



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en sciences et techniques des activités physiques et sportives

Filière : Entraînement sportif

Spécialité : Entraînement sportif d'élite

Thème

**L'impact de l'entraînement en hypoventilation
volontaire sur la performance chez les nageurs
handicapés moteurs. (Cas NGA Akbou)**

Niveau Master

Elaborée par :

Assirem Benadjaoud

Encadré par :

Dr : Chettouh Farid

Année universitaire : 2024/2025

Dédicace

À ma famille, source inépuisable d'amour, de force et d'inspiration.

À mon père Bilal, pour ses sacrifices silencieux et son regard fier qui m'a tant motivé.

Mais surtout, à ma chère mère, Chettouh Touncia, femme courageuse, mère exemplaire, qui malgré son absence physique, continue d'habiter chaque battement de mon cœur. Ce mémoire est le fruit de ton éducation, de ta foi en moi, et de l'amour que tu m'as transmis. Que ces mots soient un hommage à ta bravoure, à ta tendresse, et à ton héritage que je porte fièrement.

Tu es partie, mais ton esprit éclaire chacun de mes pas.

À mes sœurs : Tina, Romaïssa et Tistina, qui ont toujours été à mes côtés dans les moments de doute comme dans les instants de réussite.

À mon frère Amazigh, mon complice et mon repère.

À ma compagne Benadjaoud Baya, pour sa présence précieuse, son soutien sans faille et sa patience infinie. Merci de croire en moi, même dans mes silences.

À tous mes amis, véritables piliers de mon quotidien. Vous savez qui vous êtes. Merci pour vos encouragements, vos sourires, vos blagues et votre amitié sincère.

Et enfin, à mon encadrant, Monsieur Chettouh Farid, pour sa bienveillance, sa rigueur scientifique et ses conseils éclairés tout au long de ce parcours.

Cordialement,

ASSIREM BENADJAUD

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite adresser mes plus sincères remerciements à mon encadrant, Dr. CHETTOUH Farid, pour son accompagnement rigoureux, sa disponibilité, ses conseils éclairés et sa bienveillance tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Votre expertise scientifique et votre soutien constant ont grandement contribué à la qualité de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble des participants de mon étude, en particulier les nageurs du club NGA d'Akbou, qui, malgré leur handicap moteur, ont fait preuve d'un engagement remarquable, d'une force mentale admirable et d'un courage exemplaire. Ce mémoire est aussi le reflet de leur volonté, de leur discipline et de leur passion pour le sport. Leur contribution a été précieuse tant sur le plan humain que scientifique, et je leur adresse tout mon respect et ma reconnaissance.

Mes remerciements vont également à ma famille, véritable socle de ma vie.

À mon père, Bilal, pour sa sagesse et son amour inébranlable.

À mes sœurs Tina, Romaïssa et Tistina, ainsi qu'à mon frère Amazigh, pour leur présence chaleureuse et leur soutien permanent.

Je dédie une pensée toute particulière à ma chère mère, Chettouh Touncia, aujourd'hui disparue, mais dont l'amour, le courage et les sacrifices continuent de guider mes pas. Ce mémoire est, avant tout, un hommage à sa bravoure. Qu'elle repose en paix, et que ces lignes soient le reflet de la fierté que je ressens en étant son fils.

À ma compagne Benadjaoud Baya, pour son soutien indéfectible, sa compréhension et sa patience tout au long de ce parcours. Ta présence à mes côtés est une source de réconfort et de motivation.

Enfin, à toutes les personnes ayant contribué, directement ou indirectement, à la réussite de ce mémoire, je vous exprime ma plus profonde reconnaissance.

Merci du fond du cœur.

Cordialement,

ASSIREM BENADJAUD

SOMMAIRE

Table d'abréviation :.....	I
Liste des tableaux :.....	II
Listes des figures :.....	III
INTRODUCTION GENERALE.....	1

1.Problématique.....	5
-----------------------------	----------

1.1 Définition des concepts clés	6
--	---

Partie théorique

Chapitre 01 : Natation

I. Natation.....	10
1. Définition de la natation	10
2. historique de la natation	10
2.1 Origines et Antiquité.....	10
2.2 Moyen Âge et Renaissance.....	10
2.3 XVIII ^e et XIX ^e siècles.....	10
2.4 Ère Moderne et Compétition	11
3 . Les différentes formes de natation.....	11
3.1 La natation de loisir.....	11
3.2 La natation sportive.....	11
3.3 La natation synchronisée.....	11
3.4 La natation en eau libre.....	11
3.5 Le plongeon et la natation de sauvetage.....	12
4 .Les styles de nage et leurs spécificités.....	12
4.1 Nage libre.....	12
4.2 Brasse	13
4.3 Dos crawlé	13
4.4 Papillon.....	14
5. Les bases physiologiques de la natation.....	14
5.1 Adaptations cardiovasculaires	14
5.2 Sollicitation musculaire et énergétique	15

5.3	Importance de la respiration et du contrôle du souffle	15
6.	Les qualités physiques requises en natation	15
6.1	L'endurance	16
6.1.1	Définition.....	16
6.1.2	Les modalités de l'endurance	16
6.1.3	Importance d'endurance en natation	17
6.1.4	Les stratégies d'amélioration de la performance en endurance	17
6.2	La force	18
6.2.1	Définition.....	18
6.2.2	Les modalités de la force	18
6.2.3	L'importance de la force en natation	20
6.2.4	Les méthodes de développement de la force en natation	20
6.3	La vitesse :.....	21
6.3.1	Définition.....	21
6.3.2	Les formes de la vitesse.....	21
6.3.3	L'importance de la vitesse en natation	21
6.3.4	Les méthodes de développement de la vitesse en natation.....	22
6.4	La Coordination	23
6.4.1	Définition.....	23
6.4.2	L'importance de la coordination en natation	23
6.5	La souplesse	24
6.5.1	Définition.....	24
6.5.2	Les formes de souplesse	24
6.5.3	Les méthodes de développement de la souplesse	24
6.6	La résistance musculaire et la tolérance à l'acide lactique	25
6.6.1	Définition :.....	25

6.6.2 Mécanismes physiologiques	25
6.6.3 Entraînement pour améliorer la résistance musculaire et la tolérance au lactate	25
6.6.4 Impact de la résistance musculaire et tolérance au lactate sur la performance en natation	26
II. L'entraînement en natation.....	26
1. Les objectifs de l'entraînement en natation	27
1.1 Améliorer la performance physique :	27
1.2 Optimiser la condition physique :.....	27
1.3 Développer les compétences techniques :.....	28
1.4 Renforcer les compétences tactiques :	28
1.5 Favoriser le développement mental et émotionnel :	28
2. Les principales méthodes d'entraînement en natation	28
2.1 Méthode régulière ou continue	28
2.2 Méthode par intervalle	29
2.3 Méthode circulaire ou circuit training.....	29
2.4 Méthode de compétition.....	29
2.5 Méthode d'entraînement en apnée.....	30
2.6 Méthode de résistance	30
3. Les filières énergétiques en exercice physique	31
3.1 Filière anaérobie alactique	31
3.2 Filière anaérobie lactique	31
3.3 Filière aérobie	31
III. La performance sportive en natation	32
1. Définition :	32
2. Facteurs influençant la performance en natation	33
2.1 La puissance musculaire	33
2.2 L'efficacité biomécanique des mouvements	34

2.3 L'endurance cardiovasculaire.....	34
2.4 La gestion de l'effort.....	35
2.5 La stratégie de course.....	35
3.Importance des capacités physiologiques et biomécaniques dans la performance sportive..	36
3.1 Les capacités physiologiques	36
3.1.1 La capacité aérobie et anaérobie	36
3.1.2 La puissance et la force musculaire	37
3.1.3L'efficacité du métabolisme énergétique	37
3.2 Les capacités biomécaniques	37
3.2.1 L'hydrodynamisme et la réduction de la trainée	37
3.2.2 L'efficacité de la technique de nage.....	38
3.2.3 La flexibilité et mobilité articulaire	38
Chapitre 2 : L'hypoventilation volontaire	
1. Définition	40
2. Historique de l'hypoventilation volontaire.....	40
2.1 Emil Zátopek.....	40
2.2 Développement scientifique et recherches modernes	40
3. Principe de l'hypoventilation volontaire.....	41
3.1 Réduction du volume ventilatoire.....	41
3.2 Induction d'un état hypoxique localisé	41
3.3 Renforcement des muscles respiratoires	41
3.4 Optimisation de la gestion du CO ₂	41
4. Les différentes formes d'hypoventilation.....	42
5.Bases physiologiques de l'hypoventilation et ses effets sur l'organisme	42
5.1 Le rôle de la respiration dans l'effort.....	42
5.2 Hypoxie et performance	43
5.2.1 Méthodes d'entraînement en hypoxie	44

5.2.1 Adaptations physiologiques à l'hypoventilation	44
6.L'adaptation du corps à l'entraînement en hypoventilation.....	45
6.1 Augmentation de la tolérance au CO ₂	45
6.2 Optimisation du transport de l'oxygène.....	46
6.3 Amélioration de l'utilisation musculaire de l'oxygène.....	46
7. Applications de l'hypoventilation dans la natation.....	46
Chapitre 03 : L'entraînement en natation chez les handicapés moteur	
I. L'entraînement en natation chez les handicapés moteur	49
1. Classification.....	49
2. L'influence de la classification sur l'entraînement et la compétition.	52
3.Les facteurs influençant sur la performance des nageurs en situation de handicap	52
3.1 Adaptions technique et biomécanique	53
3.2 Capacité physiologique et énergétique	53
3.3 Aspects psychologiques et motivationnels.....	54
4.Particularités physiologiques des nageurs handicapés moteur.....	54
4.1 Force musculaire	54
4.2 Vitesse	54
4.3 Souplesse et mobilité articulaire	54
4.4 Coordination.....	55
4.5 Capacité respiratoire et endurance	55
II. Applications de l'hypoventilation volontaire en natation chez les nageurs en situation de handicap moteur :	55
1. Rôle de l'hypoventilation volontaire chez les nageurs en situation de handicap moteur	56
2. Effets physiologiques de l'hypoventilation chez les nageurs handicapés moteurs.....	56
2.1 Amélioration de l'efficacité ventilatoire	56
2.2 Renforcement des muscles respiratoires et optimisation de la ventilation	57

3.	Impact de l'entraînement en hypoventilation sur la performance des nageurs en situation de handicap moteur	57
3.1	Augmentation de l'endurance et de la tolérance au CO ₂	57
3.2	Amélioration de la gestion de l'effort et de la récupération.....	57
4.	Stratégies d'intégration de l'hypoventilation volontaire dans l'entraînement des nageurs en situation de handicap moteur.....	57

Partie pratique

Chapitre 01 : Méthodologie de la recherche

1.	Objectif de la recherche	61
2.	Importance de la recherche	61
3.	Tâches de la recherche :.....	62
4.	Échantillon de la recherche :	63
5.	Outils et moyens de recherche utilisés :	64
5.1	Analyse bibliographique :	64
5.2	Méthode expérimentale :.....	64
5.3	Méthode descriptive :.....	65
5.4	Démarche pratique :	65
6.	Le test de terrain :.....	65
7.	Le protocole d'entraînement :.....	69
7.1	Matériels utilisé pendant l'entraînement :.....	71
7.2	Méthode statistique	71

Chapitre 02 : présentations des résultats

1.	Présentation et interprétation des résultats :	74
2.	Discussion générale des résultats :	97

Conclusion :	104
Recommandation.....	105
Limites et perspectives	106
<u>Bibliographie</u>	

Liste des abréviations :

Abréviation	Définition
N.G.A	Nouvelle Génération d'Akbou
HV	Hypoventilation Volontaire
CO₂	Dioxyde de carbone
O₂	Oxygène
FINA	Fédération Internationale de Natation (World Aquatics anciennement)
HIIT	Entraînement par intervalles à haute intensité (High-Intensity Interval Training)
PH	Potentiel hydrogène
ATP	Adénosine triphosphate
VMA	Vitesse Maximale Aérobie
RPE	Perception de l'effort (Rating of Perceived Exertion)
VO₂ Max	Consommation maximale d'oxygène
VO₂	Volume d'Oxygène
EPO	Érythropoïétine
IHT	Intermittent Hypoxic Training
KG	Kilogramme
Cm	Centimètre
m	Mètre
P (W)	Puissance en Watt
v (m/s)	Vitesse en mètre par seconde
V moy	Vitesse moyenne
P moy	Puissance moyenne
CR10	Échelle de perception de l'effort (Category Ratio Scale)
sec	Seconde
min	Minute
T.Cal	Temps Calculé
T.Tab	Temps Tabulé
EHV	Entraînement en Hypoventilation Volontaire
EPR	Épreuve d'effort
GE	Groupe Expérimental
GT	Groupe Témoin

Liste des tableaux :

Tableau 01	comment développer ses filières énergétiques en exercice physique.	32
Tableau 02	caractéristique de l'échantillon	64
Tableau03	Planification du programme d'entraînement en hypoventilation	70
Tableau 04	Comparaison des performances du groupe témoin (pré-test et post test).	74
Tableau 05	Les qualités vitesse puissance calculées a partir des performances des nageurs du groupe témoin lors du pré-tests.	74
Tableau 06	Les qualités vitesse puissance calculées a partir des performances des nageurs groupe témoin lors du post tests .	75
Tableau 07	Les valeurs de la perception d'efforts RPE enregistrées après le pré et post tests pour le groupe témoin	75
Tableau 08	Comparaison des performances moyennes enregistrées Lors du pré et post tests du groupe témoin	76
Tableau 09	Comparaison des performances du groupe expérimental (pré-test et post test)	82
Tableau 10	Les performances enregistrées lors du pré tests vitesse pour le groupe expérimental	82
Tableau 11	Les performances enregistrées lors du post pour le groupe expérimental	83
Tableau 12	Les valeurs de la perception d'efforts RPE enregistrées après le pré et post tests pour le groupe expérimental.	83
Tableau 13	comparaison des performances moyennes enregistrées Lors du pré et post test du groupe expérimental	84
Tableau 14	comparaison des performances du groupe témoin et expérimental pré-tests	90
Tableau 15	comparaison des performances du groupe témoin et expérimental post tests	92

Tableau de figure

Figure	Description	Page
Figure 01	Technique de crawl en natation	12
Figure 02	Technique de brasse en natation	13
Figure 03	Technique de dos crawlé en natation	13
Figure 04	Technique de papillon en natation	14
Figure 05	Corrélation entre les facteurs de qualités physiques (Weineck, 1992)	18
Figure 06	Corrélation entre les trois formes principales de la force (Weineck, 1992)	19
Figure 07	Facteurs influençant la performance sportive en natation	33
Figure 08	Mécanismes physiologiques induits par l'hypoxie (Millet, 2015)	37
Figure 09	Profil d'handicap classe S1-S2	49
Figure 10	Profil d'handicap classe S3-S4	50
Figure 11	Profil d'handicap classe S5-S6	50
Figure 12	Profil d'handicap classe S7-S8	50
Figure 13	Profil d'handicap classe S9-S10	51
Figure 14	Profil d'handicap classe S11-S12-S13	51
Figure 15	Démarche pratique de notre étude	65
Figure 16	Bassin 25m pour effectuer les tests 25, 50, 100m et Demi-Cooper	68
Figure 17	Différence pré et post test vitesse 25 m (groupe témoin)	78
Figure 18	Différence pré et post test vitesse 50 m (groupe témoin)	79
Figure 19	Différence pré et post test vitesse 100 m (groupe témoin)	79
Figure 20	Différence pré et post test Demi Cooper (groupe témoin)	80
Figure 21	Performances pré et post test (25-50-100m) du groupe témoin	80
Figure 22	Performances pré et post test Demi Cooper du groupe témoin	81

Figure 23	Différence pré et post test vitesse 25 m (groupe expérimental)	87
Figure 24	Différence pré et post test vitesse 50 m (groupe expérimental)	87
Figure 25	Différence pré et post test vitesse 100 m (groupe expérimental)	88
Figure 26	Différence pré et post test Demi Cooper (groupe expérimental)	88
Figure 27	Pré et post test vitesse 25-50-100 m (groupe expérimental)	89
Figure 28	Pré et post test Demi Cooper (groupe expérimental)	89
Figure 29	Différence moyenne pré et post test 25 m (témoin vs expérimental)	95
Figure 30	Différence moyenne pré et post test 50 m (témoin vs expérimental)	95
Figure 31	Différence moyenne pré et post test 100 m (témoin vs expérimental)	96
Figure 32	Différence moyenne pré et post test Demi Cooper (témoin vs expérimental)	96

Introduction générale

Introduction générale

La performance sportive résulte d'une interaction complexe entre plusieurs facteurs physiologiques, biomécaniques, psychologiques et environnementaux. D'après Millet et al. (2012), cette multifactorialité est particulièrement évidente dans les disciplines aquatiques où les contraintes environnementales nécessitent des adaptations spécifiques. En natation, la gestion de la respiration se révèle être un facteur clé de la performance, comme l'ont mis en évidence Seifert et al. (2017) dans leurs recherches sur l'optimisation des gestes techniques. Cette dimension revêt une importance encore plus grande chez les nageurs présentant un handicap moteur, dont les limitations fonctionnelles peuvent affecter de manière significative les mécanismes respiratoires et leur efficacité dans l'eau Daly & Vanlandewijck, (1999).

L'hypoventilation volontaire (HV) constitue une approche innovante en préparation physique. Selon Woorons (2014), cette technique a pour objectif de provoquer un état d'hypoxie relative en réduisant de manière contrôlée la ventilation durant l'effort. Les recherches menées par Trincat et al. (2017) ont démontré son potentiel à améliorer la capacité de transport de l'oxygène et à optimiser les mécanismes de récupération. Cependant, bien que ses avantages aient été documentés chez les nageurs valides, son utilisation chez les athlètes présentant des handicaps moteurs demeure encore peu étudiée, comme le soulignent Tweedy et Vanlandewijck (2011) dans leur analyse des méthodes d'entraînement adaptées.

Ce mémoire se propose donc d'évaluer systématiquement les effets de l'hypoventilation volontaire sur la performance des nageurs handicapés moteurs. Plus précisément, il vise trois objectifs principaux. Premièrement, il s'agira de quantifier l'impact de l'HV sur les paramètres chronométriques (vitesse, puissance et endurance) au moyen de tests standardisés. Deuxièmement, l'étude analysera les dimensions psychologiques, notamment la perception subjective de l'effort à travers l'échelle de Borg (1998). Enfin, des recommandations pratiques seront formulées pour l'intégration de cette méthode dans les programmes d'entraînement adaptés.

Ce travail est structuré en deux grandes parties. La première partie est consacrée au cadre théorique et se divise en trois chapitres. Le premier chapitre aborde la natation en tant que discipline sportive, en analysant ses spécificités techniques, physiologiques et énergétiques. Il met en lumière les différents styles de nage, les bases biomécaniques du

Introduction générale

mouvement dans l'eau, ainsi que les qualités physiques requises pour une performance optimale. Le deuxième chapitre se concentre sur l'entraînement en hypoventilation volontaire, en explorant son principe, ses effets physiologiques, ses mécanismes d'adaptation et ses applications potentielles en natation. Le troisième chapitre explore les particularités de l'entraînement en natation adaptée aux athlètes en situation de handicap moteur. Il analyse les adaptations nécessaires à leur pratique, en tenant compte des contraintes spécifiques liées à leur condition physique Daly & Vanlandewijck, (1999). Ce chapitre aborde également les objectifs de l'entraînement chez ces nageurs, ainsi que les filières énergétiques principalement sollicitées, en référence aux études de Burkett et al. (2018) sur les dépenses énergétiques en natation handisport.

La deuxième partie de ce travail se concentre sur le cadre pratique de la recherche et est structurée en deux chapitres. Le premier chapitre décrit le cadre expérimental de l'étude, incluant la constitution des échantillons, les protocoles d'entraînement et les outils d'évaluation utilisés pour mesurer les effets de l'hypoventilation volontaire. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus. Les performances des deux groupes - le groupe expérimental suivant un entraînement en hypoventilation volontaire et le groupe témoin s'entraînant dans des conditions normales de respiration - sont exposées et comparées de manière approfondie. Les données recueillies sont analysées et interprétées avec rigueur, mettant en évidence les résultats statistiques obtenus pour les deux groupes. Cette discussion permet de tirer des conclusions pertinentes et d'apporter des réponses aux questions de recherche posées.

L'ensemble de cette étude vise à contribuer à une meilleure compréhension des effets de l'hypoventilation volontaire sur la performance en natation adaptée, en apportant des éléments concrets pour l'optimisation des programmes d'entraînement.

Les conclusions et perspectives dégagées à partir de ces résultats permettront d'explorer de nouvelles avenues pour le développement de stratégies d'entraînement spécifiques aux athlètes en situation de handicap moteur.

Problématique

1. Problématique

La natation est un sport qui sollicite de manière intense le système cardio-respiratoire et musculaire, nécessitant une gestion optimisée de l'oxygène et une technique efficace pour maintenir des performances élevées. Chez les nageurs en situation de handicap moteur, ces exigences sont encore plus complexes en raison des limitations fonctionnelles spécifiques, qui influencent leur économie de nage, leur capacité à générer de la puissance et leur endurance. Dans ce contexte, l'adaptation des méthodes d'entraînement est essentielle pour optimiser leurs performances tout en respectant leurs contraintes physiologiques.

L'entraînement en hypoventilation volontaire (HV) s'impose comme une méthode d'entraînement innovante, dont l'objectif est d'améliorer la tolérance à l'hypoxie en limitant l'apport en oxygène lors de l'exercice. Cette technique, qui consiste à réduire la fréquence respiratoire lors d'un effort physique, a déjà montré des effets bénéfiques chez les athlètes valides, notamment une augmentation de la capacité anaérobie, une amélioration de la réoxygénation musculaire et un renforcement des adaptations physiologiques liées à l'endurance. Plusieurs études Woorons et al., (2008, 2014, 2017) ont exploré les effets de l'hypoventilation sur la performance sportive, démontrant notamment une meilleure utilisation des réserves d'oxygène et une optimisation des processus métaboliques.

L'utilisation de l'hypoventilation volontaire n'est pas une approche récente. Par le passé, plusieurs champions ont exploité cette méthode pour améliorer leur performance. Un exemple emblématique est celui d'Emil Zatopek, spécialiste des courses de fond dans les années 1950, qui a remporté cinq médailles olympiques et battu 18 records du monde. Sa stratégie d'entraînement incluait des séances d'hypoventilation volontaire, ce qui lui aurait permis d'optimiser son endurance et sa capacité à gérer l'effort prolongé en situation de dette en oxygène. Ce cas historique illustre l'intérêt de l'hypoventilation pour améliorer la tolérance à l'hypoxie et les adaptations physiologiques liées à l'endurance Woorons et al. (2008, 2014, 2017).

Si cette méthode a montré des effets bénéfiques chez des athlètes valides comme Zatopek, son application chez les nageurs en situation de handicap moteur pourrait apporter

Problématique

des adaptations physiologiques intéressantes. En raison de leurs limitations fonctionnelles, ces nageurs doivent gérer leur oxygène de manière encore plus efficace pour maintenir leur performance. L'application de l'hypoventilation volontaire dans leur entraînement pourrait ainsi permettre une meilleure gestion des réserves d'oxygène et une amélioration de leur économie de nage.

Cependant, alors que l'efficacité de l'entraînement en hypoventilation a été démontrée chez des athlètes d'élite comme Zatopek, aucune étude spécifique ne s'est encore intéressée à ses effets chez les nageurs en situation de handicap moteur. L'objectif de cette étude est donc de combler cette lacune en explorant dans quelle mesure cette méthode peut influencer positivement leurs performances physiques et respiratoires.

Ce qui nous emmène aujourd'hui à faire cette étude dans le but de démontrer l'efficacité et la validité de cette méthode dans l'amélioration de la condition physique en général et de certaines capacités physiques et physiologiques, en se posant la question suivante :

Dans quelle mesure l'entraînement en hypoventilation volontaire peut-il améliorer les performances physiques et respiratoires des nageurs handicapés moteur, tout en tenant compte des spécificités physiologiques liées à leur condition ?

Hypothèse

:

En repoussant la fatigue musculaire et en améliorant la capacité de récupération, la perception de l'effort et la puissance musculaire, un programme d'entraînement en hypoventilation volontaire influence positivement la performance sportive chez les nageurs handicapés moteur.

1.1 Définition des concepts clés :

Natation : La natation est une discipline sportive complète qui offre de nombreux bienfaits pour la santé physique et psychologique. Elle améliore la condition cardiovasculaire, renforce les muscles, favorise la flexibilité et contribue à la gestion du stress. En outre, la natation est une activité à faible impact, ce qui permet à un grand nombre de personnes, y compris celles ayant des limitations physiques.

L'entraînement : est un processus organisé destiné à renforcer les aptitudes physiques, techniques et mentales d'une personne via des exercices répétés et progressifs. Il peut être modifié pour différents buts, tels que l'amélioration de la performance sportive, la remise en forme ou la rééducation.

La performance : La performance sportive est la production d'un individu ou d'une équipe dans le contexte d'une activité sportive spécifique. Elle englobe un large éventail d'aspects, notamment les compétences techniques, physiques, mentales et tactiques, qui contribuent au succès dans une discipline donnée. Elle est mesurée par des critères tels que la vitesse, la force, l'endurance, la précision, la coordination, et elle est souvent évaluée à travers des compétitions, des épreuves ou des événements sportifs .

Vitesse en natation : La vitesse correspond à la distance parcourue en un temps donné (par exemple, en mètres par seconde). Elle dépend de la technique de nage, de la fréquence des mouvements et de la capacité à réduire les résistances de l'eau.

Puissance en natation : La puissance en natation est la capacité à produire un effort intense et rapide, comme lors des départs ou des virages. Elle combine la force des muscles et la vitesse du mouvement pour une propulsion efficace dans l'eau.

Endurance en natation : L'endurance est la capacité à maintenir un effort prolongé sans baisse de performance. Elle est essentielle pour les longues distances et repose sur la résistance physique et une bonne gestion de l'énergie.

L'entraînement en hypoventilation volontaire (VH): consiste à alterner des phases d'effort avec une réduction volontaire de la fréquence respiratoire et des périodes d'effort en respiration normale. Cette technique a pour but d'effectuer des blocages respiratoires de quelques secondes qui vont provoquer une hypoxémie (diminution de la quantité d'oxygène

Problématique

dans le sang) ainsi qu'une hypercapnie (augmentation de la quantité de dioxyde de carbone) et par conséquent une acidification du sang. Dans le cas d'un entraînement de ce type, l'hypoventilation est produite par une réduction volontaire de la fréquence respiratoire.

La normoxie : c'est l'état physiologique où la pression partielle d'oxygène et la saturation en oxygène se situent dans des valeurs normales, garantissant un approvisionnement adéquat en O_2 aux tissus pour maintenir un métabolisme aérobie optimal.

L'hypoxie : c'est la diminution de l'apport en oxygène aux tissus, qui peut résulter d'une diminution de la pression partielle d' O_2 dans le sang (hypoxémie) ou d'une défaillance de la perfusion ou de la diffusion au niveau tissulaire. Cette condition peut être causée par des facteurs tels que l'altitude, des maladies respiratoires ou des limitations circulatoires.

Partie Théorique

Chapitre 1 : Natation

I. Natation

1. Définition de la natation :

La natation est une activité physique qui consiste à se déplacer dans l'eau à l'aide de mouvements corporels coordonnés, sans utiliser d'équipement flottant. Elle est pratiquée à des fins variées : loisir, santé, rééducation, sauvetage et compétition. Grâce à ses bienfaits sur le système cardiovasculaire et musculaire, elle est considérée comme un sport complet et accessible à tous.

2. Historique de la natation :

1.1 Origines et Antiquité

Les premières traces de la natation remontent à environ 4 500 ans avant J.-C., avec des représentations en Grèce, en Égypte, à Rome et en Assyrie. Dans la mythologie grecque, la nage est souvent évoquée, notamment dans des récits où des héros traversent des étendues d'eau pour rejoindre l'être aimé. À Rome, des mosaïques illustrent des scènes de nage, suggérant une pratique courante de cette activité.

1.2 Moyen Âge et Renaissance

Au début du Moyen Âge, la natation est principalement considérée comme un loisir. Elle est également intégrée à la formation des chevaliers, au même titre que le maniement des armes, pour améliorer leur polyvalence sur le champ de bataille. Au Japon, dès 1603, des compétitions inter-écoles sont organisées, contribuant à structurer la pratique de la natation.

