

Année universitaire 2023-2024

Master 1^{ère} année Master 2^{ème} année

Master STAPS mention : *Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive*

Parcours : *Préparation du sportif : aspects physiques, nutritionnels et mentaux*

MEMOIRE

TITRE : Effet de l'entraînement combiné sur les performances en crawl en natation sportive.

Par : MAZZOLENI VICTOR

Sous la direction de : MONSIEUR MICHEL SIDNEY

Soutenu à la Faculté des Sciences du Sport et
de l'Éducation Physique le :



« La Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à madame Garcin, doyenne de la faculté des Sciences du sport et de l'éducation physique (FSSEP), pour avoir accordé son soutien et son autorisation tout au long de mon parcours.

Je souhaite également adresser mes plus sincères remerciements à mon directeur de mémoire, M. Michel Sidney, pour son accompagnement précieux, ses conseils et le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette année. Sa patience, son expertise et son dévouement ont grandement contribué à la conception de ce travail de recherche.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers l'association sportive de l'AVAN Natation et tout particulièrement à sa présidente, madame Yamina Kuskusi, ainsi qu'à monsieur Romain Duthoit, le directeur technique du club qui a fortement aidé à mon intégration dans la structure. Leur collaboration, leur soutien et leur engagement envers le développement sportif ont été d'une aide précieuse pour l'évolution de mon objet d'étude.

Enfin, je souhaite remercier ma famille, mes amis, ma copine et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire. Leur soutien moral et leur encouragement ont été essentiels pour ce projet.

Sommaire

1. Introduction.....	6
2. Revue de littérature.....	7
2.1. Facteur de performance en natation.....	7
2.2. Entraînement en force en natation :.....	9
2.3. Entraînement en endurance de force en natation.....	11
2.4. Entraînement combiné dans la natation.....	12
3. Problématique :.....	14
4. Objectifs.....	14
5. Hypothèses.....	15
6. Matériel(s) et méthode (protocole expérimental).....	15
6.1. Sujets :.....	15
6.2. Matériels :.....	15
6.3. Protocole :.....	16
7. Analyse statistique.....	17
8. Résultats :.....	17
9. Discussion.....	22
10. Conclusions et Perspectives.....	25
11. Références bibliographiques.....	26
12. Annexes:.....	29
13. Résumé et Mots-clès :.....	30

1. Introduction

La quête de la performance en natation, plus particulièrement dans la nage la plus rapide, qui est le crawl, requiert un assemblage minutieux entre les mécanismes physiologiques et les stratégies d'entraînement les plus efficaces. Il a été prouvé que l'entraînement en résistance permettait un gain de force et du taux de développement de la force sur les performances en natation (Suchomel et al., 2016). Parmi ces entraînements en résistance, l'entraînement combiné, fusionnant les aspects cruciaux de l'endurance de force et de la force maximale, émerge comme une approche novatrice dans de nombreux sports tels que le basket, le tennis ou encore le cyclisme, mais qui peut également être une approche intéressante dans le développement des qualités physiques des nageurs dans le cadre de la préparation physique. (Rønnestad et al, 2014 ; Arede et al, 2019)

Le crawl, par son fonctionnement cyclique et répétitif, nécessite une combinaison harmonieuse de l'efficacité technique et des différents facteurs physiologiques impliqués. L'entraînement combiné, en intégrant des séances d'endurance de force pour développer des adaptations périphériques telles que les enzymes glycolytiques et des exercices de force maximale pour les adaptations centrales telles que la coordination intra-intermusculaire ainsi que le recrutement des unités motrices, offre une perspective complète pour répondre à ces exigences spécifiques.

Ce mémoire a pour but d'explorer le potentiel de l'entraînement combiné d'endurance de force et de force maximale sur les performances en crawl.

Cette étude est permise grâce au soutien du staff ainsi qu'à la participation des nageurs du club de l'AVAN, dont je prends en charge leur préparation physique en tant que stagiaire.

Dans un premier temps, une description des différents facteurs de performance en natation sera réalisée. Avant de s'intéresser aux méthodes d'entraînement employées, il sera important de constater tous les éléments mis en jeu pour obtenir les meilleures performances.

Dans un second temps, une large partie détaillera l'influence des différentes méthodes d'entraînement employées pour le développement des qualités physiques hors de l'eau. Elle présentera les effets de l'entraînement en force, en endurance de force et finalement la combinaison de ces deux qualités physiques dans un même programme.

La dernière partie exposera les méthodes et le protocole mis en place pour répondre aux hypothèses de cet objet d'étude. Elle sera complétée par les analyses et les résultats, qui seront confrontés aux études déjà existantes.

