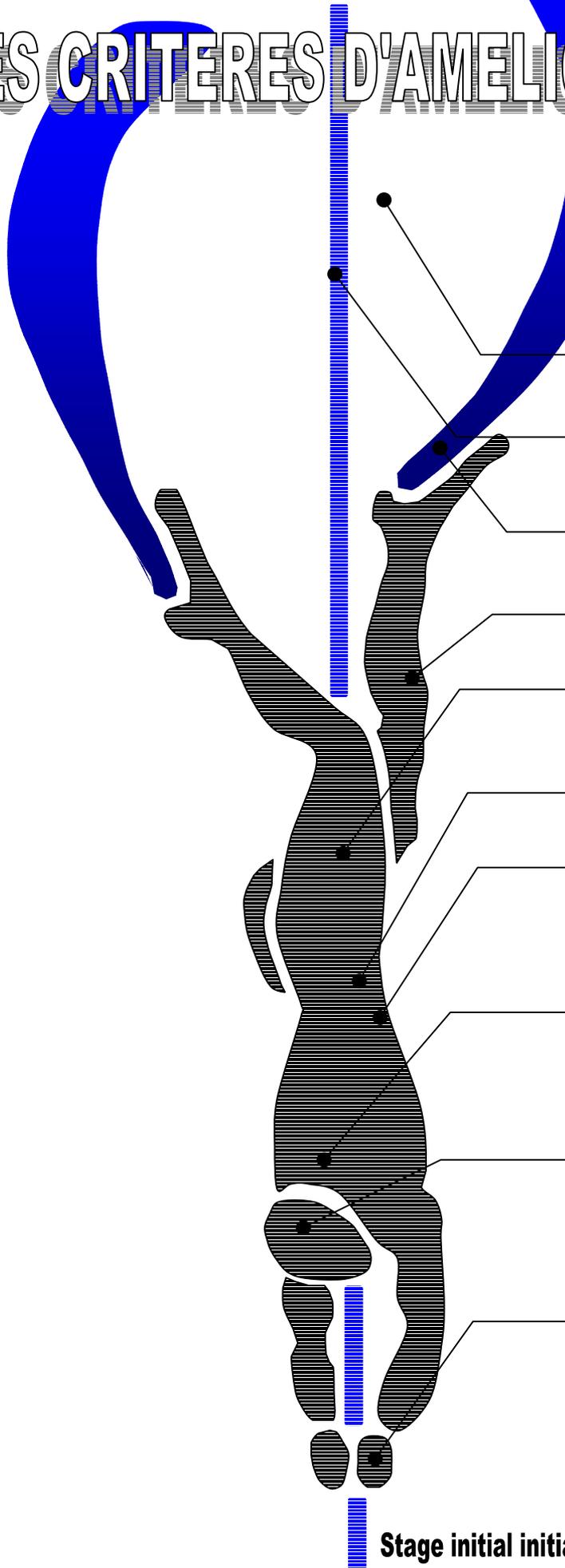


L'ENTRAÎNEMENT ET

LES CRITERES D'AMELIORATION DE L'APNEE



Conditions extérieures

Sécurité adaptée

Matériel

Aquaticité

**Filières énergétiques
L'échauffement**

Alimentation

**Compensation
Capacité pulmonaire**

**Résistance au CO₂, au
manque d'O₂ et à acide
Lactique**

**Préparation Mentale
Sophrologie
Récupération**

Technique

1	INTRODUCTION	4
2	PREPARATION MENTALE –SOPHROLOGIE - RECUPERATION	5
2.1	MECANISMES PSYCHO-PHYSIOLOGIQUES :	5
2.1.1	La sophrologie	5
2.1.2	La préparation mentale.....	5
2.1.3	La récupération.....	5
2.2	EXEMPLES D'EXERCICES :	5
2.2.1	Exemples d'exercices de sophrologie	5
2.2.2	Exemples d'exercices de préparation mentale.....	7
2.3	PLACE DANS L'ENTRAINEMENT	7
3	L'ALIMENTATION	8
3.1	MECANISMES PHYSIOLOGIQUES :	8
3.1.1	Stockage du glucose	8
3.1.2	Notions de charge glycémique	9
3.1.3	Créatine - La phosphocréatine	9
3.1.4	L'hydratation	9
3.1.5	Les lipides – Les protides	10
3.1.6	Le oligoéléments.....	10
3.1.7	Les vitamines.....	10
3.1.8	Les aliments à éviter.....	10
3.2	PLACE DANS L'ENTRAINEMENT	10
4	LES FILIERES ENERGETIQUES – L'ECHAUFFEMENT	11
4.1	MECANISMES PHYSIOLOGIQUES :	11
4.1.1	Approche de l'utilisation des différentes filières.....	11
4.1.2	Filière anaérobie alactique.....	11
4.1.3	Filières anaérobie lactiques	11
4.1.4	Filières aérobie	12
4.1.5	Structure musculaire.....	12
4.1.6	L'acide lactique	12
4.1.7	La récupération - Notion de dette en oxygène	12
4.1.8	Eléments supplémentaires	12
4.2	L'ECHAUFFEMENT	12
4.3	EXEMPLES D'EXERCICES :	13
4.3.1	Exemple d'exercice développant principalement les filière aérobie	13
4.3.2	Exemple d'exercice développant principalement la filière anaérobie alactique	13
4.3.3	Exemple d'exercice développant principalement la filière anaérobie lactique	13
4.3.4	Exemples d'exercices développant les filière anaérobies et aérobie	13
4.4	PLACE DANS L'ENTRAINEMENT	14
5	RESISTANCE AU CO₂, AU MANQUE d'O₂ ET A L'ACIDE LACTIQUE	15
5.1	MECANISMES PHYSIOLOGIQUES :	15
5.1.1	Le cortex	15
5.1.2	Le centre ventilatoire	15
5.1.3	Les capteurs	15
5.1.4	Les mécanismes d'adaptation à l'apnée	16
5.2	EXEMPLES D'EXERCICES :	16
5.2.1	Exemple d'exercice permettant de diminuer principalement la sensibilité des récepteurs au CO ₂ - Hypercapnie.....	16
5.2.2	Exemple d'exercices permettant de diminuer principalement la sensibilité des récepteurs à l'O ₂ -Hypoxie.....	16
5.2.3	Exemple d'exercices permettant de diminuer la sensibilité à l'acide lactique	17
6	AQUATICITE	18
6.1	MECANISMES BIOMECANIQUES :	18
6.1.1	Ce que dit la physique	18
6.1.2	Ce que ne dit pas la physique pour l'apnée	18
6.2	QUELQUES CONSEILS	18
6.2.1	Le corps	18
6.2.2	La tête	18
6.2.3	Les bras	18
6.2.4	Le palmage	18
6.2.5	La monopalme	18
7	LA COMPENSATION – CAPACITE PULMONAIRE	19
7.1	MECANISMES PHYSIOLOGIQUES	19
7.1.1	L'oreille – Les sinus	19
7.1.2	Le diaphragme – les muscles éleveurs de côtes et intercostaux.....	19

7.1.3	Les volumes morts.....	19
7.2	EXEMPLES D'EXERCICES :	19
7.2.1	Exemple d'exercices permettant d'améliorer la compensation	19
7.2.2	Exemple d'exercices permettant d'améliorer la souplesse du diaphragme	19
8	TECHNIQUE	20
8.1	Attitude COMMUNE	20
8.1.1	Optimisation de la réserve d'air	20
8.1.2	Arrivée en surface.....	20
8.1.3	La compensation	20
8.2	APNEE DYNAMIQUE	20
8.2.1	Les dernières inspirations	20
8.2.2	L'entrée sous l'eau.....	20
8.2.3	Le palmage	20
8.2.4	Le virage	20
8.2.5	La remontée.....	20
8.3	LE POIDS CONSTANT	20
8.3.1	L'entrée sous l'eau.....	21
8.3.2	Le palmage	21
8.3.3	Le virage	21
8.3.4	La remontée.....	21
8.4	LE POIDS VARIABLE	21
8.4.1	L'entrée sous l'eau.....	21
8.4.2	Le palmage	21
8.4.3	Le virage	21
8.4.4	La remontée.....	21
9	CONDITIONS EXTERIEURES	22
9.1	MECANISME PHYSIOLOGIQUE	22
9.1.1	Régulation de la température du corps	22
9.1.2	Le soleil.....	22
9.2	LIMITER LE REFROIDISSEMENT	22
9.2.1	La combinaison.....	22
9.2.2	L'alimentation.....	22
10	SYNTHESE	23
11	BIBLIOGRAPHIE	24

1 INTRODUCTION

Ce cours a deux objectifs principaux :

Vous donner les bases de la compréhension des critères liés à l'amélioration de l'apnée.