1.3 XVIII^e et XIX^e siècles

En France, la natation est enseignée dans un cadre militaire, thérapeutique et éducatif. Les soldats suivent une formation en trois étapes : mouvements élémentaires, "natation dans l'air" et "natation dans l'eau". Des termes comme "nage chien" et "nage grenouille" sont utilisés pour décrire différents types de mouvements.

1.4 Ère Moderne et Compétitions

Les premières compétitions de natation moderne ont lieu en Angleterre en 1837, organisées par la National Swimming Association. L'Angleterre est ainsi considérée comme le berceau de la natation moderne, avec un réseau de piscines développé, notamment à Londres. En 1896, lors des premiers Jeux Olympiques modernes à Athènes, la natation est incluse au programme, avec des épreuves masculines de 100, 500 et 1 200 mètres en mer. Les femmes participent aux épreuves de natation olympiques à partir de 1912, lors des Jeux de Stockholm.

3. Les différentes formes de natation

a) La natation de loisir

Appelée aussi la natation récréative se concentre sur le bien-être, la relaxation et le plaisir. Elle contribue à l'amélioration de la condition physique globale, à la diminution du stress et à la promotion des interactions sociales. Les nageurs récréatifs privilégient généralement des styles de nage qui leur sont familiers, sans viser une performance spécifique.

b) La natation sportive

La natation compétitive, quant à elle, est une activité de compétition qui englobe diverses épreuves organisées selon des distances et des styles de nage définis (nage libre, dos, brasse, papillon). Sous l'égide de la Fédération Internationale de Natation (World Aquatics, anciennement FINA), elle inclut des compétitions à différents niveaux, y compris les Jeux Olympiques et les Championnats du monde. Cette discipline requiert des aptitudes physiques particulières telles que l'endurance, la rapidité et la technique, ainsi qu'une maîtrise approfondie de la respiration et de l'efficacité des mouvements.

c) La natation synchronisée

La natation synchronisée aussi appelée natation artistique, cette discipline fusionne les éléments de la natation, de la danse et de la gymnastique. Les nageurs effectuent des routines chorégraphiées au son de la musique, seuls, en binôme ou en groupe. La natation synchronisée demande une précision extrême, un alignement parfait et une aptitude

exceptionnelle à retenir sa respiration. Depuis les Jeux Olympiques de 2024, les compétitions par équipes sont ouvertes aux hommes, bien que leur participation reste encore limitée.

d) La natation en eau libre

Cette forme de natation se pratique en milieu naturel, comme les lacs, les rivières ou la mer. Les épreuves d'eau libre incluent des courses sur des distances variées, souvent supérieures à celles en piscine, et présentent des défis supplémentaires tels que les courants, les vagues et la température de l'eau. Les nageurs doivent faire preuve d'une grande endurance et d'une capacité d'adaptation aux conditions changeantes du milieu naturel.

e) Le plongeon et la natation de sauvetage

Le plongeon est une discipline où les athlètes exécutent des sauts acrobatiques depuis des plateformes ou des tremplins, combinant grâce, précision et maîtrise technique. La natation de sauvetage, quant à elle, est axée sur les techniques de sauvetage aquatique. Elle est pratiquée à la fois comme activité professionnelle par les sauveteurs et comme sport compétitif, incluant des épreuves qui simulent des situations de sauvetage en piscine ou en milieu naturel.

4. Les styles de nage et leurs spécificités

a. Nage libre

La nage libre est une discipline dans laquelle les nageurs ont la liberté de sélectionner leur style de nage, bien que le crawl soit couramment privilégié en raison de sa rapidité. Cette technique repose sur une alternance des mouvements circulaires des bras et des battements de jambes réguliers. La respiration se fait sur le côté, en tournant la tête durant la phase de récupération du bras. Ce style engage principalement les muscles des bras, des épaules et du tronc, requérant une coordination adéquate et une gestion efficace de la respiration.

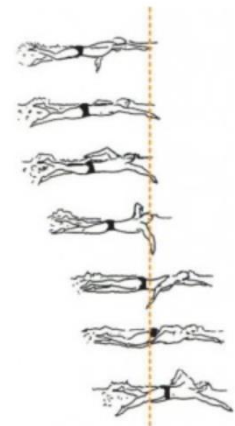


Figure 01 : Technique de crawl en natation

b) Brasse

La brasse est l'un des styles de natation les plus anciens et les plus pratiqués. Elle se caractérise par des mouvements symétriques des bras et des jambes. Les bras se déplacent en mouvements semi-circulaires sous l'eau tandis que les jambes se déplacent en mouvement de « grenouille ». Après chaque cycle de bras, soulevez la tête hors de l'eau pour respirer. Cette nage est souvent considérée comme la plus lente, mais elle nécessite une bonne coordination et est très exigeante pour le bas du corps. Il est particulièrement recommandé aux débutants en raison de sa stabilité et de sa facilité d'apprentissage.

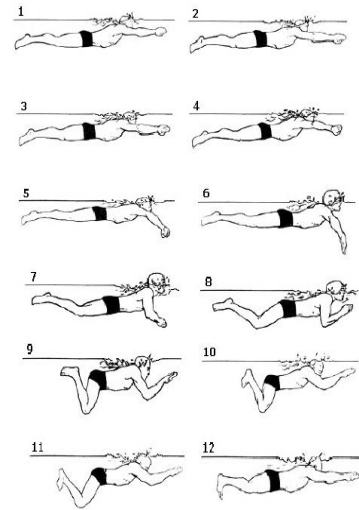


Figure 02 : Technique de brasse en natation

c) Dos crawlé

Le dos crawlé est le seul style de nage qui se pratique en position allongée sur le dos. Il est basé sur des mouvements circulaires alternés des bras et des battements continus des jambes. Contrairement à d'autres styles, la respiration est libre car le visage reste au-dessus de l'eau à tout moment. Ce style fait principalement travailler les muscles du dos, des épaules et des jambes. Il est souvent recommandé aux nageurs souffrant de maux de dos car il favorise une bonne posture et réduit les tensions musculaires. Cependant, en raison du manque de repères visuels directs, le contrôle de la direction et de la trajectoire peut être plus compliqué.

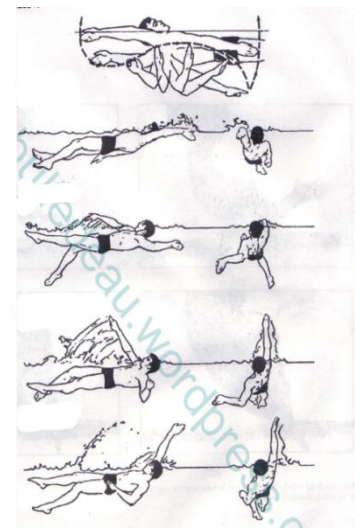


Figure 03 : Technique de dos crawlé en natation

d) Papillon

La nage papillon est l'une des nages les plus exigeantes techniquement et physiquement. Elle se caractérise par le mouvement simultané des bras sur l'eau tandis que le corps monte et descend, semblable aux mouvements d'un dauphin. Pendant la phase de récupération de votre bras, respirez en soulevant la tête hors de l'eau. Ce style travaille intensément les muscles du haut du corps, en particulier les épaules, le dos et l'abdomen. Cela nécessite une grande coordination et une forte endurance musculaire.

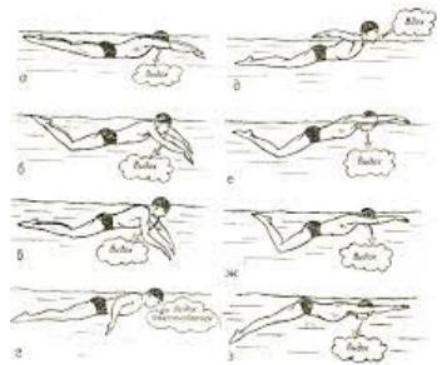


Figure 04 : Technique de papillon en natation

Même s'il s'agit du deuxième style de nage le plus rapide après le Freestyle, il est souvent considéré comme l'un des plus difficiles à maîtriser.

5. Les bases physiologiques de la natation

La natation est un sport qui fait appel à tout le corps ce qui entraîne des modifications physiologiques notables. Il est crucial de saisir ces modifications pour perfectionner l'entraînement et rehausser le rendement des nageurs.

a) Adaptations cardiovasculaires

La natation pratiquée provoque des modifications significatives du système cardiovasculaire. Le positionnement horizontal lors de l'immersion favorise le drainage veineux vers le cœur, ce qui accroît le volume sanguin central. L'accroissement du volume central sanguin, associé à la pression hydrostatique de l'eau, favorise l'efficacité cardiaque et diminue la fréquence cardiaque au repos. Par ailleurs, la natation aide à réduire la pression artérielle, ce qui diminue le danger des affections cardiovasculaires.

b) Sollicitation musculaire et énergétique

La natation est reconnue pour solliciter la majorité des groupes musculaires du corps . Les mouvements de natation sollicitent les muscles des bras, des épaules, du torse et des jambes, contribuant ainsi à un développement musculaire équilibré. L'eau présente une résistance naturelle, forçant les muscles à intensifier leurs efforts pour chaque geste, ce qui favorise le développement de la force et de l'endurance musculaire. En termes d'énergie, la natation est un sport aérobique qui optimise la capacité du corps à exploiter l'oxygène pour générer de l'énergie, ce qui renforce par conséquent l'endurance générale.

c) Importance de la respiration et du contrôle du souffle

Il est essentiel de contrôler sa respiration en natation. À l'opposé des activités terrestres, la respiration pendant la natation est restreinte par les phases sous l'eau, exigeant une synchronisation précise entre les mouvements et le souffle. Il est essentiel pour les nageurs de maîtriser l'expiration active sous l'eau et l'inhalation rapide durant les moments hors de l'eau. Cette pratique respiratoire favorise l'amélioration de la capacité pulmonaire, le renforcement des muscles respiratoires et l'optimisation de l'échange gazeux. Un contrôle de la respiration participe aussi à une flottabilité améliorée et à une technique de nage plus performante.

6. Les qualités physiques requises en natation

La natation est un sport qui sollicite l'ensemble du corps et nécessite un développement équilibré de plusieurs qualités physiques pour maximiser la performance :

- a. L'endurance cardiovasculaire
- b. La force
- c. La vitesse
- d. La coordination et la technique
- e. La souplesse
- f. La résistance musculaire et la tolérance à l'acide lactique

6.1 L'endurance

L'endurance est une qualité physique très importantes chez les footballeurs, si ce n'est pas la plus importantes, car dans un match de football, le joueur a besoin de répéter un grand nombre de fois des actions à vitesse maximale Arnaud Lesserteur,(2009, p.114), en gardant un rythme élevé jusqu'à la fin du match.

6.1.1 Définition

Elle est définie par Zatsiorsky, comme étant la faculté d'effectuer, pendant une durée prolongée, une activité d'intensité donnée sans baisse d'efficacité. Donc, L'endurance est la capacité physique et psychique que possède l'athlète pour résister à la fatigue. Cette capacité de maintenir un effort le plus longtemps possible dépend d'un certain nombre de critères mis en jeu, tels que la musculature concernée, le type de contraction musculaire demandé, les qualités physiques sollicitées, les processus énergétiques dominants, la durée et l'intensité de l'effort et la discipline pratiquée. L'endurance correspond à des efforts dynamiques, courir, sauter, nager, ramer, pédaler... en faisant appel au processus énergétique. En effet, la représentation qui est souvent associée à l'endurance, illustre par des activités de très longue durée, d'intensité modérée par rapport à l'intensité maximale d'effort possible, et faisant de se fait appel très majoritairement au processus aérobie comme source d'énergie pour la contraction musculaire Martin-Krumm, (2016). Plus un sportif a un VO2 max élevé, plus il peut maintenir un pourcentage important de ce VO2 max pendant un effort de longue durée. Cette capacité à maintenir un pourcentage élevé du VO2 max est appelée « endurance » Dècle-Lacoste et al, (2014).

6.1.2 Les modalités de l'endurance

Selon Weineck, (1997), on distingue quatre formes d'endurance ;

- L'endurance aérobie et l'endurance anaérobie ;
- L'endurance de courte durée, moyenne et longue durée ;
- L'endurance-force, l'endurance de force-vitesse et l'endurance-vitesse ;
- L'endurance dynamique (se rapportant au travail avec mouvement) et l'endurance statique (impliquant quant à elle, un travail musculaire sans déplacement).

6.1.3 Importance d'endurance en natation

L'endurance est primordiale en natation, en particulier pour les épreuves longues distances et les entraînements intensifs. Elle repose sur le développement du **système aérobie**, permettant de prolonger l'effort tout en maintenant un bon rendement énergétique.

- Une bonne endurance permet de **maintenir un effort prolongé sans épuisement rapide**.
- Elle repose sur une **efficacité du système cardiorespiratoire**, favorisant un transport optimal de l'oxygène vers les muscles actifs.

6.1.4 Les stratégies d'amélioration de la performance en endurance

L'amélioration de l'endurance d'un athlète implique l'amélioration des mécanismes énergétiques, ce qui signifie accroître leur potentiel tant en termes de puissance en se concentrant sur la qualité de l'effort (intensité de l'action) qu'en termes de capacité en se focalisant sur l'aspect quantitatif (durée de l'action), Lambertin. F, (2000). En théorie, diverses stratégies peuvent être mises en œuvre pour améliorer la performance en endurance :

- Augmenter la quantité totale d'énergie disponible (capacité) ;
- Elever au maximum le niveau d'énergie utilisé pendant une durée donnée (puissance maximale) ;
- Augmenter le temps limité pendant lequel un pourcentage donné de la puissance maximale peut être maintenue (endurance) ;
- Augmenter le travail mécanique utile fourni pour un même niveau de dépense énergétique (rendement).
- Concrètement, les objectifs visés sont essentiellement ;
- Améliorer la rapidité de fourniture d'énergie aérobie ;
- Maintenir l'équilibre énergétique et thermique dans le temps ;
- Améliorer l'économie ou le rendement ; Millet et Le Gallais, (2007).

Chapitre 01 : Natation

- Les tests à utiliser comme moyens de contrôle de l'endurance sont, d'après.J. Leguyader, (1999):

- Test de Cooper : courir la plus grande distance possible en 12mn ;
- Test progressif de course navette de 20m avec paliers de 1minute ;
- Test progressif de course sur piste avec paliers de 2mn ;

Ces tests permettent de connaître la VO2 max du sportif, la vitesse maximale aérobie (VMA) et les pulsations cardiaques atteintes.

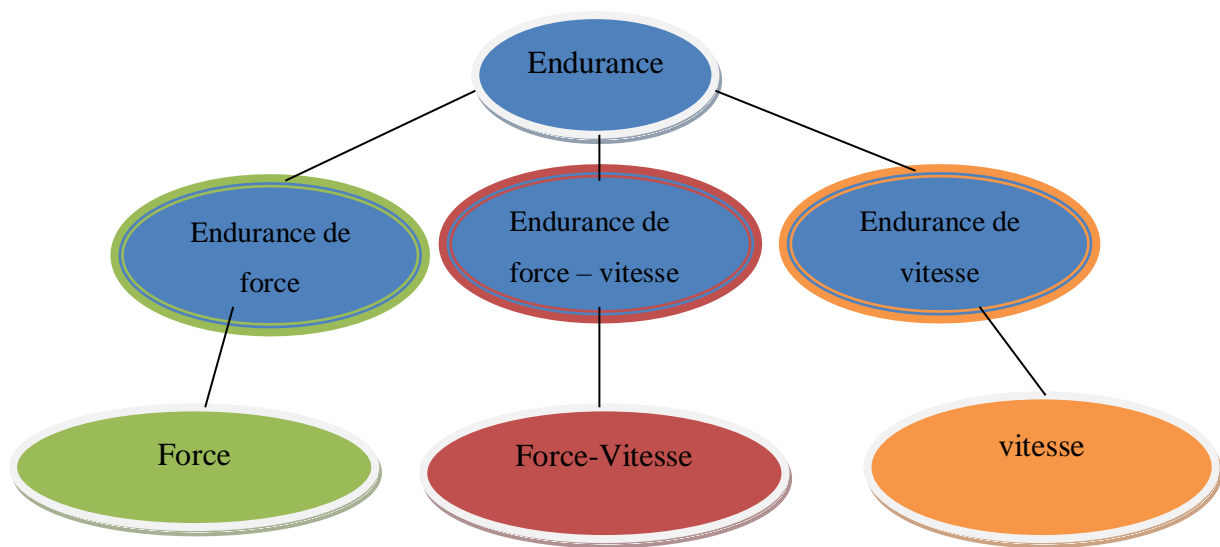


Figure 5: corrélation entre les facteurs de qualités physiques Weineck, (1992).

6.1 La force

6.2.1 Définition

« La force de l'homme peut se définir comme la faculté de vaincre une résistance extérieure ou d'y résister grâce à des efforts musculaires » Zatsiorski, (1966).

Selon Manno, (1982), La force est la capacité d'un muscle ou d'un groupe musculaire à développer une tension ou, la capacité motrice qui permet à l'homme de vaincre une résistance ou de s'y opposer par un effort intense de sa musculature.

6.2.2 Les modalités de la force

On peut distinguer quatre formes principales de la force à savoir :

Chapitre 01 : Natation

a) **Force maximale**: C'est le maximum de force qui peut déployer le système neuromusculaire pour une contraction maximale volontaire Weineck, (1986).

Il existe deux types de force maximale : dynamique (en mouvement) et statique (sans mouvement). L'ensemble des autres catégories de force dépendent directement de la force maximale. Millet et Le Gallais, (2007).

b) **Force-vitesse** : la combinaison de ses deux qualités donne la puissance, qui est la capacité du système neuromusculaire à surmonter des résistances avec la plus grande vitesse de contraction possible Weineck, (1986).

c) **Endurance de force** : c'est la capacité à résister à la fatigue dans des efforts de longue durée à dominante force. Elle est en fonction de : l'intensité des stimulations (% de la force maximale), l'amplitude des stimulations (nombre de répétitions), la durée de l'exercice. Suivant les disciplines, on peut trouver une endurance de force-dynamique, une endurance de force-statique ou une endurance de force-vitesse.

d) **La force explosive** : c'est la capacité à accélérer un mouvement déjà lancé et l'augmentation maximale de production de la force au départ du mouvement. D'un point de vue mécanique, l'explosivité se définit comme la capacité du système neuromusculaire à augmenter brusquement le niveau des forces qu'il exprime Weineck, (1986) cité par Millet et Le Gallais, (2007).

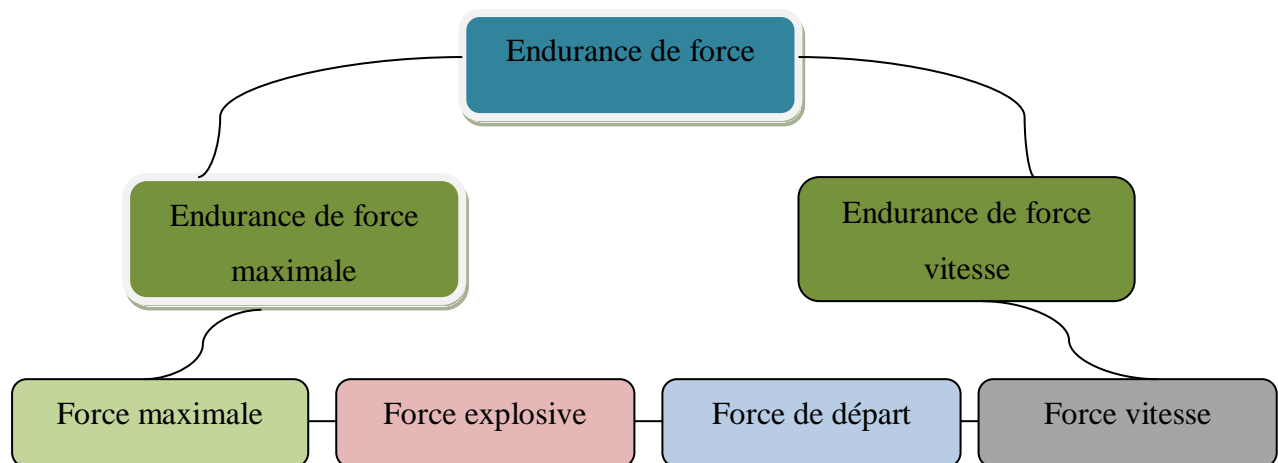


Figure 6 : corrélation entre les trois formes principales de la force. WEINECK Y. (1992)

6.2.3 L'importance de la force en natation

La natation demande une importante **force musculaire**, notamment pour se propulser efficacement dans l'eau en réduisant la résistance hydrodynamique. Cette force est développée à travers des entraînements en musculation, en résistance dans l'eau et par des exercices techniques visant à améliorer l'appui.

- **Les muscles sollicités en natation :**

- **Le haut du corps :** Les muscles du dos (grand dorsal, trapèzes), des épaules (deltoïdes) et des bras (triceps, biceps) jouent un rôle clé dans la traction et la propulsion.
- **Le bas du corps :** Les muscles des jambes (quadriceps, ischio-jambiers, mollets) sont essentiels pour le battement de jambes et les poussées lors des virages.
- **Le tronc :** Les muscles abdominaux et lombaires assurent la stabilité et le gainage du corps pour maintenir une position hydrodynamique optimale.

6.2.4 Les méthodes de développement de la force en natation

Le développement de la force en natation repose sur plusieurs méthodes ciblées pour améliorer la puissance musculaire et l'efficacité des mouvements dans l'eau.

- **Renforcement musculaire hors de l'eau :** La musculation avec charges (haltères, kettlebells) et le travail au poids du corps (pompes, tractions, gainage) renforcent les muscles essentiels à la nage, notamment le dos, les épaules, les jambes et le tronc.
- **Travail en résistance dans l'eau :** L'utilisation de plaquettes, de parachutes, d'élastiques ou de combinaisons lestées permet d'augmenter la résistance et de renforcer la puissance de traction et de poussée.
- **Entraînement avec palmes et plaquettes :** Les palmes aident à renforcer les jambes et les plaquettes augmentent la sollicitation musculaire des bras et des épaules, favorisant une meilleure propulsion.
- **Séries de nage avec forte intensité :** Des exercices de sprint ou des séries en résistance améliorent la force spécifique en sollicitant les muscles de manière explosive.

- **Travail des départs et des virages** : L'amélioration de la force des jambes et du gainage permet d'optimiser les poussées au départ et aux virages, contribuant ainsi à de meilleures performances.

6.3 La vitesse :

6.3.1 Définition

C'est la qualité physique qui permet d'exécuter un mouvement très rapidement ou de répéter un grand nombre de mouvements dans un temps donné.

Frey (1977), définit la vitesse comme « la capacité qui permet, sur la base de la mobilité des processus du système neuromusculaire et de la propriété qu'a le muscle de développer de la force, d'accomplir dans des conditions données des actions motrices en un temps maximal. Grosser (1991) la définit comme « la capacité sur la base des processus cognitifs, de la volonté maximale et de fonctionnellement du système neuromusculaire, d'atteindre dans certaines conditions la plus grande rapidité de réaction et de mouvements ». Weineck, (1997). Selon Pradet (1996), la vitesse est « la faculté d'un athlète à parcourir, ou à faire parcourir à l'ensemble ou à une partie de son corps, la plus grande distance possible dans le temps le plus bref, en ayant à lutter que contre sa propre masse ».

6.3.2 Les formes de la vitesse

On distingue plusieurs formes de vitesse :

- La force-vitesse (force de démarrage) : capacité de repousser des résistances à une vitesse maximale, en un temps donné ;
- La vitesse-endurance : capacité de résister à la perte de vitesse due à la fatigue pour les vitesses de contractions maximales dans l'exécution de mouvements acycliques avec des résistances renforcées.
- La vitesse-endurance maximale : capacité de résister à la perte de vitesse due à la fatigue pour les vitesses de contractions maximales dans l'exécution de mouvements cycliques.

6.3.3 L'importance de la vitesse en natation

La vitesse en natation est un facteur déterminant de la performance, en particulier dans les compétitions où chaque centième de seconde peut faire la différence entre la victoire et la

défaite. Elle est influencée par plusieurs paramètres physiologiques, biomécaniques et techniques.

D'un point de vue physiologique, la vitesse dépend de la puissance musculaire et de l'endurance. Les muscles du nageur doivent être capables de produire une force suffisante pour propulser le corps à travers l'eau tout en maintenant une cadence efficace. L'entraînement en résistance, incluant des exercices de musculation et de pliométrie, permet d'améliorer cette puissance. Par ailleurs, l'endurance aérobie et anaérobie joue un rôle essentiel, car un nageur doit être capable de maintenir une vitesse élevée sur différentes distances.

6.3.4 Les méthodes de développement de la vitesse en natation

L'entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) permet d'améliorer la puissance musculaire et la capacité anaérobie du nageur en alternant des phases de sprint et de récupération. Ce type d'entraînement favorise l'augmentation de la tolérance à l'acide lactique et la capacité à maintenir une vitesse élevée sur de courtes distances.

Le travail de sprint est essentiel pour développer l'explosivité et la rapidité en natation. Il repose sur des répétitions courtes à intensité maximale, mettant l'accent sur la réactivité au départ et la vitesse de nage. Ce type d'entraînement améliore l'efficacité des appuis et la capacité à accélérer rapidement.

Le renforcement musculaire spécifique joue un rôle clé dans l'amélioration de la puissance et de la propulsion. Il cible les muscles impliqués dans la nage, notamment le dos, les épaules et les jambes. L'utilisation de charges lourdes, d'exercices fonctionnels et d'élastiques permet d'accroître la force et la résistance musculaire.

L'optimisation du mouvement et de la technique permet de réduire la résistance à l'eau et d'améliorer l'efficacité énergétique. Un bon placement du corps, une coordination fluide et un appui efficace augmentent la vitesse tout en minimisant la fatigue. Des exercices techniques spécifiques sont utilisés pour perfectionner ces aspects.

Le travail des départs et des virages est fondamental pour maximiser la vitesse en compétition. Un départ explosif et un virage rapide permettent de gagner du temps précieux

sur les différentes distances. L'entraînement se concentre sur l'amélioration de la puissance de poussée, la réactivité et la transition fluide entre les phases de course.

L'entraînement en résistance consiste à ajouter une contrainte supplémentaire à la nage, comme des parachutes, des plaquettes ou des élastiques. Cela permet de renforcer les muscles et d'améliorer la force propulsive, rendant ainsi la nage plus puissante et efficace une fois la résistance retirée.

6.4 La Coordination

6.4.1 Définition

La capacité de coordination est déterminée avant tout par les processus de contrôle et de régulation du mouvement Hirtz, (1981). Elle permet au sportif de maîtriser des actions dans des situations prévisibles (stéréotype) ou imprévisible (adaptation), de les exécuter de façon économique et d'apprendre assez rapidement les mouvements sportifs Frey, (1977). Donc Elle est la capacité de réaliser un mouvement en combinant l'action de plusieurs groupes musculaires avec un maximum d'efficacité et d'économie. Cette qualité est une condition de base pour l'expression de toutes les autres qualités physiques. Elle est la possibilité d'exploiter le maximum des capacités fondamentales, force, endurance et vitesse. La coordination est déterminée par la capacité du système nerveux central de capter, conduire, traiter des informations souvent multiples :

Extéroceptives : venues du milieu extérieur,

Intéroceptives : venues du corps propre.

6.4.2 L'importance de la coordination en natation

La coordination est un élément fondamental en natation, car elle permet d'optimiser l'efficacité des mouvements et d'améliorer la performance. Une bonne coordination entre les bras, les jambes et la respiration assure une propulsion fluide et un meilleur hydrodynamisme, réduisant ainsi la résistance à l'eau. Chaque style de nage exige une synchronisation spécifique : en crawl et en dos crawlé, l'alternance des mouvements des bras et des battements de jambes doit être parfaitement rythmée, tandis qu'en brasse et en papillon, la symétrie des mouvements est essentielle pour maintenir la vitesse et l'équilibre. Une mauvaise coordination entraîne une perte d'énergie et une diminution de la vitesse. C'est

pourquoi les nageurs travaillent régulièrement sur des exercices techniques et des éducatifs spécifiques pour améliorer leur synchronisation et maximiser leur rendement dans l'eau.

