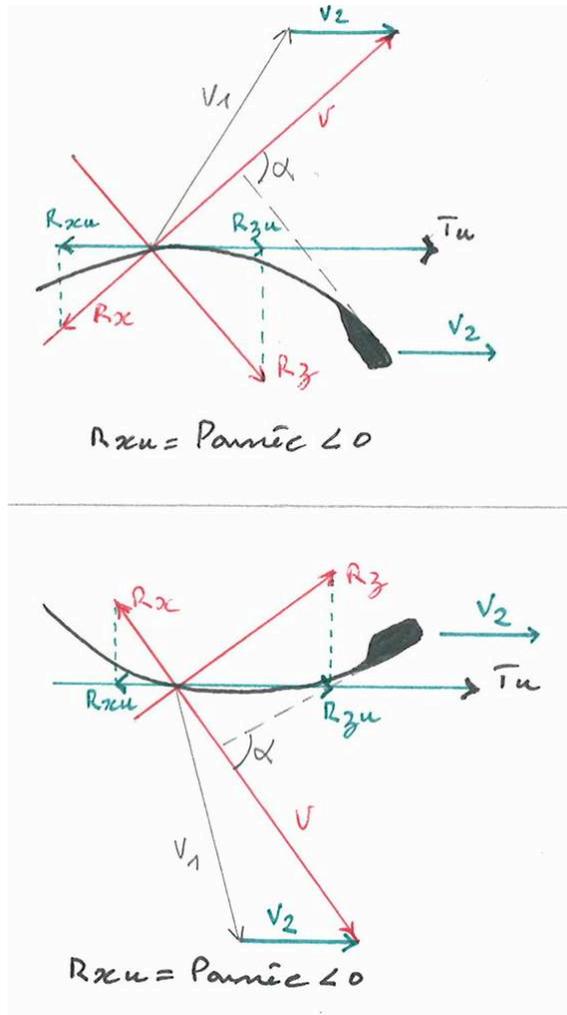
Fermeture du ciseau



Ouverture du ciseau



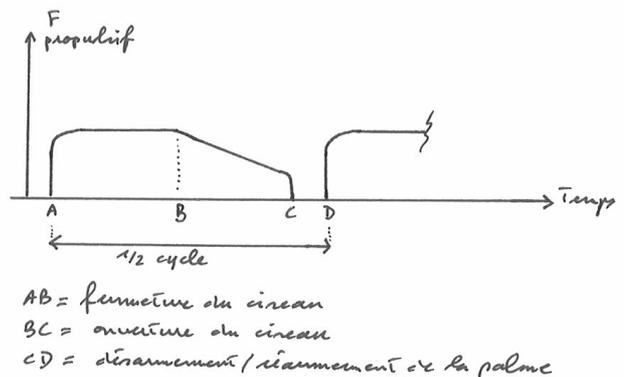
Deuxièmement, revenons au schéma de Tu propulsion utilisable, en ouverture de ciseau :



V_1 est déjà en avant, donc V l'est encore plus (puisque V_2 est vers l'avant et $V=V_1+V_2$).
 V très en avant, davantage horizontal, a deux conséquences :
 R_z est davantage vertical donc sa composante R_{zu} est petite et
 R_x tend vers l'arrière, donc sa composante R_{xu} est aussi orientée en arrière et vient se soustraire.

On voit là aussi qu'à ouverture du ciseau **moins effort de propulsion**.

Pour finir, établissement affirmé des champs de pression dans un cas, turbulences dans l'autre, ci contre voici l'allure de l'effort de propulsion dans le demi-cycle : à peu près **constant** pendant la **fermeture**, **décroissant** pendant l'**ouverture**.



2.7 En synthèse

Le nageur qui se déplace subit un certain nombre de **résistances opposées à son avancement** dont certaines peuvent être réduites par un effort de positionnement à proprement parler (davantage qu'un réel travail technique) :

- réduction du maître couple, corps placé le plus près possible de l'horizontale (en nage horizontale) ou de la verticale (en remontée ou DTH),
- réduction de la traînée frontale, tête dans l'axe du corps plutôt que surélevée,
- réduction de la traînée de remous, scaphandre et instruments bien ajustés et accolés au corps.

Le nageur subit aussi des **résistances de propulsion**, tangage et roulis, susceptibles d'être diminuées par un travail relevant plutôt des domaines de la respiration et de la technique de nage.

Je choisis de ne pas approfondir ces voies, en effet :

- Ces défauts affectent essentiellement le haut du corps et le nageur en libre alors que mon propos focalise sur les contours du palmage, partie basse du corps du nageur avec palme.
- J'ai orienté le travail sur les apports pédagogie/matériel (palme) plutôt que la technique pure de la nage.

Peut-on aborder par le calcul la propulsion dans la nage, notamment dans la nage avec palme ?

Il existe un modèle des forces propulsives de nage basé sur le principe traditionnel d'action/réaction de Newton et que l'on peut préciser en faisant appel au plan théorique à une combinaison des forces de « Traînée » (force parallèle au sens de déplacement du nageur) et de « Portance » (perpendiculaire), des notions issues de l'aéronautique.

Appliqué aux mains du nageur (nage libre) ce modèle des appuis permet d'asseoir et travailler son déplacement sur :

- une orientation des surfaces propulsives proche de la perpendiculaire au sens de déplacement,
- l'appui sur une succession de masses d'eau différentes, mouvement non pas uniformément accéléré mais suite d'accélération en fonction du changement des appuis des mains.

Mais le rendement des mains et des bras est bien moindre en nage avec palme qu'en nage libre.

Par ailleurs pour ce qui est de la palme notre modèle ne permet pas d'aborder par le calcul le comportement propulsif en raison des particularités suivantes :

- L'ouverture hanche – genoux – cheville modifie constamment l'angle d'incidence de la voilure palme (translation du nageur et rotation de la palme autour de la hanche).
- Cette voilure en plus n'est pas rigide ni uniformément déformable, ce qui provoque et fait intervenir les tourbillons du fluide environnant dans le comportement de la palme.

Donc la réponse est non.

On s'attachera donc plutôt à décrire le mouvement de palmage sous un angle mécanique, dont on peut retenir ce qui suit :

- A la **fermeture du ciseau** l'incidence est faible (1). Les champs de pression autour de la voilure sont bien établis, les deux faces de la palme travaillent dans des conditions optimales, portance et traînée contribuent toutes les deux positivement à la propulsion :
L'effort de propulsion est **maximal**.
- A l'**ouverture du ciseau** : Seule la partie extrême de la palme prend appui sur l'eau. La zone d'implanture de la palme travaille dans de mauvaises conditions, la portance est plus faible qu'en fermeture et la traînée au lieu de s'additionner vient se soustraire :
L'effort de propulsion est **moindre**.

Enfin, toute palme présente une caractéristique technique de « pas » : avance engendrée par battement.

Ce pas et donc la palme attachée sera plus ou moins adapté à un nageur donné, en fonction de la capacité physique de ce nageur à produire avec cette palme un mouvement de nature plus ou moins ample où la voilure, sous déformation, conserve un angle d'incidence optimal.

Par capacité physique on entend données anthropométriques, capacités musculaires articulaires et ligamenteuses, absence de pathologie à l'effort. Nous traiterons de ces aspects dans un chapitre spécifique.

Après cette approche mécanique voyons maintenant ce que l'on peut dire de la fabrication d'une palme du marché.

¹ L'incidence est l'angle formé par la tangente au talon et la vitesse de déplacement de la palme par rapport à l'eau, en situation de battement

3 La palme moderne – fabrication, caractéristiques

Les palmes ont connu ces derniers temps des développements radicaux.

Jusqu'à un passé récent il n'existait que des palmes de plongée en caoutchouc et de taille moyenne. Ensuite pour l'usage spécifique des apnéistes on a créé des palmes plus longues, avec des chaussons en caoutchouc et des voilures en plastique jusqu'à un mètre de longueur, puis plus tard des voilures en carbone.

Une palme est constituée de deux parties fonctionnelles :

- Le chausson permet la tenue du pied. Il est adapté aux différentes pointures. La face plantaire du chausson est plane. Le chausson est constitué en plastique ou en caoutchouc.
- La voilure, surface d'appui de la palme, est caractérisée par sa dimension et par le matériau qui lui donne son poids et sa rigidité.

3.1 Normalisation

Au contraire de la plupart des équipements de plongée, comme par exemple les détendeurs, **la réponse dynamique de la palme en situation ne fait l'objet d'aucune normalisation française ni européenne**, susceptible :

- de standardiser les caractéristiques techniques des palmes,
- de mesurer objectivement ces caractéristiques dans telles ou telles conditions.

Par conséquent et même si une telle normalisation comporte nécessairement un côté arbitraire, un peu irréel (50m 50bar pour les détendeurs par exemple), ou incomplet (matériel neuf, matériel déjà servi ?) la comparaison des palmes entre-elles ne peut que s'appuyer que sur les approches des fabricants, faites aussi de marketing, ou les retours d'expérience des pratiquants, forcément subjectifs.

On aurait pu mesurer au banc d'essai :

-La puissance d'une palme : plus une palme serait capable de déplacer de quantité d'eau, plus elle serait dite « puissante ».

-La performance ou l'efficacité d'une palme c'est-à-dire la plus ou moins grande capacité de la palme à transformer un effort donné (de palmage) en avancée du nageur.

-Le type de palmage induit, rapport entre les caractéristiques de la palme (outre sa puissance et son efficacité : sa forme, le ou les matériaux employés... etc.) et le style de palmage induit chez le nageur, tant sur les plans technique qu'anatomophysiologique.

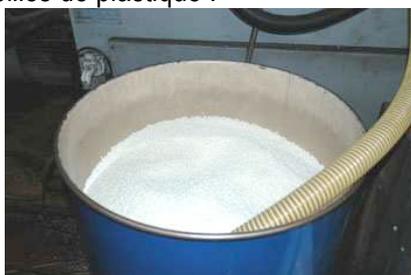
Voici maintenant ce qu'on peut dire de la fabrication d'une palme.

3.2 La palme en plastique ou polypropylène

3.2.1 La voilure

La matière première se présente sous forme de micro billes de plastique, dont la quantité est très facile à doser précisément. Ce plastique est chauffé et envoyé sous pression dans un moule par le biais de trous d'injection, où il polymérise. Une fois refroidit on obtient une voilure (ou même une palme d'un seul tenant chausson et voilure) en plastique plus ou moins dur, très légère et avec ... des effets esthétiques (couleur, signalétique).

Un magnifique seau de billes de plastique :



Des colorants et des grains différents sont utilisés afin de varier les coloris et la dureté de la matière, qu'il s'agisse de jupes, de cerclages de masques, de palmes, de flexibles ou d'autres pièces en plastique. Le procédé d'injection et de moulage de plastique est le même.

Par cette technique Mares moule une palme toutes les vingt secondes environ. C'est très rapide et ces palmes sont faciles à produire. Le prix de revient d'une paire de palmes en plastique est aux alentours de 25/30€. Le coût de revient en matière première est faible, moins d'1 € de plastique par palme.

La voilure est solide et résiste bien aux chocs ou aux déformations des sacs de voyage, des trajets en avion et des sacs de plongée rangés à la va-vite.

Toute la question de la production d'une palme plastique réside dans la création du moule, qui est propriété de chaque fabricant. Entre 150 et 200 000 euros sont investis dans un moule pour la fabrication d'une nouvelle paire de palmes chez Beuchat, il faut les amortir.

Des moules de voilures de palmes Beuchat :



Plastique ne signifie pas nécessairement palmes de plongée. En effet, on produit aussi bien en plastique des palmes longues « de chasse » :

- Une des premières palmes de chasse en plastique fut la Dessault démontable en 1994 avec une voilure plastique d'épaisseur 4mm et un chausson en caoutchouc.
- Mares : instant Pro, razor,
- Cressi : Gara 2000/3000,
- Beuchat Mundial, Omer...etc.