Vous donner des conseils ou des pistes d'exercices vous permettant de construire votre cours en fonction de votre objectif de travail.

Chaque critère est développé comme une fiche individuelle qui vous permet, dans un premier temps, de vous rappeler les mécanismes mis en œuvre et, dans un second temps de vous illustrer le type d'exercices ou des conseils qui peuvent y être associés, à vous de développer la suite. Le matériel et la sécurité sont à travailler à l'aide des cours spécifiques que vous avez reçus.

Ce cours est un condensé non exhaustif des connaissances actuelles et accessibles. Il est nécessaire de continuer à vous documenter et de suivre l'évolution des connaissances.

Enfin, n'oubliez pas que la plupart de vos élèves venant faire de l'apnée sont là pour avoir du plaisir et non pas pour battre des records. Il tient à vous de faire preuve de pédagogie et d'originalité. Soignez la partie sophrologie et stretching. Sachez justifier un exercice ou quelquefois cacher une difficulté à travers un jeu.

2 PREPARATION MENTALE – SOPHROLOGIE - RECUPERATION

La sophrologie, longtemps laissée de côté par les apnéistes qui se concentraient uniquement sur l'amélioration physique, fut réintroduite entre autres par Jaques Mayol. Elle lui permit d'établir de nouveaux records et est devenue depuis un critère essentiel à la préparation à l'apnée. La sophrologie et la préparation mentale permettent l'amélioration notable des performances tout en s'accompagnant de plaisir et de bien être.

2.1 MECANISMES PSYCHO-PHYSIOLOGIQUES :

2.1.1 La sophrologie

La sophrologie va mettre en œuvre entre autres :

- L'augmentation de la production d'endorphine dans le cortex par la détente mentale.
- Une meilleure oxygénation des tissus par une respiration efficace.
- Une consommation minimale de O₂¹ grâce à la relaxation des muscles.
- Une bradycardie²

2.1.2 La préparation mentale

La préparation mentale va notamment permettre :

- l'anticipation de la perception des sources d'informations extérieures (la bouée, le filin, la thermocline,...) et intérieures de son corps (la verticalité, les tympans, le diaphragme,...)³
- La préparation à l'élaboration des influx nerveux, (c'est le skieur qui visualise son parcours avant sa descente)

L'esprit et le corps atteignent un état de détente profonde.

2.1.3 La récupération

La récupération est un critère essentiel faisant partie intégrante de l'entraînement. Elle doit permettre de se recharger et de se relaxer. Son mécanisme est développé dans le chapitre traitant des filières énergétiques.

2.2 EXEMPLES D'EXERCICES :

2.2.1 Exemples d'exercices de sophrologie

1	Position du corps	Ventilation		
		Inspiration	Expiration	
Objectif : Préparation	• Rotation de la tête dans un sens puis dans l'autre.			X5
	• Rotation des épaules dans un • sens puis dans l'autre.	à la montée	à la descente	X5
	Rotation des hanches, mains sur les hanches.	dans un sens	dans l'autre sens	X5
	• Pieds écartés, mains sur les cuisses au-dessus des genoux. Dos droit, buste penché. Plier les jambes puis les tendre en étirant l'arrière.	A la descente	A la montée	X5
	• Rotation des chevilles, orteils touchant le sol.		Normale	X5

La position la plus relaxante serait d'être allongé sur l'eau avec une ou deux planches en flottaison sous le dos dans le petit bain ou avec des « frites » de mousse placées à la convenance.

2	Position du corps	Ventilation	
Objectif : prise de conscience des membres	Allongé ou assis, bras détendus, yeux clos.	Passer en revue chaque partie du corps, membre par membre en les imaginant lourds de plus en plus lourds agréablement lourds... Imaginer cette énergie se diffuser dans tout son corps	X10

¹ Oxygène

² Baisse du rythme cardiaque

³ Informations extéroceptives et intéroceptives.

	Position du corps	Ventilation		
		Inspiration	Expiration	
3				
Objectif : visualiser sa ventilation	Allongé ou assis, bras détendus, yeux clos.	Imaginer une lumière chaude, bleutée, énergisante qui pénètre par le nez.	Imaginer cette énergie se diffuser dans tout son corps	X10
4				
Objectif : visualiser sa ventilation abdominale	Allongé ou assis, bras détendus, yeux clos. Les mains peuvent être posées sur l'abdomen.	Sentir le diaphragme pousser les abdominaux, en visualisant la ventilation comme précédemment.	Laisser le diaphragme reprendre sa position initiale en visualisant la ventilation comme précédemment.	X10
5				
Objectif : visualiser sa ventilation thoracique	Allongé ou assis, bras détendus, yeux clos. Les mains peuvent être posées sur les flancs.	Sentir ses côtes s'écarter latéralement, tout en visualisant la ventilation comme précédemment.	Laisser le thorax reprendre sa position initiale tout en visualisant la ventilation comme précédemment	X10
6				
Objectif : visualiser sa ventilation sous-claviculaire	Allongé ou assis, bras détendus, yeux clos. Les mains peuvent être posées entre la gorge et le haut de la poitrine.	Sentir l'espace sous les clavicles monter, tout en visualisant la ventilation comme précédemment.	Laisser l'espace sous les clavicles reprendre sa position initiale tout en visualisant la ventilation comme précédemment.	X10
7				
Objectif : se relaxer complètement	Allongé ou assis, bras détendus, yeux clos.	Imaginer une lumière chaude, bleutée, énergisante qui pénètre par le nez. Sentir l'espace sous les clavicles monter, puis le thorax et le diaphragme pousser le ventre.	Laisser le diaphragme, le thorax, l'espace sous les clavicles reprendre leur position initiale tout en imaginant l'énergie se diffuser dans tout son corps.	X10

Les exercices 2 à 6 sont une préparation à l'exercice 7. Mais, avec de l'entraînement l'exercice 7 peut se faire juste après l'exercice 1.

L'état dans lequel on se trouve à la fin de ces exercices ne doit pas être perturbé par un effort violent ou une dispersion de l'esprit. Il doit y avoir une continuité dans les exercices sous peine de réduire à néant le travail accompli.

2.2.2 Exemples d'exercices de préparation mentale

	Position du corps	Préparation mentale
1		
Objectif : visualiser la décomposition de l'immersion	Dans l'eau juste avant le départ, yeux fermés.	Visualiser et reproduire mentalement chaque phase : ventilation, regard à son équipier, canard, compensation, descente, demi-tour, remontée, reprise de la ventilation... Cette visualisation peut être décomposée en étapes pour favoriser l'assimilation.
2		
Objectif : ressentir des informations	Dans l'eau juste avant le départ, yeux fermés.	Prendre conscience des informations que l'on ressent ou que l'on reçoit à chaque étape (filin, tympan, thermocline).
3		
Objectif : visualiser l'immersion au total et ressentir des informations	Dans l'eau juste avant le départ, yeux fermés.	Associer visualisation et ressenti des informations.