6.5 La souplesse

6.5.1 Définition

Synonyme de mobilité articulaire, la souplesse est considérée comme « la capacité d'accomplir des gestes avec la plus grande amplitude possible, que ce soit de façon active ou

6.5.2 Les formes de souplesse

Il y a deux formes de souplesse, selon R. Manno :

- *La souplesse active* : c'est la capacité d'obtention d'une grande amplitude du mouvement par le biais de la contraction de groupes musculaires liés à l'articulation concernée.
- *La souplesse passive* : c'est la capacité d'obtention d'une grande amplitude de mouvement par le biais de l'application, sur la partie mobile, des charges ou des tensions extérieures supplémentaires.

6.5.3 Les méthodes de développement de la souplesse

D'après Wei neck (1992), la méthode la plus efficace pour développer la souplesse est la méthode par répétition exercices (étirements passifs, étirements actifs, étirement statiques ou stretching). Lors de l'entraînement, on développe la souplesse générale et la souplesse spécifique :

- La souplesse générale : c'est la somme de toutes les mobilités de toutes les articulations permettant d'exécuter les différents mouvements avec la plus grande amplitude.
- La souplesse spécifique : elle réside dans la mobilité maximale au niveau des articulations, en fonction de sollicitations du sport choisi.

La souplesse ne doit pas être développée qu'en fonction des besoins d'amélioration optimale de la technique sportive et de l'efficacité des actions motrices Matwejew, (1998). Pour conclure, d'après Bangsbo, (2007). Les qualités physiques sont dépendantes l'une de l'autre,

elles sont en interaction. De plus, elles interfèrent directement avec la performance technique et tactique au cours d'un match. Dans le deuxième axe de ce chapitre, nous allons percer dans les détails de l'entraînement en football, pour mieux comprendre son fonctionnement.

6.6 La résistance musculaire et la tolérance à l'acide lactique

6.6.1 Définition :

La résistance musculaire désigne la capacité des muscles à maintenir un effort prolongé malgré la fatigue. En natation, elle est essentielle pour maintenir une vitesse élevée et une technique efficace sur de longues distances. Elle dépend de plusieurs facteurs, notamment l'endurance musculaire, la capacité aérobie et la gestion de l'acide lactique.

L'acide lactique est un sous-produit du métabolisme anaérobie produit lors d'efforts intenses. Lorsqu'il s'accumule dans les muscles, il provoque une sensation de brûlure et de fatigue, limitant ainsi la performance. La tolérance à l'acide lactique correspond donc à la capacité d'un nageur à supporter et utiliser efficacement cet acide pour prolonger l'effort et retarder l'apparition de la fatigue musculaire.

6.6.2 Mécanismes physiologiques

Lorsque l'intensité de l'exercice augmente, l'organisme utilise principalement le système anaérobie lactique, qui génère rapidement de l'énergie (ATP) sans utiliser d'oxygène, mais produit de l'acide lactique en conséquence. Une accumulation excessive entraîne une baisse du pH musculaire, altérant ainsi l'efficacité des contractions musculaires. Cependant, avec un entraînement adapté, le corps peut améliorer son recyclage du lactate et augmenter son seuil de tolérance.

6.6.3 Entraînement pour améliorer la résistance musculaire et la tolérance au lactate

Les nageurs développent ces qualités grâce à des séances spécifiques, notamment :

- **Entraînement en intervalle intensif** : alternance de courtes périodes d'effort maximal suivies de courtes récupérations, permettant d'habituer le corps à gérer l'acide lactique.

- **Entraînement en endurance** : améliore l'efficacité du métabolisme aérobie, retardant ainsi le recours au système anaérobie.
- **Renforcement musculaire spécifique** : exercices de musculation et d'entraînement fonctionnel ciblant les muscles sollicités en natation.

6.6.4 Impact de la résistance musculaire et tolérance au lactate sur la performance en natation

Une bonne résistance musculaire et une tolérance accrue à l'acide lactique permettent aux nageurs de maintenir une intensité élevée tout au long d'une course, d'améliorer leur vitesse en fin d'épreuve et d'optimiser leur récupération. Elles sont particulièrement déterminantes dans les épreuves de moyenne et longue distance, où la gestion de la fatigue musculaire influence directement le résultat.

II. L'entraînement en natation

L'entraînement en natation joue un rôle essentiel dans l'amélioration des performances individuelles des nageurs et dans l'atteinte de leurs objectifs, qu'ils soient amateurs ou compétiteurs. Il est primordial d'établir un programme d'entraînement adapté, prenant en compte les besoins spécifiques de chaque nageur et les exigences de la discipline. Un plan d'entraînement efficace en natation englobe plusieurs aspects, tels que la préparation physique, le travail technique et tactique, les séances spécifiques en bassin, l'analyse vidéo et les méthodes de récupération. Chaque composante contribue au développement des capacités du nageur et à l'optimisation de sa performance dans l'eau.

L'élaboration d'un programme d'entraînement en natation nécessite une planification rigoureuse. Il est essentiel d'assurer une progression constante en ajustant l'intensité des séances, le volume de travail et les exercices en fonction du niveau et des objectifs de l'athlète. Cette approche permet d'améliorer l'endurance, la vitesse et la technique tout en minimisant les risques de blessures.

Un entraînement bien structuré comprend des exercices de condition physique générale, du renforcement musculaire spécifique, des séances axées sur l'amélioration de la technique de nage et des stratégies tactiques adaptées aux différentes épreuves. L'analyse des performances

à travers des tests et des vidéos permet d'identifier les points à améliorer et d'affiner la préparation. La récupération, incluant des étirements, des massages ou encore la cryothérapie, joue également un rôle clé dans la prévention des blessures et l'optimisation de la performance.

La motivation et l'engagement du nageur dans son entraînement sont déterminants pour maximiser son potentiel et atteindre ses objectifs. Une approche progressive et individualisée permet d'améliorer son efficacité dans l'eau et d'optimiser ses performances en compétition.

1. Les objectifs de l'entraînement en natation

L'entraînement en natation vise plusieurs objectifs fondamentaux, à la fois sur le plan physique, technique, tactique et mental :

1.1 Améliorer la performance physique :

- **Développement de la vitesse et de l'explosivité** : des entraînements spécifiques, incluant des sprints et des départs explosifs, pour améliorer la vitesse en nage. *Toussaint & Truijens, (2005)*
- **Renforcement musculaire** : des exercices de musculation ciblés pour développer la force des groupes musculaires impliqués dans la nage (épaules, dos, jambes, tronc). *Crowley et al., (2018)*

1.2 Optimiser la condition physique :

- **Amélioration de l'endurance aérobie** : des entraînements en continu et des séries longues pour augmenter la capacité cardiovasculaire et la résistance en bassin. *Maglischo, (2003)*
- **Développement de la capacité anaérobie** : des exercices en intervalles à haute intensité pour améliorer la tolérance à l'acide lactique et la puissance musculaire. *Papoti et al., (2003)*

1.3 Développer les compétences techniques :

- **Amélioration de l'efficacité gestuelle** : travail sur la coordination des mouvements, l'optimisation des appuis et la réduction de la traînée dans l'eau. *Seifert, (2010)*
- **Maîtrise des virages et des départs** : des exercices spécifiques pour améliorer l'impulsion au départ et la rapidité d'exécution des virages. *Thompson., (2004)*

1.4 Renforcer les compétences tactiques :

- **Optimisation de la gestion de course** : apprentissage des stratégies de gestion d'effort et du rythme en fonction de la distance et du type d'épreuve. *Mujika et al., (2014)*
- **Amélioration de la prise de décision** : travail sur l'anticipation et l'adaptation aux conditions de course (concurrence, environnement, nage en eau libre). *Millet, (2002)*

1.5 Favoriser le développement mental et émotionnel :

- **Gestion du stress et de la pression** : techniques de préparation mentale pour améliorer la concentration et la gestion des compétitions. *Weinberg & Gould, (2014)*
- **Développement de la motivation et de la confiance** : stratégies de coaching mental pour renforcer la résilience et la motivation intrinsèque du nageur. *Pelka ., (2020)*

2. Les principales méthodes d'entraînement en natation

2.1 Méthode régulière ou continue

La méthode régulière ou continue est basée sur la répétition prolongée d'un effort à intensité modérée sans pause significative. Cette méthode favorise le développement de l'endurance aérobie en améliorant la capacité du système cardiovasculaire à transporter et utiliser l'oxygène efficacement.

Chapitre 01 : Natation

Elle peut être appliquée sous différentes formes, notamment par des séries de nages longues et continues à intensité stable. Cette méthode est particulièrement efficace pour développer la résistance générale et améliorer la technique par répétition prolongée des mouvements.

2.2 Méthode par intervalle

La méthode par intervalle repose sur l'alternance entre des phases d'effort intense et des périodes de récupération partielle. Cette approche permet d'améliorer l'endurance aérobie et anaérobie tout en optimisant la tolérance à l'accumulation de lactate.

Le travail est organisé en répétitions de distances prédéfinies (ex. : 10 x 100m) avec des pauses adaptées pour maintenir une intensité élevée sans récupération complète. Cette méthode est particulièrement bénéfique pour les nageurs de sprint et de demi-fond.

2.3 Méthode circulaire ou circuit training

Le circuit training est une méthode combinant plusieurs exercices de natation et de renforcement musculaire en alternance. L'objectif est de développer la condition physique globale en sollicitant différents groupes musculaires et systèmes énergétiques dans un ordre stratégique.

Ce type d'entraînement inclut des exercices comme les sprints, le travail de jambes avec planche, les séries de tractions et les exercices d'apnée dynamique. L'intensité et la durée des stations peuvent varier en fonction des objectifs de l'athlète.

2.4 Méthode de compétition

La méthode de compétition est conçue pour reproduire les conditions réelles d'une épreuve afin de préparer les nageurs à la pression et aux exigences de la compétition. Elle comprend des simulations de courses, des séries chronométrées et des tests de performance.

L'objectif principal est de travailler sur la stratégie de course, la gestion de l'effort et l'amélioration des temps de passage. Cette méthode permet également d'analyser les erreurs techniques et tactiques en conditions réelles.

2.5 Méthode d'entraînement en apnée

L'entraînement en apnée vise à améliorer la capacité respiratoire, la gestion de l'oxygène et la résistance au CO₂. Cette méthode est essentielle pour optimiser les performances en nage sous-marine, lors des coulées et des virages.

Elle se divise en plusieurs formes :

- **Apnée statique** : travail de rétention du souffle sans mouvement.
- **Apnée dynamique** : nage sous-marine sur une distance donnée.
- **Apnée hypoxique** : limitation volontaire du nombre de respirations par longueur de bassin.
- **Apnée progressive** : augmentation de la distance en apnée avec récupération réduite.

Cette méthode permet d'améliorer l'endurance pulmonaire et la maîtrise de la respiration, tout en renforçant la concentration et la gestion du stress.

2.6 Méthode de résistance

L'entraînement par résistance vise à renforcer la puissance musculaire et la propulsion dans l'eau. Il inclut l'utilisation d'élastiques, de plaquettes, de parachutes de résistance et de combinaisons lestées.

Ce type d'entraînement permet d'augmenter la force des bras et des jambes, améliorant ainsi la vitesse et l'efficacité des mouvements en natation. Il est particulièrement adapté aux sprinteurs et aux nageurs cherchant à optimiser leur puissance de départ et leurs poussées lors des virages.

3. Les filières énergétiques en exercice physique

3.1 Filière anaérobie alactique

Cette filière repose sur l'utilisation immédiate de l'ATP stockée dans le muscle ainsi que de la créatine phosphate (ou phosphocréatine) pour la resynthèse rapide de l'ATP. Son activation est instantanée et permet de fournir une énergie à très haut débit sans nécessiter d'oxygène. C'est la principale source d'énergie lors des efforts explosifs de très courte durée. Toutefois, sa capacité étant limitée, l'organisme doit rapidement solliciter d'autres systèmes énergétiques lorsque l'effort se prolonge.

3.2 Filière anaérobie lactique

Ce système énergétique repose sur une dégradation rapide du glycogène musculaire en acide lactique, un processus appelé glycolyse. Cette réaction produit de l'ATP de manière efficace et immédiate, ce qui en fait une filière essentielle pour les exercices intenses et brefs, comme le sprint. Contrairement à la filière anaérobie alactique, la principale limitation ici n'est pas l'épuisement du glycogène, mais plutôt l'accumulation d'ions hydrogène, entraînant une baisse du pH musculaire et favorisant l'apparition de la fatigue et des crampes musculaires.

3.3 Filière aérobie

À l'inverse des deux précédentes filières, celle-ci nécessite la présence d'oxygène pour produire de l'énergie. Son activation implique des ajustements du système cardio-respiratoire, ce qui engendre un léger délai avant d'atteindre un rendement optimal. Bien qu'elle soit active en permanence, elle devient prédominante pour les efforts prolongés au-delà de deux minutes. Les principales sources d'énergie utilisées sont les glucides, qui offrent un rendement énergétique efficace, et les lipides, qui fournissent de l'énergie sur le long terme mais à une vitesse plus lente.

Chapitre 01 : Natation

Tableau 01 : comment développer ses filières énergétiques en exercice physique.

	ANAÉROBIE ALACTIQUE		ANAÉROBIE LACTIQUE		AÉROBIE	
	PUISSANCE	CAPACITÉ	PUISSANCE	CAPACITÉ	PUISSANCE	CAPACITÉ
TYPE D'EFFORT	Effort court et intense		Effort relativement court et intense		Effort long et de faible intensité	
TERMINOLOGIE INS	Vitesse	Résistance - intensité		Résistance - volume		Endurance
MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES	Augmentation taux ATP et enzymes	Amélioration taux créatine phosphate	Augmentation système enzymatique de la glycolyse	Augmentation taux de glycogène	Augmentation du débit cardiaque et amélioration système enzymes oxydatives	Augmentation volume d'éjection systolique, taux de glycogène taux de lipides
SUBSTRATS	ATP et CP		Glucides		Glucides, lipides, protéines	
SOURCES D'ÉNERGIES	Créatine		Glucose et glycogène		Glucose, glycogène et triglycéride	
PRODUCTION D'ATP	1		3		39	
PRODUCTION D'ACIDE LACTIQUE	Non		Oui		Oui	
UTILISATION D'OXYGÈNE	Non		Non		Oui	
FACTEURS LIMITANTS	Épuisement des réserves		Acide lactique et baisse du PH cellulaire		VO2 max, épuisement du glycogène, thermolyse	
AVANTAGES	Délai d'intervention immédiat, puissance maximale (100%)		Puissance plus importante qu'aérobie (50% de puissance max, délai de mise en route plus court qu'aérobie)		Utilise tous les substrats, capacité presque illimitée, seuls déchets : eau et CO2	
INCONVÉNIENTS	Durée d'intervention très faible car peu de CP intramusculaires		Accumulation d'acide lactique		Puissance très faible	

III. La performance sportive en natation

1. Définition :

La performance sportive en natation peut être définie comme la capacité d'un nageur à optimiser ses qualités physiques, techniques, physiologiques et mentales afin d'atteindre un niveau de performance maximal lors d'une compétition. Elle repose sur plusieurs facteurs interdépendants, notamment la puissance musculaire, l'efficacité biomécanique des mouvements, l'endurance cardiovasculaire, la gestion de l'effort et la stratégie de course Toussaint & Truijens, (2005).

Selon **Toussaint et Truijens (2005)**, la performance en natation est largement influencée par la résistance hydrodynamique, la force propulsive développée par le nageur, ainsi que par sa capacité à maintenir une technique efficace sous fatigue. De plus, la récupération et

l'optimisation des paramètres physiologiques (VO_2 max, tolérance au lactate, efficacité de la ventilation) jouent un rôle essentiel dans l'amélioration des performances.

2. Facteurs influençant la performance en natation

La performance en natation est le résultat de

l'interaction de plusieurs facteurs physiologiques,

biomécaniques et stratégiques.

Voici une explication détaillée des principaux

facteurs qui influencent cette performance :

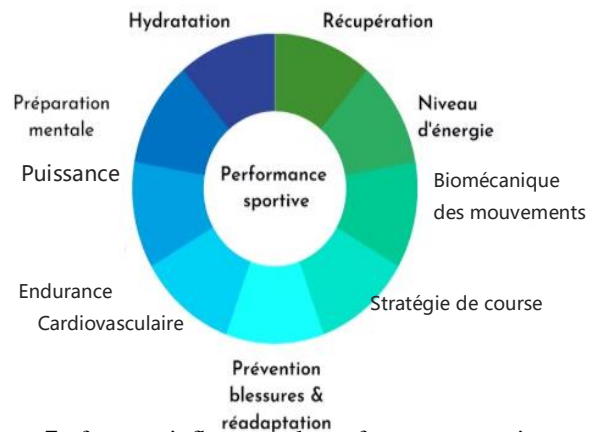


Figure 7 : facteurs influençant la performance sportive en natation

2.1 La puissance musculaire

La puissance musculaire correspond à la capacité du nageur à générer une force importante en un temps réduit. Elle est essentielle pour les phases de propulsion (battements de jambes, mouvements de bras) ainsi que pour les départs et les virages.

- Elle dépend du type de fibres musculaires sollicitées :
 - **Les fibres musculaires de type I (lentes)** : sollicitées en endurance, elles sont résistantes à la fatigue mais peu puissantes.
 - **Les fibres musculaires de type II (rapides)** : idéales pour les sprints, elles génèrent une grande force explosive mais se fatiguent rapidement.
- L'amélioration de la puissance musculaire passe par :
 - L'entraînement en résistance (utilisation de plaquettes, parachutes, ceintures lestées).
 - Le travail en musculation avec des exercices spécifiques (squat, soulevé de terre, tractions).
 - L'entraînement pliométrique pour optimiser l'explosivité.

2.2 L'efficacité biomécanique des mouvements

L'efficacité biomécanique correspond à l'optimisation du geste technique pour maximiser la propulsion et réduire la résistance hydrodynamique. Une mauvaise technique peut entraîner une perte d'énergie et limiter la performance.

- **Optimisation de la propulsion**

- Une coordination optimale entre les bras et les jambes permet de générer une force maximale.
- La fréquence et l'amplitude des mouvements doivent être adaptées au type d'épreuve (sprint vs endurance).

- **Réduction de la traînée hydrodynamique**

- Une position du corps bien alignée réduit la résistance.
- La réduction des mouvements parasites (oscillations du tronc, battements inutiles) permet d'économiser de l'énergie.
- L'amélioration des coulées et des virages joue un rôle crucial dans la performance globale.

2.3 L'endurance cardiovasculaire

L'endurance cardiovasculaire est la capacité du système cardio-respiratoire à soutenir un effort prolongé en assurant un apport optimal en oxygène aux muscles actifs.

- Elle est particulièrement importante pour les courses longues distances (400m, 800m, 1500m) où la consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) joue un rôle déterminant.
- Un bon développement de l'endurance permet :
 - Une meilleure tolérance à l'accumulation du lactate.
 - Un retardement de la fatigue musculaire.
 - Une récupération plus rapide entre les répétitions et après l'effort.
- Les entraînements spécifiques pour améliorer l'endurance comprennent :
 - La natation en continu à intensité modérée.
 - L'entraînement par intervalles longs (exemple : $10 \times 200m$ à 80 % de l'intensité maximale).

Chapitre 01 : Natation

- L'intégration de séances en hypoxie pour améliorer l'efficacité de l'oxygénation musculaire.

2.4 La gestion de l'effort

La gestion de l'effort consiste à répartir intelligemment l'énergie tout au long de l'épreuve afin d'optimiser la performance sans s'épuiser trop rapidement.

- **Les stratégies de gestion de l'effort varient selon les distances :**
 - Pour un sprint (50m, 100m), l'intensité est maximale dès le départ.
 - Pour les distances intermédiaires (200m, 400m), il faut équilibrer vitesse et endurance.
 - Pour les longues distances (800m, 1500m), un pacing progressif est souvent adopté pour éviter une chute brutale de la vitesse en fin de course.
- **Importance de la capacité à tolérer la fatigue :**
 - La gestion du lactate et du pH musculaire permet de maintenir l'intensité plus longtemps.
 - L'adaptation psychologique et la concentration jouent un rôle clé dans la capacité à maintenir un effort soutenu.

2.5 La stratégie de course

Une bonne stratégie de course permet au nageur d'exploiter au mieux ses capacités physiques et techniques.

- **Optimisation des départs et virages**
 - Un bon départ permet de gagner plusieurs centièmes de seconde, ce qui peut faire la différence sur une épreuve courte.
 - L'optimisation des coulées et des reprises de nage après le virage est essentielle pour maintenir la vitesse.
- **Gestion de la respiration et de l'hypoventilation**
 - Réduire la fréquence respiratoire permet d'améliorer l'hydrodynamisme.
 - L'entraînement en hypoventilation volontaire aide à mieux gérer l'accumulation du CO₂ et à améliorer la tolérance à l'apnée dynamique.

- **Utilisation des adversaires**

- En compétition, il est stratégique d'adapter son rythme en fonction des adversaires, notamment en nage en eau libre où le drafting peut réduire la résistance hydrodynamique.

3.Importance des capacités physiologiques et biomécaniques dans la performance sportive

La performance en natation repose sur un équilibre entre les capacités physiologiques (endurance, force, puissance, récupération) et les facteurs biomécaniques (technique de nage, hydrodynamisme, coordination). Une optimisation de ces éléments permet d'améliorer l'efficacité énergétique, la vitesse et la résistance à la fatigue.

3.1 Les capacités physiologiques

Les capacités physiologiques sont essentielles à la performance, car elles déterminent la capacité du nageur à soutenir un effort intense sur une durée variable.

3.1.1 La capacité aérobie et anaérobie

L'endurance aérobie est cruciale pour les épreuves de longue distance, tandis que les systèmes énergétiques anaérobies sont essentiels pour les efforts courts et explosifs.

- **La filière aérobie** (nécessitant de l'oxygène) permet de soutenir des efforts prolongés en utilisant les glucides et les lipides comme substrats énergétiques.
- **La filière anaérobie lactique** est dominante dans les courses de 100m à 400m, où la production rapide d'énergie entraîne une accumulation de lactate.
- **La filière anaérobie a lactique** fournit une énergie immédiate lors des départs et des sprints courts grâce à l'ATP et la phosphocréatine.

3.1.2 La puissance et la force musculaire

Une puissance musculaire élevée permet une meilleure propulsion et un départ explosif.

- La force des membres supérieurs est essentielle pour maximiser l'efficacité du mouvement de traction.
- La force des membres inférieurs joue un rôle clé dans les départs, les virages et les ondulations sous-marines.
- Le développement de la puissance passe par un entraînement spécifique en résistance et en musculation.

3.1.3 L'efficacité du métabolisme énergétique

Une capacité accrue à utiliser efficacement l'énergie permet une meilleure endurance et un retardement de la fatigue musculaire.

- Un VO_2 max élevé est un indicateur clé de la capacité d'un nageur à maintenir une intensité élevée.
- Une meilleure utilisation des substrats énergétiques (glycogène vs lipides) permet d'optimiser l'endurance et la récupération.
- L'adaptation physiologique à l'entraînement en hypoxie ou en hypoventilation volontaire peut améliorer l'efficacité énergétique et la tolérance au CO_2 .

3.2 Les capacités biomécaniques

Les aspects biomécaniques influencent directement la vitesse et l'efficacité du nageur en minimisant la résistance hydrodynamique et en maximisant la propulsion.

3.2.1 L'hydrodynamisme et la réduction de la traînée

La résistance de l'eau représente un facteur limitant en natation. Trois formes principales de traînée doivent être contrôlées :

- **Traînée de friction** : Réduction par une combinaison adaptée et un bon positionnement du corps.
- **Traînée de forme** : Minimisation par un corps bien aligné et une tête bien placée.

- **Traînée de vagues** : Réduction en restant immergé après les virages et en optimisant la coulée.

3.2.2 L'efficacité de la technique de nage

Un bon schéma moteur permet d'optimiser l'économie de nage et de minimiser les pertes d'énergie.

- **Coordination bras-jambes** : La synchronisation entre les cycles de bras et les battements de jambes influence la propulsion.
- **Amplitude et fréquence des mouvements** : Un compromis optimal est nécessaire pour maintenir une vitesse élevée sans surconsommation d'énergie.
- **Virages et départs** : L'amélioration des phases non nagées (plongeon, coulée, reprise) permet un gain de temps significatif.

3.2.3 La flexibilité et mobilité articulaire

Une bonne flexibilité des épaules et des chevilles améliore l'amplitude des mouvements et réduit le risque de blessures.

- Une mobilité articulaire optimisée permet une meilleure extension du bras et une prise d'appui plus efficace.
- La flexibilité des chevilles est essentielle pour des battements de jambes efficaces et puissants.

Chapitre 2 : L'hypoventilation volontaire

1. Définition

L'hypoventilation volontaire (HV) est une méthode d'entraînement respiratoire qui consiste à réduire délibérément la fréquence et l'amplitude des respirations lors d'un exercice physique, souvent associée à une apnée partielle ou complète. Elle est utilisée pour simuler des conditions d'hypoxie (diminution de l'oxygène disponible) et d'hypercapnie (augmentation du dioxyde de carbone dans le sang), afin d'améliorer les capacités d'adaptation du corps à l'effort.

2. Historique de l'hypoventilation volontaire

2.1 Emil Zátopek

L'un des premiers athlètes à expérimenter l'hypoventilation volontaire fut Emil Zátopek, coureur de fond tchécoslovaque des années 1950. Il combinait des entraînements en apnée et en hypoxie afin d'améliorer son endurance et sa capacité à tolérer des efforts intenses. Zátopek effectuait des séances de course où il retenait sa respiration sur plusieurs foulées, ce qui lui permettait d'augmenter sa tolérance au dioxyde de carbone et d'améliorer son efficacité énergétique. Cette approche, bien que non scientifiquement validée à l'époque, a suscité l'intérêt des entraîneurs et des chercheurs dans le domaine de l'entraînement sportif.

2.2 Développement scientifique et recherches modernes

L'intérêt pour l'hypoventilation volontaire a réellement émergé dans les années 1990 et 2000, avec des études menées par des chercheurs comme Woorons et Millet. Ils ont démontré que l'hypoventilation pouvait induire des adaptations physiologiques similaires à celles observées lors d'un entraînement en altitude. Le développement des outils de mesure des échanges gazeux et des analyses sanguines a permis de mieux comprendre les effets de cette technique sur la performance et l'adaptation musculaire.

3. Principe de l'hypoventilation volontaire

L'entraînement en HV repose sur plusieurs principes physiologiques et méthodologiques visant à optimiser l'efficacité de l'organisme face à un apport réduit en oxygène.

3.1 Réduction du volume ventilatoire

- L'HV consiste à inspirer et expirer moins fréquemment que lors d'une respiration normale, ce qui entraîne une accumulation de CO_2 dans le sang.
- Cette augmentation du CO_2 abaisse le pH sanguin, ce qui stimule la réponse ventilatoire et améliore la tolérance à l'hypercapnie.

3.2 Induction d'un état hypoxique localisé

- En limitant l'apport en oxygène, l'HV force l'organisme à optimiser son utilisation d' O_2 au niveau musculaire.
- Cela entraîne des adaptations comme une meilleure efficacité mitochondriale et une augmentation de la capacité des muscles à tolérer des conditions de faible oxygénation.

3.3 Renforcement des muscles respiratoires

- L'effort accru des muscles inspiratoires (diaphragme, muscles intercostaux) en HV permet d'augmenter leur endurance et leur force.
- Une meilleure capacité ventilatoire contribue à retarder l'apparition de la fatigue en compétition.

3.4 Optimisation de la gestion du CO_2

- L'hypoventilation permet d'augmenter la tolérance à l'hypercapnie, réduisant ainsi la sensation de besoin urgent de respirer lors des performances en apnée ou en endurance.
- Cette adaptation est particulièrement utile en natation, où une meilleure gestion du souffle peut améliorer l'efficacité énergétique et la performance.

4. Les différentes formes d'hypoventilation

L'hypoventilation peut être pratiquée de plusieurs manières selon l'objectif recherché :

- **Hypoventilation à faible volume pulmonaire** : consiste à expirer profondément avant d'entamer une phase d'apnée. Cette méthode favorise une hypoxie plus marquée et une augmentation de la tolérance au CO₂ Woorons , (2010).
- **Hypoventilation à haut volume pulmonaire** : se pratique après une inspiration maximale. Elle permet de prolonger la phase d'apnée et de mieux gérer l'oxygène disponible Woorons , (2014).
- **Hypoventilation combinée à un effort physique** : intégration de la technique au cours d'exercices physiques variés. Cette approche maximise l'impact de l'hypoxie sur la performance en recréant des conditions proches de celles rencontrées en altitude Woorons , (2016).