Pour se rapprocher du comportement « nerveux » de la palme de chasse Aqualung a innové sur sa Slingshot en ajoutant sur chaque palme deux sandows de rappel de la voilure. Le but est de ramener plus rapidement la palme dans la phase active du mouvement de palmage durant les phases de désarmement/réarmement. Enfin, c'est l'idée...

Sinon à côté du plastique, la palme caoutchouc (la voilure caoutchouc je veux dire) ça pousse fort quand on appui fort dessus, un peu comme une ... planche : palmes Alcyon, anciennes PRO de la MN. Ce n'est pas l'évolution actuelle de la palme.

Cela demeure intéressant dans certaines circonstances bien précises : décollage de la DTH, emport de beaucoup de résistance frontale comme avec une combinaison étanche, par exemple. Les palmes Mares de plongée type Aventi ont une rigidité et une stabilité comparables, avec des raidisseurs importants sur les côtés du plastique.

3.2.2 Le chausson

Un chausson actuel en plastique est plus souple et donc plus confortable qu'un chausson en caoutchouc mais il vieillit plus vite avec les agressions du soleil, du sel et les étirements. Par ailleurs le pied est moins tenu qu'avec un chausson caoutchouc par conséquent le mouvement de battement est moins bien transmis de la jambe à la voileure, avec une moindre efficacité.

Assemblage/collage manuel du chausson sur la voileure :



☺ C4 propose sur le chausson de son modèle Mustang des lacets caoutchouc chargés comme sur une chaussure de bien solidariser le pied et le chausson. Dans ce modèle les palmes ne sont plus interchangeables mais spécialisées pied droit – pied gauche, comme des chaussures.

Profitons-en pour remarquer ici l'absence de tuyères et d'importants longerons de stabilité latérale.



Pour finir, le marquage commercial des palmes à la machine :



3.2.3 L'écoulement de l'eau

La voile d'une palme plastique ou caoutchouc contient

- des canaux longitudinaux, ou tuyères, pour l'écoulement de l'eau sur la palme,
- des raidisseurs et des longerons latéraux plus ou moins importants en fonction de la rigidité recherchée,
- voire même des fentes canalisées (ou tuyères), comme dans les jet fins.

Tous ces dispositifs visent à

- assurer le guidage et la stabilité en roulis de la palme lorsque soumise à une sollicitation importante en battement dans le plan vertical, pour ne pas déraiper dans le plan horizontal,
- assurer un bon écoulement de l'eau en direction du bord de fuite lors de la nage,
- assurer le contrôle de la déformation sous l'effort, soit dans le sens de davantage de souplesse (tuyères de la Mares Aventi) ou de rigidité (raidisseurs de l'Alcyon).

Autre technique d'écoulement, Scubapro est à l'origine des palmes à voilures fendues. La poussée exercée par cette voile divisée accélère le déplacement des flux d'eau au centre de la palme, guide le pied et réduit l'effort. Au premier essai, on a l'impression d'avoir oublié de chausser les palmes tellement elles sont souples. Pourtant selon leurs partisans leur résistance est impressionnante en plein effort et tout particulièrement face au courant.



3.3 La palme en carbone



Voilure plastique :



Voilure carbone tressé :

Le carbone se caractérise par un effet mémoire de forme plus important que le plastique :

- dans le temps : vieillissement,
- avec les variations de température : le plastique chaud est plus mou, une palme plastique adapté à la nage en été sera plus dure en eaux froides l'hiver,
- avec la profondeur : palme adapté à la nage en surface, palme de chasse adapté à telle profondeur.

Bref, le carbone produit des palmes plus **nerveuses** et plus fines.

Plus **légères** aussi, jusqu'à 60 % de gain sur un même profil de voilure.

[Attention, plus nerveuse ne veut pas nécessairement dire plus rigide.

Une palme rigide est moins facilement déformable, donc plus *puissante*.

Mais elle sollicite de manière importante les groupes musculaires et les tendons associés, il faudra donc être physiquement capable de l'emporter.

Une palme nerveuse retourne rapidement à sa position initiale sous la déformation, donc elle est plus prompte à se réarmer qu'une autre. Une palme nerveuse est *efficace* de par son temps de réponse plus court, elle n'est pas nécessairement rigide.]

Longtemps écartés pour leur fragilité relative, les carbones actuels se sont beaucoup rapprochés des voilures plastiques. Malgré tout il faut utiliser ces palmes avec soin et éviter les chocs, ce qui n'est pas toujours compatible avec le désordre régnant sur les bateaux de plongée scaphandre.

Le carbone est plus cher que le plastique. Dans une paire de palmes en carbone dont le prix de revient est environ 150 €, 30 % est relatif à la matière première (versus quelques pourcents seulement dans la palme plastique) et 60 % à la main d'œuvre, car beaucoup d'opération restent manuelles. Moins qu'auparavant mais encore beaucoup.

Au départ était le rouleau de carbone et le gabarit en carton. Chez Dessault, parmi les précurseurs, c'était en 1994. On découpait la palme à la main autour du gabarit puis on utilisait un moule permettant de superposer plusieurs couches de carbone, notamment dans le but de donner à la palme une rigidité évolutive, permettant une courbure dégressive de l'extrémité vers l'emplature. On enduisait de résine, époxy ou polyester, qui fixait les fibres d'une couche et les couches entre elles. Le caractère manuel de l'opération obligeait à de larges enductions de résine d'où une certaine fragilité de la palme car c'est la résine qui est cassante, pas le carbone. Par ailleurs il fallait débuller le matériau produit à la main, vu les difficultés à faire pénétrer la résine dans toutes les fibres. D'où la casse.

Aujourd'hui le carbone a évolué. Il s'agit de rouleaux de carbone *pré imprégnés* (de résine) que l'on conserve congelés, dans le but d'éviter la polymérisation avant le travail du matériau. La matière

première contient davantage de fibre de carbone et moins de résine, laquelle est répartie de manière homogène (donc : plus de problème de bulle).

On découpe à l'emporte pièce et on superpose les couches dans le moule comme avant, mais on le chauffe à plus de 20°C pour provoquer une polymérisation.

Il existe de nombreuses qualités de carbone tressés plus ou moins serré et de résine aussi. Chaque marque de palme a ses fabricants de carbone, acteurs de l'industrie chimique. Le carbone entre dans la fabrication de nombreux matériels de sport autre que les palmes : vélo, perches, matériel de nautisme, canne à pêche...etc.etc.

3.4 La fibre de verre

C'est un produit intermédiaire. Moins nerveux, plus lourd mais plus solide aussi que le carbone.

30 % moins cher à produire.

La plupart des marques de palmes en ont dans leur catalogue mais c'est un très petit marché.

Voyons maintenant quelques notions d'anatomie et de physiologie en rapport avec l'utilisation de ces palmes dans le mouvement.

4 Anatomie physiologie du corps humain et palmage

4.1 *Un mot sur le développement moteur général et les différents publics*

Parler de développement moteur est indissociable des développements intellectuel, affectif, physique et morphologique. Qu'est-ce que le développement ? On peut le définir comme une adaptation aux contraintes physiologiques, sociales, culturelles, et à l'environnement physique.

Enfance, adolescence et âge adulte :

L'enfant est un explorateur. Son intérêt principal est d'investir toutes les possibilités d'action et d'interaction dans l'environnement. L'enfant est générateur de découverte, avec la sensation d'avoir plus de contrôle sur son environnement. Quand on devient adulte, on devient moins orienté vers la nouveauté.

La dynamique de l'enfant est toujours plus, toujours mieux. On peut définir des chronologies de compétences et de développement, on peut de ce fait connaître le moment opportun pour débiter un apprentissage. On s'intéresse alors au développement pour proposer une pédagogie susceptible de s'adapter à l'enfant et se fixer pour celui-ci des objectifs pertinents.

Dans ses recherches Marc Durand (« L'enfant et le sport », éditions PUF) a développé cette idée de période optimale, il considère qu'il y a des périodes favorables pour l'apprentissage sportif. Avant telle période les apprentissages sont difficiles car il manque à l'enfant des prés requis. Après, l'apprentissage se fait toujours, mais avec plus de difficulté et des performances moins bonnes.

A quel **âge commencer** une activité physique et sportive (APS) ? Cela dépend de l'habileté et de l'individu, cela dépend des contraintes liées à la tâche et des compétences liées à l'individu. Démarrer un certain apprentissage trop tôt ne sert à rien (ex : les sports collectifs avant 6-7-8 ans, car l'enfant a un fort égocentrisme), même s'il y a des enfants très en avance sur ces périodes optimales forcément standards.

Vers 6-12 ans les enfants sont les pratiquants les plus disponibles par rapport aux apprentissages. Ils peuvent mieux apprendre car ils sont plus ouverts à des pratiques très différentes (bon, à priori), ils ont moins de représentation. Les adultes eux se mettent plus de bornes que les enfants, ils mesurent le risque, ils ont une représentation de l'échec plus forte (les enfants n'ont pas de difficulté par rapport à l'échec). L'enfant a une meilleur représentation de soi vis à vis des autres (notamment en situation de mixité).

Au plan purement **moteur** l'enfant est plus souple que l'adulte mais il manque relativement de force, par rapport à celui ci. L'enfant est donc moins performant au départ mais l'apprentissage permis est meilleur. Dans beaucoup de pratiques sportives c'est le timing et la forme gestuelle qui est importante et pas la force. La souplesse permet de prendre de l'amplitude. Enfin, les enfants ont une meilleure capacité aérobie (effort long), mais ils se refroidissent vite.

Au niveau **attentionnel**, à condition que l'activité plaise, il n'y a pas de problème de concentration chez les enfants. Ils pratiquent plus que les adultes soumis, eux, à un certain nombre d'obligations. Ils sont plus disponibles dans leur emploi du temps. Avec les adultes il faut lutter contre les représentations intellectuelles négatives qui vont nuire à l'apprentissage.

Justement, au niveau **intellectuel** : du début de l'âge de la plongée (celui qui nous intéresse et même depuis 5 ou 6 ans en réalité) et jusqu'à 11 ans environ, l'enfant devient capable d'analyser de manière logique les événements qui se passent autour de lui, avec notamment la signification des notions d'espace, de temps et de vitesse. De 11 à 14/16 ans apparaît, puis est utilisée l'intelligence formelle en général et en particulier au bénéfice de la pratique sportive. Ce sont les capacités d'abstraction, la projection dans l'avenir et dans la stratégie sportive.

Précisons qu'on parle ici d'âges des enfants de types occidentaux.

Divergences filles garçons :

Dans la plupart des disciplines les performances sportives sont supérieures chez les garçons, à époque donnée (sauf dans la voile, l'équitation, le tir, le rallye). La raison principale en est la force physique et la variation des buts que l'on se fixe mais il faut souligner aussi l'importance du rôle de la culture.

Ceci n'est valable qu'à moment donné car l'époque, avec son évolution tant en style qu'en matériel, joue aussi un rôle déterminant dans quelques disciplines. Par exemple :

| | Hauteur | Perche |
|-----------------------------|---------|--------|
| Or masculin JO 1952 | 2,04 | |
| Or masculin JO 1960 | | 4,70 |
| Record mondial féminin 2008 | 2,09 | 5,05 |

Une divergence des performances s'instaure vers 10-12 ans entre filles et garçons notamment dans ces activités qui requièrent de la force. La sécrétion chez les garçons de la testostérone est propice à la performance sportive alors que l'œstrogène et la progestérone chez les filles favorisent le développement de masse grasse, qui n'est pas propice.