2.3 PLACE DANS L'ENTRAINEMENT

En introduction petit à petit au début de chaque séance.

3 L'ALIMENTATION

Il va de soi qu'un véhicule avec très peu de carburant ne va pas fonctionner longtemps. Notre organisme est régi par la même loi. Il dispose de plusieurs types de réservoir qu'il vaut donc mieux remplir avant, pendant et après notre activité pour éviter tout accident. Le cerveau est particulièrement sensible à l'hypoglycémie qui entraîne rapidement une syncope.

3.1 MECANISMES PHYSIOLOGIQUES :

La diversité de la nature fait que l'on peut trouver quasiment l'intégralité de ce dont nous avons besoin à savoir : des glucides (sucres), des protides⁴ (protéines), des lipides⁵ (graisses), des vitamines et oligo-éléments (magnésium, calcium, fer, cuivre, zinc) à condition d'adopter une alimentation équilibrée. Pour cela il faut varier les types d'aliments : légumes, viandes, fruits, laitages...

Dans le sport, et en apnée en particulier, pour produire de l'énergie, les muscles ont besoin essentiellement de glucose et de phosphocréatine. Ces molécules sont transformées puis stockées à partir de ce que nous mangeons lors de la digestion.

3.1.1 Stockage du glucose

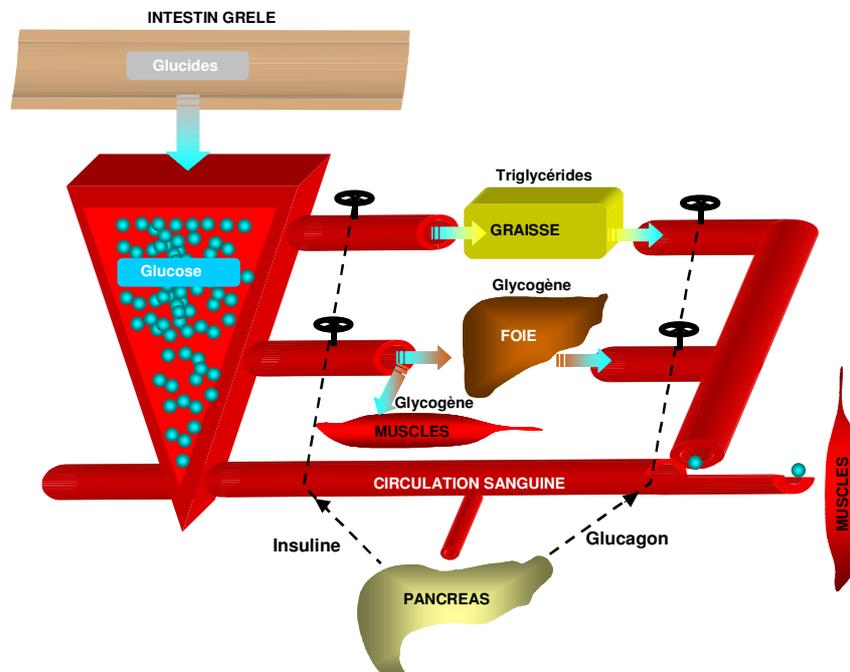


Figure 1 : Représentation schématique du parcours et des transformations du glucose dans l'organisme

Durant les deux heures qui suivent le repas, les glucides, contenus dans ce que nous venons de manger, se transforment en glucose et passent dans notre sang.

Ce taux de glucose dans le sang doit rester quasiment constant⁶. Après un repas, si le taux devient trop élevé, le glucose superflu est transformé en glycogène puis stocké dans les muscles et le foie. Lorsque ces « réservoirs » sont trop remplis, l'excédent est transformé en graisse (triglycérides) stockée⁷.

A l'inverse si le glucose devient trop bas⁸ (lors d'une série d'apnées), les muscles utilisés retransforment et utilisent leur propre réserve, puis celle du foie, si ce n'est pas suffisant c'est au tour des graisses d'être retransformées en glucose⁹ et on peut éprouver une sensation de faim.

⁴ Fragmentés en acides aminés.

⁵ Glycérol et acide gras sont émulsionnés et convertis en acides gras.

⁶ Entre 0,8 et 1,2 g/l de sang. C'est le pancréas qui joue le rôle de régulateur.

⁷ Le glucose se transforme en triglycérides

⁸ En dessous de 0,8 g/l de glucose dans le sang

⁹ Le pancréas sécrète de glucagon

3.1.2 Notions de charge glycémique¹⁰

Selon l'aliment que nous mangeons, le glucose n'arrive pas dans le sang en même quantité. Cela dépend de la quantité et du type de glucides associés aux fibres et aux lipides. On peut classer les aliments en 3 catégories selon la charge glycémique¹¹ qui les caractérise et ainsi décider de remplir tel ou tel « réservoir ». Des aliments à charge glycémique forte seront plutôt stockés en graisse, ceux à charge glycémique faible seront stockés dans les muscles et le foie.

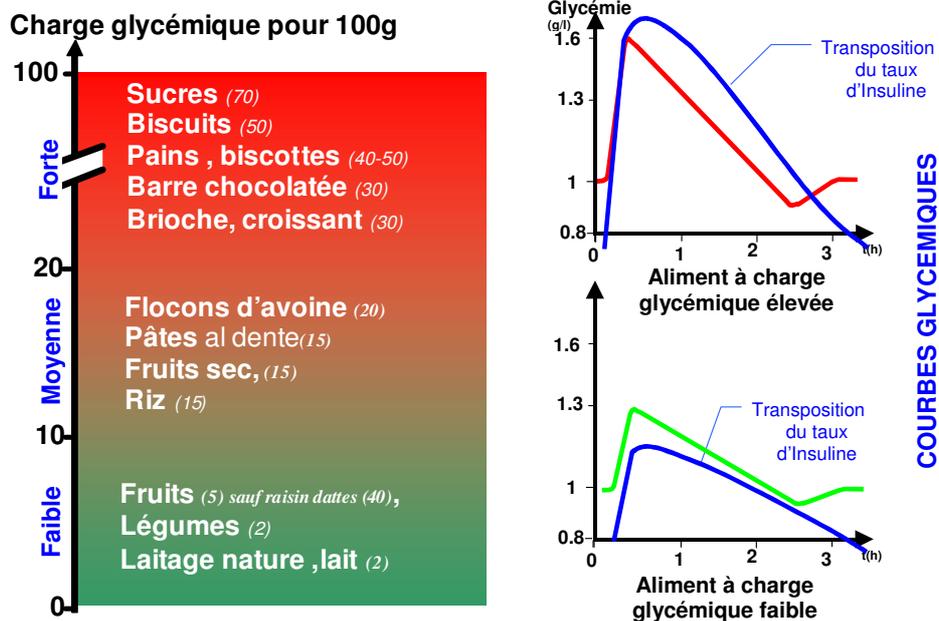


Figure 2 : Classement selon la charge glycémique de différents aliments / Courbes représentant l'évolution du glucose dans le sang après l'ingestion d'une même quantité de glucides.

Avant l'entraînement :

On privilégiera un repas plutôt avec des aliments à charge glycémique faible de manière à n'avoir que du glucose dans les « réservoirs » foie et muscles. Une surconsommation d'aliments à charge glycémique forte provoquerait un stockage en graisses et une somnolence.