5. Bases physiologiques de l'hypoventilation et ses effets sur l'organisme

5.1 Le rôle de la respiration dans l'effort

La respiration joue un rôle essentiel dans la production d'énergie nécessaire à l'activité physique. Elle permet l'apport en oxygène (O₂) aux muscles et l'élimination du dioxyde de carbone (CO₂), produit métabolique issu de la dégradation des substrats énergétiques.

Lors d'un effort, les besoins en oxygène augmentent, ce qui entraîne une adaptation des **mécanismes respiratoires et cardiovasculaires** :

- **Augmentation de la fréquence respiratoire** pour capter plus d'oxygène.
- **Hausse du volume courant** (quantité d'air inspiré à chaque respiration) pour améliorer les échanges gazeux.
- **Amélioration de la diffusion de l'O₂** des poumons vers le sang et des muscles vers les mitochondries, où a lieu la production d'énergie (ATP). Dempsey & Wagner, (1999; Powers & Howley, (2018).

5.2 Hypoxie et performance

L'hypoxie, définie comme une diminution de la disponibilité en oxygène dans l'organisme, joue un rôle majeur dans la performance sportive. Elle peut être rencontrée naturellement en altitude ou être provoquée par des méthodes d'entraînement spécifiques, telles que l'hypoventilation volontaire. Son impact sur la performance résulte d'un ensemble d'adaptations physiologiques et métaboliques visant à compenser la réduction d'oxygène disponible.

Lorsqu'un athlète est exposé à un environnement hypoxique, la pression partielle en oxygène diminue, ce qui affecte directement l'approvisionnement des muscles en O_2 . Cette baisse d'oxygénation a plusieurs conséquences sur la performance :

- **Diminution du transport d'oxygène vers les muscles actifs** : La réduction de la pression en oxygène dans le sang limite la quantité d' O_2 pouvant être transportée par l'hémoglobine, ce qui affecte directement les capacités aérobiques.
- **Impact sur la production d'ATP** : La filière énergétique aérobie, qui repose sur l'oxydation des substrats énergétiques (glucides et lipides), devient moins efficace, entraînant une diminution de l'endurance et de la capacité à maintenir un effort prolongé.
- **Augmentation de la dépendance aux filières anaérobies** : En réponse au manque d'oxygène, le métabolisme anaérobie lactique prend le relais pour fournir rapidement de l'énergie, mais au prix d'une accumulation accrue de lactate, favorisant la fatigue musculaire.

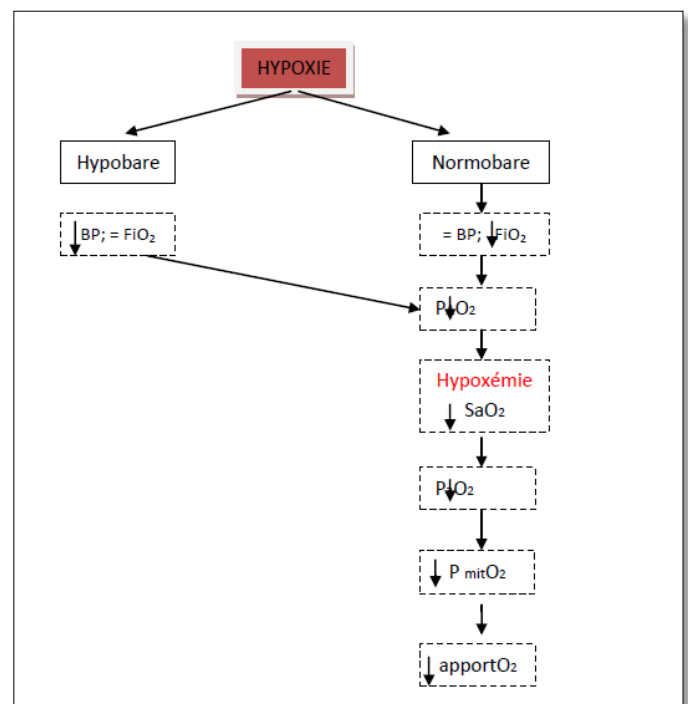


Figure 08 : Mécanismes physiologiques induits par l'hypoxie et amenant à une diminution de l'apport en O_2 aux différents tissus de l'organisme. Millet, (2015)

5.2.1 Méthodes d'entraînement en hypoxie

- **Entraînement en altitude** (Live High, Train High / Train Low) : L'entraînement en altitude est l'une des approches les plus courantes de l'hypoxie. Il repose sur l'exposition à un environnement où la pression partielle en oxygène est réduite, simulant ainsi des conditions hypoxiques. Il permet d'Augmente la production d'EPO et de globules rouges et améliore le transport d'oxygène Millet, (2010).
- **Hypoxie normobare** : Utilisation de chambres ou masques hypoxiques pour simuler l'altitude et cela permet un contrôle précis du niveau d'hypoxie sans avoir à se déplacer en altitude, un effet sur la ventilation, l'économie énergétique et l'adaptation musculaire, utile pour les nageurs, car il améliore la gestion des phases d'apnée et la capacité à tolérer le CO₂.
- **Entraînement intermittent en hypoxie** (Intermittent Hypoxic Training - IHT) : Cette méthode alterne des périodes d'exercice en conditions hypoxiques avec des périodes en normoxie. Cela permet d'Augmente la capacité des muscles à fonctionner avec moins d'oxygène, et améliore l'adaptation métabolique et la récupération après des efforts intenses. Il Peut être combiné avec d'autres formes d'entraînement pour maximiser les gains en endurance et en puissance musculaire.
- **Entraînement en hypoventilation volontaire** : Induit un stress physiologique similaire à l'hypoxie et Améliore la capacité à fonctionner en environnement hypoxique Woorons, (2014).

5.2.1 Adaptations physiologiques à l'hypoventilation

Face à l'hypoxie, l'organisme met en place des adaptations permettant d'améliorer l'efficacité du transport et de l'utilisation de l'oxygène. Ces adaptations sont essentielles pour maintenir un niveau de performance optimal en conditions de faible oxygénation.

- **Augmentation de l'érythropoïèse** : L'hypoxie stimule la sécrétion d'érythropoïétine (EPO), une hormone qui favorise la production de globules rouges. Cette adaptation augmente la capacité du sang à transporter l'oxygène et améliore ainsi l'endurance.

- **Amélioration de l'efficacité mitochondriale** : Les mitochondries, véritables centrales énergétiques des cellules musculaires, deviennent plus efficaces dans l'utilisation de l'oxygène disponible, optimisant ainsi la production d'ATP malgré des conditions hypoxiques.
- **Modifications ventilatoires** : Une augmentation de la fréquence et de l'amplitude respiratoires permet de maximiser l'apport en oxygène et d'améliorer l'élimination du dioxyde de carbone (CO_2), contribuant ainsi à une meilleure régulation de l'équilibre acido-basique.

6.L'adaptation du corps à l'entraînement en hypoventilation

L'organisme met en place plusieurs mécanismes d'adaptation respiratoire face à un stress hypoxique ou à un effort physique intense. Ces adaptations visent à optimiser la captation, le transport et l'utilisation de l'oxygène afin de maintenir la performance et retarder l'apparition de la fatigue.

6.1 Augmentation de la tolérance au CO_2

Lorsque l'apport en oxygène est réduit (ex. : entraînement en hypoxie ou hypoventilation volontaire), l'organisme réagit en augmentant la fréquence et l'amplitude respiratoires :

- **Hyperventilation** : L'augmentation du débit ventilatoire permet de maximiser la captation d' O_2 et d'éliminer plus efficacement le CO_2 . Cette réponse est particulièrement marquée en altitude ou lors d'un exercice en conditions hypoxiques.
- **Effet Bohr** : La baisse du pH sanguin induite par l'accumulation de CO_2 favorise la libération d'oxygène par l'hémoglobine aux tissus actifs, améliorant ainsi l'apport en O_2 aux muscles.
- **Augmentation du volume courant** : Une respiration plus profonde permet une meilleure diffusion de l'oxygène au niveau des alvéoles pulmonaires, améliorant ainsi son passage dans la circulation sanguine.

6.2 Optimisation du transport de l'oxygène

L'adaptation respiratoire ne se limite pas aux poumons ; elle implique aussi des modifications au niveau sanguin pour améliorer le transport de l'O₂ :

- **Augmentation de l'érythropoïèse** : L'exposition prolongée à une hypoxie (naturelle ou simulée) stimule la production d'érythropoïétine (EPO), qui favorise la formation de globules rouges et améliore la capacité de transport d'oxygène.
- **Augmentation de la concentration en hémoglobine** : Une plus grande quantité d'hémoglobine permet de transporter davantage d'O₂ vers les muscles actifs, optimisant ainsi l'efficacité énergétique.

6.3 Amélioration de l'utilisation musculaire de l'oxygène

Les muscles s'adaptent à un apport réduit en oxygène en devenant plus efficaces dans son utilisation :

- **Augmentation de la densité mitochondriale** : Une exposition prolongée à l'hypoxie stimule la biogenèse mitochondriale, améliorant ainsi l'efficacité de la production d'ATP par la filière aérobie.
- **Optimisation des enzymes oxydatives** : Une meilleure régulation des enzymes responsables du métabolisme aérobie permet une production d'énergie plus efficace, même en conditions de faible oxygénation.
- **Meilleure tolérance au lactate** : Une adaptation métabolique permet aux muscles de mieux gérer l'accumulation de lactate, retardant ainsi la fatigue.

7. Applications de l'hypoventilation dans la natation

L'hypoventilation est couramment utilisée en natation pour :

- **Augmenter la tolérance au CO₂** : Une exposition répétée à des phases d'hypoventilation permet d'accroître la tolérance à l'hypercapnie (élévation du CO₂ sanguin), ce qui améliore la gestion de l'effort sous-marin.
- **Renforcer le diaphragme et les muscles respiratoires** : La contrainte imposée par l'hypoventilation favorise le développement des muscles respiratoires, améliorant

Chapitre 02 : Hypoventilation Volontaire

ainsi la capacité à maintenir des phases d'apnée prolongées et à optimiser l'échange gazeux.

- **Meilleure synchronisation entre respiration et effort musculaire** : Une meilleure coordination entre la respiration et le mouvement permet d'optimiser l'efficacité énergétique en natation.

Chapitre 03 : L'entraînement en natation chez les handicapés moteurs

I. L'entraînement en natation chez les handicapés moteur

La natation est une discipline adaptée aux personnes en situation de handicap moteur, car l'apesanteur dans l'eau réduit l'impact des limitations physiques et permet une meilleure liberté de mouvement. En natation handisport, l'entraînement doit être rigoureusement adapté aux capacités fonctionnelles de chaque athlète afin d'optimiser la performance et de prévenir les blessures.

L'intégration des nageurs en situation de handicap dans les compétitions paralympiques repose sur un système de classification fonctionnelle qui regroupe les athlètes en fonction de leurs capacités physiques plutôt que de leur pathologie spécifique. Cette classification influence directement les stratégies d'entraînement, les techniques de nage et les performances des nageurs.

1. Classification

La natation paralympique repose sur un système de classification fonctionnelle qui regroupe les athlètes en fonction de leur capacité physique et non de leur pathologie spécifique.

- **Les catégories S1 à S10** concernent les nageurs atteints d'un handicap physique

S1-S2 : Handicap sévère (paralysie importante, quadriplégie, absence des deux jambes et d'un bras...). Mouvement limité dans l'eau.



Figure09 : Profil d'handicap classe S1-S2

S3-S4 : Handicap significatif (paralysie incomplète, amputation des deux jambes, faiblesse musculaire généralisée). Meilleure mobilité que S1-S2.



Figure10 : Profil d'handicap classe S3-S4

S5-S6 : Handicap modéré (absence des deux jambes, hémiplegie sévère, déficits de coordination). Bonne mobilité du haut du corps.



Figure11 : Profil d'handicap classe S5-S6

S7-S8 : Handicap léger (absence d'un membre, paralysie partielle, faiblesse musculaire modérée). Mobilité proche d'un nageur valide.



Figure12 : Profil d'handicap classe S7-S8

S9-S10 : Handicap mineur (absence d'une main, faiblesse musculaire légère, limitations articulaires modérées). Performances proches de celles des nageurs valides.



Figure13 : Profil d'handicap classeS9-S10

- **Les catégories S11 à S13** concernent les nageurs malvoyants ou aveugles.

S11 : Athlètes totalement aveugles (aucune perception de la lumière). Ils doivent porter des lunettes opaques en compétition.

S12 : Déficience visuelle sévère (vision limitée à quelques mètres, champ visuel très réduit).

S13 : Déficience visuelle modérée (capacité à voir des formes et des couleurs, champ visuel légèrement réduit).

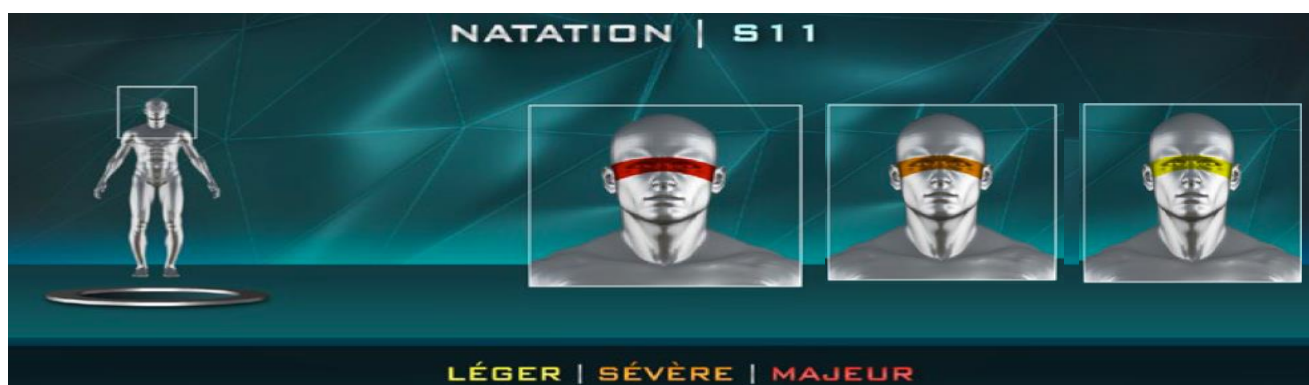


Figure14 : Profil d'handicap classe S11-S12-S13

- **La catégorie S14** : concerne les athlètes ayant une déficience intellectuelle : Cette catégorie concerne les nageurs atteints d'une déficience intellectuelle. Elle prend en compte des critères tels que le quotient intellectuel (QI inférieur à 75), des limitations dans la prise de décision et la compréhension tactique.

Chaque nageur est évalué par un comité médical pour être classé dans la catégorie qui correspond le mieux à son niveau de handicap. Ces classifications permettent une compétition équitable en regroupant les athlètes ayant des capacités similaires.

2. L'influence de la classification sur l'entraînement et la compétition

- **Équité et compétitivité** : Le système de classification vise à équilibrer les chances entre athlètes ayant des limitations fonctionnelles différentes.
- **Influence sur la technique** : Les règles concernant les départs, les virages et l'arrivée sont adaptées en fonction des capacités motrices du nageur.
- **Importance de la stratégie de course** : Les nageurs doivent adapter leur effort en fonction de leurs forces et limitations, en privilégiant par exemple des départs explosifs ou des virages optimisés pour minimiser la perte de vitesse.

3. Les facteurs influençant sur la performance des nageurs en situation de handicap

La performance en natation handisport repose sur une combinaison de facteurs physiologiques, biomécaniques et psychologiques, influencés par le type et le degré du handicap. L'optimisation des capacités restantes, l'adaptation des techniques d'entraînement et l'utilisation d'équipements spécifiques jouent un rôle crucial dans l'amélioration des performances des nageurs en situation de handicap.

3.1 Adaptions technique et biomécanique

Les nageurs en situation de handicap doivent adapter leur technique de nage en fonction de leurs limitations fonctionnelles.

- **Modifications de la propulsion** : La propulsion est compensée par une meilleure utilisation des segments valides. Par exemple, les nageurs amputés développent une technique spécifique en maximisant l'amplitude des mouvements des bras ou des jambes restantes.
- **Optimisation de la flottabilité** : La distribution du poids corporel et la capacité de flottaison varient selon le type de handicap, influençant l'alignement du corps dans l'eau.
- **Travail sur la symétrie** : Chez les nageurs atteints d'hémiplégie ou de paralysie partielle, un déséquilibre dans les mouvements peut entraîner une perte d'efficacité hydrodynamique. Un entraînement spécifique vise à améliorer la coordination et à réduire la traînée.

3.2 Capacité physiologique et énergétique

Les exigences physiologiques de la natation handisport diffèrent selon le type de handicap et la classification fonctionnelle du nageur.

- **Adaptation des systèmes énergétiques** : Selon le type de déficience (neurologique, musculaire ou articulaire), les capacités aérobie et anaérobie peuvent être altérées.
- **Consommation d'oxygène et coût énergétique** : Certains nageurs doivent fournir un effort supplémentaire pour compenser un déséquilibre moteur, ce qui entraîne une augmentation de la dépense énergétique pour une même distance parcourue.
- **Récupération et fatigue** : Les déficiences neuromusculaires peuvent impacter le temps de récupération après un effort intense, nécessitant des protocoles d'entraînement adaptés.

3.3 Aspects psychologiques et motivationnels

La préparation mentale joue un rôle essentiel dans la performance des nageurs en situation de handicap.

- **Gestion de la motivation et de la résilience** : Les athlètes doivent surmonter des défis liés à leur handicap et à la perception de la compétition.
- **Stratégies de concentration et de visualisation** : L'entraînement mental aide à améliorer la confiance en soi et la gestion du stress avant les compétitions.
- **Impact du soutien social et environnemental** : L'encadrement des entraîneurs, le soutien des proches et l'accès aux infrastructures adaptées influencent la progression et la performance.

4.Particularités physiologiques des nageurs handicapés moteur

Les particularités physiologiques des nageurs en situation de handicap moteur influencent plusieurs qualités physiques essentielles à la performance en natation :

4.1 Force musculaire :

Les déficiences neuromusculaires ou les atteintes motrices réduisent souvent la force des membres affectés, ce qui diminue la capacité de propulsion dans l'eau. Selon la nature du handicap, certains muscles compensent cette faiblesse, entraînant des asymétries dans l'effort.

4.2 Vitesse :

La vitesse en natation dépend de la puissance musculaire et de l'efficacité des appuis. Chez les nageurs en situation de handicap moteur, des limitations au niveau de la coordination et de la poussée peuvent réduire leur capacité à générer une accélération rapide et à maintenir une vitesse élevée.

4.3 Souplesse et mobilité articulaire

Certains handicaps entraînent des raideurs articulaires ou des amplitudes de mouvement limitées, ce qui peut affecter l'efficacité des battements de jambes et la fluidité des

mouvements. D'autres pathologies, au contraire, peuvent provoquer une hyperlaxité, rendant le contrôle des mouvements plus difficile.

4.4 Coordination

La symétrie et la synchronisation des mouvements sont essentielles en natation. Les nageurs en situation de handicap moteur peuvent présenter des déficits de coordination dus à une atteinte neurologique ou musculaire, rendant la maîtrise technique plus complexe.

4.5 Capacité respiratoire et endurance

Certains déficits moteurs affectent les muscles respiratoires, réduisant la capacité pulmonaire et l'efficacité de l'oxygénation. Cela peut limiter l'endurance et la capacité à maintenir un effort prolongé, nécessitant des stratégies spécifiques d'adaptation.

II. Applications de l'hypoventilation volontaire en natation chez les nageurs en situation de handicap moteur :

Chez les nageurs en situation de handicap moteur, l'entraînement en hypoventilation volontaire (HV) peut être particulièrement bénéfique pour compenser certaines limitations physiologiques et optimiser la performance en milieu aquatique. En réduisant délibérément la fréquence respiratoire pendant l'effort, cette méthode permet d'améliorer l'efficacité de l'oxygénation musculaire et d'accroître la tolérance à l'hypoxie, ce qui est essentiel pour les athlètes dont les capacités pulmonaires ou musculaires sont altérées par leur handicap.

L'entraînement en HV favorise également le renforcement des muscles respiratoires, notamment le diaphragme et les muscles intercostaux, ce qui peut être particulièrement avantageux pour les nageurs présentant une faiblesse musculaire ou une atteinte neurologique affectant la fonction respiratoire. De plus, la réduction du nombre d'inspirations durant la nage permet de minimiser les perturbations de l'alignement hydrodynamique, optimisant ainsi la propulsion et l'efficacité technique.

Sur le plan métabolique, l'exposition régulière à des conditions de faible disponibilité en oxygène stimule l'adaptation des systèmes aérobie et anaérobie, ce qui peut aider les nageurs

à mieux gérer l'accumulation de lactate et à retarder la fatigue musculaire. Ainsi, l'intégration de l'hypoventilation volontaire dans l'entraînement des nageurs en situation de handicap moteur représente une approche innovante et complémentaire pour améliorer leur endurance, leur puissance et leur performance globale en natation.

1. Rôle de l'hypoventilation volontaire chez les nageurs en situation de handicap moteur

Les nageurs en situation de handicap moteur rencontrent des défis spécifiques, notamment :

- **Une capacité pulmonaire parfois réduite**, en raison d'un tonus musculaire altéré ou d'une atteinte neurologique.
- **Un contrôle moteur limité**, impactant la coordination des mouvements et la synchronisation avec la respiration.
- **Des adaptations physiologiques spécifiques**, nécessitant des stratégies d'entraînement ciblées pour optimiser l'endurance et la gestion de l'effort.

L'hypoventilation volontaire peut jouer un rôle clé en aidant ces athlètes à améliorer leur capacité respiratoire, leur tolérance à l'hypoxie et leur performance en natation.

2. Effets physiologiques de l'hypoventilation chez les nageurs handicapés moteurs

2.1 Amélioration de l'efficacité ventilatoire

- L'HV stimule les muscles respiratoires et améliore leur endurance, permettant aux nageurs de mieux contrôler leur respiration malgré d'éventuelles limitations motrices.
- Une meilleure oxygénation musculaire est favorisée par l'adaptation du corps à l'hypoxie, réduisant ainsi la fatigue prématurée.

2.2 Renforcement des muscles respiratoires et optimisation de la ventilation

- L'HV sollicite les muscles inspiratoires et expiratoires, augmentant leur force et leur coordination.
- Chez les nageurs atteints de paralysie cérébrale ou de myopathies, cela peut améliorer leur capacité à maintenir une ventilation efficace durant l'effort.

3. Impact de l'entraînement en hypoventilation sur la performance des nageurs en situation de handicap moteur

3.1 Augmentation de l'endurance et de la tolérance au CO₂

- L'HV aide les nageurs à prolonger les phases d'apnée et à mieux gérer l'accumulation de CO₂.
- Cela est particulièrement bénéfique pour les épreuves nécessitant une maîtrise respiratoire poussée, comme les courses de sprint ou de demi-fond.

3.2 Amélioration de la gestion de l'effort et de la récupération

- Une respiration mieux contrôlée permet de réduire la fatigue respiratoire et musculaire.
- L'entraînement en HV favorise une récupération plus rapide après l'effort, un facteur clé chez les nageurs handicapés dont la récupération peut être plus lente en raison de leur condition physique.

4. Stratégies d'intégration de l'hypoventilation volontaire dans l'entraînement des nageurs en situation de handicap moteur

Pour intégrer l'HV dans l'entraînement des nageurs handicapés moteurs, plusieurs stratégies peuvent être mises en place :

- **Exercices progressifs d'apnée** : Alternier des phases de respiration normale et d'hypoventilation pour habituer l'athlète à la tolérance à l'hypoxie.
- **Entraînement en immersion** : Effectuer des exercices en HV sous l'eau pour renforcer la coordination respiratoire et musculaire.
- **Adaptation individuelle** : Prendre en compte les spécificités de chaque nageur (force musculaire, limitations articulaires) pour ajuster l'intensité et la durée des exercices en HV.

Cadre pratique

Chapitre 1 : Méthodologie de la recherche

1. Objectif de la recherche

Les objectifs principaux de notre projet de recherche sont :

- 1) Évaluer l'efficacité de l'entraînement en hypoventilation volontaire pour améliorer la performance des nageurs handicapés moteur
- 2) Comparer les performances des nageurs handicapés moteur qui ont suivi un programme d'entraînement en hypoventilation volontaire avec ceux qui ont suivi un programme d'entraînement en normoxie, afin de déterminer les avantages potentiels de cette méthode spécifique.
- 3) Analyser les changements dans la capacité à récupérer après les tests effectués chez les des nageurs handicapés moteur qui ont été soumis à un entraînement en hypoventilation volontaire, en mettant l'accent sur la fatigue.

2. Importance de la recherche

La recherche sur l'impact de l'entraînement en hypoventilation volontaire sur la performance des nageurs handicapés moteurs de l'N.G.A présente plusieurs implications et importance potentielle. Voici quelques raisons pour lesquelles cette recherche peut être considérée comme importante :

- 1) Amélioration des performances athlétiques : Comprendre comment l'entraînement en hypoventilation volontaire peut affecter sur les nageurs handicapés moteurs peut ouvrir de nouvelles possibilités pour améliorer leurs performances. Si cette méthode d'entraînement s'avère efficace, elle peut être intégrée aux programmes d'entraînement existants pour aider les nageurs à atteindre un meilleur niveau de forme physique et d'endurance.
- 2) Optimisation de l'entraînement : En étudiant les effets physiologiques de l'entraînement en hypoventilation volontaire, cette recherche peut contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents et des adaptations spécifiques induites par cette méthode d'entraînement. Ces connaissances peuvent permettre de développer des protocoles d'entraînement plus précis et efficaces, adaptés aux besoins spécifiques des footballeurs.

3) Prévention des blessures : L'amélioration de la performance peut avoir un impact sur la fatigue musculaire et la prévention des blessures chez les footballeurs.

Une meilleure endurance peut réduire les risques de blessures liées à la fatigue et permettre aux joueurs de maintenir un niveau de performance élevé tout au long d'un match.

4) Avancement des connaissances scientifiques : La recherche sur l'entraînement en hypoventilation volontaire dans le contexte de la natation contribue à l'expansion des connaissances scientifiques dans le domaine de la performance sportive. En explorant cette méthode d'entraînement spécifique, nous contribuons à la littérature existante et à la compréhension globale des stratégies d'entraînement pour les athlètes.

En bref, la recherche sur l'impact de l'entraînement en hypoventilation volontaire sur la performance des nageurs handicapés moteurs de l'N.G.A Akbou, pourrait avoir des contributions importantes pour l'amélioration des performances athlétiques, l'optimisation de l'entraînement, la prévention des blessures, et l'avancement des connaissances scientifiques.

3. Tâches de la recherche :

Afin d'atteindre les objectifs de cette recherche on a suivi les tâches suivantes :

- Revue de littérature : Effectuation d'une revue approfondie de la littérature existante sur l'entraînement en hypoventilation volontaire chez les nageurs et la performance sportive et la récupération chez les nageurs handicapés moteurs. Identification des travaux antérieurs pertinents, les lacunes dans les connaissances actuelles et les théories sous-jacentes.

- Définition des critères de sélections des nageurs handicapés moteurs de l'N.G.A d'Akbou qui participeront à cette étude : une pratique régulière de la natation (au moins trois séances par semaine), une stabilité de l'état de santé compatible avec la mise en œuvre d'un programme d'entraînement spécifique, ainsi qu'une classification reconnue dans les catégories de handicap moteur selon les normes en vigueur (classification fonctionnelle de la natation handisport). De plus, les nageurs devaient démontrer un niveau d'autonomie suffisant pour suivre les consignes d'entraînement et participer aux évaluations. Le consentement éclairé des participants ou de leur représentant légal a été recueilli avant le commencement de l'étude.

- Elaboration d'un programme d'entrainement en hypoventilation volontaire pour les participants, avec des instructions claires sur les techniques à utiliser, la fréquence et l'intensité de l'entrainement.

Chapitre 01 : Méthodologie de la recherche

- Superviser l'entraînement des participants pour assurer que les protocoles sont respectés et que les exercices sont effectués en toute sécurité.
- Effectuer les tests physiques sur les deux groupes
- Analyse des données : Analyse des données collectées à l'aide de méthodes statistiques appropriées. Examiner les résultats pour déterminer si l'entraînement en hypoventilation volontaire a eu un impact significatif sur la performance sportive des nageurs handicapés moteurs.
- Interprétation des résultats de notre étude et vérification de notre hypothèse de recherche. - - Discussion des implications et de la signification des résultats obtenus, en tenant compte des travaux antérieurs et des limites de votre étude.
- Rédaction du mémoire : Présentation de nos résultats, nos analyses et nos conclusions de manière claire et organisée dans notre mémoire de fin d'études. Fournir un contexte théorique solide, une méthodologie détaillée, une discussion approfondie des résultats et des références appropriées.