Par contre il existe peu de différence sur des activités de coordination, pas plus que sur les épreuves de poursuite (ex : suivre un tracé), ni sur les épreuves d'équilibre. Alors, probablement n'y a t il pas de différence *intrinsèque* entre les filles et les garçons (utilisation différente du cerveau).

Nous verrons au § 6 L'enseignement du palmage en plongée sous-marine quelles conclusions tirer de cette approche rapide des différents publics

4.2 *Le rôle des différents groupes musculaires dans le mouvement de palmage*

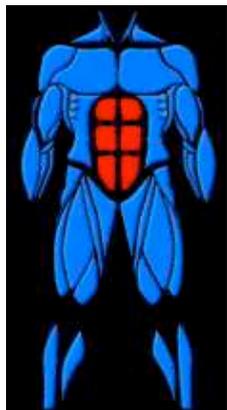
La partie haute du corps ne sera pas abordée car elle est en relation avec les mouvements de bras dans la nage : deltoïde, biceps, triceps, pectoraux, dorsaux, trapèzes.

Examinons plutôt la partie basse, nous allons voir les groupes musculaires en jeu dans les mouvements de palmage :

- mouvements de la hanche et de la cuisse,
- mouvements du genou et de la jambe,
- mouvements de la cheville et du pied.

4.2.1 **Muscles de l'abdomen et mouvement de la cuisse**

☞ Mouvement de la cuisse vers l'avant :



Les muscles concernés sont les **abdominaux** (grand droit de l'abdomen, obliques, psoas et iliaque).

Le grand droit commence sous la cage thoracique et se termine sur le pubis, il se divise en deux colonnes verticales.

Les obliques sont constitués de deux muscles : le gros oblique et le petit oblique, qui composent les flancs du tronc.

Les abdominaux interviennent dans le **fléchissement du buste et du bassin**, et dans la **rotation du buste**. Dans le **fléchissement du bassin** la jambe avance.

4.2.2 Muscles de la hanche et de la cuisse : mouvement de la cuisse

☞ Mouvement de la cuisse vers l'arrière :

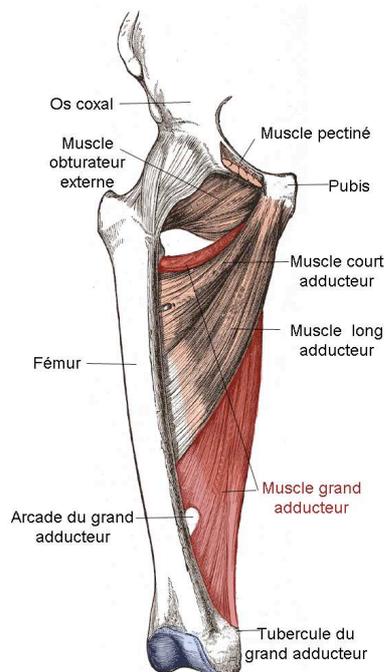


Le deltoïde fessier (fessiers, tenseur du fascia lata)

Très grand muscle, le fessier couvre la partie arrière de la hanche. Il est le muscle le plus volumineux et le plus puissant du corps et il se compose du grand fessier et du moyen fessier.

Le fessier agit principalement sur les **mouvements arrière de la cuisse**, et comme stabilisateur du bassin.

☞ Mouvement de la cuisse vers l'intérieur (adduction) et vers l'extérieur (abduction) :



La loge interne de la cuisse (droit interne, pectiné, adducteurs)

Le court, le long et le grand adducteur s'insèrent en haut au niveau de l'os coxal et le long, du haut en bas, du fémur.

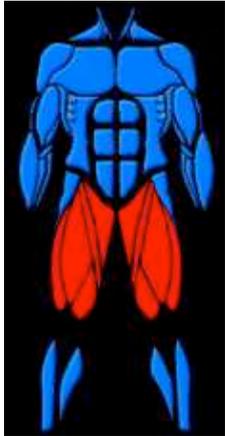
Aussi rotateurs externes, pour ce qui nous intéresse ces muscles sont surtout **adducteurs de la cuisse** c'est-à-dire que leur action la rapproche du corps dans le plan frontal.

Les tenseurs du fascia lata (« culottes de cheval ») sont leurs antagonistes c'est-à-dire abducteurs de la cuisse.

Muscle grand adducteur
(Face antérieure de la cuisse droite)

4.2.3 Muscles de la cuisse et articulation du genou : mouvement de la jambe

☞ Extension du genou, la jambe se déplie :



Le quadriceps

A l'avant des cuisses, Le quadriceps se compose de plusieurs muscles : le vaste interne, le vaste externe, le crural et le droit antérieur.

Le quadriceps participe à l'extension du genou. Lorsque le genou est fléchi, selon l'action d'un des deux vastes le genou tourne soit vers l'intérieur soit vers l'extérieur. Permet aussi la flexion de la hanche.

☞ Flexion du genou, la jambe se plie :



La loge postérieure de la cuisse, groupe des muscles ischio-jambiers

Les ischio-jambiers sont composés du demi-membraneux, du demi-tendineux et du biceps crural. Ils s'insèrent sur l'articulation de la hanche et finissent sous l'articulation du genou. Ils ont une action couplée sur la hanche et le genou.

La contraction de ces muscles entraîne la flexion du genou.

Ils sont aussi extenseurs de la hanche lorsque le genou est verrouillé en extension et rotateurs internes du tibia quand le genou est fléchi.

Le couturier qui se trouve dans la loge antérieure a lui aussi un rôle dans la flexion du genou.

4.2.4 Muscles de la jambe et articulation de la cheville : mouvement du pied

☞ Extension de la cheville et du pied :



Les mollets (soléaire, jumeaux)

Les mollets ou triceps sural se composent des jumeaux, interne et externe (à la suite des demi membraneux) et du soléaire.

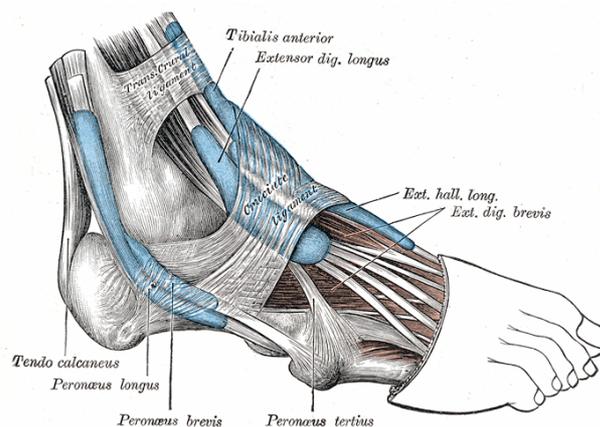
Tous trois s'unissent pour former le **tendon d'Achille** qui s'insère au niveau postérieur de l'os calcanéum.

La contraction des mollets a pour fonction les mouvements du pied par extension de la cheville

☞ Flexion de la cheville et du pied :

Les jambiers et les extenseurs des orteils

Le jambier de la face antérieure de la jambe et dans une certaine mesure le jambier postérieur, muscle profond, derrière les jumeaux participent à la flexion de la cheville via le **ligament du tarse**.

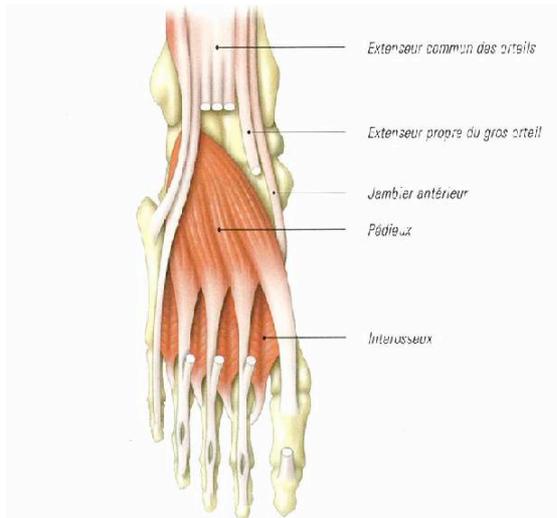


Le muscle extenseur commun des orteils et le muscle extenseur du gros orteil interviennent aussi.

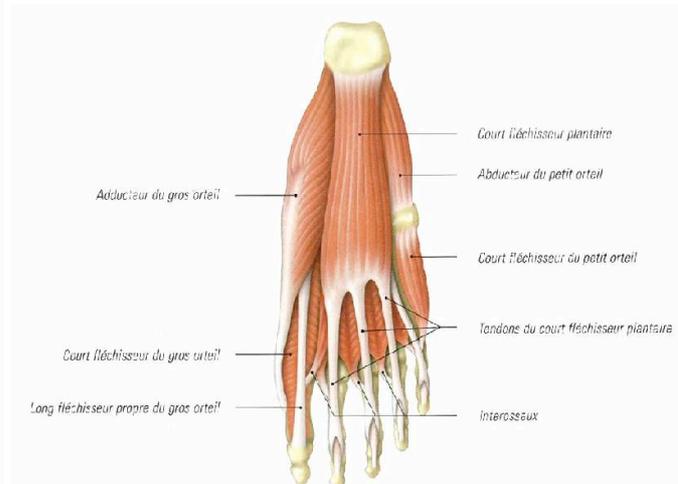
4.2.5 Muscles du pied : mouvement de la voûte plantaire

☞ Flexion - Extension de la voûte plantaire :

Muscles du dos du pied (dessus)



Muscles de la face plantaire (dessous)



Parmi les muscles de la face plantaire les fléchisseurs (fléchisseur du gros orteil, de la plante et du petit orteil) participent à la flexion de la voûte plantaire, en particulier dans le palmage.

Afin de résumer ces groupes musculaires, voyons par exemple les principaux muscles mis en jeu dans le mouvement de la marche :

- Quand la jambe avance il y a flexion du bassin par les abdominaux, extension du genou par le quadriceps et flexion de la cheville par le jambier antérieur.
- Quand la jambe recule il y a extension du bassin par les fessiers, flexion du genou par le biceps crural et tension de la cheville par les jumeaux.

Et dans le mouvement de palmage ? C'est l'objet du paragraphe suivant.

4.3 Le mouvement de palmage

4.3.1 Sans déplacement

Palmage de sustentation. La palme ne doit pas être allongée mais se déplacer dans un plan approximativement horizontal. Le nageur doit talocher avec application la surface sous ses pieds.

On imagine pour ce faire qu'un gros ballon de baudruche tout mou est en appui contre tout le tibia de la jambe qui avance. On avance ce tibia le plus en avant possible, en le maintenant toujours vertical, pour pousser le ballon le plus loin possible devant soi. Par réaction la jambe reculante se débrouille et recule toute seule. La cuisse de la jambe qui avance tourne autour de la hanche et le genou se plie à la demande pour maintenir le tibia vertical, la cheville tendue en butée osseuse. La jambe qui recule est tendue aussi et tourne autour de la hanche mais la cheville doit être verrouillée par contraction des jumeaux afin de talocher au petit pas. (Si le pied s'incline à la demande en fonction de la charge la phase de recul de la jambe est peu efficace en termes de propulsion)

4.3.2 Avec déplacement (horizontal ou vertical)

Voilure armée, la phase active du palmage requiert une énergie musculaire importante qui est transmise à la palme, afin de produire le phénomène d'action réaction avec l'eau, dont nous avons parlé et dont résulte la propulsion du nageur.

Durant la phase active, il y a :

- Articulation des genoux, pratiquement en butée osseuse,
 - articulation jambe descendante bloquée par contraction du quadriceps avec une légère angulation (le quadriceps n'a pas son meilleur rendement jambe tendue ; cf. l'angulation de la jambe du footballeur au moment du coup de pied),
 - par contraction du biceps crural dans la jambe montante.
- Articulation de la hanche,
 - cuisse descendante : abdominaux profonds symétriques,
 - cuisse montante : grand fessier.
- Articulation des chevilles, voûte plantaire fléchie, jambe montante comme descendante,
 - cheville naturellement en butée osseuse dans la jambe descendante,
 - cheville en butée osseuse sous la contraction des jumeaux dans la partie montante.