Pendant l'entraînement :

Consommer régulièrement des boissons de charge glycémique moyenne à forte de manière à réapprovisionner le foie et les muscles.

En fin d'entraînement

Prévoir quelques aliments à charge énergétique forte de manière à recharger complètement : foie, muscles voire graisses.

3.1.3 Créatine - La phosphocréatine

Ce sont des molécules essentielles dans l'utilisation de la filière anaérobie alactique. La créatine que l'on absorbe est véhiculée par le sang puis transférée dans les organes de stockage (les muscles), où elle est transformée en phosphocréatine.

Elle est naturellement présente dans la viande rouge, la volaille et le poisson, à raison d'environ 5 g par kilo. Une fois utilisée, elle peut être régénérée naturellement.

3.1.4 L'hydratation

L'apnéiste étant essentiellement dans l'eau, il a tendance à moins ressentir la déshydratation. Celle-ci est néanmoins indispensable pour maintenir et développer les performances notamment dans les filières anaérobies.

Il suffit d'un déficit léger (de l'ordre de 1% à 2% du poids corporel, soit seulement 0,7 litre pour un homme de 70 kilos) pour diminuer de 10% à 20% les performances physiques et le temps de réaction. On peut donc estimer que plus la d'hydratation sera importante plus l'apnée sera courte. Il est essentiel au cours de l'entraînement physique de s'hydrater proportionnellement à l'effort par avec par exemple des boissons de charge glycémique moyenne à forte.

¹⁰ *glycemic load, 2001, Harvard Medical School'*

¹¹ La charge glycémique tient compte de l'index glycémique ainsi que du pourcentage de glucides.

3.1.5 Les lipides – Les protides

Lors du repas, tout lipide non utilisé immédiatement, donc en excès, est transformé en graisses. Ces graisses servent à fournir l'énergie quand il n'y a plus de glucides : elle constitue donc une réserve. En ce qui concerne l'utilisation des glucides ou lipides au cours de l'exercice, il est schématiquement possible de considérer que le besoin de glucides augmente avec l'intensité de l'exercice tandis que le besoin de lipides s'élève avec la durée de l'exercice.

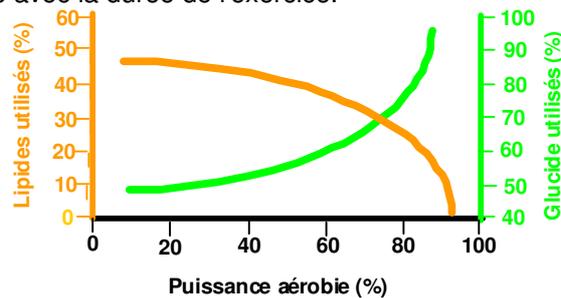


Figure 3 : Crossover¹², courbe illustrant l'utilisation des glucides et des lipides selon la puissance aérobique

Il existe de « bons » et de « mauvais » lipides. En résumé Il faut consommer le moins possible d'aliments frits et privilégier le beurre cru, les huiles d'olive, de colza, de tournesol, de noix en salade et les poissons.

Les protides sont essentiels dans la fabrication cellulaire et particulièrement des muscles. Cependant il est inutile d'en consommer en excès les protéines issues d'une alimentation équilibrée suffisent pour couvrir les besoins d'un apnéiste.

3.1.6 Le oligoéléments

Le fer pour l'hémoglobine (transport de l'O₂) : On le trouve principalement dans les viandes animales. Le corps absorbe environ 25 % du fer contenu dans la viande, le poisson et la volaille.

Le magnésium pour la détente nerveuse on le trouve dans les noisettes, les noix ou les eaux minérales. Ils sont les principaux oligoéléments à ne pas négliger.

La transpiration fait perdre du potassium et du sodium contenus dans les bananes, les oranges, les abricots et les eaux minérales. Il est bon de saler suffisamment les aliments après avoir transpiré. Une petite anecdote : Umbreto Pelizzari préconise de manger des bonbons au réglisse qui auraient des effets positifs sur la muqueuse pharyngienne et limiterait la perte de potassium.

3.1.7 Les vitamines

Les vitamines C et E servent à lutter contre les effets de l'hypoxie¹³

3.1.8 Les aliments à éviter

Juste avant l'apnée, éviter les excitants (café, thé, cola, boissons sur-vitaminées, boissons alcoolisées, etc). Eviter aussi les aliments pouvant causer des troubles digestifs ou un reflux gastrique (surtout lorsque l'on a la tête en bas) comme les produits gras ou très acides ou au goût trop prononcé (la choucroute par exemple est à proscrire). Eviter de trop manger car la digestion est consommatrice d'O₂.

3.2 PLACE DANS L'ENTRAÎNEMENT

Avant, après et pendant l'entraînement.

¹² Crossover » développée par Brooks et Mercier en 1994

¹³ Action opposée à celle des radicaux libres néfastes pour le cerveau.

4 LES FILIERES ENERGETIQUES – L'ECHAUFFEMENT

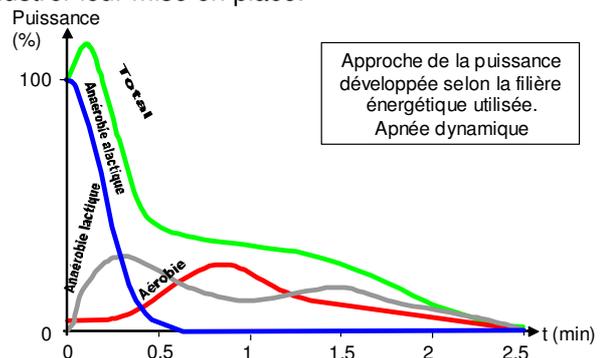
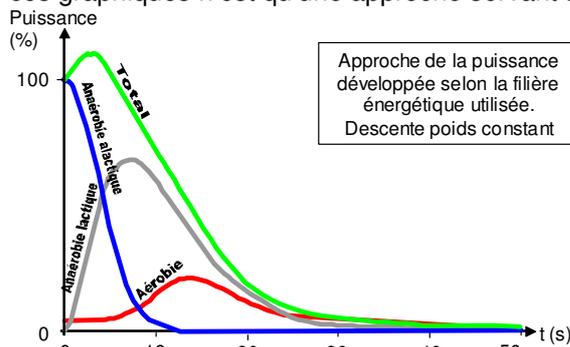
Nos muscles et nos organes comme le cerveau ont besoin d'énergie pour fonctionner être utilisés, énergie qu'ils la trouvent grâce à l'ATP¹⁴. Pour pouvoir produire de l'ATP, l'organisme dispose de trois « usines » de caractéristiques différentes. Ces « usines » ou filières énergétiques peuvent fonctionner en parallèle, à des degrés divers.

4.1 MECANISMES PHYSIOLOGIQUES :

Les filières énergétiques servent à transformer de l'ADP¹⁵ en ATP.

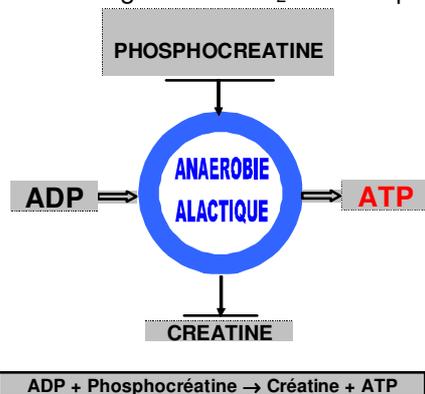
4.1.1 Approche de l'utilisation des différentes filières

La « balance » des filières dépend du type d'apnée et de chaque individu. Ce qui est proposé dans ces graphiques n'est qu'une approche servant à illustrer leur mise en place.