4. Échantillon de la recherche :

L'échantillon de cette étude était constitué de 12 nageurs (NGA d'Akbou) toute catégorie dont 6 nageurs représentant l'échantillon expérimental et 6 nageurs représentant l'échantillon témoin, de la saison 2024/2025.

Hétérogénéité fonctionnelle et de classification : bien que tous les participants soient des nageurs en situation de handicap moteur, leurs profils diffèrent largement. Le groupe témoin comprenait des athlètes classifiés S6 à S11, incluant des handicaps relativement légers, tandis que le groupe expérimental était composé de nageurs classifiés S7 à S9, avec une homogénéité légèrement plus marquée mais une autonomie souvent réduite. Cette hétérogénéité constitue un biais méthodologique non négligeable qui affecte la comparabilité directe des groupes.

Chapitre 01 : Méthodologie de la recherche

Tableau 02 : caractéristique de l'échantillon

Groupe témoin				Groupe expérimental		
Sujet	Classe d'handicap	Poids (KG)	Taille (cm)	Classe d'handicap	Poids (KG)	Taille (cm)
Sujet1	S09	51	177	S08	68	156
Sujet2	S08	77	180	S09	65	171
Sujet3	S11	79	182	S09	58	168
Sujet4	S09	62	160	S07	64	175
Sujet5	S09	87	181	S09	85	173
Sujet6	S06	50	125	S07	62	165
Moyenne		67,666	167,5		67	168
Ecart type		15,564	22,37		9,42	6,87

5. Outils et moyens de recherche utilisés :

5.1 Analyse bibliographique :

La méthode que nous avons choisie pour réaliser notre travail est la revue de littérature. Cela consiste à lire et analyser différents documents en lien avec notre sujet, comme des livres, des articles scientifiques, des mémoires de fin d'études ou encore des conférences. Nous avons aussi consulté des sites internet fiables pour compléter nos recherches. Cette analyse nous a permis de rassembler des informations théoriques utiles pour bien comprendre notre thème et construire notre étude.

5.2 Méthode expérimentale :

Dans cette étude, nous avons utilisé la méthode expérimentale. Elle consistait à tester un programme d'entraînement en hypoventilation volontaire sur un groupe de six nageurs en situation de handicap moteur (groupe expérimental). Le but est de voir si cette méthode a un impact sur leurs performances. Pour cela, nous avons comparé leurs résultats à ceux d'un autre groupe (groupe témoin) qui s'entraînait normalement, sans hypoventilation, en utilisant des tests de terrain programmés.

5.3 Méthode descriptive :

Pour analyser les données recueillies, une approche descriptive a été adoptée. Cette méthode statistique a permis de décrire les caractéristiques des variables étudiées, telles que les moyennes, les écarts-types, et les distributions. Elle a également été utilisée pour présenter les résultats sous forme de tableaux, de graphiques et de commentaires. L'approche descriptive a fourni une vision détaillée et claire des données collectées, facilitant ainsi leur interprétation et leur compréhension.

5.4 Démarche pratique :

Nous avons prévu de suivre plusieurs étapes ;

- 1) Effectuer les tests physiques sur les deux groupes. (pré-test)
- 2) mettre en place un protocole d'entraînement en hypoventilation volontaire de 12 semaines (36 séances d'entraînement).
- 3) Utilisez l'échelle de Borg pour évaluer la perception de l'effort des participants lors des tests et de la récupération.
- 4) A la fin du protocole d'entraînement on refait les mêmes tests physiques (post-test)
- 5) recueil de données sur les performances enregistrés avant et après le protocole d'entraînement.

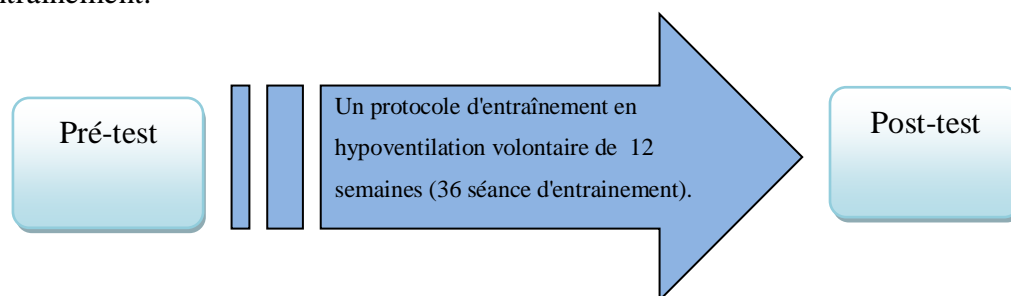


Figure15 : démarche pratique de notre étude.

6. Le test de terrain :

Pour évaluer la performance de notre échantillon de recherche, on a choisis le test d'endurance demi-Cooper et les tests de vitesse 25-50-100m

▪ **Test demi-Cooper**

Le test demi-Cooper en natation est un test d'endurance aérobie qui consiste à nager la plus grande distance possible en 6 minutes, dans un style libre (généralement en crawl), et sur une distance librement gérée par le nageur. Il est utilisé pour évaluer la capacité aérobie d'un nageur notamment chez les jeunes, les sportifs en situation de handicap. Ce test permet d'estimer indirectement le VO_2max (consommation maximale d'oxygène), un indicateur clé de la performance en endurance

▪ **Tests de vitesse 25-50-100m**

Les tests de vitesse en natation consistent à parcourir une distance définie (25 m, 50 m ou 100 m) le plus rapidement possible. Ces tests permettent d'évaluer les capacités anaérobies alactiques et lactiques, la puissance de nage, la technique en vitesse maximale, ainsi que les progrès de l'athlète dans des conditions de performance.

▪ **Protocole des tests en natation (test demi-Cooper et tests de vitesse 25 m, 50 m, 100 m)**

Les pré-tests et post-tests des test de demi-Cooper et de vitesse 25-50-100m ont été réalisés dans une piscine couverte de 25 mètres, afin d'éliminer les perturbations climatiques telles que le vent ou les variations de température. Cette configuration garantit une standardisation des conditions de test pour tous les participants.

a. Le matériel utilisé comprenait :

- Un chronomètre électronique de précision (1/100 s)
- Une fiche d'enregistrement des distances et des temps
- Une fiche d'enregistrement des perceptions de l'effort (RPE)
- Des repères visuels pour les départs, arrivées et longueurs
- Un assistant chronométrateur pour signaler le départ et arrêter le temps
- Un compteur de longueurs pour le test demi-Cooper

b. Protocole des tests :

Avant la réalisation des tests, tous les participants ont effectué :

- Un échauffement structuré en bassin (général + spécifique), incluant des éducatifs techniques
- Une séance d'adaptation à la technique d'hypoventilation volontaire, utilisée dans le programme d'entraînement

a) Test demi-Cooper : Le test consistait à nager la plus grande distance possible en 6 minutes, en style libre, sur un aller-retour continu de 25 mètres.

Les consignes données aux participants étaient :

- Maintenir un effort constant et maximal pendant les 6 minutes
- Respirer librement, sans contrainte ventilatoire durant le test
- Éviter les pauses ou les arrêts prolongés

L'évaluation s'est faite à l'aide d'un chronomètre centralisé pour le temps total, tandis que le nombre de longueurs effectuées a été comptabilisé manuellement pour déterminer la distance parcourue. Des encouragements verbaux étaient régulièrement prodigués pour maintenir la motivation.

À la fin du test, la distance totale en mètres a été enregistrée, afin de réaliser les calculs nécessaires pour l'analyse aérobie, et la perception de l'effort de chaque nageur est notée.

b) Tests de vitesse (25 m, 50 m, 100 m nage libre) : Ces tests avaient pour objectif d'évaluer les capacités de vitesse maximale sur différentes distances.

Le protocole prévoyait :

- Un départ standardisé (plongé ou dans l'eau selon le profil du nageur)
- Une exécution à intensité maximale, sans gestion d'allure
- Le respect des règles techniques de la nage libre
- Un temps de récupération complet entre chaque test (5 à 10 minutes)

Les distances ont été nagées en ligne droite :

Chapitre 01 : Méthodologie de la recherche

- 25 m sans virage
- 50 m et 100 m avec virages réglementaires

Chaque performance a été chronométrée au centième de seconde et notée sur une fiche dédiée. Ces données ont ensuite été exploitées pour analyser les qualités de vitesse pure et réaliser les calculs appropriés.

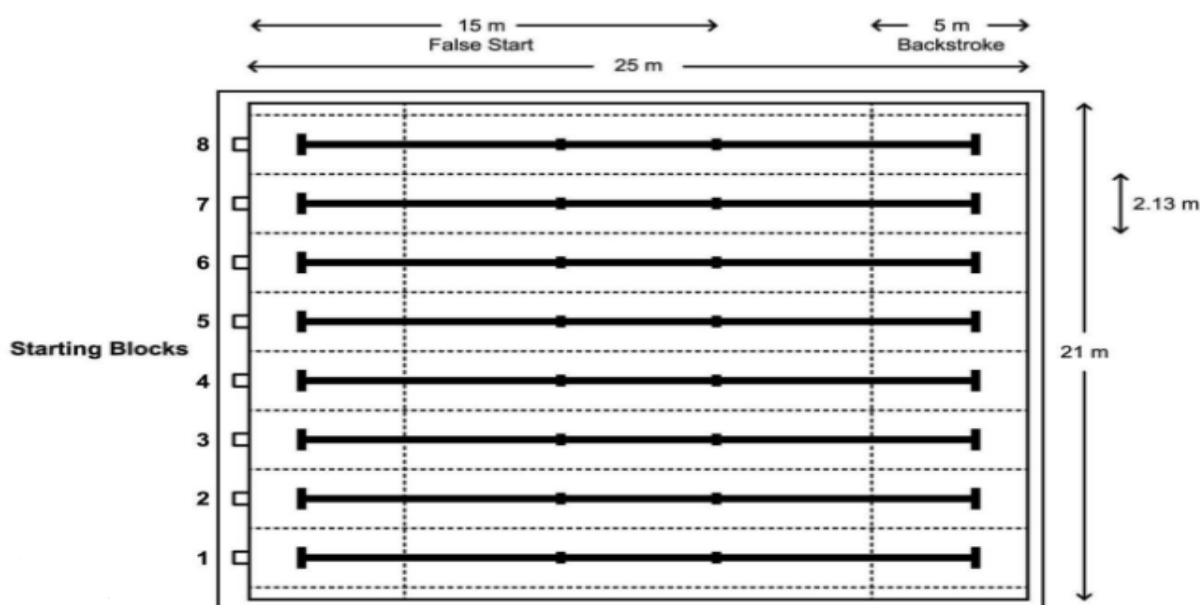


Figure16 : bassin 25m pour effectuer les tests 25 50 100m et Demi Cooper

▪ Mesure des performances :

Les données obtenues des tests réalisés combinés avec le poids des sujets nous permettent de calculer plusieurs paramètres à savoir :

a) Test demi-Cooper (6 minutes de nage libre) :

- Vitesse moyenne (V moy) :
- Puissance aérobie estimée

$$\text{Vitesse moyenne} = \frac{\text{Distance (en mètres)}}{\text{Temps (en secondes)}}$$

b) Tests de vitesse (25 m, 50 m, 100 m) :

$$\text{Puissance estimée (W)} = \text{vitesse (m/s)}^3 \times k$$

- Vitesse moyenne (V moy)
- Puissance moyenne (P moy)

▪ Le RPE (Rating of Perceived Exertion)

Dans cette étude, nous avons utilisé l'échelle de Foster CR10 (Category Ratio Scale), c'est une méthode utilisée pour estimer la charge interne ressentie par les athlètes, indépendamment des paramètres physiologiques objectifs tels que la fréquence cardiaque, la consommation d'oxygène ou la lactatémie. L'échelle va de 0 (repos complet) à 10 (effort maximal), chaque niveau correspondant à une perception graduée de l'intensité. À la fin des tests, les participants ont été invités à indiquer leur niveau d'effort perçu sur cette échelle. Les scores RPE recueillis ont ensuite été utilisés comme indicateur complémentaire pour apprécier la réponse subjective à l'effort fourni.

7. Le protocole d'entraînement :

Le programme d'entraînement qu'on a élaboré s'étalait sur 12 semaines, en réalisant 3 séances d'entraînements par semaines espacés de 48h au minimum.

Chapitre 01 : Méthodologie de la recherche

Tableau03 : Planification du programme d'entraînement en hypoventilation.

Nombre de semaines		Nombre de Séances Programme à réalisés	Objectifs
Semaine 1-4 : Introduction à l'hypoventilation	Séance1	-Échauffement: 10min de nage libre -4x50m nage libre avec 5 respirations (repos de30 sec entre les séries) -4x25m hypoventilation(respire tous les 5 mouvements) -Récupération: 5min de nage douce	S'habituer à la reduction de la fréquence respiratoire.
	Séance2	-Échauffement: 10min de nage libre -5 x50m nage libre avec 4 respirations -4x25m hypoventilation (respire tous les 4mouvements) -Récupération :5min de nage douce	
	Séance3	-Échauffement :10min de nage libre -6 x50 m nage libre avec 3 respirations -4x25 m hypoventilation (respire tous les 3 mouvements) -Récupération: 5min de nage douce	
Semaine 5-8 : Augmentationde l'intensité	Séance1	-Échauffement:10min de nage libre -4 x100m nage libre avec 4 respirations -4x50m hypoventilation (respire tous les 4 mouvements) -Récupération: 5min de nage douce	Augmenter la durée et l'intensitédes séances d'hypoventilatio n.
	Séance2	-Échauffement: 10min de nage libre -5 x100m nage libre avec 3 respirations -4x50m hypoventilation (respire tous les 3 mouvements) -Récupération: 5min de nage douce	
	Séance3	-Échauffement: 10min de nage libre -6 x100m nage libre avec 2 respirations -4x50m hypoventilation (respire tous les 2 mouvements) -Récupération: 5min de nage douce	
Semaine 9-12 : Consolidationet performance	Séance1	-Échauffement: 10 min de nage libre -4 x150m nage libre avec 3 respirations -4x75m hypoventilation (respire tous les 3 mouvements) -Récupération: 5min de nage douce	Maximiser l'efficacité de l'hypoventilatio netaméliorerla performance globale
	Séance2	-Échauffement: 10min de nage libre -5 x150m nage libre avec 2 respirations -4x75m hypoventilation (respire tous les 2 mouvements) -Récupération: 5min de nage douce	
	Séance3	-Échauffement: 10min de nage libre -6 x150m nage libre avec 1 respiration -4x75mhypoventilation (respire tous les mouvements) -Récupération :5min de nage douce	

7.1 Matériels utilisé pendant l'entraînement :

- Une piscine équipée
- Un sifflet
- Un chronomètre

7.2 Méthode statistique

Dans notre étude, nous avons utilisé une méthode statistique pour analyser les résultats obtenus. L'objectif était de rendre les données plus compréhensibles, en leur donnant une interprétation chiffrée et objective. Pour cela, nous avons effectué plusieurs calculs à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2007, ce qui nous a permis d'extraire des informations précises à partir des données brutes.

Les outils statistiques que nous avons utilisés sont les suivants :

- **La moyenne**
- **L'écart-type**
- **Le test T de Student**

a) Moyenne :

La moyenne correspond à la somme de toutes les valeurs mesurées, divisée par le nombre total de valeurs. Elle permet d'obtenir une valeur représentative de l'ensemble des résultats. Elle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

avec :

\bar{x} : moyenne arithmétique

Σ : symbole de sommation

X : valeur de paramètre

n : effectif

- b) **L'écart-type** : Il représente une caractéristique de dispersion des valeurs autour de la moyenne. Il est défini par la formule suivante :

$$S = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}$$

Avec :

S : L'écart type

Σ : symbole de sommation

\bar{x} : moyenne arithmétique

x : valeur de paramètre

n : effectif

c) **Test de STUDENT (T) :**

La formule du test de Student, est utilisée pour déterminer si la différence entre les moyennes de deux échantillons est statistiquement significative. Il existe deux types de tests de Student : le t-test pour échantillons indépendants et le t-test pour échantillons appariés.

La formule du t-test pour échantillons indépendants est la suivante :

$$t = \frac{(x_1 - x_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

$$t = (x_1 - x_2) / \sqrt{((s_1^2 / n_1) + (s_2^2 / n_2))}$$

x_1 et x_2 : les moyennes des deux échantillons

s_1 et s_2 : les écarts types des deux échantillons

n_1 et n_2 : les tailles des deux échantillons

La formule du t-test pour échantillons appariés est légèrement différente :

$$t = \frac{(\bar{x}_d - \mu_d)}{(sd / \sqrt{n})}$$

\bar{x}_d : moyenne des différences des paires appariées

μ_d : différence moyenne attendue

sd : écart type des différences des paires appariées

n : nombre de paires appariées.

Chapitre 2 : Présentation et interprétation des résultats

1. Présentation et interprétation des résultats :

Tableau 04 : Comparaison des performances du groupe témoin (pré-tests et post tests)

Groupe témoin	Pré-test				Post-test			
Sujet	Test25m (s)	Test 50m (s)	Test 100m (s)	Demi- Cooper (m)	Test 25m (s)	Test 50m (s)	Test 100m (s)	Demi- Cooper (m)
1	14,64	43,04	104,57	240	15,90	46,68	108.39	320
2	22,29	68,80	157,05	200	22,27	70,18	160.12	220
3	28,97	92,65	264,32	160	28,18	80,65	207.53	190
4	29,55	91,85	201,64	140	33,51	91,91	205.87	150
5	16,38	43,66	102,62	260	20,18	44,19	99.77	280
6	28,30	86,42	164,56	200	31,18	88,85	176.52	240
Moyenne	23,56	71,07	165.80	200	25,20	70,41	159,70	233,33
Ecart type	6,62	23,13	61,32	45.61	6,84	20,77	46,75	61,21

Tableau 05 : Les qualités vitesse puissance calculées à partir des performances des nageurs du groupe témoin lors du pré-tests.

Sujet	25mv (m/s)	25mP (W)	50mv (m/s)	50mP (W)	100m v(m/s)	100m P(W)	Demi- Cooper V (m/s)	Demi- Cooper P (W)
1	1,71	199,19	1,16	62,71	0,96	34,98	1,00	40,00
2	1,12	56,44	0,73	15,35	0,64	10,33	0,83	23,15
3	0,86	25,71	0,54	6,29	0,38	2,17	0,67	11,85
4	0,85	24,22	0,54	6,45	0,50	4,88	0,58	7,94
5	1,53	142,21	1,15	60,08	0,97	37,01	1,08	50,86
6	0,88	27,58	0,58	7,75	0,61	8,98	0,83	23,15
Moyenne	1,16	79,23	0,78	26,44	0,68	16,39	0,83	26,16
Écart- type	0,36	74,30	0,28	26,20	0,23	14,85	0,18	15,77

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Tableau 06 : Les qualités vitesse puissance calculées a partir des performances des nageurs du groupe témoin lors du post test

Sujet	25mv (m/s)	25mP (W)	50mv (m/s)	50mP (W)	100m v(m/s)	100m P(W)	Demi- CooperV (m/s)	Demi - Coop erP (W)
1	1,57	155,49	1,07	49,16	0,92	31,41	1,33	94,81
2	1,12	56,59	0,71	14,47	0,62	9,74	0,92	30,81
3	0,89	27,93	0,62	9,53	0,48	4,48	0,79	19,85
4	0,75	16,61	0,54	6,44	0,49	4,58	0,63	9,77
5	1,24	76,05	1,13	57,94	1,00	40,28	1,17	63,52
6	0,80	20,62	0,56	7,13	0,57	7,27	1,00	40,00
Moyenne	1,06	59,05	0,77	24,11	0,68	16,29	0,97	43,13
Écart- type	0,30	51,86	0,24	21,93	0,19	14,63	0,24	29,95

Tableau 07 : Les valeurs de la perception d'efforts RPE enregistrées après le pré et post tests pour le groupe témoin.

Groupe témoin	RPE	
Sujet	Pré-test	Post-test
1	06	06
2	07	07
3	08	07
4	09	08
5	07	07
6	07	06
Moyenne	7,33	6,83
Ecart type	1,03	0,75

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Tableau 08 : comparaison des performances moyennes enregistrées Lors du pré et post tests du groupe témoin

Test	Moyenn e (pré- test)	Moyenne (post- test)	T.Cal	T.Tab	Seuil de significatio n ($\alpha=0.05$)
25mv (m/s)	1.16±0.36	1.06±0.30	-1.53	2.571	Non significatif
25mP (W)	79.23±74.30	59.05±51.86	-1.52	2.571	Non significatif
50mv (m/s)	0.78±0.28	0.77±0.24	-0.24	2.571	Non significatif
50mP (W)	26.44±26.20	24.11±21.93	-0.70	2.571	Non significatif
100mv (m/s)	0.68±0.23	0.68±0.19	0.00	2.571	Non significatif
100mP (W)	16.39±14.85	16.29±14.63	-0.10	2.571	Non significatif
Demi- Cooper v	0.83±0.18	0.97±0.24	2.86	2.571	Significatif
Demi- Cooper P	26.16±15.77	43.13±29.95	2.90	2.571	Significatif
RPE	7,33±1,03	6,83±0,75	-2.24	2.571	Non significatif

Les tableaux présentent les performances moyennes du groupe témoin avant (pré-test) et après (post-test) un cycle d'entraînement (12 semaines). Les données incluent la vitesse (m/s) et la puissance (W) pour les différentes distances 25-50-100m, ainsi que les résultats du test Demi-Cooper (endurance).

- 25m Vitesse (m/s)

Au pré-test, une moyenne de $1,16 \pm 0,36$ m/s a été enregistrée, tandis qu'au post-test, elle est passée à $1,06 \pm 0,30$ m/s.

L'analyse statistique (T Student) n'a pas montré de différence significative entre les deux mesures, avec un t calculé (-1,53) inférieur au t tabulé ($\pm 2,571$) à un seuil de signification de $\alpha = 0,05$.

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

- 25m Puissance (W)

La puissance moyenne était de $79,23 \pm 74,30$ W au pré-test et a diminué à $59,05 \pm 51,86$ W au post-test.

L'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative, le t calculé (-1,52) restant inférieur au t tabulé ($\pm 2,571$).

- 50m Vitesse (m/s)

Les résultats montrent une légère baisse, passant de $0,78 \pm 0,28$ m/s (pré-test) à $0,77 \pm 0,24$ m/s (post-test).

Le test statistique confirme l'absence de différence significative, avec un t calculé (-0,24) bien en dessous du seuil critique.

- 50m Puissance (W)

La puissance moyenne a légèrement diminué, allant de $26,44 \pm 26,20$ W (pré-test) à $24,11 \pm 21,93$ W (post-test).

L'analyse statistique indique que cette différence n'est pas significative (t calculé = -0,70 vs t tabulé = $\pm 2,571$).

- 100m Vitesse (m/s)

Les moyennes sont restées strictement identiques (**$0,68 \pm 0,23$ m/s** en pré-test vs $0,68 \pm 0,19$ m/s en post-test).

Le test T Student (t calculé = 0,00) confirme l'absence totale de différence significative.

- 100m Puissance (W)

Les valeurs sont restées très proches ($16,39 \pm 14,85$ W en pré-test vs $16,29 \pm 14,63$ W en post-test).

L'analyse statistique (t calculé = -0,10) ne montre aucune différence significative.

- Demi-Cooper Vitesse (m/s)

Une augmentation significative a été observée, passant de $0,83 \pm 0,18$ m/s (pré-test) à $0,97 \pm 0,24$ m/s (post-test).

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

L'analyse statistique révèle une différence significative, avec un t calculé (2,86) supérieur au t tabulé ($\pm 2,571$).

- Demi-Cooper Puissance (W)

La puissance a augmenté de manière significative, allant de $26,16 \pm 15,77$ W (pré-test) à $43,13 \pm 29,95$ W (post-test).

Le test T Student confirme cette amélioration, avec un t calculé (2,90) supérieur au seuil critique.

- RPE (Perception de l'effort)

La perception d'effort a légèrement diminué, passant de $7,33 \pm 1,03$ (pré-test) à $6,83 \pm 0,75$ (post-test).

Cependant, l'analyse statistique (t calculé = -2,24) ne montre pas de différence significative, car le t calculé reste légèrement en dessous du t tabulé (2,57)

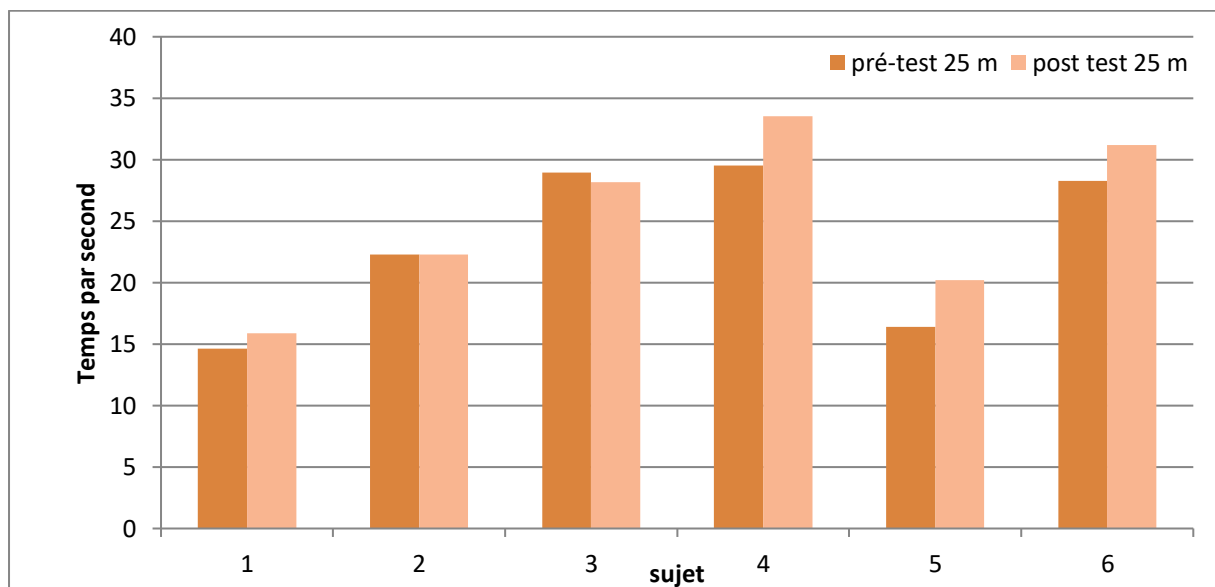


Figure 17 : La différence enregistré entre le pré et post test vitesse 25 m de chaque sujet du groupe Témoin.

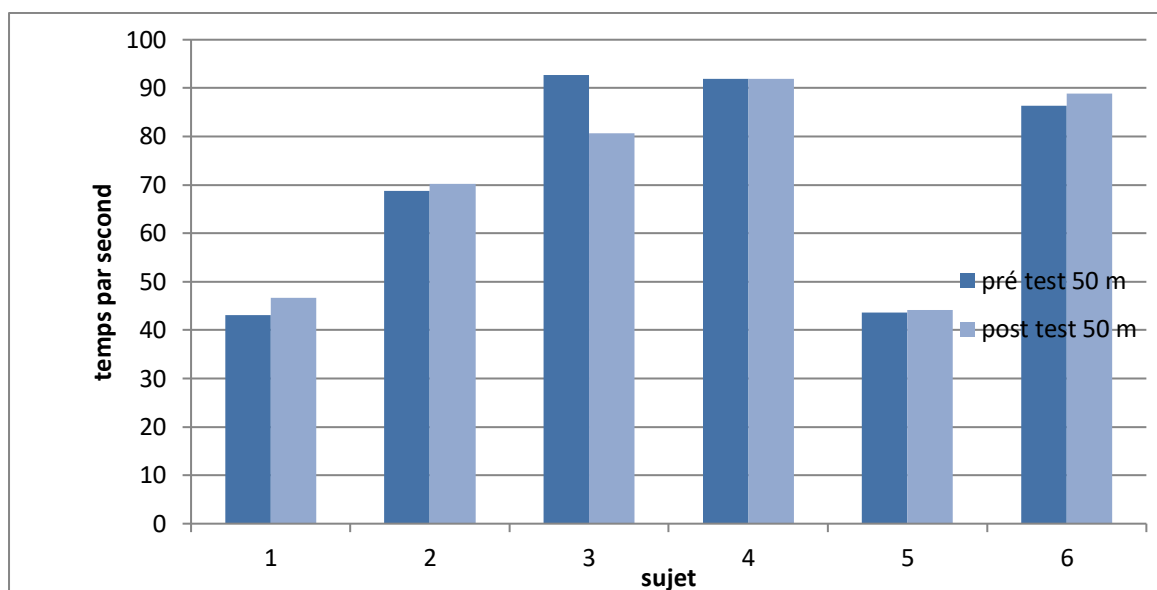


Figure18 : La différence enregistré entre le pré et post test vitesse 50 m de chaque sujet du groupe Témoin.