Dans la **phase passive**, points morts haut et bas du mouvement, l'énergie musculaire dépensée est faible, c'est un temps de repos et de préparation. La palme revient avec une action propulsive moindre à la position de départ de la phase active. Le groupe de muscles sollicité se désactive, le groupe antagoniste devient actif :

- abdominaux profonds symétriques + quadriceps, qui ont fait descendre la jambe, donnent lieu à fessier + biceps crural + jumeaux pour monter la jambe, et réciproquement.

4.3.3 Le palmage sur et sous l'eau

En surface on ne peut pas lever la jambe hors de l'eau. Le principal mouvement est un ciseau des jambes sous l'eau où les muscles les plus sollicités sont les grands fessiers. Les mollets également sont sollicités, attention aux crampes.

En immersion (totale, quoi) lorsque les jambes se croisent elles sont dans le prolongement du corps. Elles ont autant de route angulaire à faire dans les deux sens. N'oublions pas que, par réaction, une jambe ne peut se déplacer dans un sens que si l'autre se déplace en sens inverse puisque nos mouvements de jambes sont alternatifs.

En palmage surface, supposons que les jambes se croisent aussi dans le prolongement du corps. Alors pour qu'une palme descende profondément (pas de limite) l'autre devrait pouvoir monter d'autant. Mais c'est impossible si le corps est horizontal et les jambes dans le prolongement car alors la palme montante est talon au ras de l'eau. Pour pouvoir croiser les jambes il faut travailler sur le positionnement du corps (est-ce bien une position naturelle ?), par exemple :

- avoir les fesses plus basses que la tête, ce qui n'est pas évident : sortir la tête et le regard de l'eau, croiser les mains sur les reins, appuyer le menton sur une planche, lester les chevilles...,
- vriller légèrement le bassin pour incliner le plan balayé par les palmes,
- croiser les jambes bien plus bas sous l'eau alors qu'elles font encore un angle d'une trentaine de degrés avec le buste horizontal, bassin verrouillé.

Laure Manaudou a un battement de jambe d'une amplitude inhabituelle de l'ordre de 50 degrés. Sur les films on voit très bien que ses jambes se croisent largement sous l'eau.

Les autres nageurs adoptent une amplitude beaucoup plus étriquée et croisent bien plus près de la surface, ils font beaucoup d'écume, le pied fouette en émergeant.

Sous l'eau on peut se permettre de palmer ample, c'est à dire que le mouvement de ciseaux peut être important, aussi bien en haut qu'en bas (quand le corps est à l'horizontale). Ainsi le mouvement peut être plus lent.

4.3.4 Un mot sur la mono palme

Avec la mono palme la descente d'une jambe n'est pas tributaire de la montée de l'autre. Il est donc possible de descendre beaucoup plus bas et l'amplitude est beaucoup plus grande (secret du rendement des voilures modernes) sans pour autant faire sortir les talons outre mesure.

Dans le cas de la mono palme l'ondulation met en jeu plusieurs autres groupes musculaires, dont les muscles du dos (lombaires). En cas de problème au dos, par exemple une hernie discale, il est fortement déconseillé d'utiliser la mono palme. On dit souvent « un excellent nageur peut devenir un bon plongeur en apnée ». Cette nage permet de développer les mécanismes de coordination articulaire et favorise une musculature adaptée.

Notons que les ondulations du corps dans un déplacement horizontal en apnée sous l'eau constituent un excellent exercice de maîtrise des sensations de flottabilité, à rapprocher du ludion recherché dans le poumon ballast dynamique.

4.4 Les pathologies

Le mouvement de flexion extension des cuisses des genoux et des pieds est d'autant plus prononcé et nécessite des efforts musculaires d'autant plus importants que le plongeur transporte une masse de matériel importante et que la voilure des palmes est longue.

Dans tous les modèles de palme du commerce la cheville du nageur est laissée totalement libre donc l'amplitude des mouvements du pied dépend des capacités anatomiques de flexion et d'extension de la cheville. Dans ces conditions, les efforts produits lors du palmage sont essentiellement supportés par ces chevilles. Leur sollicitation anormale ou prolongée provoque des douleurs susceptibles de générer des pathologies.

Les **douleurs musculaires** apparaissent généralement lors du **palmage intensif**, avec recherche de puissance ou d'une amplitude dans le mouvement, essentiellement dans la phase active descendante de la palme. Pour les muscles le palmage est une itération de mouvements violents, parfois non dominés.

Les **crampes** se situent au niveau de la voûte plantaire ou du mollet. Le raccourcissement du muscle favorise la survenue de la crampe alors que l'étirement la fait souvent disparaître, du moins temporairement, comme par exemple en nage capelée sur le dos. La surface plane du chausson ne propose pas de soutien à la voûte plantaire. Cela favorise le raccourcissement des muscles fléchisseurs, constamment sollicités en phase descendante comme ascendante. Il en est de même pour le triceps sural qui doit permettre une flexion plantaire d'une intensité suffisamment importante pour vaincre la résistance de l'eau, résistance amplifiée par la surface de la voilure de la palme.

Les **douleurs articulaires et tendineuses** et les pathologies associées naissent d'une **utilisation prolongée du palmage**. Des groupes musculaires peu habitués à ce type d'effort sont mis en action et ils sollicitent les articulations de manière inhabituelle. Par ailleurs les tendons sont naturellement plus ou moins solides et extensibles selon les individus et leur souplesse décroît avec l'âge. Est particulièrement touché le tendon d'Achille dont l'inflammation est favorisée par le frottement ou par la dureté du chausson sur la partie en contact. Le verrouillage de la cheville dans la phase montante de la palme mobilise ce tendon par la contraction des jumeaux, donc à grande palme rigide (résistance de l'eau) et à mouvements amples (style de nage adopté) : risques tendineux.

Sont concernés aussi par ces douleurs les tendons mis en jeu dans la flexion du pied sur la jambe, par les muscles extenseurs communs des orteils, extenseur du gros orteil et les muscles jambiers antérieur et postérieur.

Enfin on peut citer les lésions cutanées : **ampoules** et **plaies** au niveau des orteils, sur la plante des pieds et sur la zone postérieure des pieds. Elles sont le résultat d'un frottement permanent entre la peau et le chausson de la palme : chausson mal ajusté, pied nu contre le caoutchouc. Le sel lui aussi a une action négative sur l'épiderme. Les ampoules perturbent l'acte physique et la manière dont le nageur aborde l'effort sur un plan psychologique.

Caractère ajusté du chausson, dureté du matériau, voyons maintenant comment choisir des palmes.

5 Choix des palmes aux niveaux de plongeurs

5.1 A quoi servent les palmes dans la pratique

On peut tenter d'établir une réponse à cette question en fonction des catégories de pratiquants.

En **usage au quotidien**, en plongée exploration (le randonneur subaquatique, le plongeur niveau 1, le plongeur en exploration, le voyageur ...et ses bagages)

- **Positionnement et équilibre** dans l'eau à l'aide des palmes (sans nécessairement se déplacer). C'est ce qui nous permet d'observer sans effort, de ne pas endommager l'environnement, à certains de pouvoir porter assistance efficacement, ...etc. toutes les situations de plongée exploration sans recherche de performance.
- Aspect **pratique**.
Même si des palmes à grande voileure en carbone peuvent être performantes, l'aspect pratique et la souplesse des palmes prédomine pour un usage loisir et quotidien : manipulation, rangement, déplacement sur le bateau.
Les voyages en avion du plongeur transfrontalier nécessitent une grande souplesse de la voileure et une bonne tolérance aux déformations comme aux chocs.
Dans la plongée exploration la performance des palmes n'est pas essentielle, la fatigue induite et les risques de pathologies par contre doivent entrer en jeu, pour ne pas obérer le plaisir de pratiquer.

Pour un travail de type **aérobie**, une **préparation foncière** du plongeur loisir en vue des niveaux 2 et 3 de plongée, ou pour un pratiquant dans le but de **s'entretenir** :

- A même dépense les palmes permettent une plus grande vitesse (Vitesse = déplacement longitudinal du centre de gravité).
- Elles multiplient les possibilités d'évolutions (Evolution = rotations sur les trois axes autour du centre de gravité) et par là l'aisance subaquatique, tant en scaphandre qu'en apnée.

En vue d'une **progression physique et technique** des nageurs placés dans des conditions d'**examen** ou faisant de la compétition (les stagiaires niveau 4 ou MF2, la nage en mer avec des objectifs de performance)

- La facilité engendrée par les palmes permet de réaliser de nombreuses longueurs lors de l'**échauffement** d'une séance de natation, sans trop d'efforts et sur un temps relativement court.
- Pour éviter une **récupération** trop longue (relâchement musculaire et assouplissement, mais trop grand temps de repos cardiovasculaire) au lieu de nager par exemple 15 min les palmes vont permettre de raccourcir ce temps, pour une même distance réalisée. (faire 800m de récup mais avec des palmes cela ne durera que 10min par ex). A l'inverse, augmenter la distance pour une durée égale. (15min de récup avec palmes, mais 1200m nagé).
- Favoriser la **technique**, et la prise de conscience des zones frénatrices dans la nage. Le but est alors de nager en "survitresse". Ici l'intérêt n'est pas la progression pure, mais une autoévaluation des gestes et des appuis concourants au mouvement. Une main mal orientée, un mouvement des hanches trop prononcé, une poussée de la main pas assez rapide ... etc. (cf. § 2 Le palmage – analyse mécanique de ce mode de propulsion).

5.2 Lesquelles choisir : accompagner le plongeur dans sa progression

Chacun connaît les différences chaussantes / réglables, on ne s'étendra pas. Notons toutefois que tous les chaussons de palmes réglables ne sont pas aussi larges les uns que les autres et la plongée avec des bottillons épais demande d'essayer les palmes avec ces mêmes bottillons (cas particulier des combinaisons étanches)

☞ Choix des chaussons

Peu nombreux sont les modèles de chaussons dans le commerce. Choisir un chausson c'est faire un compromis entre confort et efficacité en privilégiant le premier pour les débutants. Le débutant et le plongeur loisir, qui ne recherchent pas de performance, choisiront des chaussons surtout souples (plastique ou caoutchouc souple) afin d'éviter les ampoules et, plus généralement, pour ne pas gâcher le plaisir de la pratique avec un matériel susceptible de blesser.

Il est intéressant de choisir des chaussons construits avec un angle d'inclinaison par rapport à la voilure. Cela permet de compenser la quinzaine de degrés qui manquent, anatomiquement parlant, pour aligner parfaitement cheville et tibia, le pied en extension maximale. Quand le nageur s'y attache le rendement propulsif est augmenté, la jambe et l'emplanture de la voilure étant parallèles. Les chaussons actuels sont disponibles dans cette fabrication, hormis le bas de gamme (matériel de marques de sport généralistes ou dans les magasins de plage).



Quoiqu'il en soit, avec des chaussons très souples la voûte plantaire décolle du chausson dans la jambe descendante (palmage ventral) et le cou de pied décolle du chausson dans la jambe remontante. L'attention du plongeur « performance » devra être attirée sur ces points. En effet, nous avons vu que pour obtenir une bonne transmission du mouvement de battement de la jambe à la voilure, le plongeur qui cherche des performances doit avoir assuré la solidarité du chausson sur le pied. On se rappelle à titre anecdotique les chaussons à lacets Mustangs...

Pour un palmage scaphandre puissant le chausson sera bien ajusté au pied (y compris sous la voûte plantaire) et davantage rigide au moins sur le cou de pied, plus solide et plus épais aussi.

Le confort évidemment sera moindre et la palme nécessitera un temps d'adaptation, comme avec des chaussures neuves.