4.1.2 Filière anaérobie alactique

Anaérobie signifie sans O₂ et alactique sans acide lactique.



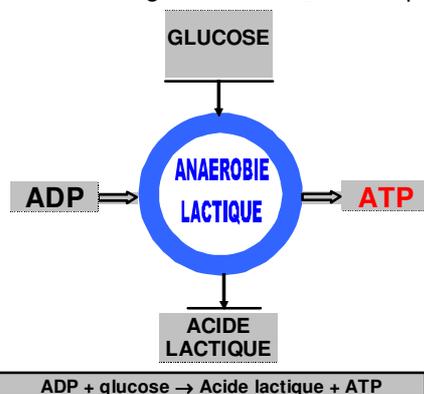
L'ADP associée à la phosphocréatine va, après diverses combinaisons, se transformer en ATP. Il ne va rester que la créatine.

Cette filière fournit le supplément d'énergie pour un effort immédiat, intense, mais bref. Elle correspond au stock d'ATP + phosphocréatine contenu dans les muscles.

C'est le fameux sprint d'une dizaine de mètres pour attraper son bus ou les premières secondes de l'épreuve de mannequin

4.1.3 Filières anaérobie lactiques

Anaérobie signifie sans O₂ et lactique avec de l'acide lactique.



L'ADP associée au glucose va, après diverses combinaisons, se transformer en ATP. Pour simplifier, Il ne va rester que de l'acide lactique.

Cette filière permet de créer de l'énergie quand l'O₂ est insuffisant : en contre-partie elle produit de l'acide lactique, provoquant un ralentissement et, à terme douleurs et l'arrêt du rendement musculaire

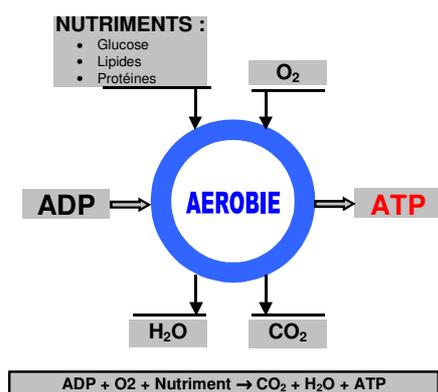
On ressent ses effets par exemple à la fin de l'épreuve du mannequin.

¹⁴ C'est la scission de l'ATP (Adénosine Tri Phosphate) qui provoque de l'énergie.

¹⁵ ADP : Adénosine Di Phosphate. ADP+P=ATP, ATP-P=ADP

4.1.4 Filières aérobie

Aérobie signifie avec de l'O₂.



Cette filière utilise l'O₂ contenue dans nos cellules et dans nos poumons avant l'apnée. C'est la filière qui est la plus utilisée dans la vie quotidienne. C'est celle qui procure le plus d'énergie.

4.1.5 Structure musculaire

Selon le besoin de vitesse, d'endurance ou de force, l'adaptation à l'effort développe deux principaux types de fibres : les fibres à contraction rapide adaptées aux efforts anaérobies, les fibres à contraction lentes adaptées aux efforts aérobie. L'entraînement physique selon ces filières permet donc d'augmenter le volume de ces fibres.

4.1.6 L'acide lactique

Présent dans nos muscles lors de l'utilisation de la filière anaérobie lactique (apnée poussée), il est éliminé lors du retour à la filière aérobie en utilisant une partie de l'O₂ ce qui diminuera d'autant la récupération. Sa présence provoque une « sclérose du muscle » et une sensation de lourdeur puis de douleur.

Pour s'améliorer il faut habituer progressivement le corps à la présence d'acide lactique puis à la recycler rapidement lors de la récupération

4.1.7 La récupération - Notion de dette en oxygène

Lors de l'apnée, l'organisme a utilisé des filières anaérobies qui n'ont pas eu besoin d'O₂ pour être utilisées. Lors de la récupération, l'organisme va reconstruire ces filières en utilisant une partie de l'O₂ que nous respirons : c'est ce que l'on appelle rembourser sa dette en O₂. Elles ont aussi produit des « déchets » qu'il va falloir faire disparaître. La récupération sera donc d'autant plus longue que l'apnée fut intense se traduisant par fatigue, l'accélération du rythme cardiaque, ventilatoire.

4.1.8 Eléments supplémentaires

	ANAEROBIE ALACTIQUE	ANAEROBIE LACTIQUE	AEROBIE
Comburant			O ₂
Carburant	Phosphocréatine	Glucose	Nutriment
Délai pour pouvoir en disposer	0s	20 à 30s	45s à 1 min en apnée à plein régime
Temps pour atteindre la puissance maximale	15-20s	30-50s	6 à 10 minutes
Durée de récupération pour cette utilisation	3 à 4 minutes	1 à 2 heures	24 à 48 heures
Facteur limitant l'utilisation de cette filière	Manque de Phosphocréatine	Douleur et sclérose du muscle lié à l'acide lactique carence en glucose	Manque d'O ₂ , carence en glucose (hypoglycémie)
Puissance utilisable	Forte	Faible	Moyenne

4.2 L'ECHAUFFEMENT

Il est primordial pour mettre en place la filière aérobie. Il consiste à établir des exercices doux sur une durée supérieure à 5 minutes. La nage sans palmes est un bon exercice d'échauffement.

4.3 EXEMPLES D'EXERCICES :

Dans l'amélioration de ces filières ce sont les muscles spécifiques que l'on va essayer de développer.

4.3.1 Exemple d'exercice développant principalement les filière aérobie

Un précepte est de dire que « le meilleur entraînement pour l'apnée c'est l'apnée », cependant il ne faut pas généraliser notamment pour la filière aérobie.

1	Déroulement	Matériel
La nage de l'écoute	Nager en s'écoutant. Accélérer progressivement, ralentir quand on se sent un peu lourd (c'est-à-dire quand on commence à trop utiliser la filière anaérobie lactique). L'objectif est d'augmenter les distances et le temps sans jamais lutter contre son corps. Nage sur longue distance.	PMT

4.3.2 Exemple d'exercice développant principalement la filière anaérobie alactique

	Déroulement	Matériel
Le stop & go	Effectuer des apnées saccadées une ou deux puis une accélération de quelques mètres. L'objectif de cet exercice est de mettre en œuvre à chaque accélération la filière alactique sans l'épuiser.	PMT

4.3.3 Exemple d'exercice développant principalement la filière anaérobie lactique

1	Déroulement	Matériel
L'hydrojet	Effectuer des apnées avec une planche tenue à bout de bras en modulant son inclinaison de manière à garder la bonne trajectoire. Terminer l'apnée planche verticale. L'exercice, grâce à la résistance hydrodynamique de la planche permettra de développer en fin d'apnée les muscles à contraction rapide.	PMT Planche 1kg

2	Déroulement	Matériel
L'hydrojet	Palmage de sustentation bras en l'air (position de travail) puis palmage de sustentation bras dans l'eau (position de repos). L'exercice peut être fait avec ou sans palmes.	PMT Planche 1kg