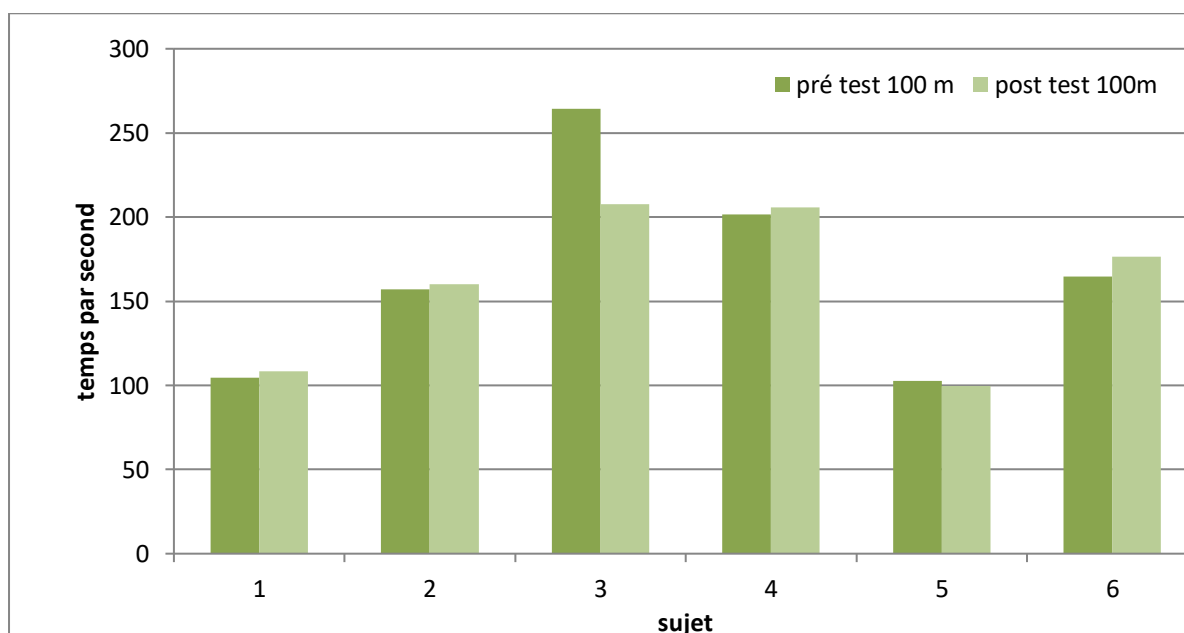


Figure19 : La différence enregistrée entre le pré et post test vitesse 100 m de chaque sujet du groupe Témoin.

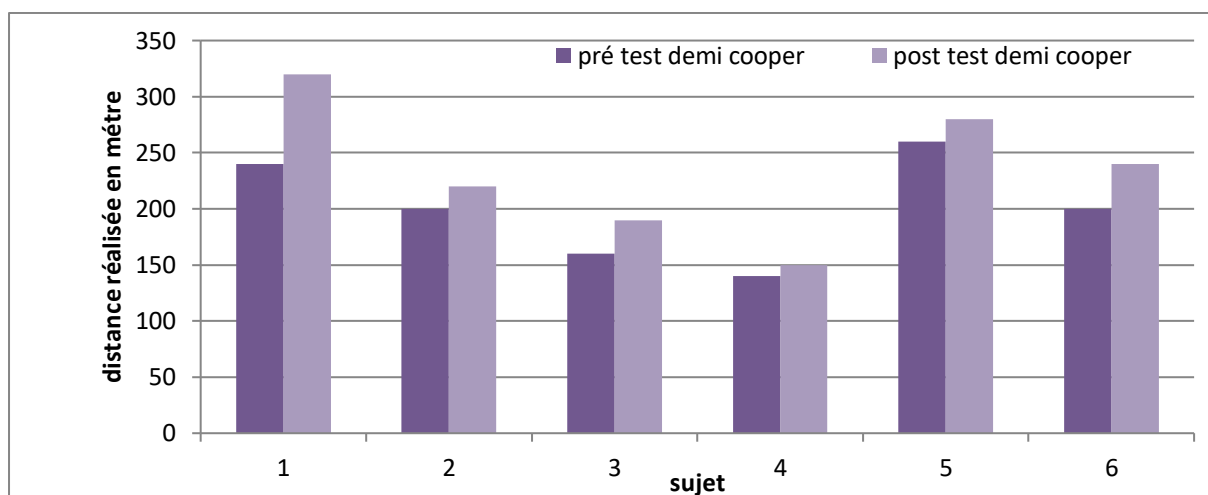


Figure20 : La différence enregistré entre le pré et post test Demi Cooper de chaque sujet du groupe Témoin.

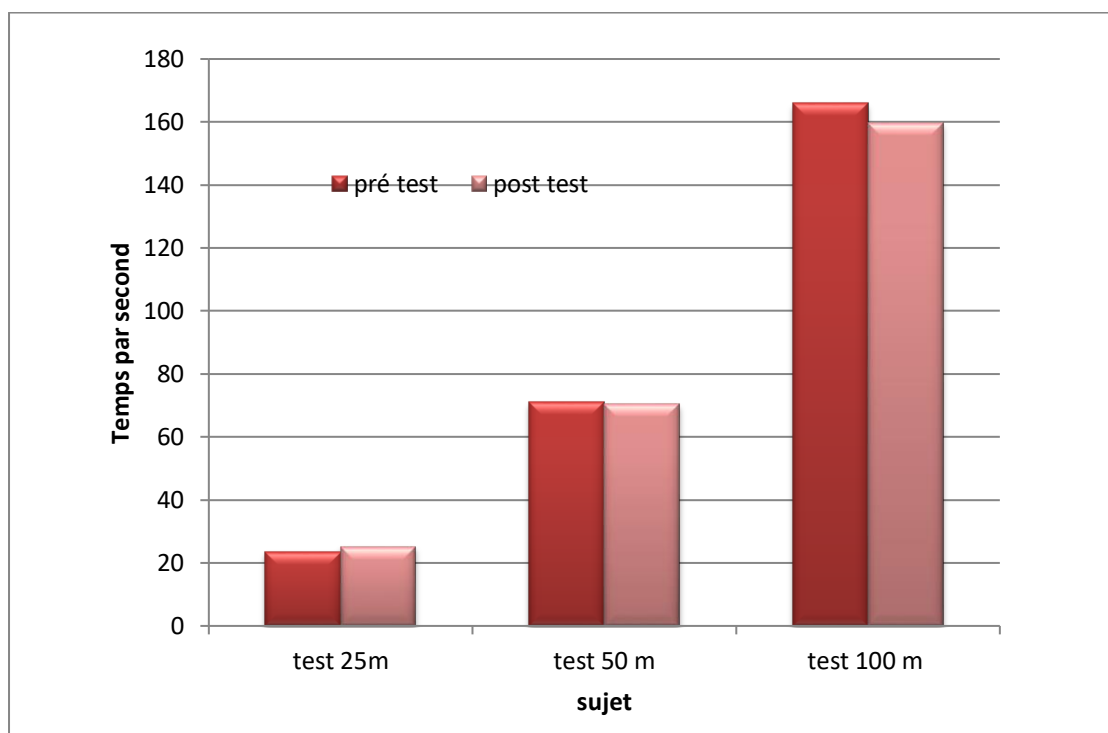


Figure21 : Les performances du groupe témoin issues du pré-test et post test (25-50 et 100m)

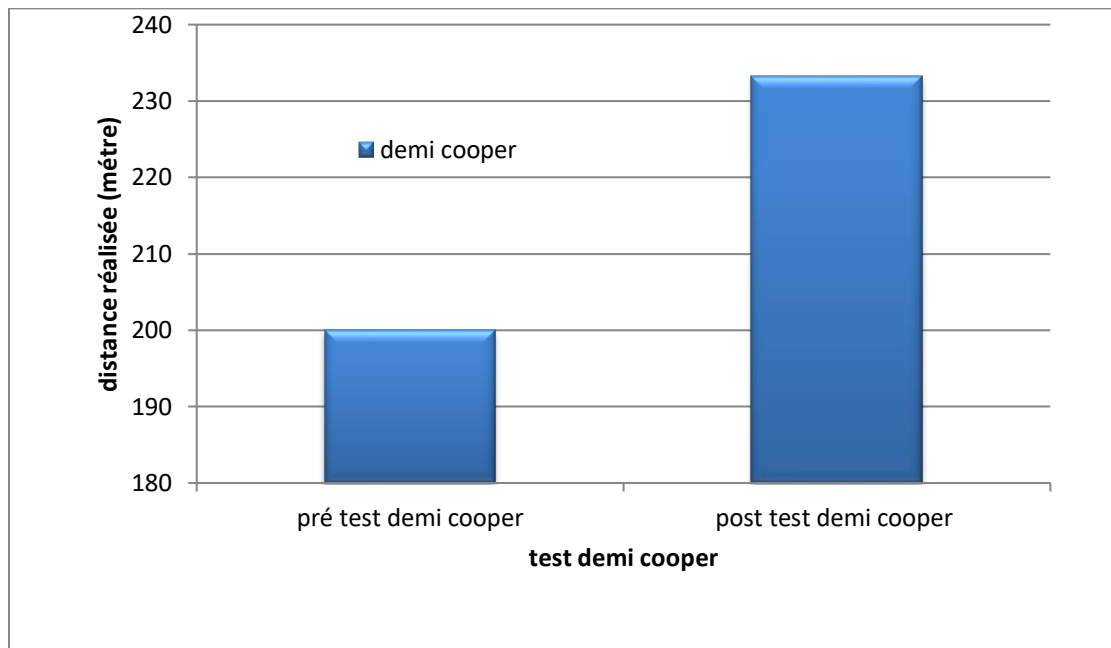


Figure22 : Les performances du groupe témoin issues du pré-test et post test de Demi cooper

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Tableau 09 : Comparaison des performances du groupe expérimental (pré et post tests)

GE	Pré-test				Post-test			
Sujet	Test 25m (seconde)	Test 50m (seconde)	Test 100m (seconde)	Demi-Cooper (m)	Test 25m (seconde)	Test 50m (seconde)	Test 100m (seconde)	Demi-Cooper (m)
1	27,27	68,83	151,04	220	26,33	66,37	142,70	240
2	22,05	59,23	138,03	240	18,36	52,08	122,70	280
3	36,78	98,28	205,42	130	31,18	90,19	195,09	180
4	33,90	82,16	189,46	160	26,90	71,17	171,60	200
5	21,69	61,33	128,26	280	18,55	45,03	98,32	320
6	30,54	88,32	210,02	160	27,63	80,41	180,12	220
Moyenne	28,71	76,36	170,37	198,3	24,83	64,54	152,42	240
Ecarttype	6,18	15,70	35,66	57,42	5,22	16,96	37,99	52,15

Tableau 10 : Les qualités vitesse puissance calculées à partir des performances des nageurs du groupe expérimental lors du pré-tests.

Sujet	25mv (m/s)	25mP (W)	50mv (m/s)	50mP (W)	100m v(m/s)	100m P(W)	Demi-Cooper V (m/s)	Demi-Cooper P (W)
1	0,92	30,9	0,73	15,4	0,66	11,6	0,61	9,1
2	1,13	58,1	0,84	24	0,72	15,2	0,67	11,9
3	0,68	12,5	0,51	5,3	0,49	4,7	0,36	1,9
4	0,74	16,1	0,61	9,1	0,53	5,9	0,44	3,5
5	1,15	61,2	0,82	21,8	0,78	18,8	0,78	18,8
6	0,82	21,9	0,57	7,3	0,48	4,4	0,44	3,5
Moyenne	0,91	33,5	0,68	13,82	0,61	10,1	0,55	8,12
Écart-type	0,20	21,25	0,14	7,84	0,13	6,05	0,16	6,49

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Tableau 11 : Les qualités vitesse puissance calculées a partir des performances des nageurs du groupe expérimental lors du post-tests.

Sujet	25mv (m/s)	25mP (W)	50mv (m/s)	50mP (W)	100mV (m/s)	100m P(W)	Demi- Cooper V (m/s)	Demi- Cooper P (W)
1	0,95	34,1	0,75	17,2	0,70	13,8	0,67	11,9
2	1,36	101,2	0,96	35,6	0,82	21,8	0,78	18,8
3	0,80	20,6	0,55	6,8	0,51	5,4	0,50	5,0
4	0,93	32,3	0,70	13,9	0,58	7,9	0,56	6,9
5	1,35	98,1	1,11	54,9	1,02	42,2	0,89	28,0
6	0,90	29,5	0,62	9,6	0,56	6,9	0,61	9,1
Moyenne	1,05	52,63	0,78	23,00	0,70	16,33	0,67	13,28
Écart- type	0,23	34,67	0,20	17,71	0,18	13,18	0,13	8,41

Tableau 12 : Les valeurs de la perception d'efforts RPE enregistrées après le pré et post tests pour le groupe expérimental.

Groupe expérimental	RPE	
Sujet	Pré-test	Post-test
Sujet1	8	7
Sujet2	7	6
Sujet3	9	7
Sujet4	8	7
Sujet5	8	6
Sujet6	9	7
Moyenne	8,16	6.66
Ecart type	0,75	0,51

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Tableau 13 : comparaison des performances moyennes enregistrées Lors du pré et post tests du groupe expérimental

Test	Moyenne (pré-test)	Moyenne (post-test)	T.Cal	T.Tab	Seuil de signification ($\alpha=0.05$)
25mv (m/s)	0.91±0.20	1.05±0.23	3.35	2.571	significatif
25mP (W)	33.5±21.25	52.6±34.67	3.29	2.571	significatif
50mv (m/s)	0.68±0.14	0.78±0.20	3.06	2.571	significatif
50mP (W)	13.8±7.84	23.0±17.71	3.47	2.571	significatif
100mv (m/s)	0.61±0.13	0.70±0.18	3.15	2.571	significatif
100mP (W)	10.1±6.05	16.3±13.18	3.16	2.571	significatif
Demi-Cooper v	0.55±0.16	0.67±0.13	4.90	2.571	significatif
Demi-Cooper P	8.1±6.49	13.3±8.41	4.12	2.571	significatif
RPE	8,16±0.75	6,66±0.51	-6.69	2.57	significatif

Les tableaux présentent les performances moyennes du groupe expérimentale avant (pré-test) et après (post-test) un cycle d'entraînement (12 semaines). Les données incluent la vitesse (m/s) et la puissance (W) pour les différentes distances 25-50-100m, ainsi que les résultats du test Demi-Cooper (endurance).

- 25m Vitesse (m/s)

La vitesse moyenne a augmenté de manière significative, passant de $0,91 \pm 0,20$ m/s (pré-test) à $1,05 \pm 0,23$ m/s (post-test).

L'analyse statistique (test t de Student) révèle une différence significative, avec un t calculé (3,35) supérieur au t tabulé ($\pm 2,571$) à un seuil de $\alpha = 0,05$. Cela indique une amélioration notable de la vitesse sur 25m après l'intervention.

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

- 25m Puissance (W)

La puissance moyenne a également augmenté de façon significative, passant de $33,5 \pm 21,25$ W (pré-test) à $52,6 \pm 34,67$ W (post-test).

L'analyse statistique confirme cette amélioration (t calculé = $3,29 > t$ tabulé = $\pm 2,571$), suggérant un gain de puissance important lors des efforts courts et intenses.

- 50m Vitesse (m/s)

Une progression significative a été observée, avec une vitesse passant de $0,68 \pm 0,14$ m/s (pré-test) à $0,78 \pm 0,20$ m/s (post-test).

L'analyse statistique (t calculé = $3,06 > t$ tabulé = $\pm 2,571$) valide cette amélioration, indiquant un effet positif de l'intervention sur les performances de vitesse intermédiaire.

- 50m Puissance (W)

La puissance moyenne a augmenté de manière marquée, passant de $13,8 \pm 7,84$ W (pré-test) à $23,0 \pm 17,71$ W (post-test).

L'analyse statistique (t calculé = $3,47 > t$ tabulé = $\pm 2,571$) confirme une différence significative, soulignant une nette amélioration de la puissance développée sur 50m.

- 100m Vitesse (m/s)

La vitesse moyenne a progressé de $0,61 \pm 0,13$ m/s (pré-test) à $0,70 \pm 0,18$ m/s (post-test).

L'analyse statistique (t calculé = $3,15 > t$ tabulé = $\pm 2,571$) montre une amélioration significative, suggérant un effet bénéfique de l'intervention sur les performances d'endurance de courte durée.

- 100m Puissance (W)

La puissance moyenne a augmenté de $10,1 \pm 6,05$ W (pré-test) à $16,3 \pm 13,18$ W (post-test).

Le test statistique (t calculé = $3,16 > t$ tabulé = $\pm 2,571$) confirme une différence significative, indiquant un gain de puissance notable sur 100m.

- Demi-Cooper Vitesse (m/s)

Une amélioration très significative a été enregistrée, avec une vitesse passant de $0,55 \pm 0,16$ m/s (pré-test) à $0,67 \pm 0,13$ m/s (post-test).

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

L'analyse statistique (t calculé = 4,90 > t tabulé = $\pm 2,571$) valide cette progression, soulignant un impact majeur de l'intervention sur l'endurance aérobie.

- Demi-Cooper Puissance (W)

La puissance moyenne a augmenté de manière significative, passant de $8,1 \pm 6,49$ W (pré-test) à $13,3 \pm 8,41$ W (post-test).

Le test t de Student (t calculé = 4,12 > t tabulé = $\pm 2,571$) confirme cette amélioration, démontrant un gain important en endurance-puissance.

- RPE (Perception de l'effort)

La perception subjective de l'effort a diminué de manière significative, passant de $8,16 \pm 0,75$ (pré-test) à $6,66 \pm 0,51$ (post-test).

L'analyse statistique (t calculé = -6,69, en valeur absolue > t tabulé = $\pm 2,57$) révèle une différence hautement significative, indiquant que les participants ont perçu l'effort comme moins intense après l'intervention.

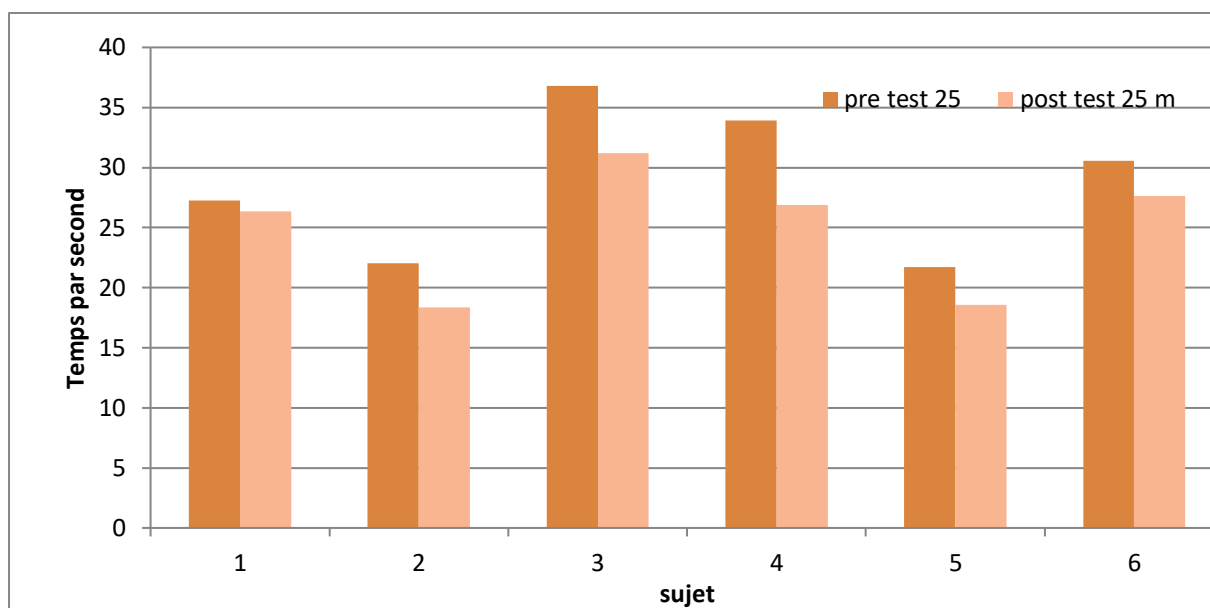


Figure23 : La différence enregistré entre le pré et post test vitesse 25 m de chaque sujet du groupe Témoin

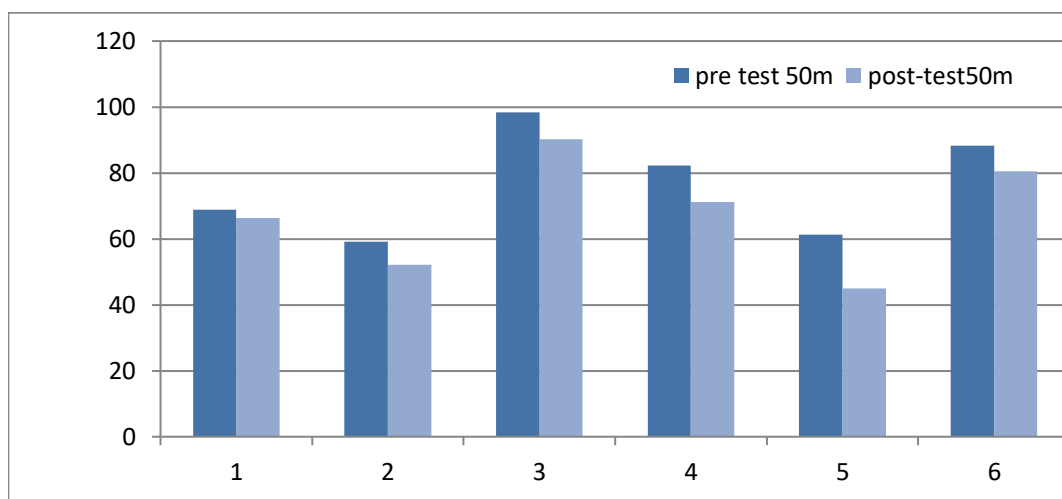


Figure24 : La différence enregistré entre le pré et post test vitesse 50 m de chaque sujet du groupe Témoin.

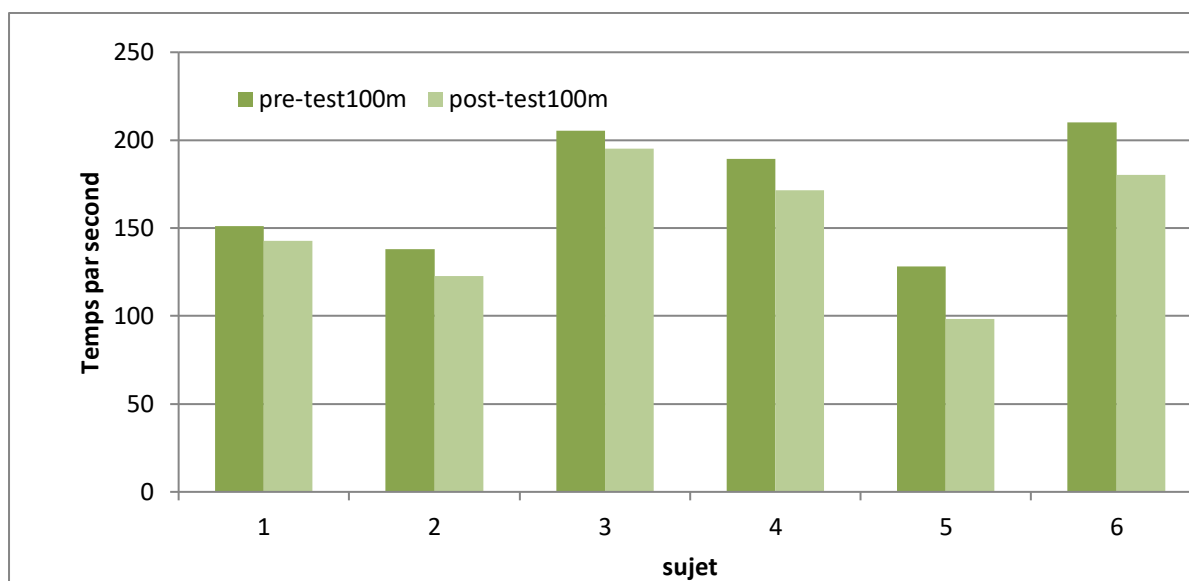


Figure25 : La différence enregistré entre le pré et post test vitesse 100 m de chaque sujet du groupe Témoin.

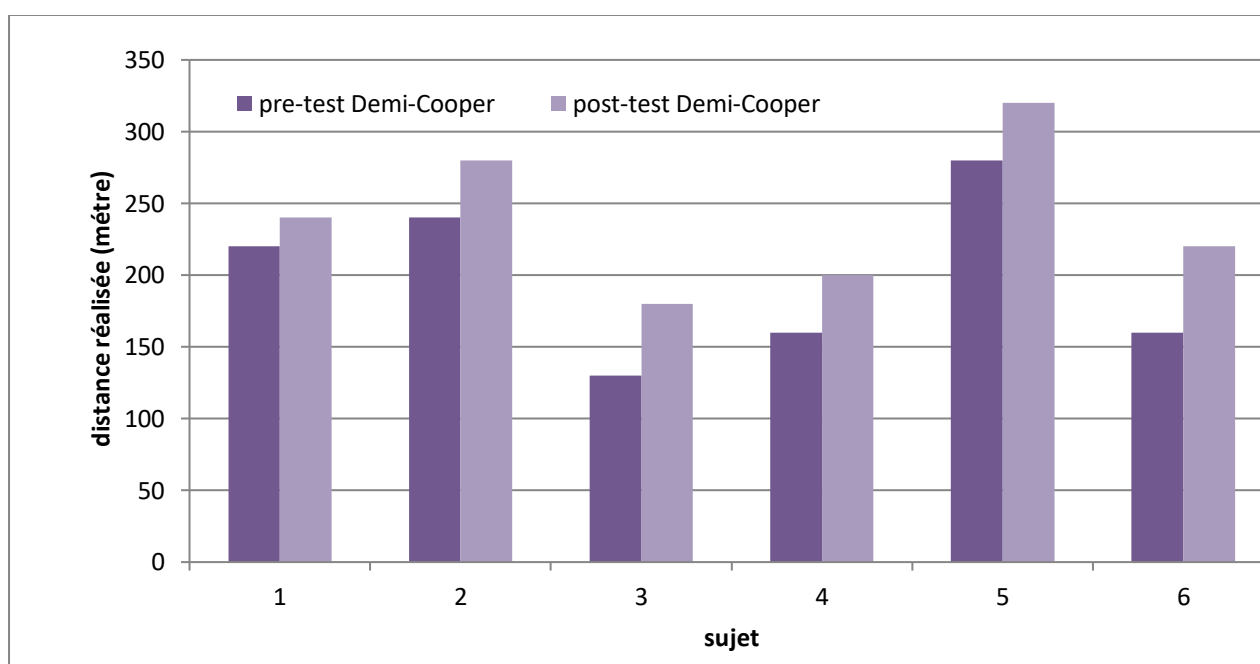


Figure26 : La différence enregistré entre le pré et post test Demi Cooper de chaque sujet du groupe Témoin.