☞ Choix de la taille des voilures

On peut **commencer à pratiquer** la nage avec des palmes (ce qu'on appelle communément la nage, dans la pédagogie préparatoire), ou la randonnée subaquatique, avec des palmes de natation courtes. On peut éventuellement utiliser des palmes de plongée basiques mais courtes, même si ces dernières sont un peu plus lourdes.

- Cela permet de garder un mouvement proche de la nage complète c'est à dire le crawl, le dos ou le papillon. Une palme courte permet de conserver un mouvement de pied naturel, avec un battement quasi identique à un battement normal. Ces palmes offrent la possibilité de découvrir

des sensations différentes mais elles n'obligent pas à déstructurer sa nage naturelle, si on en possède une (c'est à dire si on nageait déjà bien le crawl avant de débiter la plongée).

Pour autant, ces palmes ne permettront pas non plus de multiplier notre vitesse maximale.

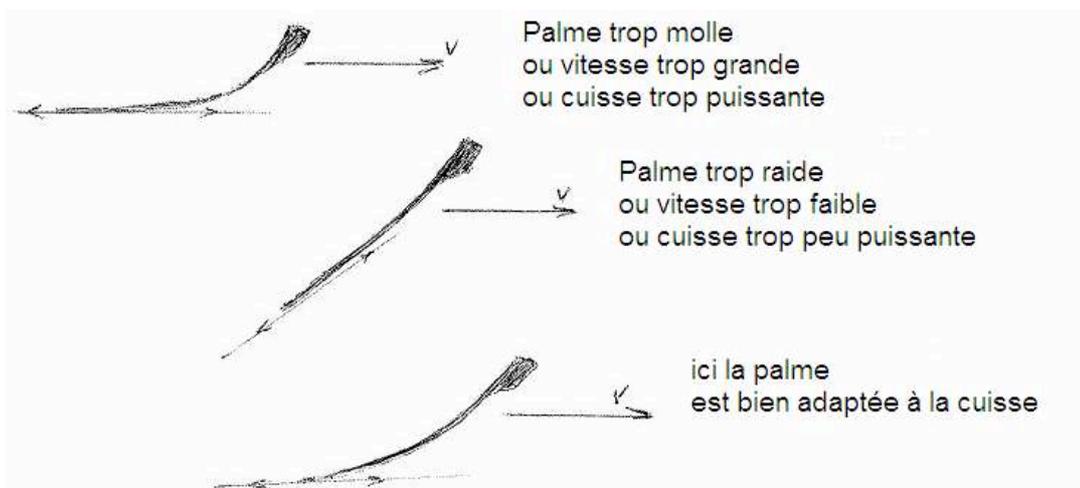
- Garder un angle jambe cheville "non traumatisant", la souplesse de la cheville est alors travaillée et augmentée progressivement. Beaucoup ont mal à la cheville ou bien ont des crampes durant des séances de palmage, même des séances tranquilles. Cela est du à la surface de la palme qui augmente la tension sur la cheville et le mollet (cf. 4.4 Les pathologies). Les petites palmes diminuent cette tension.
- Quand on débute la plongée cela permet de travailler et d'acquérir la technique de battements. Si des problèmes de technique de palmage sont présents (ex : « pédalage ») on y remédie sans affronter en même temps des difficultés de nature physique (à savoir, pour emporter la résistance de l'eau avec de trop grandes voilures). Les palmes fendues permettent elles aussi de s'affranchir de ces problèmes de capacité musculaire chez le débutant, lorsque tel est le cas, avec une moindre résistance de l'eau, qui s'écoule mieux.

La technique de base une fois acquise, on pourra passer à des palmes à voilure un peu plus longue, qui permettent un rythme de battements plus lent et plus économique. A l'intérieur de la formation niveau 1 l'objectif à un moment donné sera de pouvoir propulser une personne plus lourde, plus volumineuse avec tout un matériel. Les palmes nécessitent un peu plus de puissance (cf. les résistances) donc elles seront plus longues. Malgré tout elles doivent rester souples pour ne pas se briser, ni abîmer les fonds.

Les longues palmes, les palmes d'apnée (et de chasse) pourront être abordées chez les candidats aux niveaux 4 et au MF2. Le principe est d'avancer au maximum avec un effort relatif minimal.

Vu notre étude mécanique des efforts de propulsion (cf. 2.6 Une étude mécanique du palmage), que dire de l'adaptation d'une palme, en particulier les grandes voilures, aux capacités physiques du nageur chargé de l'emporter, **quel choix de palme pour quelles capacités physiques ?**

Le schéma suivant synthétise cette situation qui met en relation le comportement dynamique de la palme (disons son pas : son avance par battement) et les capacités musculaires du nageur :



On peut demander à un collègue d'observer le mouvement de sa palme pour nous en faire part. On peut aussi recourir à la vidéo si on dispose du matériel nécessaire.

Pour recherche la performance on peut donc compléter sa panoplie avec des palmes longues, d'une **dureté adaptée à sa musculature et à sa fréquence d'entraînement.**

En rapport avec nos propos précédents :

Les petites palmes sont finalement des petits pas (cf. 2.4.3 La notion de « pas ».) : nerveuses au démarrage, mais limitées en vitesse de croisière. On démarre boîte de vitesse en 1^{ère}, le véhicule peut démarrer en côte.

Les grandes palmes sont à l'aise aux grands pas et sont comparables au cinquième ou sixième rapport de la boîte à vitesse. Les accélérations sont laborieuses et devront se faire au prix d'un important effort des quadriceps mais la vitesse est bonne une fois la palme lancée.

☛ **Choix des matériaux et de la forme des voilures**

Les palmes plastiques à voile souple sont adaptées à la nage en surface, la nage du débutant et la distance en apnée (moins d'effort, moins de CO₂). Les palmes à voile dure sont adaptées à la profondeur et permettent mieux de décoller du fond, au prix d'une plus grande consommation d'énergie et aussi d'un plus grand encombrement au bateau.

Les palmes caoutchouc souple à voile divisée dans le sens de la longueur, type Twin Speed ont un rendement amplement suffisant pour une pratique loisir. Bien que limitées en vitesse de croisière ou sur une démonstration technique avec handicap (examen) ces palmes sont d'une souplesse qui permet toutes les contraintes de transport (malle, sac de plongée, soute à bagages) et de déplacement sur un bateau (incassables, déformables).

Pour les plongeurs plus exigeants en termes de performances les voilures en fibres de verre sont plus exigeantes aussi. Elles nécessitent une bonne période d'adaptation et un palmage soigné pour éviter que le pied ne dérape dans le plan latéral. On l'a dit, elles sont plus légères, plus nerveuses et ont un meilleur rendement. Mais le plongeur devra faire preuve de beaucoup de soin pour éviter de les casser. Et aussi d'un plus gros porte monnaie. La fragilité de ces palmes s'accommode mal des voyages en avion et aussi de la rudesse et du désordre des bateaux de plongée, ce sont davantage des palmes de nage ou d'apnée que de scaphandre.

Les fibres de carbone, encore un peu plus chères (> 300€), restituent mieux l'effort (nervosité, mémoire de forme) mais ces palmes demandent au muscle un mouvement plus énergique et plus rapide ; elles sont plus particulièrement destinées aux jambes robustes et aux morphologies fortes, à la profondeur, ou bien pour des sprints en surface, pour l'apnée, la chasse.

Terminons-en :

On ne peut pas dire à *priori* quelle est la palme idéale ni d'ailleurs le palmage idéal, cela dépend de sa morphologie ⁽²⁾, de sa technique de palmage (maîtrise technique plus ou moins acquise, loisir, débutant ou initié), des objectifs poursuivis (le cas échéant) et de son degré de préparation physique (nature de l'entraînement).

En tout cas, n'oublions pas de minimiser l'importance de la technique de palmage pour l'énorme majorité des pratiquants, dans un cadre loisir, exception faite du petit nombre d'entre eux qui prépare des examens N4 et E4, ou qui pratique l'apnée.

Pour ceux là, avant de bien sentir ses palmes plusieurs kilomètres d'utilisation sont nécessaires, en surface, en profondeur, afin de s'y habituer et de correctement les exploiter (rythme, amplitude).

² De ses caractéristiques anthropométriques, longueurs des segments et de son profil physique, structure musculaire de nature puissante (palmage ample à poussée forte) ou longiligne (à battement rapide)

5.3 Améliorer des performances (ex : examens)

Pour les plongeurs concernés, intéressons-nous à l'amélioration des performances de nage par une voie d'effort physique, lors du palmage. Quelle conséquence y a-t-il de nager à telle ou telle allure avec des palmes? Le niveau musculaire du nageur, ses capacités physiologiques et cardio-vasculaires *de départ* n'influent-ils pas essentiellement sur les résultats ?

A partir d'un certain niveau de natation une certaine musculation par les palmes est-elle réalisée ?

Savoir que l'eau présente au nageur assez peu de résistance (on parle là du nageur en nage libre).

En simple natation, les jambes sont la partie qui fatigue le plus le nageur et en même temps la partie du corps qui propulse le moins (en comparaison des membres supérieurs). En crawl, le rapport est 80-85% de propulsion en bras, 15% en jambes. Un nageur se propulse avec ses bras, les jambes n'ayant qu'un intérêt par rapport à l'équilibre. A part en sprint, il n'est nul intérêt de développer les jambes.

L'effet musculation de la nage avec des palmes, s'il y est, ne sera apporté qu'en ayant une intensité de palmage importante, pour une résistance de l'eau accrue : travail en force.

Avec les palmes les nageurs *occasionnels* peuvent effectivement avoir quelques résultats (c'est relatif, ils partent de loin) en nageant avec palmes, longues, jambes uniquement, sur des séries ou séances à intensité élevées, les distances variant du très court (12.5m-25m) à court (50m-75m).

☺ Par parenthèse, savoir que du point de vue de la charge d'entraînement et des performances obtenues nous, stagiaires niveaux 4 et MF2 ne sommes bien que des nageurs occasionnels...

Comparons ce qui est comparable mais enfin, sur 100 m, un collégien de niveau régional nage plus vite en crawl qu'un candidat MF2 de niveau moyen, avec ses palmes :

1'20" environ au 100 m NL pour le premier contre

1'40" tous les 100 m, avec des palmes, pour avoir 10 ou 11/20 au 1500 m du MF2 (25' au total)

Mais si un certain niveau musculaire est déjà présent, les effets musculaires seront faibles.

Pourtant les palmes, d'autant plus qu'elles sont grandes, sont conçues pour intensifier le travail des jambes en augmentant la poussée dans l'eau. Ce type de nage met donc en action tous les muscles des fessiers et des cuisses (ischio-jambiers, quadriceps) et il fait travailler les jambes sur toute leur longueur.

Mais cela rentre en contradiction avec le système anabolisant, puisque pour produire une grande vitesse, il va être nécessaire d'avoir une vitesse d'exécution élevée.

Pour cette raison **la plupart des nageurs dans le but d'augmenter leur masse musculaire passent sur de la musculation en salle ou sur d'autres types de sports, la natation avec palme étant là pour travailler surtout sur les aspects physio, endurance et technique.**

Mais pour ceux qui préfèrent nager aux salles de musculation, il est quand même possible d'augmenter son volume musculaire en travaillant palmes au pied, avec par exemple une planche en mains (idem sans palmes mais avec un pull boy pour muscler le haut).

6 L'enseignement du palmage en plongée sous-marine

6.1 Approche des différentes publics

Que retenir pour l'enseignement du palmage de notre approche des différents publics ?

(cf. 4.1 Un mot sur le développement moteur général et les différents publics)

Appliquées au domaine de la plongée (plongée loisir) et de la pratique du palmage en particulier, les périodes optimales d'apprentissage chez l'enfant doivent être relativisées.