4.3.4 Exemples d'exercices développant les filière anaérobies et aérobie

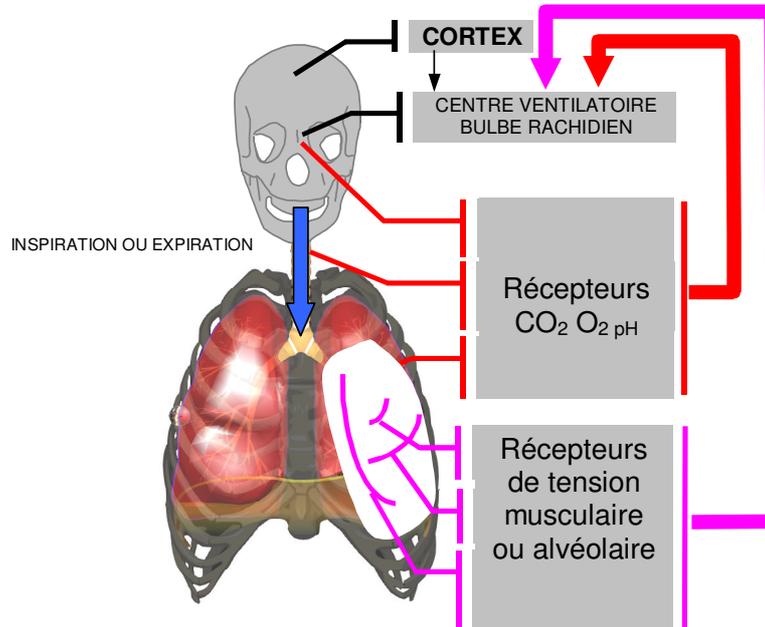
	Déroulement	PMT
Le Fartlek apnée	Le Fartlek mélange apnée rapide de sprint et nage lente de repos. La durée et la distance varient selon les sensations de l'apnéiste. Cet exercice permet de stimuler les capacités des <u>voies métaboliques anaérobie</u> et <u>aérobie</u> . Pendant l'apnée rapide, le corps produit de l'acide lactique et les muscles consomment plus d'oxygène ; pendant la récupération, le cœur et les poumons tentent de compenser le déficit en fournissant de l'oxygène pour diminuer le taux d'acide lactique. L'objectif va être de renforcer le cœur, la capacité respiratoire et l'élimination de l'acide lactique, ce qui va permettre de favoriser l'ensemble du système cardio-vasculaire et de soutenir ensuite des intensités d'apnée plus élevées. L'exercice peut être fait aussi en surface.	

4.4 PLACE DANS L'ENTRAINEMENT

On essaiera de développer chaque filière tout au long de la saison en alternance ou en combinant lors d'une même séance. Cependant les entraînements anaérobie sont très épuisants et il convient de s'assurer de la faisabilité et de la volonté de chacun. Il ne faudra pas oublier la récupération active ainsi que les étirements en fin de séance.

5 RESISTANCE AU CO₂, AU MANQUE D'O₂ ET A L'ACIDE LACTIQUE

5.1 MECANISMES PHYSIOLOGIQUES :



5.1.1 Le cortex

Il est situé dans la partie supérieure du cerveau, c'est par son intermédiaire que l'on va prendre la dernière inspiration avant l'apnée.

5.1.2 Le centre ventilatoire

Situé dans le bulbe rachidien derrière le creux de la nuque. C'est en recevant les informations issues des capteurs respiratoire et ventilatoire qu'il déclenche les mécanismes musculaires adaptés. Il peut être commandé ou fonctionner de manière autonome.

5.1.3 Les capteurs

De manière inconsciente, nous ventilons. Cette ventilation est commandée au niveau du bulbe rachidien. Elle est cadencée principalement par la $ppCO_2$ mais aussi par la ppO_2 ¹⁶ et le pH.¹⁷ La commande est transmise par les nerfs pour agir sur les muscles respiratoires.¹⁸

En apnée nous inhibons pendant un certain temps ce cadencement en commandant les muscles par la volonté (par le cortex).

Cependant le centre ventilatoire continue de recevoir les informations liées à la $ppCO_2$. Petit à petit une sensation d'inconfort s'installe. Arrivé à un certain seuil, c'est l'apparition des premières contractions du diaphragme.

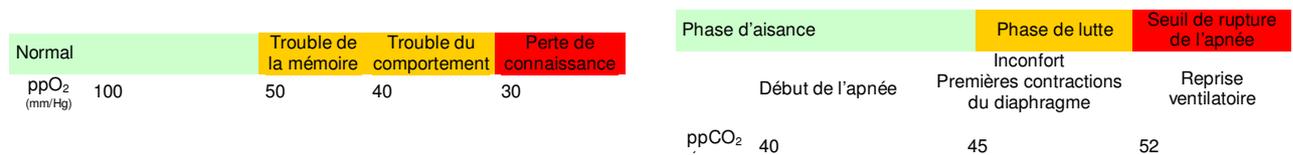


Figure 4 : effets sur l'organisme de l'évolution des pressions partielles de CO₂ et O₂ dans les alvéoles

¹⁶ Lire Pression Partielle de CO₂ et Pression Partielle d'O₂.

¹⁷ Acidité du liquide céphalo-rachidien lié à la $ppCO_2$.

¹⁸ Muscles intercostaux externes, muscles relevant les côtes, diaphragme

5.1.4 Les mécanismes d'adaptation à l'apnée

Il est à noter que l'apnée provoque naturellement une bradycardie c'est à dire une diminution du rythme cardiaque et une vasoconstriction c'est à dire une diminution du diamètre des vaisseaux donc de la consommation en oxygène.

5.2 EXEMPLES D'EXERCICES :

On va chercher l'amélioration dans une légère désensibilisation du bulbe rachidien aux différents capteurs, ceci en veillant à mettre en place une sécurité adaptée.

5.2.1 Exemple d'exercice permettant de diminuer principalement la sensibilité des récepteurs au CO₂ - Hypercapnie

Le débutant ne ressentira pas dans son apnée les premières contractions, mais un certain inconfort.

	Déroulement	Matériel
Le compte à rebours	Distance 50 à 60% de la longueur maximale validée par chacun. Récupération de plus en plus courte. On ne cherchera pas à forcer, car dans cet exercice ce sont les capteurs que l'on travaille.	PMT

5.2.2 Exemple d'exercices permettant de diminuer principalement la sensibilité des récepteurs à l'O₂ -Hypoxie

Ces exercices se travaillent plus proches du seuil de syncope. Il faut donc prévoir une sécurité maximale. Ce sont des exercices à faire uniquement en fin de saison avec des élèves expérimentés.

	Déroulement	Matériel
Apnée des 80%	Temps de récupération important. Apnée longue à 80% de la longueur maximale validée par chacun.	PMT

	Déroulement	Matériel
Stop and go	On introduit des pauses en apnée statique à l'intérieur des apnées dynamiques exemple tous les 12,5 m.	PMT

	Déroulement	Matériel
Apnée poumons vides	Faire une apnée poumons vide. On peut compenser la flottabilité négative avec une ceinture de mousse.	PMT

	Déroulement	Matériel
Apnée des 80%	Temps de récupération important. Apnée longue à 80% de la longueur maximale validée par chacun.	PMT

	Déroulement	Matériel
Course de l'escargot	Augmenter de plus en plus de temps pour faire 25m : 30s + 10s à chaque fois.	PMT

5.2.3 Exemple d'exercices permettant de diminuer la sensibilité à l'acide lactique

Pour améliorer ce fonctionnement, il faut augmenter la faculté des muscles à supporter une forte acidose, et rendre plus efficace le recyclage du lactate. Cette diminution de la sensibilité est réalisée lors des exercices qui travaillent la filière anaérobie lactique.

Pour favoriser l'élimination du lactate après l'effort, il est préférable de poursuivre un effort modéré (récupération active) plutôt que d'arrêter totalement l'effort (récupération passive). Le temps de récupération est alors quatre fois moins important.

6 AQUATICITE

L'aquaticité, c'est l'aisance et la progression. Elle permet de rentabiliser au mieux le mouvement en associant efficacité et fluidité des mouvements.