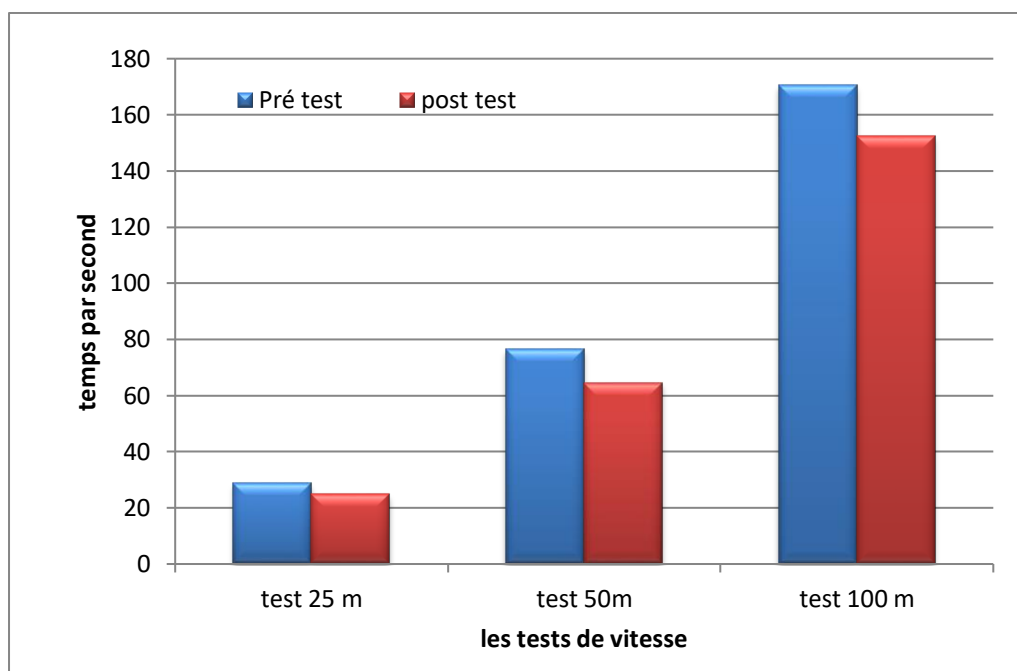


Figure 27 : Pré et post test vitesse 25-50-100 m démontrant la progression du groupe témoin

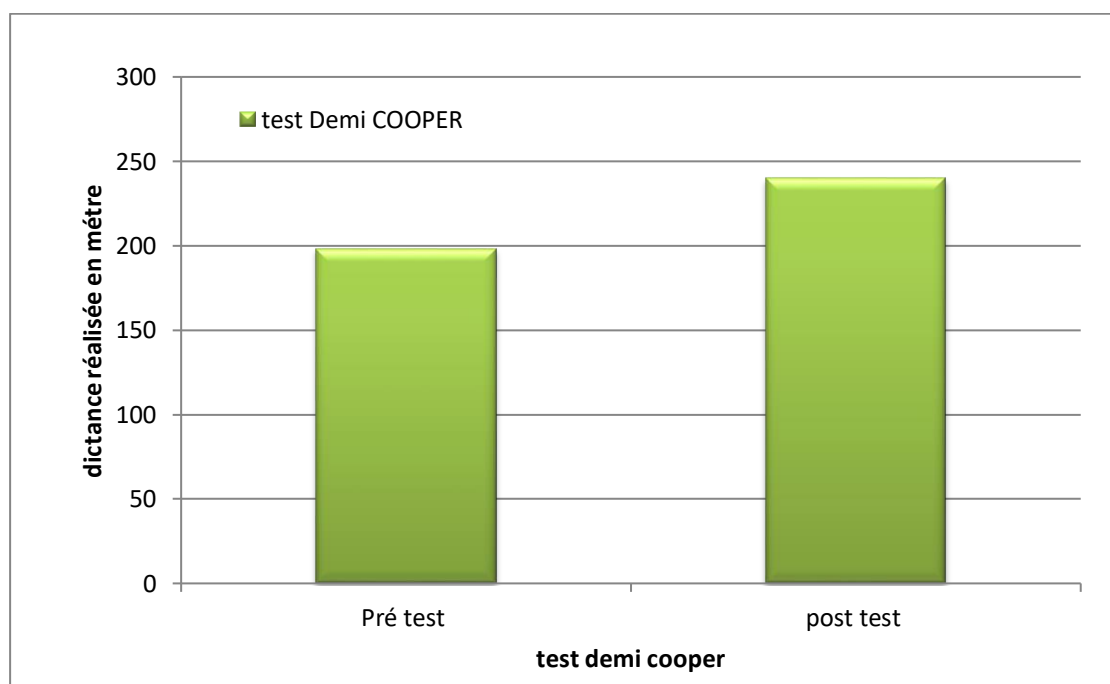


Figure28 : Pré et post test Demi Cooper démontrant la progression du groupe témoin

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Tableau 14: comparaison des performances du groupe témoin et expérimental pré-test

Test	Moyenne Groupe Témoin	Moyenne Groupe expérimental	T.Cal	T.Tab	Seuil de signification ($\alpha=0.05$)
25m vitesse(m/s)	1.16±0.36	0.91±0.20	1.86	2.228	Non significatif
25m puissance(W)	79.23±74.30	33.50±21.25	1.65	2.228	Non significatif
50m vitesse(m/s)	0.78±0.28	0.68±0.14	0.88	2.228	Non significatif
50m puissance(W)	26.44±26.20	13.82±7.84	1.28	2.228	Non significatif
100m vitesse(m/s)	0.68±0.23	0.61±0.13	0.76	2.228	Non significatif
100m puissance(W)	16.39±14.85	10.10±6.05	1.07	2.228	Non significatif
Demi-Cooper vitesse (m/s)	0.83±0.18	0.55±0.16	3.12	2.228	significatif
Demi-cooper puissance(W)	26.16±15.77	8.12±6.49	2.73	2.228	significatif
RPE	7.33±1.03	8.16±0.75	-1.66	2.228	Non significatif

Les performances présentées dans ce tableau sont les valeurs moyennes des deux groupes (témoin et expérimental) obtenues en vitesse (m/s), en puissance (W) pour les différentes distances (25 m, 50 m, 100 m), ainsi que les résultats du test Demi-Cooper (évaluation de l'endurance) et de la perception de l'effort (RPE) avant le cycle d'entraînement.

- Test de la vitesse sur 25 mètres :

La vitesse moyenne du groupe témoin est de $1,16 \pm 0,36$ m/s, contre $0,91 \pm 0,20$ m/s pour le groupe expérimental. L'analyse statistique par le test t de Student montre une différence non significative ($T_{calculé} = 1,86 < T_{tabulé} = 2,228$; $p > 0,05$), indiquant une performance initiale légèrement supérieure pour le groupe témoin, mais sans signification statistique.

- Test de la puissance sur 25 mètres :

La puissance moyenne est de $79,23 \pm 74,30$ W pour le groupe témoin, contre $33,50 \pm 21,25$ W pour le groupe expérimental. Le test t révèle une différence non significative ($T_{calculé} = 1,65$

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

$< T_{\text{tabulé}} = 2,228$), bien que l'écart semble important. Cela suggère une grande variabilité interindividuelle, rendant la différence statistiquement non fiable.

- Test de la vitesse sur 50 mètres :

Le groupe témoin atteint une vitesse moyenne de $0,78 \pm 0,28$ m/s, contre $0,68 \pm 0,14$ m/s pour le groupe expérimental. Le T calculé = 0,88, inférieur à la valeur critique (2,228), confirme l'absence de différence significative entre les groupes au départ.

- Test de la puissance sur 50 mètres :

Les puissances moyennes étaient de $26,44 \pm 26,20$ W (groupe témoin) et $13,82 \pm 7,84$ W (groupe expérimental). Le test statistique ($T = 1,28 < 2,228$) montre une différence non significative, bien qu'une tendance en faveur du groupe témoin soit observable.

- Test de la vitesse sur 100 mètres :

Les vitesses moyennes sont respectivement de $0,68 \pm 0,23$ m/s pour le groupe témoin et $0,61 \pm 0,13$ m/s pour le groupe expérimental. Le T calculé = 0,76 reste inférieur à la valeur critique, indiquant une absence de différence significative.

- Test de la puissance sur 100 mètres :

La puissance moyenne est de $16,39 \pm 14,85$ W pour le groupe témoin, contre $10,10 \pm 6,05$ W pour le groupe expérimental. Le T calculé est de 1,07, ce qui est également non significatif ($p > 0,05$).

- Test de vitesse sur le demi-Cooper :

Le groupe témoin affiche une vitesse moyenne de $0,83 \pm 0,18$ m/s, contre $0,55 \pm 0,16$ m/s pour le groupe expérimental. Le T calculé = 3,12, étant supérieur à $T_{\text{tabulé}}$ (2,228), indique une différence statistiquement significative en faveur du groupe témoin. Cela traduit une meilleure capacité aérobie initiale dans ce groupe.

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

- Test de puissance sur le demi-Cooper :

Les puissances moyennes étaient de $26,16 \pm 15,77$ W pour le groupe témoin, contre $8,12 \pm 6,49$ W pour le groupe expérimental. Le T calculé de 2,73 dépasse également la valeur critique, ce qui confirme une différence significative en faveur du groupe témoin. Cela reflète une endurance musculaire plus développée à l'état initial chez ces sujets.

- Perception de l'effort (RPE) :

Le score moyen du RPE est de $7,33 \pm 1,03$ pour le groupe témoin et de $8,16 \pm 0,75$ pour le groupe expérimental. Le T calculé est de -1,66, inférieur à la valeur tabulée (2,228), indiquant une différence non significative. Les deux groupes perçoivent donc l'effort de manière relativement similaire au départ, bien que le groupe expérimental semble ressentir un effort légèrement plus intense.

Tableau 15: comparaison des performances du groupe témoin et expérimental post test

Test	Moyenne Groupe Témoin	Moyenne Groupe expérimental	T.Cal	T.Tab	Seuil de signification ($\alpha=0.05$)
25mv (m/s)	1.06±0.31	1.05±0.24	0.08	2.228	Non significatif
25mP (W)	58.88±52.62	52.63±36.73	0.24	2.228	Non significatif
50mv (m/s)	0.77±0.26	0.78±0.21	-0.07	2.228	Non significatif
50mP (W)	24.11±23.14	23.00±18.63	0.09	2.228	Non significatif
100mv (m/s)	0.68±0.22	0.70±0.19	-0.15	2.228	Non significatif
100m P (W)	16.29±15.52	16.33±14.04	-0.01	2.228	Non significatif
Demi- Cooper v	0.97±0.25	0.67±0.14	2.56	2.228	significatif
Demi- Cooper P	43.13±31.31	13.28±8.67	2.25	2.228	significatif
RPE	6,83±0,75	6,66±0,51	0,50	2,228	Non significatif

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Les performances présentées dans ce tableau sont les valeurs moyennes des deux groupes (témoin et expérimental) obtenues en vitesse (m/s), en puissance (W) pour les différentes distances 25-50-100m , ainsi que les résultats du test Demi-Cooper (endurance)et en perception d'effort de l'exercice (RPE) après un cycle d'entraînement (12 semaine)

- Test de la vitesse sur 25 mètres :

La vitesse moyenne du groupe témoin est de $1,06 \pm 0,31$ m/s, contre $1,05 \pm 0,24$ m/s pour le groupe expérimental. L'analyse statistique à l'aide du test de Student montre une différence non significative ($T \text{ calculé} = 0,08 < T \text{ tabulé} = 2,228$; $p > 0,05$), indiquant que l'entraînement n'a pas généré d'amélioration significative entre les deux groupes pour ce test.

- Test de la puissance sur 25 mètres :

La puissance moyenne est de $58,88 \pm 52,62$ W pour le groupe témoin, et de $52,63 \pm 36,73$ W pour le groupe expérimental. Le test t indique une différence non significative ($T \text{ calculé} = 0,24 < T \text{ tabulé} = 2,228$; $p > 0,05$), suggérant une performance équivalente entre les groupes.

- Test de la vitesse sur 50 mètres :

Le groupe témoin a atteint une vitesse moyenne de $0,77 \pm 0,26$ m/s, contre $0,78 \pm 0,21$ m/s pour le groupe expérimental. Le T calculé est de -0,07, inférieur au T tabulé, indiquant une différence non significative entre les deux groupes.

- Test de la puissance sur 50 mètres :

Les puissances moyennes étaient respectivement de $24,11 \pm 23,14$ W (témoin) et $23,00 \pm 18,63$ W (expérimental). L'analyse statistique montre également une différence non significative ($T = 0,09 < T \text{ tabulé} = 2,228$).

- Test de la vitesse sur 100 mètres :

Le groupe témoin présente une moyenne de **$0,68 \pm 0,22$ m/s**, tandis que le groupe expérimental atteint $0,70 \pm 0,19$ m/s. Avec un T calculé de -0,15, la différence est non significative ($p > 0,05$).

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

- Test de la puissance sur 100 mètres :

La puissance moyenne est très proche entre les groupes : $16,29 \pm 15,52$ W pour le groupe témoin, contre $16,33 \pm 14,04$ W pour l'expérimental. Le T calculé est pratiquement nul ($T = -0,01$), confirmant une absence totale de différence significative.

- Test de vitesse sur le demi-Cooper :

La moyenne de vitesse pour le groupe témoin est de $0,97 \pm 0,25$ m/s, contre $0,67 \pm 0,14$ m/s pour le groupe expérimental. Le T calculé (2,56) dépasse le T tabulé (2,228), indiquant une différence significative en faveur du groupe témoin à un seuil de 0,05. Cela pourrait s'expliquer par une meilleure endurance spécifique chez ce groupe.

- Test de puissance sur le demi-Cooper :

La puissance moyenne enregistrée est de $43,13 \pm 31,31$ W pour le groupe témoin et de $13,28 \pm 8,67$ W pour le groupe expérimental. Le T calculé est de 2,25, soit très proche du seuil critique ($T \text{ tabulé} = 2,228$), ce qui démontre une différence significative en faveur du groupe témoin.

- Perception de l'effort (RPE) :

Le groupe témoin présente une moyenne post-test de $6,83 \pm 0,75$, contre $6,66 \pm 0,51$ pour le groupe expérimental. L'analyse statistique révèle une différence non significative ($T = 0,50 < 2,228$), suggérant une perception de l'effort comparable entre les deux groupes après l'intervention.

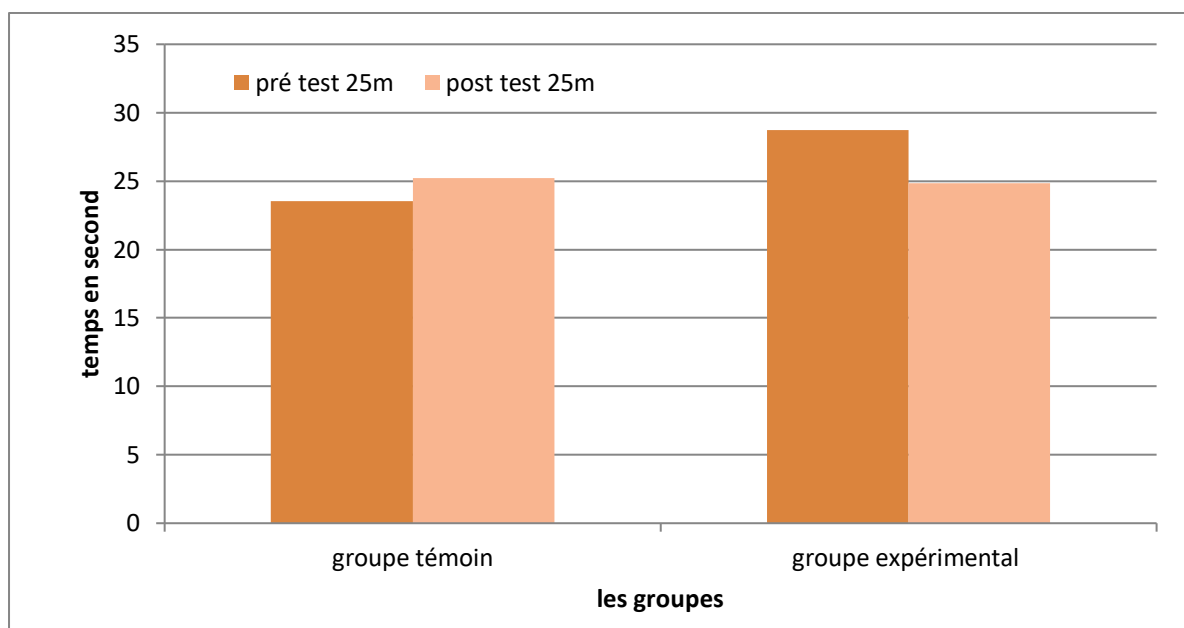


Figure 29 : la différence moyenne enregistré au pré et post test vitesse 25 m entre groupe témoin et expérimental.

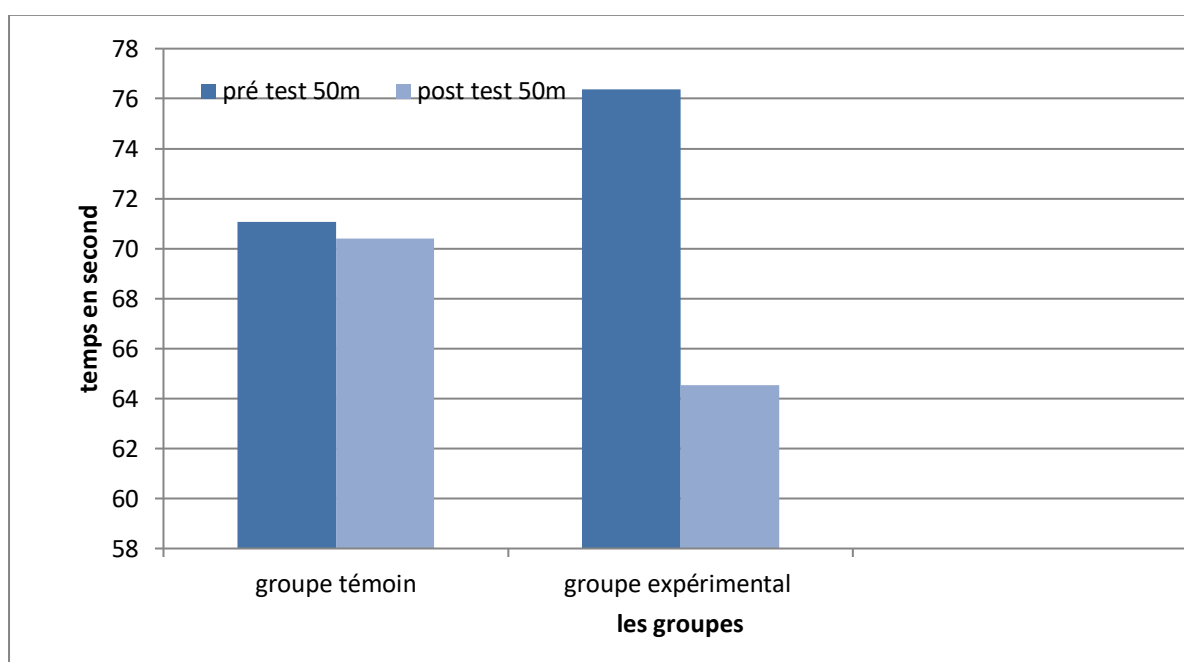


Figure 30 : la différence moyenne enregistré au pré et post test vitesse 50 m entre groupe témoin et expérimental.

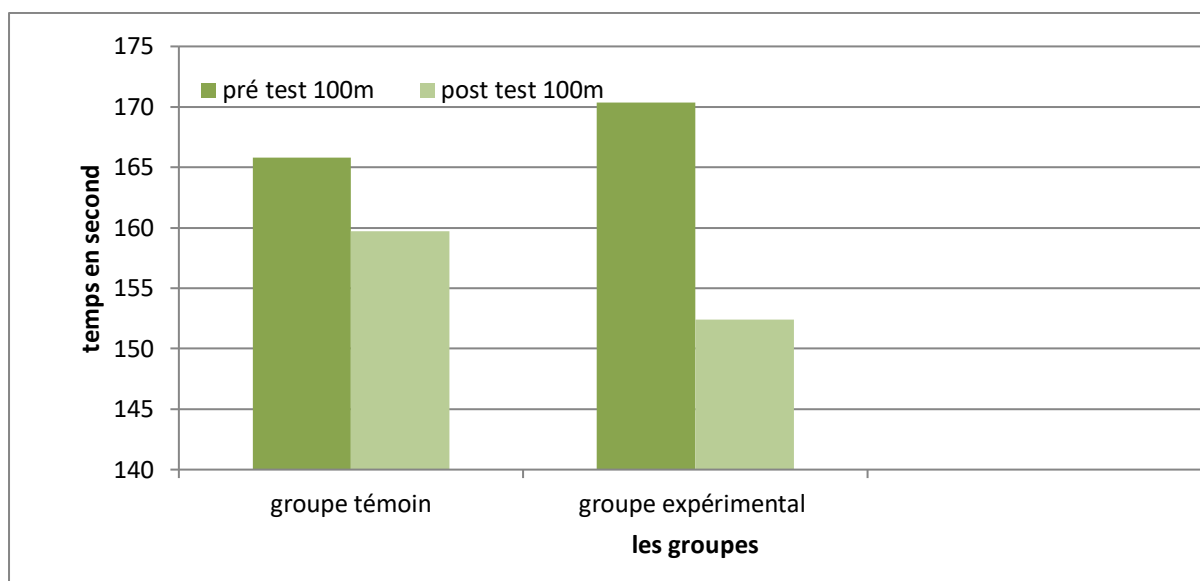


Figure31 : La différence moyenne enregistré au pré et post test vitesse 100 m entre groupe témoin et expérimental.

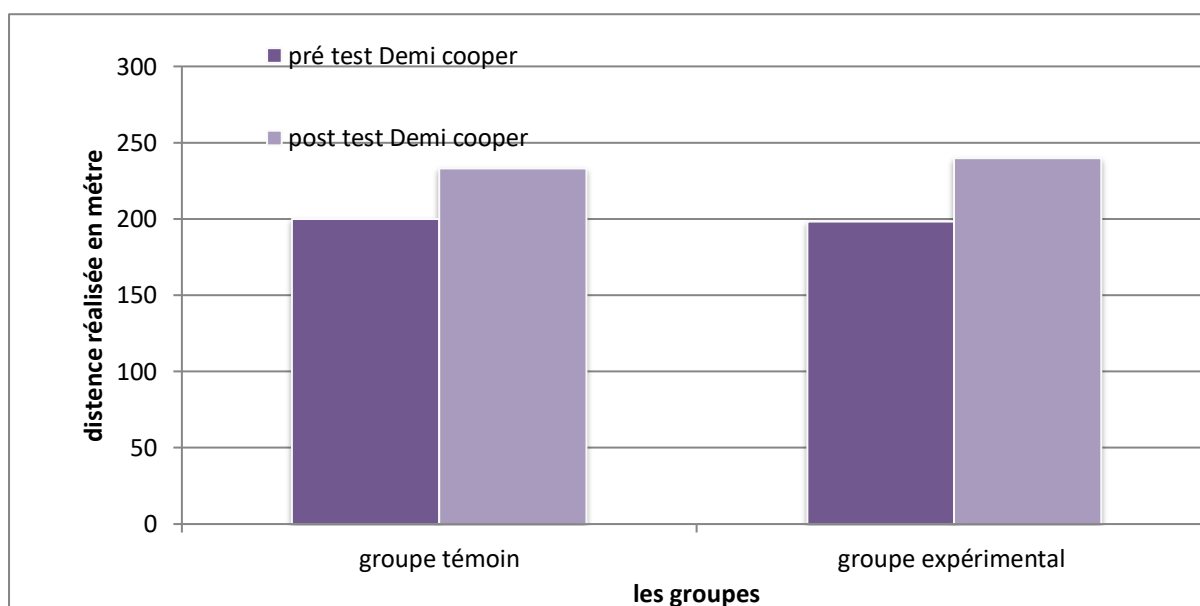


Figure 32 : La différence moyenne enregistré au pré et post test Demi Cooper entre groupe témoin et expérimental

2. Discussion générale des résultats :

A. Comparaison entre les résultats du pré-test et post-test du groupe témoin (GT) :

Les résultats présentés permettent d'évaluer l'impact d'un cycle d'entraînement classique de 12 semaines sur plusieurs paramètres de performance physique, notamment la vitesse, la puissance sur différentes distances (25m, 50m, 100m) ainsi que l'endurance mesurée par le test Demi-Cooper. La perception de l'effort (RPE) a également été prise en compte.

Les résultats sur les distances courtes révèlent une stagnation préoccupante. Pour le 25m, tant la vitesse que la puissance montrent une diminution non significative mais notable. La vitesse passe de $1,16 \pm 0,36$ m/s à $1,06 \pm 0,30$ m/s, soit une baisse d'environ 8,6%. Cette diminution s'accompagne d'une chute plus marquée de la puissance (79,23 W à 59,05 W, soit -25,5%).

Sur 50m, la tendance est similaire mais moins prononcée, avec une vitesse qui reste quasi-stable (0,78 à 0,77 m/s) et une puissance qui diminue légèrement (26,44 W à 24,11 W). Ces résultats suggèrent que le programme d'entraînement n'a pas été efficace pour développer les capacités anaérobiques et la puissance explosive, qualités essentielles pour les performances sur courtes distances.

Les résultats sur 100m montrent une stabilité parfaite pour la vitesse (0,68 m/s identique) et quasi-parfaite pour la puissance (16,39 W vs 16,29 W). Cette stabilité, bien qu'elle puisse paraître positive, est en réalité décevante après 12 semaines d'entraînement. On s'attendrait à observer au minimum une amélioration modeste sur cette distance qui sollicite à la fois les systèmes aérobie et anaérobie.

Ces données suggèrent que le cycle d'entraînement n'a pas eu d'effet notable sur la vitesse maximale ou la vitesse moyenne sur ces distances courtes. L'absence d'amélioration pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs comme :

Le programme d'entraînement n'était peut-être pas spécifiquement orienté vers l'amélioration de la vitesse pure ou de la puissance explosive.

La variabilité individuelle (écarts-types élevés) peut aussi masquer des changements réels chez certains participants.

Les résultats du test Demi-Cooper constituent le point positif majeur de cette étude. La vitesse montre une amélioration significative de 16,9% (0,83 à 0,97 m/s), tandis que la

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

puissance augmente de façon spectaculaire de 64,8% (26,16 W à 43,13 W). Ces gains statistiquement significatifs ($t > 2,571$) démontrent une amélioration claire de la capacité aérobie et de l'endurance.

Cette amélioration sélective sur l'endurance suggère que le programme d'entraînement était probablement orienté vers le développement des capacités aérobies, au détriment peut-être des qualités de vitesse et de puissance explosive.

La diminution du RPE de 7,33 à 6,83 (soit -6,8%) suggère une amélioration de l'efficacité physiologique et une meilleure tolérance à l'effort. Bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative ($t = -2,24 < 2,571$). Cette légère baisse de la RPE peut suggérer que les participants ont ressenti une amélioration dans leur capacité à gérer l'effort, probablement liée à l'amélioration de l'endurance. Bien que non significative, cette tendance est cohérente avec les gains observés au test Demi-Cooper.

B. Comparaison entre les résultats du pré-test et post-test du groupe expérimental (GE)

Cette étude révèle des améliorations remarquables des performances chez des nageurs en situation de handicap suite à un programme d'entraînement en hypoventilation volontaire de 12 semaines. Les résultats présentés montrent des améliorations significatives sur la vitesse, la puissance, l'endurance ainsi que sur la perception de l'effort.

D'après les résultats on peut remarquer les augmentations significatives de la vitesse (25m : 0,91 → 1,05 m/s ; 50m : 0,68 → 0,78 m/s ; 100m : 0,61 → 0,70 m/s) et de la puissance (25m : 33,5 → 52,6 W ; 50m : 13,8 → 23,0 W ; 100m : 10,1 → 16,3 W) témoignent d'une amélioration globale des capacités anaérobiques et neuromusculaires chez les nageurs.

L'entraînement en hypoventilation volontaire (IHV) est connu pour augmenter la tolérance à l'hypoxie musculaire locale, ce qui stimule les adaptations anaérobies (Foster et al., 2014). En réduisant la ventilation, on provoque une accumulation plus rapide de CO₂ et une baisse de la saturation en oxygène, ce qui peut améliorer la capacité tampon musculaire et la résistance à la fatigue (Katayama et al., 2003).

Ces adaptations favorisent une meilleure production de puissance lors d'efforts courts et intenses, notamment via une amélioration du recrutement des fibres musculaires rapides (type II) Vanhatalo et al.,(2010).

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

Par ailleurs, l'IHV peut induire une amélioration de la fonction neuromusculaire, notamment par une meilleure coordination motrice et une activation plus efficace des unités motrices Billaut et al., (2013).