Nous ne sommes ni dans un sport de compétition, ni sur des compétences physiques ou techniques discriminantes dans notre activité, comme peuvent l'être la souplesse physique chez le gymnaste ou la technique de balle chez le footballeur, dès le plus jeune âge.

Pédagogiquement parlant on retiendra bien sûr la possibilité de faire appel au *jeu* pour favoriser l'apprentissage du palmage chez l'enfant (goût pour l'exploration de nouvelles voies).

Sans rejeter cette notion de jeu probablement faudra t'il prendre quelques précautions dans la représentation intellectuelle que l'adulte peut s'en faire, donc c'est à adapter, vu l'interconnexion du sportif et des habitudes sociales et familiales, l'extrapolation de l'échec, une plus grande réserve ...etc.

A condition de ne pas faire appel trop tôt à la notion de stratégie (seulement après 11 ans) et sachant de toute manière que cette notion concerne assez peu le plongeur scaphandre, le jeune pratiquant est capable de comprendre toutes les consignes techniques habituelles relatives à son palmage.

Ce palmage ne devra pas faire un appel excessif à la notion de force physique, plutôt à sa souplesse naturelle, le tout dans un contexte ludique favorable au maintien de son intérêt pour l'activité.

En général moins orientées vers le combat que les garçons la pratique du palmage chez les jeunes filles pourra faire appel à l'animation et encore une fois au jeu, davantage qu'à la force physique ou à la compétition interne, ceci pour des raisons tant physiques que culturelles.

Toutefois, puisque des différences de performance sportive s'instaurent physiologiquement entre les pratiquantes et les pratiquants dès l'adolescence, celles des plongeuses qui poursuivent des buts chiffrés (à savoir : examen) se voient logiquement appliquer des barèmes distincts dans les épreuves liées à la compétence de palmage du groupe « physique » au N4 et au MF2. Ce n'est pas le cas dans les autres épreuves pratiques qui font appel à la gestuelle ou aux perceptions sensibles.

6.2 Approche par les différentes positions de déplacement

6.2.1 Le palmage ventral en surface (en immersion ?)

Nous avons abordé la question du palmage horizontal en 4.3.3 Le palmage sur et sous l'eau.

Dans ce déplacement en surface il s'agit de choisir entre

- un palmage à demi rentable puisqu'à demi amplitude, seul le demi mouvement des jambes immergées est propulsif et
- un nouveau positionnement du corps afin de bénéficier d'un croisement de jambes plus bas sous l'eau : travail sur l'assiette (par le regard, le lest, une planche, mains, cambrure...etc.), verrouillage du bassin légèrement fléchi, vrille du bassin au cours du mouvement.

Anatomiquement parlant la modification de la position du corps n'est pas quelque chose de naturel. De plus, elle engendre une part d'inefficacité puisque toutes les positions visant à améliorer le geste de palmage augmentent aussi les résistances à l'avancement (voir § 2).

D'où une sollicitation supérieure de la propulsion et quelques risques de pathologies, constatées chez le débutant (de par la position : des lombalgies, de par la propulsion : des risques de crampes musculaires).

Donc, lors du travail **en ventral et en surface, la distance parcourue par le débutant devra être courte pour prévenir ces pathologies**, même lorsque la condition physique générale est au rendez-vous. De toute manière une distance courte suffit généralement à détecter les défauts pour les commenter à cet élève.

Le palmage horizontal en surface amène la gestion des bras et des jambes en simultanée. Chez le débutant c'est quelquefois une difficulté supplémentaire de désynchroniser les bras et les jambes. Elle s'ajoute aux corrections liées à la technique du palmage. Une mauvaise gestion des bras peut entraîner du tangage et du roulis.

Donc, **il est utile de travailler la technique de palmage horizontal en immersion, pas seulement en surface**. Nombre de problèmes d'assiette corporelle, fesses émergées, palmes émergées, roulis du corps et autres défauts du débutant trouvent là un remède naturel et facile.

Conséquence logique, on peut **s'interroger sur la nécessité pédagogique de remédier à tout prix à ce type de défauts – probablement mineurs – en surface**, chez le débutant et en tout cas sur l'utilité de retenir ces critères là dans l'évaluation des compétences déplacement avec palmes.

L'encadrant devra s'immerger lui aussi (☺) pour évaluer l'élève, afin d'observer et analyser le mouvement. De l'extérieur cela n'est pas possible vu le dioptre de la surface et en milieu naturel vu la turbidité de l'eau. Il faudra utiliser le scaphandre, ou l'apnée. Il sera nécessaire d'émerger pour apporter des commentaires et des corrections à l'élève et pour ce faire il faudra s'organiser à l'avance, surtout en milieu naturel : appuis, courant...

Nous pouvons aussi utiliser le classique palmage de sustentation qui trouve là une justification supplémentaire à l'habituel maintien du plongeur en surface : bénéficier du mouvement entier de la propulsion plutôt que sa moitié. Le corps est dans un axe longitudinal naturel et la tête est émergée, c'est-à-dire que l'élève est à l'écoute des commentaires techniques du moniteur. Alternativement quadriceps+abdominaux et fessiers+jumeaux travaillent, mais c'est facile à doser faiblement.

Critères pertinents : en surface et en ventral ne pas focaliser excessivement sur les défauts de débutants cités ci avant (fesses émergées, roulis, assiette...) dont on a dit qu'ils peuvent être inhérents aux conditions.

6.2.2 Le palmage vertical

Pratiqué en surface (sustentation) cette nage permet d'entraîner progressivement les muscles à la totalité du mouvement de palmage, notamment sur la phase de retour de la jambe ⁽³⁾ ou l'effort musculaire n'est pas habituel.

Dans la phase aller chacun connaît le fameux « jambes tendues, départ du mouvement de la hanche ! ». En vérité, l'observation filmée d'un mouvement de palmage même le plus académique montre une certaine flexion du genou, d'autant plus importante d'ailleurs que l'on force sur l'amplitude du palmage, c'est-à-dire que le genou est davantage fléchi lorsque la jambe est en position d'ouverture maximale du ciseau, aux limites anatomiques.

Dans la phase retour le moniteur fera porter l'attention de l'élève sur **le blocage permanent de la cheville en extension** par contraction des jumeaux et de la voûte plantaire, au risque sinon de pédaler dans le mouvement.

Retenons :

- **Il est pédagogiquement commode de demander à l'élève de conserver les jambes tendues, mais on admettra par avance une flexion modérée du genou** dès lors qu'elle n'est pas trop importante pour nuire à l'efficacité générale du mouvement (excès de pédalage).
- **Il est préférable de ne pas faire ouvrir le ciseau jusqu'à son maximum** (limites anatomique) si on veut que l'élève palme un minimum tendu et ressente vraiment, musculairement parlant, ce que jambe tendue veut dire.

L'usage de poids permet de travailler l'efficacité (la simple sortie des deux avant bras de l'eau est déjà un accroissement de poids apparent d'environ 2 Kg, Archimède).

Critères pertinents : absence d'écart sur l'eau et maintien dans le plan sagittal, bonne extension du pied en retour de mouvement.

Savoir que les apnéistes de l'école sud-américaine pratiquent dans les épreuves d'apnée une nage « en pédalage » avec poussée de la colonne d'eau par le talon. Paradoxal mais ...c'est un fait.

Alors je ne **pense pas que l'absence de pédalage soit un critère pertinent pour un débutant**. Par contre, comme il est prouvé par des études en bassin que le palmage classique jambes tendues assure quand même une poussée supérieure, **il en ira différemment des candidats au niveau 4 et au MF2** pour préparer l'épreuve de Démonstration Technique avec Handicap et aussi des apnéistes pour un travail d'apnée dynamique ⁽⁴⁾

³ Appelons phase aller ce qui correspond en palmage ventral à la jambe descendante, phase retour = montante

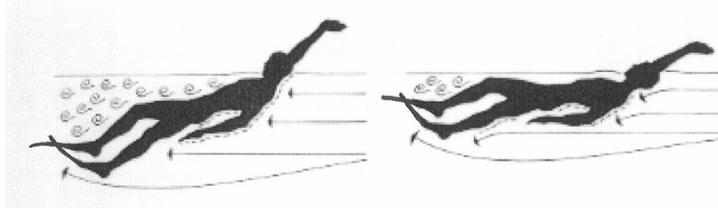
⁴ Plus longue distance possible à profondeur d'immersion donnée, typiquement l'épreuve dite du carré. Dans cette épreuve le palmage doit être régulier et le plus possible efficace pour consommer un minimum d'oxygène.

6.2.3 Le palmage dorsal

Une première fonction est la nage en récupération après un effort physique en Palmes Masque et Tuba (P.M.T.), position la plus possible horizontale, bras tendus au-delà de la tête, tuba hors de la bouche, muscles relâchés, palmage lent et souple voire ondulatoire.

Une deuxième fonction est la nage en récupération en scaphandre pour éviter les crampes, ou garder le reste de sa planquée en visuel l'ensemble retournant au bateau. Dans cette position, bras le long du corps, l'assiette n'est pas exactement horizontale mais légèrement inclinée, de par le poids du scaphandre, la planquée à vue, la direction de nage aussi (la direction opposée en réalité).

Trop cassé (assis dans l'eau, figure de gauche) le dos offre trop de résistance et trop couché on perd les repères. Figure de droite : position correcte.



Un **critère pertinent** est donné par l'observation de la nature du remous provoqué par les palmes, tel que vu de la surface (par mer calme, ou en piscine).

- Aucun remous visible : palmes trop enfoncées, position trop assise.
- Remous visible mais sans écume : position présumée correcte.
- Pointe des palmes qui émergent et fouettent l'eau : trop couché.

Autour d'une trentaine de degrés d'inclinaison (angle optimal approximatif) la position peut être corrigée dans un sens ou dans le sens inverse par modification de la position de la tête :

- Menton vers la poitrine : vers une inclinaison du corps (davantage assise) et un abaissement des palmes dans l'eau,
- Tête en arrière élévation du regard vers le haut : vers une position davantage horizontale.

6.2.4 Le palmage costal

Peu de choses à dire sur ce mode de déplacement qu'on ne connaisse déjà : les palmes immergées, amplitude entière de palmage, regard disponible vers l'équipier, le bateau ou un obstacle, tuba hors de la bouche.

Le bras du haut le long du corps et le bras du bas écarté dans son prolongement, montrant la direction du déplacement, suffisent à incliner légèrement l'organisme dans l'eau, de façon à ce que les palmes restent constamment immergées tout en se déplaçant d'une manière efficace (propulsion et résistances optimales).