6.1 MECANISMES BIOMECHANIQUES :

6.1.1 Ce que dit la physique

La vitesse, la souplesse, l'hydrodynamisme et la consommation en O₂ dépendent directement du palmage.

La physique dit que lorsque l'on se déplace dans un fluide, celui ci offre une résistance à notre déplacement.

6.1.2 Ce que ne dit pas la physique pour l'apnée

Il faut se sentir bien dans l'eau, à la bonne vitesse et dans la position ou on se sent à l'aise. L'aquaticité est une fonction de notre corps que l'on doit développer, un peu comme la marche. Au début notre palmage est mauvais, puis petit à petit, naturellement, nous allons trouver des positions dans lesquelles nous nous sentons bien et qui nous permettent de nous déplacer sous l'eau. Mais la bonne position nécessite quelques connaissances.

6.2 QUELQUES CONSEILS

6.2.1 Le corps

Le corps doit être le plus fin possible, et opposer le moins de résistance au déplacement. Tout mouvement sous l'eau doit se faire le plus proche du corps. Quand on veut compenser, par exemple, il ne faut pas faire de grands mouvements, mais le bras doit plutôt épouser les formes du corps pour venir jusqu'au nez.

6.2.2 La tête

La tête ne doit pas être en extension, on est face au carrelage de la piscine.

6.2.3 Les bras

La position des bras est à discuter, selon la vitesse de déplacement. Il faut se sentir bien. **A vitesse élevée il est préférable d'avoir les bras tendus devant.**

6.2.4 Le palmage

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'horizontal). Ainsi le mouvement peut être plus lent. En effet en surface on ne peut pas « lever la jambe » hors de l'eau.

Le principal mouvement est un mouvement de ciseaux des jambes, donc les muscles les plus sollicités sont les grands fessiers

Les mollets sont également très sollicités attention aux crampes.

6.2.5 La monopalme

Dans le cas de la monopalme, l'ondulation met en jeu plusieurs autres groupes musculaires, et plus précisément les muscles du dos (lombaires). En cas de problèmes au dos (hernies discales), il est fortement déconseillé d'utiliser la monopalme.

On dit souvent « un excellent nageur peut devenir un bon apnéiste ». La nage permet de développer les mécanismes de coordination articulaire et favorise une musculature adaptée.

7 LA COMPENSATION – CAPACITE PULMONAIRE

La compensation : essentielle dans la pratique de la discipline de descente. Elle fera toute la différence si l'on désire augmenter la profondeur.

La capacité pulmonaire : elle découle de l'amélioration de la compensation pour des profondeurs supérieures à 30m et permet d'augmenter son stock d'O₂ lors de l'utilisation de la filière aérobie.

7.1 MECANISMES PHYSIOLOGIQUES.

7.1.1 L'oreille – Les sinus

Nous ne reviendrons pas sur le cours de physiologie et sur l'implication de la compensation sur l'oreille et les sinus.

7.1.2 Le diaphragme – les muscles éleveurs de côtes et intercostaux.

Un assouplissement et une augmentation de ces muscles permet un meilleur contrôle ventilatoire et de ce fait une augmentation de la capacité pulmonaire.

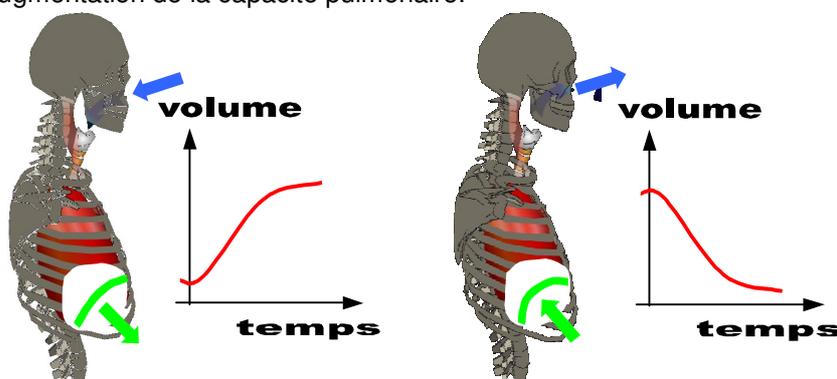


Figure 5 : évolution du volume en fonction de la contraction des muscles ventilatoires

De plus lors de la descente un contrôle volontaire du diaphragme permet de mieux utiliser les ressources d'air pour la compensation en augmentant la pression intra pulmonaire. Ceci peut faire toute la différence.

7.1.3 Les volumes morts

Ils représentent les volumes qui ne peuvent pas être modifiés. Ils correspondent aussi au volume d'air vicié qu'il faut vider et renouveler quelques dizaines de secondes avant une apnée.

7.2 EXEMPLES D'EXERCICES :

7.2.1 Exemple d'exercices permettant d'améliorer la compensation

Béance Tubaire Volontaire

Cette technique de compensation est idéale, elle permet d'éviter d'utiliser une main pour compenser. Elle est de plus moins traumatisante pour l'oreille. Technique dans le cours sur la physiologie.

7.2.2 Exemple d'exercices permettant d'améliorer la souplesse du diaphragme

Assouplissement du diaphragme

A l'air libre, expirer complètement puis en fermant sa bouche essayer d'inspirer le plus profondément possible. Relâcher le diaphragme sans relâcher d'air, renouveler l'exercice. A faire doucement au début. A faire par exemple après la sophrologie.

8 TECHNIQUE

La technique permet de rentabiliser au mieux l'énergie pour augmenter le temps d'apnée et le plaisir. On la travaillera de manière progressive en s'aidant de la préparation mentale.

8.1 ATTITUDE COMMUNE

8.1.1 Optimisation de la réserve d'air

Voici une technique enseignée par Stéphane Mifsud : pour une descente ou une apnée dynamique dans laquelle on veut tirer le meilleur profit de notre volume d'air .

Le cycle ventilatoire proposé est le suivant :

- 3 inspirations expirations amples, mais non exagérées
- Puis on calme la ventilation, (en effet avec le cycle précédent faire attention à l'hyperventilation) par 3 inspirations expirations calmes et partielles (il ne faut pas remplir les poumons en entier)
- Une bonne expiration puis la dernière inspiration, la plus importante, c'est notre stock O₂ pour l'exercice. Ainsi elle doit être la plus complète possible. Pour emmagasiner un maximum d'air, il faut se tenir droit, sortir le ventre (baisser le diaphragme) inspirer lentement et longuement, se redresser et mettre les épaules en arrière pour dégager le haut des poumons, attraper la dernière goulée d'air menton vers le haut comme si on attrapait une balle avec notre boucle.

8.1.2 Arrivée en surface

Prendre un point d'appui. Il faut ôter son masque pour favoriser la ventilation et signaler notre bon état tout en se tournant face à la personne de sécurité.

La première expiration ne doit pas être complète (en effet le cerveau a encore et toujours besoin d'O₂) mais suivie d'une inspiration ample et complète, puis il faut reprendre un cycle ventilatoire normal.

8.1.3 La compensation

La compensation dépend de la technique utilisée par chacun. Elles doivent être douces. On veillera à ce que la manœuvre de Vasalva ne freine pas l'hydrodynamisme en gardant lors de la manœuvre le coude le plus près du corps.

8.2 APNEE DYNAMIQUE

8.2.1 Les dernières inspirations

Les dernières inspirations doivent être adaptée au type d'exercice travaillé.

8.2.2 L'entrée sous l'eau

L'entrée sous l'eau se fait calmement, il ne faut pas se jeter dans l'eau !

Le départ se fait soit sur un canard si la profondeur de la piscine le permet, soit par une coulée en avant si on a pied.