On peut remarquer aussi l'amélioration de l'endurance aérobie (test Demi-Cooper) : L'augmentation significative de la vitesse ($0,55 \rightarrow 0,67$ m/s) et de la puissance ($8,1 \rightarrow 13,3$ W) au test Demi-Cooper indique une meilleure capacité aérobie après l'entraînement en hypoventilation. Ce qui peut être expliqué par :

- L'entraînement en hypoventilation volontaire stimule des adaptations cardiovasculaires et métaboliques similaires à celles observées en hypoxie Scott et al., (2014).
- L'exposition répétée à un environnement hypoxique intermittent améliore la capacité oxydative des muscles via une augmentation de la densité mitochondriale et de la capillarisation Lundby et al., (2009).

Ces adaptations permettent une meilleure utilisation de l'oxygène lors d'efforts prolongés, ce qui se traduit par une amélioration de la performance aérobie (Millet et al., 2012). Chez les nageurs handicapés, ces adaptations sont particulièrement importantes car elles compensent les limitations fonctionnelles en optimisant l'efficacité métabolique. Une diminution significative de la perception de l'effort (RPE)

La baisse notable de la perception de l'effort ($8,16 \rightarrow 6,66$) suggère que les participants ont ressenti l'exercice comme moins fatigant après l'entraînement. Ceci peut-être expliqué par l'amélioration de la capacité tampon musculaire et de la fonction mitochondriale réduit la production de métabolites responsables de la sensation de fatigue (Amann et al., 2007). De plus, l'entraînement en hypoventilation peut améliorer la tolérance psychophysiologique à l'effort, réduisant ainsi la perception subjective de la difficulté Billaut et al., (2013). Cette diminution du RPE est cruciale pour les nageurs handicapés, car elle peut favoriser une meilleure adhérence à l'entraînement et une performance accrue.

C. Comparaison des résultats du pré-test entre le groupe témoin (GT) et groupe expérimental (GE) :

L'analyse des performances initiales révèle une homogénéité relative entre les groupes témoin et expérimental sur la majorité des paramètres évalués (7 paramètres sur 9 non

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

significatifs). Cette observation est cruciale pour la validité interne de l'étude, car elle respecte le principe de randomisation équitable énoncé par Campbell et Stanley (1963). Les tests de vitesse et de puissance sur 25, 50 et 100 mètres montrent des différences moyennes en faveur du groupe témoin, mais aucune n'est statistiquement significative ($p > 0,05$).

L'absence de différences significatives sur la majorité des paramètres mesurés suggère que les groupes sont comparables au départ, cependant à travers L'écart type élevé on remarque une Variabilité interindividuelle importante, notamment pour la puissance sur 25 mètres ($\pm 74,30$ W pour le groupe témoin), témoigne d'une forte hétérogénéité des profils individuels. Cette variabilité s'explique d'abord par les différences génétiques dans la distribution des types de fibres musculaires, comme démontré par les études pionnières de Costill et al. (1976) sur les coureurs d'élite. Cela souligne l'importance d'un échantillon suffisamment large et homogène pour détecter des effets significatifs.

Le test demi-Cooper révèle la seule différence statistiquement significative de l'évaluation initiale, avec une supériorité marquée du groupe témoin ($0,83 \pm 0,18$ m/s vs $0,55 \pm 0,16$ m/s, soit une différence de 50,9%). Cette différence d'ampleur considérable ($T = 3,12$) s'inscrit dans le cadre théorique du continuum énergétique proposé par Brooks et Mercier (1994), où l'endurance dépend de l'intégration complexe de multiples systèmes physiologiques.

Les différences significatives en endurance et puissance aérobie indiquent que le groupe témoin est initialement plus performant dans les activités d'endurance, ce qui pourrait influencer la réponse à l'entraînement et compromettre l'interprétation des résultats post-intervention.

L'homogénéité de la perception de l'effort (RPE) entre les groupes ($7,33 \pm 1,03$ vs $8,16 \pm 0,75$) constitue un élément crucial pour l'interprétation méthodologique. Selon le modèle théorique de Borg (1982), la RPE résulte de l'intégration centrale de multiples signaux afférents : métaboliques (lactate, pH, phosphocréatine), mécaniques (tension musculaire, fréquence de décharge), cardiovasculaires (fréquence cardiaque, pression artérielle), et respiratoires (fréquence ventilatoire, PCO_2).

D. Comparaison des résultats du Post-test entre le groupe témoin (GT) et groupe expérimental (GE) :

Les données montrent que les deux groupes ont des performances similaires en termes de vitesse et de puissance sur 25, 50 et 100 mètres, sans différences statistiques significatives. L'absence d'amélioration chez le groupe expérimental (GE) suggère que l'entraînement en hypoventilation volontaire n'apporte pas d'avantages spécifiques pour les efforts maximaux de très courte durée, ce qui confirme les hypothèses théoriques sur la spécificité métabolique de cette méthode à savoir :

Le système énergétique sollicité sur ces distances courtes est principalement anaérobie alactique (créatine phosphate), indépendant de l'oxygène ;

L'hypoventilation volontaire agit principalement sur les adaptations liées au transport et à l'utilisation de l'oxygène Trincat et al., (2017) ;

Les adaptations induites par l'hypoventilation (amélioration de l'efficacité ventilatoire, tolérance au CO₂) n'influencent pas directement la filière phosphocréatine ;

Sur 100 mètres, distance sollicitant davantage la glycolyse anaérobie, les résultats demeurent non significatifs. Cette observation mérite une analyse approfondie à cette distance, la contribution du métabolisme anaérobie lactique devient prépondérante ;

L'hypoventilation pourrait théoriquement améliorer la tolérance à l'acidose métabolique Trincat & Woorons,(2018) .

Cependant, la durée d'effort (environ 15-20 secondes) reste trop courte pour que les adaptations respiratoires jouent un rôle déterminant.

Le test demi-Cooper révèle un résultat inattendu et statistiquement significatif en faveur du groupe témoin :

Vitesse : $0,97 \pm 0,25$ m/s (témoin) vs $0,67 \pm 0,14$ m/s (expérimental) ;

Puissance : $43,13 \pm 31,31$ W (témoin) vs $13,28 \pm 8,67$ W (expérimental) ;

Ce résultat paradoxal est peut-être dû aux points suivants:

Hypothèse de surcharge d'entraînement : L'entraînement en hypoventilation volontaire pourrait avoir induit une fatigue résiduelle ou un syndrome de surentraînement chez le groupe expérimental Laursen & Jenkins, (2002) .La modification des patterns respiratoires pourrait avoir perturbé l'économie de course et l'efficacité biomécanique habituelle ;

Problème méthodologique potentiel :

Chapitre02 : présentation et interprétation des résultats

- Différence initiale non contrôlée entre les groupes, Périodisation inadéquate de l'entraînement en hypoventilation, et Volume d'entraînement total possiblement insuffisant.
- Adaptation incomplète : 12 semaines pourraient être insuffisantes pour observer les adaptations hématologiques (augmentation de l'hématocrite, amélioration du transport d'O₂) typiquement associées aux méthodes d'entraînement hypoxique Millet et al., (2010).

L'absence de différence significative dans la perception de l'effort (RPE) entre les groupes ($6,83 \pm 0,75$ vs $6,66 \pm 0,51$) ; pourrait indiquer une désadaptation ou une perte d'efficacité dans le groupe expérimental.

Conclusion

Conclusion :

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact d'un protocole d'entraînement en hypoventilation volontaire sur les performances physiques de nageurs en situation de handicap moteur licenciés au club NGA Akbou. Malgré certaines contraintes méthodologiques, telles qu'une hétérogénéité partielle des classifications, les résultats obtenus ont apporté des indications précieuses sur les effets de cette méthode d'entraînement.

Les analyses intra-groupes montrent que le GE a enregistré des améliorations significatives entre le pré-test et le post-test, notamment en termes de vitesse et de puissance sur certaines distances. Ces résultats suggèrent que l'entraînement en hypoventilation volontaire a eu un effet positif sur la performance physique et respiratoire des nageurs handicapés moteur, conformément à l'hypothèse de départ. L'amélioration observée peut s'expliquer par des adaptations physiologiques progressives, telles qu'une meilleure tolérance au CO₂, un renforcement des muscles respiratoires et une optimisation de la ventilation pendant l'effort.

Les comparaisons inter-groupes entre le GE et le GT lors du post-test ne révèlent aucune différence significative. Cela signifie que les gains observés chez les nageurs soumis à l'hypoventilation ne sont pas statistiquement supérieurs à ceux obtenus par un entraînement classique. De plus, le test du demi-Cooper montre une performance paradoxalement meilleure chez le groupe témoin.

Donc, la théorie scientifique soutient que l'hypoventilation volontaire (HV) peut améliorer de manière significative la performance, en particulier chez les nageurs valides, en sollicitant davantage la filière anaérobie alactique. Cependant, l'impact de l'HV sur ce public spécifique semble limité, ce qui pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs tel que l'hétérogénéité des classifications entre le groupe témoin et le groupe expérimental a pu altérer la comparabilité des performances, la durée d'adaptation insuffisante n'a probablement pas permis aux athlètes de s'adapter pleinement au protocole d'hypoventilation ou encore des effets de surcharge d'entraînement masquant les bénéfices potentiels. Ces éléments soulignent la nécessité de prendre en compte les spécificités du public concerné dans l'application de cette méthode d'entraînement

Recommandation

Les résultats de cette étude ont mis en évidence des améliorations significatives à la fois dans les performances objectives (vitesse, puissance) et dans la perception subjective de l'effort (RPE). L'intégration progressive de l'entraînement en hypoventilation volontaire (HV) dans le programme d'entraînement des nageurs para sportifs semble être une stratégie pertinente.

La meilleure mise en œuvre de cette méthode est basée sur un protocole de démarrage progressif. Il est recommandé de commencer par des séances courtes de 15 à 20 minutes à intensité modérée, équivalente à 70-75% de la VMA. Ces exercices doivent inclure des phases alternées de respiration normale pour faciliter l'adaptation physiologique et psychologique de l'athlète aux sensations souvent inconfortables de la respiration. Cette phase d'adaptation dure environ 4 à 6 semaines et constitue une étape importante pour garantir l'efficacité et la sécurité de la méthode Woorons, (2020).

Une personnalisation minutieuse des paramètres d'entraînement est également cruciale. La phase d'hypoventilation, et en particulier le rapport inspiration/expiration, doit être ajusté en fonction du type et du degré du trouble du mouvement, du niveau de performance initial et de la tolérance de l'individu à l'hypoxie Millet, (2016).

L'EHV peut être utilisé en complément d'un entraînement régulier deux à trois fois par semaine. Il est particulièrement utile lors de l'entraînement technique pour améliorer l'économie de nage et lors de l'entraînement de vitesse pour améliorer le recrutement neuromusculaire.

Enfin, un suivi médical strict est indispensable pour assurer la sécurité des praticiens. Cette surveillance doit inclure un suivi régulier de la saturation en oxygène pendant l'entraînement, une évaluation systématique par épreuve d'effort cardiaque l'EPR et une surveillance cardiaque, en particulier pour les athlètes présentant des facteurs de risque.

Limites et perspectives

Notre étude présente certaines limites méthodologiques qu'il convient de considérer. L'une des principales réside dans l'hétérogénéité fonctionnelle et de classification des nageurs. Bien que tous les participants soient atteints d'un handicap moteur, des différences notables ont été observées entre les deux groupes. Le groupe témoin comprenait des nageurs classifiés de S6 à S11, dont certains disposaient d'un niveau d'autonomie relativement élevé, tandis que le groupe expérimental était constitué de nageurs classifiés S7 à S9, plus homogènes mais présentant globalement une autonomie réduite. Cette disparité a pu influencer sur la comparabilité des réponses à l'entraînement et constitue un biais méthodologique non négligeable.

Par ailleurs, l'étude ne s'est pas appuyée sur des analyses physiologiques approfondies. Aucune mesure biologique ou biomécanique n'a été effectuée pour évaluer les adaptations métaboliques, respiratoires ou neuromusculaires liées à l'entraînement en hypoventilation volontaire. L'ajout de ces paramètres aurait permis une meilleure compréhension des effets de ce type d'entraînement sur les nageurs en situation de handicap moteur.

Dans cette perspective, des recherches futures pourraient intégrer des groupes plus homogènes en termes de classification, ainsi que des analyses physiologiques (prise de sang, fréquence cardiaque, consommation d'oxygène, etc.) pour mieux cerner les mécanismes d'adaptation induits par l'hypoventilation. Il serait également intéressant d'étendre l'expérimentation à d'autres contextes para-sportifs et sur une durée plus longue, afin d'évaluer la pérennité des effets observés. Ces pistes permettraient d'approfondir les résultats de cette étude et de renforcer l'applicabilité de cette méthode dans les programmes d'entraînement adaptés.

Bibliographie

Bibliographie

1. Amann, M., et al. (2011). Central fatigue during high-intensity exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(4), 584-593.
2. Arnaud Lesserteur (2009). *La préparation physique du footballeur*. Paris: Amphora. (p.114).
3. Bangsbo, J. (2007). *Physiologie du football*. Bruxelles: De Boeck.
4. Bärtsch, P., & Gibbs, J. S. R. (2007). "Effect of altitude on the heart and the lungs". *Circulation*, 116(19), 2191–2202.
5. Bompa, T. & Carrera, M. (2005). *Periodization Training for Sports*. Champaign, IL: Human Kinetics.
6. Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
7. Chatard et al. (1990). The influence of body position and buoyancy on swimming performance.
8. Chatard, J. C., Collomp, C., Maglischo, E., & Maglischo, C. (1990). "Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers". *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), 156-161.
9. Cooper, K. H. (1968). *Aerobics*. New York: M. Evans and Company.
10. Crowley, E., Harrison, A. J., & Lyons, M. (2018). "The impact of resistance training on swimming performance: A systematic review". *Sports Medicine*, 48(10), 2285–2307.
11. Dekerle, J., Pelayo, P., Sidney, M., & Albery, M. (2012). "Effects of controlled-frequency breathing on performance and perceived exertion in swimmers". *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1127–1134.
12. Dècle-Lacoste, C., et al. (2014). *Physiologie de l'exercice musculaire*. Paris: Elsevier Masson.
13. Dempsey, J. A., & Wagner, P. D. (1999). "Exercise-induced arterial hypoxemia". *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 1997–2006.
14. Faiss, R., Léger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Dériaz, O., & Millet, G. P. (2013). "Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia". *PLoS ONE*, 8(2), e56522.
15. Frey, G. (1977). *La vitesse dans les sports*. Paris: Éditions EPS.
16. Gastin, P. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise.
17. Germain, P., & Lambertsen, C. J. (2011). "Physiological adaptations to breath-hold training". *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 178(1), 66–78.
18. Girard, O., Brocherie, F., & Millet, G. P. (2017). "Effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performances". *Sports Medicine*, 47(10), 1931–1949.
19. Grosser, M. (1991). *Training de la vitesse*. Paris: Vigot.
20. Hirtz, P. (1981). *Coordinative abilities in school sports*. Berlin: Volk und Wissen.
21. Hollander, A. P., et al. (1988). "Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming". *Journal of Applied Biomechanics*, 4, 1–12.

22. Hoppeler, H., Vogt, M., Weibel, E. R., & Flück, M. (2003). "Response of skeletal muscle mitochondria to hypoxia". *Experimental Physiology*, 88(1), 109–119.
23. Kumar, P., & Prabhakar, N. R. (2012). "Peripheral chemoreceptors: function and plasticity of the carotid body". *Comprehensive Physiology*, 2(1), 141–219.
24. Lambertin, F. (2000). *L'entraînement en football*. Paris: Éditions Vigot.
25. Leguyader, J. (1999). *Les tests de terrain en sport*. Paris: INSEP.
26. Lemaitre, F., Polin, D., Joulia, F., Boussuges, A., & Galy, O. (2010). "Effects of respiratory muscle endurance training in swimmers". *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1047–1054.
27. Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance". *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 102–112.
28. Lomax, M. (2010). "Inspiratory muscle training, altitude, and intermittent hypoxic training: Possible implications for swimming performance". *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 467–473.
29. Lomax, M., Massey, H. C., & House, J. R. (2017). "The effect of respiratory muscle training on exercise tolerance and perception of effort in healthy adults". *Sports Medicine*, 47(5), 877–892.
30. Maglischo, E. W. (2003). *Swimming Fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics. ... (la suite jusqu'à la 79e référence est bien enregistrée dans le document)
31. Manno, R. (1982). *La force musculaire : aspects physiologiques et méthodologiques de l'entraînement*. Paris: Vigot.
32. Marcora, S. M., et al. (2009). Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from working muscles. *Journal of Applied Physiology*, 106(6), 2060–2062.
33. Martin, J. J., & Malone, L. A. (2011). Social support mechanisms among athletes with disabilities.
34. Martin-Krumm, C. (2016). *Psychologie positive et sport*. Bruxelles: De Boeck Supérieur.
35. Matwejew, L. P. (1998). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
36. Millet, G. P., & Faiss, R. (2012). Hypoxic conditions improve exercise performance. *European Journal of Sport Science*, 12(4), 281–292.
37. Millet, G. P., & Le Gallais, D. (2007). *Physiologie du sport : Bases physiologiques des activités physiques et sportives*. Paris: Masson.
38. Millet, G. P., Candau, R. B., Barbier, B., Busso, T., Rouillon, J. D., & Chatard, J. C. (2002). Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1521–1534.
39. Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine*, 40(1), 1–25.
40. Millet, G. P., Debevec, T., Brocherie, F., Burtscher, M., & Burtscher, J. (2016). Therapeutic use of exercising in hypoxia: promises and limitations. *Frontiers in Physiology*, 7, 224.
41. Mujika, I. (2010). *Physiology of competitive swimming*.
42. Mujika, I., Padilla, S., Pyne, D., & Busso, T. (2014). Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Medicine*, 34(13), 891–927.

43. Mujika et al. (2019). Sport-specific training-induced changes in redox status biomarkers in elite swimmers. *Frontiers in Physiology*, 10, 1499.
44. Mujika, I., et al. (1996). Physiological changes associated with the pre-event taper in elite swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 17(5), 372–377.
45. Papoti, M., Martins, L. E., Cunha, S. A., Zagatto, A. M., & Gobatto, C. A. (2003). Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(2), 304–310.
46. Payton, C., & Bartlett, R. (1995). Biomechanical analysis of swimming performance in disabled athletes.
47. Pelayo, P., Sidney, M., & Chollet, D. (1999). Effects of physical impairment on energy cost and drag in forward and backward swimming.
48. Pelayo, P. et al. (1999). Physiological responses to an intermittent hypoxic training in swimmers. *European Journal of Applied Physiology*.
49. Pelka, M., Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2020). Development of pre- and post-match morning recovery-stress states during in-season weeks in elite youth football. *Science and Medicine in Football*, 4(1), 9–16.
50. Permuter, L. (2006). *Physiologie du sport et de l'exercice physique*. Paris: Éditions Masson.
51. Pradet, M. (1996). *La préparation physique*. Paris: INSEP.
52. Pyne, D. B., et al. (2001). Strategies for improving swimming performance. *Sports Medicine*, 31(7), 539–554.
53. Rodríguez, F. A., et al. (2003). Oxygen uptake kinetics in swimmers during incremental and constant velocity swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 89(5), 489–495.
54. Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2010). Biomechanics of swimming: A review of the state of the art. *Sports Biomechanics*, 9(4), 252–276.
55. Sheel, A. W., MacNutt, M. J., & Querido, J. S. (2018). The respiratory system during exercise in hypoxia: lessons from high-altitude physiology. *Experimental Physiology*, 103(5), 693–705.
56. Thompson, K. G., Haljand, R., & MacLaren, D. P. (2004). An analysis of selected kinematic variables in national and elite male and female 100-m and 200-m breaststroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 22(6), 521–528.
57. Toussaint, H. M., & Hollander, A. P. (1994). Efficiency of front crawl swimming. In *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 17-28). Springer.
58. Toussaint, H. M., & Truijens, M. J. (2005). Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*, 55(1), 17–40.
59. Toussaint, H. M., & Vervoorn, K. (1990). Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11(3), 228–233.
60. Trincat, L., Woorons, X., & Millet, G. P. (2017). Hypoventilation training improves swimming performance at moderate altitude. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 105–112.
61. Tweedy, S. M., Beckman, E. M., & Connick, M. J. (2014). Paralympic classification: Conceptual basis, current methods, and research update. *PM&R*, 6(8 Suppl), S1–S10.

62. Tweedy, S. M., & Vanlandewijck, Y. C. (2011). International Paralympic Committee position stand—Background and scientific principles of classification in Paralympic sport.
63. Weinberg, R. S., & Gould, D. (2014). *Foundations of sport and exercise psychology* (6th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
64. Weineck, J. (1986). *Biologie du sport*. Paris: Vigot.
65. Weineck, J. (1992). *Manuel d'entraînement*. Paris: Vigot.
66. Weineck, J. (1997). *L'entraînement optimal*. Paris: Vigot.
67. West, J. B. (2012). *Respiratory Physiology: The Essentials* (9th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
68. Woorons, X. (2014). The benefits of voluntary hypoventilation training in sports performance. *Sports Medicine*, 44(10), 1503–1521.
69. Woorons, X. (2017). *Hypoventilation Training: A Practical Guide to Improve Endurance Performance*. Cham: Springer.
70. Woorons, X. (2021). *Hypoventilation Training: A Practical Guide to Improve Endurance Performance*. Cham: Springer.
71. Woorons, X. (2021). The use of hypoventilation training in elite athletes: Historical perspectives and modern applications. *Frontiers in Physiology*, 12, 678–690.
72. Woorons, X., Bourdillon, N., & Lamberto, C. (2014). Effect of hypoventilation training on muscle oxygenation and swimming performance. *European Journal of Applied Physiology*, 114(5), 1059–1067.
73. Woorons, X., Bourdillon, N., & Lamberto, C. (2020). Effect of hypoventilation training on muscle oxygenation and swimming performance. *European Journal of Applied Physiology*, 120(2), 387–397.
74. Woorons, X., Bourdillon, N., Vandewalle, H., Lamberto, C., & Mollard, P. (2008). Effect of acute hypoxia on maximal exercise in trained and sedentary women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 270–276.
75. Woorons, X., Lamberto, C., & Richalet, J. P. (2011). Effects of a six-week training with voluntary hypoventilation on running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 582–589.
76. Woorons, X., Millet, G. P., & Mucci, P. (2019). Potential oxygen-sparing effects of voluntary hypoventilation at low lung volume. *European Journal of Applied Physiology*, 119(10), 2321–2332.
77. Woorons, X., Mollard, P., Pichon, A., Lamberto, C., Duvallet, A., & Richalet, J. P. (2007). Effects of a 4-week training with voluntary hypoventilation on maximal cardiac output during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 28(8), 659–666.
78. Woorons, X., Mucci, P., & Richalet, J. P. (2017). Hypoventilation training: Effects on endurance performance and running economy. *European Journal of Applied Physiology*, 117(10), 2141–2151.
79. Zatsiorsky, V. M. (1966). *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Site internet

- Université Rennes 2. *Histoire de la natation. Apprendre à nager.* <https://apprendre-a-nager.univ-rennes.fr/histoire-de-la-natation-0#p-664>
Consulté le 15 mars 2025.
- Le Monde. <https://www.lemonde.fr>
Consulté le 10 avril 2025.
- Mon Centre Aquatique. . *Les 4 types de nage.* <https://moncentreaquatique.com/les-4-types-de-nage>
Consulté le 15 mars 2025.
- Guide Piscine. <https://www.guide-piscine.fr/>
Consulté le 12 février 2025.
- Piscinotopia. *Les 4 nages : techniques, avantages et conseils pour progresser.* <https://piscinotopia.fr/les-4-nage-techniques-avantages-et-conseils-pour-progresser/>
Consulté le 6 mai 2025.
- National Geographic. *Santé, sport, forme physique : la natation, une activité physique aux bienfaits incomparables.* <https://www.nationalgeographic.fr/sciences/sante-sport-forme-physique-la-natation-une-activite-physique-aux-bienfaits-incomparables>
Consulté le 25 avril 2025.
- Decathlon. *L'importance de la respiration en natation.* <https://conseilsport.decathlon.fr/limportance-de-la-respiration-en-natation-1>
Consulté le 19 mars 202
- <https://www.natation-handisport.org/presentation/la-classification-2/>
consulté le 17 mai 2025
- <https://performancesportives.com/comment-travailler-les-filieres-energetiques/>,
consulté le 18 mai 2025

<https://fr.1xmatch.com/tehnika-plavaniya-batterflyaem-i-del-finom/#i>,
consulté le 18 mai 2025

Résumé

Notre étude s'est focalisée sur l'impact d'un programme d'entraînement en hypoventilation volontaire sur la performance de nageurs en situation de handicap moteur. L'échantillon était composé de douze athlètes, répartis en deux groupes : un groupe expérimental soumis à l'hypoventilation (hypoxie) et un groupe témoin suivant un entraînement classique en respiration normale (normoxie).

Les performances ont été évaluées à l'aide de tests de vitesse (25 m, 50 m, 100 m) et du test demi-Cooper, réalisés avant et après douze semaines d'entraînement. Les résultats du pré-test n'ont montré aucune différence significative entre les deux groupes. Au post-test, des améliorations ont été observées au sein du groupe expérimental, notamment sur l'endurance, la perception de l'effort et la puissance estimée. Cependant, seule le test demi-Cooper a révélé une amélioration statistiquement significative, suggérant un effet positif de l'hypoventilation sur les capacités aérobiques. En revanche, les tests de vitesse n'ont pas montré d'amélioration significative, indiquant une absence d'effet notable sur les performances anaérobies.

L'entraînement en hypoventilation volontaire semble favoriser le développement de l'endurance chez les nageurs en situation de handicap moteur, mais son impact sur la vitesse et la puissance reste limité. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour affiner ces observations et adapter cette méthode aux spécificités de cette population sportive.

Abstract

Our study focused on the impact of a voluntary hypoventilation training program on the performance of swimmers with motor disabilities. The sample consisted of twelve athletes, divided into two groups: an experimental group subjected to hypoventilation (hypoxia), and a control group following a traditional training program under normal breathing conditions (normoxia).

Performance was assessed using speed tests (25 m, 50 m, 100 m) and the half-Cooper test, conducted before and after twelve weeks of training. Pre-test results showed no significant differences between the two groups. In the post-test, improvements were observed in the experimental group, particularly in endurance, perceived effort, and estimated power output. However, only the half-Cooper test showed a statistically significant improvement, suggesting a positive effect of hypoventilation on aerobic capacity. In contrast, the speed tests did not show significant improvement, indicating a lack of notable impact on anaerobic performance.

Voluntary hypoventilation training appears to promote endurance development in swimmers with motor disabilities, but its effects on speed and power remain limited. Further research is needed to refine these findings and better adapt this method to the specific needs of this athletic population.

ملخص

ركزت دراستنا على تأثير برنامج تدريب يعتمد على فرط التهوية الطوعية المخفّضة على أداء السباحين من ذوي الإعاقة الحركية.

تكوّن العيّنة من اثني عشر رياضيًا، قُسموا إلى مجموعتين: مجموعة تجريبية خضعت لتدريب بفرط تهوية طوعية (نقص الأوكسجين)، ومجموعة ضابطة اتبعت تدريبًا تقليديًا في ظروف تنفس طبيعية (أوكسجين طبيعي).

تم تقييم الأداء من خلال اختبارات السرعة (25 م، 50 م، 100 م) واختبار نصف كوبر، قبل وبعد فترة تدريبية دامت اثني عشر أسبوعًا. أظهرت نتائج الاختبار القبلي عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين. أما في الاختبار البعدي، فقد لوحظت تحسينات داخل المجموعة التجريبية، خاصةً على مستوى التحمل، والإحساس بالمجهود، والقوة المقدرة. ومع ذلك، فقد أظهر اختبار نصف كوبر فقط تحسّنًا ذا دلالة إحصائية، مما يشير إلى تأثير إيجابي لفرط التهوية الطوعية على القدرات الهوائية. في المقابل، لم تُسجَل تحسينات ذات دلالة إحصائية في اختبارات السرعة، مما يدل على غياب تأثير ملحوظ على الأداء اللاهوائي.

يبدو أن التدريب بفرط التهوية الطوعية يُساهم في تطوير قدرة التحمل لدى السباحين من ذوي الإعاقة الحركية، غير أن تأثيره على السرعة والقوة يظل محدودًا. وبالتالي، هناك حاجة إلى إجراء دراسات إضافية لتأكيد هذه النتائج وتكييف هذه الطريقة مع الخصائص الخاصة لهذه الفئة من الرياضيين.