6.3 Eclairage des erreurs de palmage les plus communes

Dans ce chapitre nous analyserons les erreurs générales de palmage ventral (le plus fréquent) et nous tenterons d'y remédier, de manière évidemment non exhaustive. Nous ne reviendrons pas sur les questions en rapport avec un mauvais choix des palmes, chaussons, voilures puisqu'ils ont été étudiés au § 5. Notons simplement qu'il ne faut pas attendre du plongeur débutant une analyse précise de la plus ou moins bonne adaptation de ses palmes, car c'est là quelque chose de difficile qui demande de l'expérience. Il est de la responsabilité du moniteur de l'analyser pour lui. (Eléments au § 5)

6.3.1 Problèmes en relation avec le positionnement du corps

☞ Les reins trop cambrés

Le parcours du plongeur vers la lombalgie chronique n'est pas une fatalité. Que faire lorsque la tête est hypertendue, très au dessus des fesses, le buste jouant le rôle d'étrave? Ici en nage sous marine :



Cause :

- PMT : Hyper extension de la tête, rigidité du bassin
- PMT : Réticence psychologique à s'immerger la face
- PMT : Crainte de choc en piscine, stress dû aux conditions de mer, froid
- Scaphandre : Sur lestage, mauvais positionnement du lest sur les reins
- Scaphandre : Position trop basse du bloc sur le scaphandre donc sur les reins
- Apnée horizontale : Sous lestage, difficulté à tenir l'immersion

Corrections possibles :

En PMT :

- Etirements à sec du rachis, échauffement préalable des abdominaux
- Immersion progressive de la face et respiration progressive sous l'eau : jeux...
- En surface, faire rechercher le plus grand étirement possible, position des bras tendus vers l'avant, point fictif à toucher avec les mains, angle de la vue abaissé (regard)
- En immersion : nage en scaphandre à profondeur constante les bras tendus, ou bien apnée dynamique. L'immersion permet un cycle entier de croisement des jambes et le blocage respiratoire rigidifie la cage thoracique.
- S'immerger permet d'éviter le clapot et la houle, lorsque stress dû aux conditions
- Avons-nous bien pensé à introduire le tuba ? avec lunettes de natation ou un masque
- Recours à la vidéo

En scaphandre :

- Adapter le lestage au strict nécessaire (en piscine : c'est difficile)
- Répartition des plombs en ceinture, usage de bloque plomb sur la ceinture, ou baudrier
- Se méfier des plombs de cheville
- Gréer le bloc en hauteur de manière à prendre appui sur le dos, pas sur les lombaires

☞ La tête excessivement tendue

Lorsqu'il se déplace l'homme, naturellement, regarde *dans la direction* où il va.

En palmage ventral l'application stricte de ce principe produit une hyper extension de la tête qui joue le rôle d'étrave, comme c'était le cas du buste dans le cas précédent, accroissement du maître couple et de la résistance frontale.



Cause :

- Facteurs psychologiques, comme précédemment
- Contraction excessive des muscles du cou, peut être pour des raisons de faiblesses musculaires ou articulaires

Les corrections à apporter peuvent être reprises de l'exemple précédent, musculation abdominale mise à part et travail spécifique du cou en sus :

- Faire rapprocher le menton du sternum, rentrer la tête
- Travailler la position à sec, debout, bras levés vers le ciel
- A sec et dans l'eau abaisser le regard, faire prendre à l'élève un point de repère visuel qui soit en dessous du plan de flottaison
- A sec et dans l'eau, sensation de toucher des bras tendus (et serrés) avec ses oreilles ; si c'est la mâchoire qui affleure le bras, ce n'est pas bon, la tête est trop tendue

☞ La tête excessivement rentrée vers le buste

Dans cette position le nageur ne voit pas où il va.

Il n'y a pas du tout de roulis du buste ce qui accompagne une propulsion peu puissante.

Il peut y avoir une rotation mais dans ce cas de tout le corps, en saccades autour de l'axe longitudinal, balancier synchrone sur les mouvements de bras

Cause :

- Toujours les facteurs psychologiques
- Rigidité excessive des muscles hauts du dos

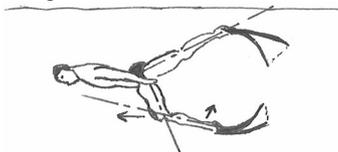
Les corrections

- Travailler le relâchement du haut du corps : nager les bras le long du corps plutôt que tendus en avant
- Dans cette position faire prendre conscience d'une sensation d'écoulement de l'eau sur les épaules, c'est décontractant
- Faire de petits roulements de tête autour de l'axe du cou durant la nage, dans le but de provoquer le relâchement des cervicales et des trapèzes

6.3.2 Questions liées à l'usage des membres inférieurs

☞ Ouverture excessive du ciseau

Dans cette position le nageur pense réaliser un geste ample et élégant mais en fin de phase aller la jambe est obligatoirement très pliée. En fin retour elle peut se trouver excessivement tendue avec un pied peut être trop fléchi. L'avancement du nageur dans l'eau se réalise par à coups ce qui n'est pas efficace.



Cause :

- Hyper contrôle du geste, défaut de concentration ou tension psychologique
- Mauvaise compréhension de ce qui concourt à la qualité du palmage, le nageur pense réaliser un geste élégant donc de son point de vue efficace

Corrections :

- Expliquer à l'élève ce qu'est le geste d'un point de vue académique ; dans le cas qui nous occupe il s'agit de transmettre quelques rudiments d'efficacité du mouvement de palmage en rapport avec notre étude mécanique et la position ciseau ouvert : résistances, phase de réarmement/désarmement de la palme...etc.
- Concentration, technique de visualisation du geste efficace durant la nage
- Tendre à augmenter le rythme des battements (ceci, en tant que re-médiation, pas comme une fin en soi), faire prendre un repère mental de la fréquence actuelle et d'une fréquence supérieure, par exemple compter les cycles sur une distance donnée
- Travailler l'ouverture souhaitée en palmage de sustentation ou en palmage costal

☞ Temps mort dans le palmage, en position d'ouverture maximum du ciseau des jambes

Le battement marque une pause avant de repartir. Le palmage est saccadé et pendant que le ciseau des jambes est ouvert les résistances sont importantes alors que la propulsion est nulle.

Cause :

- A tort, le nageur associe ce temps de pause, agréable en fin de compte et hyper contrôlé, à une sensation de qualité de son palmage
- Peut être fait-il inconsciemment référence à la glisse, jambes tendues, en fin de mouvement de brasse ? C'est un temps mort aussi
- Le pied est peut être excessivement fléchi dans la phase retour, au lieu d'être tendu

Corrections :

- Travail explicatif sur l'erreur de compréhension de l'élève
- Travailler l'extension permanente du pied ; garder le pied en extension implique une activité musculaire qui efface, souvent, l'existence d'un temps mort
- Travailler à un rythme de battements supérieur

☞ Flexion de la jambe sur la cuisse dans l'aller, le tibia se meut longitudinalement (avant arrière)

Le nageur plie le genou dans l'aller dans un mouvement de montée de marches d'escalier. C'est une erreur classique du débutant. Il croit avoir inventé le palmage optimal car il ne fatigue pas. Seuls sont utilisés fessiers et abdominaux qui font tourner les cuisses. Les muscles cruraux étant relâchés le tibia se meut comme un piston, tiré ou poussé parallèlement à la vitesse. La palme glisse longitudinalement dans l'eau, et ne subit aucune force de pression, juste des forces de viscosité.



Cause :

- Faiblesse musculaire des fléchisseurs de la cuisse
- Palmes inadaptées, trop dures ou trop longues pour la musculature de l'utilisateur

Corrections :

- Travailler le palmage de sustentation à des fins de musculation progressive
- Travailler le palmage costal et le palmage dorsal afin dans les deux cas d'utiliser le sens de vision (geste incorrect, geste correct) et d'associer les sensations musculaires et articulaires dans les cas
- Palmer bras le long du corps, mains sur les cuisses afin de ressentir l'avancée versus l'absence d'avancée de la cuisse longitudinalement dans l'eau
- Changer de palmes pour une voilure moins rigide

☞ Flexion de la jambe sur la cuisse dans le retour

Le nageur plie le genou dans le retour ce qui lui permet de dérober la palme à la résistance de l'eau dans ce demi cycle. La jambe offre une résistance au déplacement vers l'avant et le dessous de la palme n'est pas propulseur comme il le devrait.



Cause :

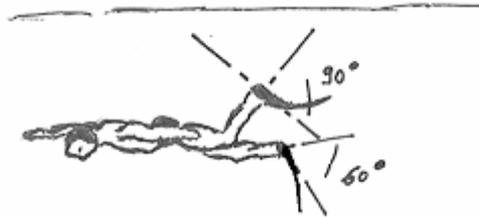
- Faiblesse musculaire des extenseurs de la cuisse, de la cheville ou des fléchisseurs de la voûte plantaire
- Palmes inadaptées, trop dures ou trop longues pour la musculature de l'utilisateur

Corrections :

- Travailler le palmage de sustentation à des fins de musculation progressive
- Travailler dans différentes positions costal et dorsal et à différentes allures pour accroître le contrôle de la flexion/extension en cours de battement

☞ Extension insuffisante du pied, souvent dans la phase retour

Généralement cette difficulté accompagne l'erreur de flexion de la jambe, parfois en aller mais le plus souvent en retour de battement où la cheville n'est pas en butée osseuse, il faut une tension volontaire de la cheville et une flexion de la voûte. Elle contribue au défaut de propulsion du dessus de la voilure (lorsque en phase aller) ou du dessous (en phase retour).



Aux problèmes musculaires cités dans le cas précédent (causes et corrections de la flexions de la jambe en phase retour) on ajoutera les causes possibles suivantes :

- Faiblesse musculaire des mollets et du jambier antérieur
- Douleurs articulaires de la cheville, douleurs ligamentaires du tarse
- Pied nu dans un chausson excessivement rigide, trop petit, douloureux aux doigts de pied

Corrections :

- Echauffement à sec des groupes musculaires concernés, par exemple quelques mouvements de flexions d'haltérophile, bras levés. Puis étirements
- Exercices de mobilité de la cheville et de ses tendons à sec
- Palmage rapide en sustentation
- Palmage dorsal à des fins de contrôle visuel du mouvement, extension de la cheville comprise
- Adaptation du chausson (souplesse, taille), mettre des chaussettes au pied si nu

☞ Petits battements rapides et trop faible amplitude du ciseau

Sans assez d'amplitude dans le battement il n'y a pas réellement de propulsion.

En outre, la rapidité du palmage risque de produire une fatigue ou un essoufflement.

En nage en surface le pied a toutes les chances de fouetter l'eau et le talon peut émerger.

Corrections :

- Se calmer : est-ce un problème de stress ?
- Pratiquer un palmage sous marin (cycle entier) par exemple en apnée dynamique
- ou le palmage de sustentation à distance de deux obstacles, devant et derrière, qu'il faudra toucher (travail d'amplitude)
- Utiliser les autres formes de palmage pour améliorer le contrôle au niveau visuel et au niveau des sensations associées
- Faire incliner l'assiette du corps par une modification de l'angle du regard ou le relèvement de la tête dans le but de rentrer les palmes dans l'eau
- Faire prendre un repère mental de fréquence plus lente, par exemple compter les cycles sur une distance ou sur un temps donné

6.4 La séance et la place du palmage dans la séance

On va traiter ici de l'organisation d'une séance dont le palmage fait partie.

6.4.1 Rappels : positionnement du temps de travail effectif dans une séance

Pour tirer le meilleur profit d'une séance à composante physique, il est important que celle-ci soit composée de 3 parties :

L'échauffement

L'échauffement permet de se mettre progressivement en activité et de préparer le système cardio-vasculaire, le système respiratoire, les muscles, les articulations et les tendons à l'effort.

La durée de l'échauffement varie selon l'intensité des efforts prévus ensuite. L'échauffement peut ainsi aller de 10 minutes pour un entraînement à allure modérée jusqu'à 30 minutes pour une séance intensive.

La nature de l'échauffement va également varier selon la séance prévue à l'issue. On utilisera les formes de nages qui doivent suivre au cours de la séance mais aussi les autres formes, qui sollicitent d'autres groupes musculaires et tendineux, par exemple la brasse en vue de la plongée scaphandre et toutes les formes de nage sans palme.

Débuter l'échauffement à une allure très modérée puis augmenter cette allure progressivement. Si la séance est prévue intensive, finir l'échauffement par quelques accélérations pour préparer le corps.

La partie de l'échauffement où on chausse les palmes demeure un moment intéressant pour **travailler la technique de nage à une allure modérée**. Il peut être utile de sélectionner dans notre travail de palmage ce qui doit se dérouler à faible allure et de le positionner dans l'échauffement, faisant ainsi d'une pierre deux coups.

Le corps de la séance

C'est la partie principale de l'entraînement, composé d'une ou plusieurs activités dont l'intensité et la durée varieront selon le niveau et les objectifs.