8.2.3 Le palmage

Le palmage doit être ample et efficace à 1 m du fond. Le palmage doit se faire aussi bien en baissant les palmes qu'en remontant les palmes. Tête horizontale, regard vers le carrelage (ne pas regarder constamment devant soi). La vitesse va dépendre de chacun en évitant de trop forcer au début.

8.2.4 Le virage

Voici une des technique. A une demi envergure de l'obstacle, commencer doucement la rotation pour ne pas stopper le palmage et profiter au mieux de l'élan. Toucher l'obstacle et continuer sur le même rythme. Il est fortement recommandé de ne pas s'écraser contre le mur.

8.2.5 La remontée

Si les bras sont devant, on peut les utiliser pour s'aider à atteindre la surface, par un mouvement de brasse.

8.3 LE POIDS CONSTANT

Partir les poumons remplis au maximum si l'on doit travailler la profondeur. Pour cela inspirer en abaissant le diaphragme (ventre gonflé) et en ouvrant la cage thoracique (épaules écartées), finir l'inspiration en levant la tête pour libérer la partie supérieure du thorax.

8.3.1 L'entrée sous l'eau

L'entrée dans l'eau est la phase la plus importante du poids constant. Elle se fait avec un canard parfait, afin d'immerger entièrement l'apnéiste, palmes comprises. Pour ce faire on peut s'aider de un mouvements de brasse avec les bras.

8.3.2 Le palmage

Dès que l'immersion est complète, effectuer un palmage puissant au début afin de vaincre la flottabilité de la combinaison, puis de plus en souple pour se laisser au final emporter par son poids (la flottabilité est fortement diminuée par la pression qui comprime le volume de gaz).

8.3.3 Le virage

A une distance équivalente à l'envergure des bras, saisir le filin pouce vers le haut, ne pas lâcher. Tendre l'autre bras pour toucher la balle de tennis. Se laisser emporter par la rotation du corps que cela suscite. Tirer fortement avec le bras (la main qui tient le filin) afin d'amorcer la remontée. A cette profondeur nous sommes en flottabilité négative, donc quelques coups de palmes énergiques sont nécessaires.

8.3.4 La remontée

Palmer pour amorcer la remontée en diminuant petit à petit le palmage pour se laisser remonter grâce à l'augmentation de la flottabilité. La tête doit être droite et vos muscles relâchés. Faire comprendre à l'apnéiste de sécurité, quand il nous rejoint à mi-profondeur, que tout va bien, par un signe OK, un clin d'œil ou un sourire.

8.4 LE POIDS VARIABLE

Le poids variable est principalement réalisé avec une gueuse largable légère tête en bas moins lourde à remonter. On s'intéressera uniquement à cette technique.

8.4.1 L'entrée sous l'eau

Elle se fait avec un canard et en tenant à la main la gueuse légère (qui facilite bien immersion). Puis on se laisse descendre entraîné par la gueuse.

8.4.2 Le palmage

A la descente pas de palmages, la gueuse nous entraîne au fond.

8.4.3 Le virage

Arrivé à la profondeur souhaitée, on lâche la gueuse, Le poids de celle ci informe la surface de notre arrivée au fond. On effectue un demi tour en se laissant emporté par la force centrifuge occasionné par l'arrêt de la gueuse et on entame la remontée.

8.4.4 La remontée

La remontée est simplifiée, en effet sans la ceinture de plomb, et avec la combinaison notre flottabilité est positive. Quelques coups de palmes peuvent éventuellement être nécessaire pour « décoller » du fond.

9 CONDITIONS EXTERIEURES

Il va s'en dire que l'on est plus à l'aise dans de l'eau tiède que dans de l'eau froide. Les conditions extérieures influent donc sur notre mental ainsi que sur nos performances.

9.1 MECANISME PHYSIOLOGIQUE

9.1.1 Régulation de la température du corps

Le corps s'auto-régule pour maintenir une température corporelle de 37°C. L'eau est une très bonne conductrice thermique entraînant une grande perte calorique des parties en contact. C'est ce qui se passe lorsque l'on plonge dans l'eau les muscles périphériques exercent une microcontraction, c'est le frisson. Si l'écart est trop important il peut y avoir hydrocution et noyade.

Le corps s'adapte ensuite en créant une vasoconstriction¹⁹ périphérique pour limiter la dispersion calorique.

Si la température du corps n'arrive plus à se maintenir alors le cerveau commande la contraction des muscles de façon sporadique afin de les réchauffer c'est le grelottement. Ceci est le signe que l'organisme est affaibli et qu'il faut ressortir. En dessous d'une température corporelle de 35°C c'est l'hypothermie qui devient très dangereuse.

9.1.2 Le soleil

Les rayons du soleil régulent la fabrication de mélatonine²⁰ et synthétisent la vitamine D²¹ ce qui nous permet une meilleure relaxation et une meilleure récupération nocturne.

9.2 LIMITER LE REFROIDISSEMENT

On ne peut pas éliminer totalement le froid mais on peut en atténuer les effets.

9.2.1 La combinaison

Grâce à une combinaison adaptée le corps disposera d'une barrière thermique limitant les pertes caloriques. Reportez-vous au cours de matériel.

9.2.2 L'alimentation

Il convient de s'alimenter aussi en fonction des conditions météo, de la température de l'eau et du temps passé dans l'eau. L'apport de glucides et de lipides se fera proportionnellement au froid et à la durée.

¹⁹ Resserrement des vaisseaux sanguins pour limiter la dispersion thermique.

²⁰ Hormone sécrétée par l'organisme pour réguler notre rythme biologique.

²¹ La vitamine D augmente la capacité d'absorption de l'intestin pour le calcium et le phosphore

10 SYNTHÈSE

Alimentation, sophrologie et mental récupération dans toutes les activités

	Discipline travaillée			Principales filières énergétiques mise en oeuvre			Principaux facteurs de l'amélioration				
	Statique	Dynamique	Constant	Anaérobie alactique	Anaérobie lactique	Aérobie	Hypercapnie	Hypoxie	Aquaticité	Compensation	Technique
Statique	X					X	X	X			
Dynamique		X			X	X	X	X	X		X
Dynamique sans palmes		X			X	X	X	X	X		X
Immersion Libre (Free)			X		X	X	X	X	X	X	X
Poids constant			X		X	X	X	X	X	X	X
Poids constant sans palmes			X		X	X	X	X	X	X	X
Poids variable	X		X			X	X	X	X	X	X
Le Parcours CMAS		X	X		X	X	X	X	X		X
No Limits	X					X	X	X		X	

11 BIBLIOGRAPHIE

Physiologie liée à l'apnée		
La plongée en apnée	Jacques H. Corriol	Editions Masson
Sophrologie – préparation mentale		
Pranayama	André Van Lysbeth	Editions Flammarion
Relaxation totale	G. Camattari	Editions De Vecchi
Sophrologie et performance sportive	Dr E. Perreault-Pierre	Amphora Sports
L'alimentation		
Nutrition du sportif	Xavier Bigard, Yannick Guezennec	Editions Masson
L'alimentation du nageur	Pierre Maillol	Chiron
Aquaticité		
L'apnée glisse en mono palme	Francis Fevre	Editions Chiron
La descente de l'homme poisson	Loïc Leferme	Ed. Plon
L'homme et la mer	Umberto Pelizzari	Ed. Arthaud
Apnée : de l'initiation à la performance	Umberto Pelizzari	Amphora

Document réalisé par Rafael TEJEDOR DUHAMEL (Initiateur Apnée)
 Merci à Alexandre Bert (Initiateur Apnée) pour son aide sur la technique et l'aquaticité.
 Et à Fabien Burdet (moniteur Apnée) qui a contribué son élaboration.