Si on souhaite perfectionner la technique, le corps de séance est majoritairement constitué d'exercices et de distances nagées à vitesse moyenne (ce qualificatif à prendre relativement au niveau du pratiquant).

Le retour au calme

Il permet de ne pas arrêter brutalement la séance mais au contraire de diminuer progressivement l'activité de l'organisme en favorisant la récupération. Comme pour l'échauffement, la durée de ce retour au calme est à adapter selon la durée et l'intensité de la séance. Par exemple : nager entre 100 et 400 mètres à une vitesse faible, bien relâché et finir par 5' d'étirements des muscles sollicités.

Les étirements entretiennent la souplesse. La souplesse est naturelle chez le jeune pratiquant mais doit être entretenue en avançant en âge. Les étirements évitent aussi les douleurs musculaires et articulaires dues à la nage et au palmage.

6.4.2 Place possible du palmage dans le corps de séance

Nous ne reviendrons pas sur des notions de pédagogie générale mais l'objectif d'une séance doit évidemment être défini par avance et en fonction du niveau des élèves (le niveau réel), les étapes arrêtées (la progression) et le contenu de notre séance être bien préparé avant de commencer.

Ceci prend un sens différent en fonction du niveau de plongée préparé ...si on en prépare un.

Ci après des exemples pour différents niveaux de séances qui mêlent palmage et technique blocs, avec une répartition, un dosage de l'un par rapport à l'autre et la transition entre les 2 types d'exercices.

☞ **Public préparation N1 ou en filière jeune, compétence de déplacement en « loisir », développement de l'équilibre**

Séance 1h30 (hypothèse) :

- Briefing : 10'
- Perte de temps pour l'organisation ⁽⁵⁾ : jusqu'à 15'
- Echauffement : 10'
- Corps de séance : de 45' à 1h00
- Retour au calme : 10'

Le corps de la séance pourra utilement mêler le palmage et d'autres activités relevant des pédagogies préparatoire ou pratique N1.

Venant après l'échauffement le pratiquant n'a pas froid, il peut donc commencer par de la préparatoire 'non physique' (vidage de maque, capelage, immersions, sauts...etc.) ou de l'immersion scaphandre. Le choix est fonction de l'avancement du plongeur dans sa formation et de la stratégie qu'aura retenu l'encadrant pour l'ensemble de cette formation.

Le temps de travail technique du palmage permet également de se réchauffer.

On alternera plusieurs fois travail du palmage et autres activités dans le corps de la séance :

- En nage académique sur des distances courtes 25 ou 50m
 - suffisantes à l'encadrement pour se rendre compte des éventuels problèmes techniques et mettre en place une situation de correction de ces défauts, sur 25 à 100m supplémentaires,
 - afin d'éviter les pathologies.
- En changeant à chaque nage la forme de propulsion : ventre, dos...etc.
- En PMT, en scaphandre, en surface ou en immersion selon une logique de cohérence avec les autres activités choisies dans cette séance. Ex : on est déjà capelé ? on nage en capelé.

⁵ Pertes de temps lors des transitions entre les exercices ou les ateliers avec/sans scaphandre, avec/sans matériel. Répétitions de consignes, installation du matériel qui n'a pas pu être anticipée ...etc.

- **Sur des situations de jeu**, c'est plus facile :
 - en relais (ventral, dorsal, costal, apnée),
 - avec ballon (sustentation),
 - avec palet (immersion),
 - avec parcours (sur ou sous l'eau),
 - avec désorientation (roulades, bascules, préparation aux techniques d'immersion, nage yeux fermés),
 - randonnée palmée : je nage tout en cultivant mes connaissances bio,
 - ...etc.
- Toutes les situations de jeu doivent malgré tout rester courtes et d'autant plus intenses qu'on vise en même temps à se réchauffer à travers elles.
- **Toutes les situations de jeu doivent soigneusement être imaginées préparées et dans une certaine mesure minutées par avance par l'encadrant, en terme de mise en place et de moyens nécessaires, sous peine de perdre du temps, se refroidir et faire diminuer l'intérêt chez l'élève.**

☛ **Public loisir, compétence de déplacement en « loisir », développement de l'équilibre**

Le public concerné est le nageur loisir (niveau 0) ou le plongeur déjà diplômé (jeune, N1, N2, N3). Point commun, tous désirent simplement s'entretenir, ou se divertir : la séance n'est pas axée sur la technique, on privilégie un travail physique léger en aérobie, ludique chaque fois que possible.

Même chez le plongeur diplômé les erreurs de technique de palmage peuvent être présentes par conséquent l'encadrant est toujours chargé **d'analyser et de corriger le geste**.

- Chez le jeune et le plongeur débutant ne pas focaliser excessivement sur la nature académique du palmage de surface, on l'a dit (pédalage, genou en extension...etc.) dès lors que la compétence de déplacement est acquise ou en vue.
- Chez le plongeur espace lointain et au delà (N2, N3) corriger dans une logique de rendement du geste et des palmes utilisées, afin de prévenir l'**essoufflement**. Pour ce faire se référer aux § 6.3 Eclairage des erreurs de palmage les plus communes et 5 Choix des palmes aux niveaux de plongeurs.

Sauf exception (demande du plongeur en ce sens, ça arrive) la séance ne comprend pas de pédagogie pratique, le travail est essentiellement autour de la nage.

On ne prépare pas d'examen, on n'a pas d'objectif de date si ce n'est peut être l'ouverture de la saison d'exploration en milieu naturel, on n'a pas d'objectif de temps de nage et la condition physique n'est pas toujours au rendez-vous : ne pas aligner les longueurs de bassin comme un marathonien de l'effort, aucun travail anaérobie non plus.

Sur la séance (rappel : 45' à 1h00) 2 Km environ de nage formelle en PMT sont un maximum, pas forcément nécessaire. On pratiquera :

- séquences de nage PMT formelle dans laquelle 'je sais que je nage et je travaille ma technique, je me corrige' + récupération associée (nage en dos, ondulation mono palme),
- nage de **jeu** + récupération, c'est-à-dire 'je nage sans le savoir' sur quelques unes des bases précédentes :
 - partie de ballon plus longue : passe à dix, match de water-polo, ballon prisonnier

- avec accessoires : élastique, tir à la corde, parcours,
- relais de nage, relais d'apnée,
- nage aveugle,
- nage capelée et orientation (c'est préparatoire à l'exploration), nage en mer,
- randonnée palmée : je palme tout en cultivant mes connaissances bio,
- on fera utilement appel à des initiateurs d'autres disciplines fédérales dans le but d'agrémenter les séances : nage avec palmes et mono palme, apnée et respiration, photo sous marine, tir sur cible, biologistes...
- ...etc.

☞ Public performance

Ce public se prépare à être évalué en fonction d'objectifs chiffrés : plongeur niveau 4, encadrant niveau 4 (voire encadrant niveau 3 pour une faible part).

Le travail purement physique qui fait bien sûr partie de la séance ne sera pas approfondi ici ; l'encadrant se référera à la littérature, par exemple « Plongée préparation physique » P.Estripeau, éditions @mphora.

Supposons une séance dont le fil conducteur est donné par la stratégie de travail sur le plan physique, en PMT ou avec bloc. Cela décide généralement des plages de travail disponibles pour du palmage technique, si besoin on se les crée. Dans ces plages ...

...le palmage « technique » pourra servir de temps de **récupération** des séquences physiques mais en même temps visera aux objectifs suivants qui concourent largement aux objectifs chiffrés de l'examen final :

- l'encadrant aidera le stagiaire à gommer les erreurs de **geste technique** préjudiciables à la performance, positions de corps, positions des membres inférieurs, consulter 6.3 Eclairage des erreurs de palmage les plus communes.
Il ne faut pas penser que rendu au plus haut niveau de formation du plongeur le geste de palmage est nécessairement à son efficacité maximale, au contraire.
Un travail peut être nécessaire sur les erreurs techniques les plus criantes et il devra être réalisé au tout début de la période de préparation : assiette, matériel...
Un autre travail technique pourra être réalisé en fin de formation pour affiner les détails et gagner encore en performance, par exemple au moment où le plan de préparation physique prévoit un allègement de la charge de travail (notamment en période pré examen).
- l'encadrant (ou un autre stagiaire) aidera le stagiaire à vérifier que le matériel employé, ici les palmes, est **adapté** aux qualités du nageur ou à en **choisir** d'autres.
Il est à noter que des palmes adaptées en début de formation ne seront pas forcément les meilleures en cours de celle-ci. On constate que nombre de stagiaires N4 ou MF2 adoptent les palmes longues et d'une autre dureté en cours de formation. Je pense qu'une lecture ou un commentaire des chapitres suivants peut être utile aux candidats :
 - 2 Le palmage – analyse mécanique de ce mode de propulsion
 - ou au moins 2.6 et 2.7
 - 4 Anatomie physiologie du corps humain et palmage
 - 5 Choix des palmes aux niveaux de plongeurs

7 Conclusion

La démocratisation de la plongée sous- marine a vu le développement de la catégorie « plongeur loisir ».

Ce plongeur s'offre une semaine annuelle en mer chaude et n'a que peu d'équipement spécifique, le matériel lui étant fourni sur place pour un montant inclus dans le forfait de son séjour. Le pratiquant qui possède ses propres détendeurs, bloc, gilet, combinaison, voire petit compresseur portatif, est en voie de disparition.

Pourtant le temps passé sous l'eau, dont la gestion relève de l'encadrement, reste négligeable par rapport au temps passé à la plage, laissé au libre arbitre du plongeur vacancier. C'est pourquoi l'équipement minimum permettant de voir et de se déplacer sans contraintes dans la mer, est composé de l'ensemble palmes- masque- tuba.

Nous devons donc attacher une attention toute particulière à l'instruction du plongeur pour le guider en connaissance de cause dans l'achat et la maîtrise de cet équipement basique.

Le premier objectif de ce mémoire était de montrer les caractéristiques, mais aussi les évolutions de la palme en tant que matériel de plongée ces dernières années contrairement à ce qu'on pourrait penser peut être en première approche.

Nous avons balayé différents angles de vue du problème : une approche mécanique du palmage, une présentation des techniques de fabrication des palmes puis un zoom sur des notions d'anatomie et un peu de physiologie.

Le deuxième objectif était de fournir aux encadrants, peut être aux nouveaux moniteurs, des éléments de choix de matériel et des moyens d'enseignement dans lesquels volontairement on ne trouvera aucune matrice de décision unilatérale (type mode d'emploi).

Seulement de la matière pour construire un enseignement, notamment en fonction des objectifs et des difficultés particulières de ses pratiquants sur lesquelles il appartient toujours à l'encadrant de réfléchir.

Bonne réflexion donc aux uns et merci globalement pour votre lecture aux autres.

Bibliographie et références

Ouvrages et publications :

« Natation sportive – approche scientifique » Didier Chollet, éditions Vigot

« L'enfant et le sport » Marc Durand, éditions PUF

« Apnée, de l'initiation à la performance » Umberto Pelizzari et Stefano Tovaglieri, éditions @mphora

« Plongée préparation physique » P.Estripeau, éditions @mphora.

« Mécanique des fluides appliquée à la plongée sous-marine » Mémoire d'Instructeur Régional de plongée sous-marine de Hervé Cordier, FFESSM, Commission Technique Interrégionale Picardie Ile de France

« Les techniques de nage » cours de Jean-Michel Oyhenart, FFESSM - Comité Interrégional Picardie Ile de France

« Le Lacombe – Précis d'anatomie et de physiologie humaine » Michel Lacombe, éditions Lamarre

Contenus de formation de la Commission Nationale de Nage avec Palme de la FFESSM

Sites Internet :

<http://www.chasse-sous-marine.com/magazine/pratik/>

<http://www.plongeeonline.com/repbeuchatusine.php>