2. Revue de littérature

2.1. Facteur de performance en natation

La natation fait partie des sports les plus complexes en matière d'entraînement de par sa nature aquatique. Elle est donc soumise à des contraintes différentes que celles que l'on retrouve sur terre, ce qui va considérablement modifier la part des facteurs de performances comparé à d'autres sports. Selon Cazorla (1994), il existe 4 grands facteurs de performance (Figure 1) :

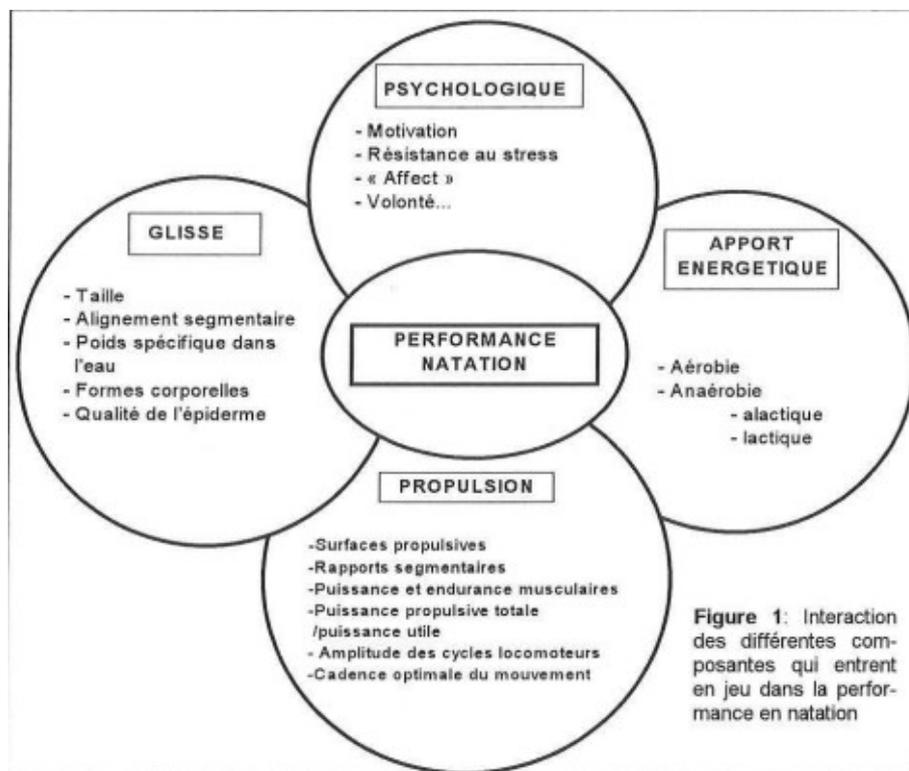


Figure 1: Interaction des différentes composantes qui entrent en jeu dans la performance en natation .(Cazorla, 1994)

Parmi ces facteurs, ceux liés à la glisse font référence aux données anthropométriques du nageur. Certains sont innés et ne peuvent être modifiés par l'entraînement, tels que la taille et la qualité de l'épiderme, d'autres peuvent changer comme les formes du corps ou encore la densité corporelle ainsi que l'alignement segmentaire qui peuvent permettre une optimisation de la glisse qui se traduit par une

diminution des résistances passives à l'avancement. Dans le milieu aquatique, la résistance de l'eau et les forces de traînée augmentent avec le cube de la vitesse (Toussaint et Hollander, 1994).

D'où l'importance pour les nageurs de réduire ces résistances ou de les optimiser pour ne pas perdre en vitesse.

Les facteurs liés à l'apport énergétique sont déterminants pour la performance sportive. Cependant, en natation, la part de chaque voie métabolique est différente selon les temps de nages. Les 3 filières métaboliques existantes ont un rôle dans n'importe quelle course en natation. Notamment, les filières anaérobie sont très sollicitées lors des départs, des virages et sur les courses inférieures à 200 m, et enfin, la filière aérobie est principalement sollicitée sur les performances supérieures à 200 mètres en crawl. Mais en se basant sur les records du monde du 50 mètres nage libre jusqu'au 1500 mètres nage libre, ce sont les filières anaérobie, lactique et aérobie qui sont les plus sollicitées (Cazorla, 1994).

Et enfin la propulsion, que nous allons développer dans cette étude, car elle fait en partie référence à la qualité physique des nageurs qui vont être développés dans l'eau, mais aussi en salle de musculation.

Les derniers facteurs qui sont pertinents pour cette étude sont ceux liés à la propulsion dans l'eau qui est constituée de la position du nageur dans l'eau, du trajet des surfaces propulsives subaquatiques, de la fréquence, de l'amplitude et de la puissance de chaque cycle locomoteur ainsi que de leur efficacité (Cazorla, 1994). La dernière composante, en lien avec l'objet d'étude, dépend en grande partie des qualités physiques développées en salle de musculation, plus particulièrement liées à la force musculaire. Elle sera détaillée plus largement dans la prochaine partie.

Ces 3 facteurs ont tous un lien étroit avec un élément à la base même de la locomotion humaine, le coût énergétique (kJ/m) permettant le déplacement, mais il dépend du milieu. Plus précisément, il correspond à l'énergie dépensée par unité de distance, mais peut être également décrit comme l'énergie consommé par unité de temps divisé par la vitesse de déplacement (Di Prampero, 1986)

D'où le rôle important de la puissance métabolique nécessaire pour la locomotion de l'individu dans les performances sportives ; De plus, la particularité du milieu aquatique complexifie ce coût énergétique, avec les facteurs de performances développés plus haut, car (Millet, 2002) explique qu'à vitesse de compétition, le coût énergétique orienté pour vaincre les résistances externes représente la majeure

partie du coût énergétique, soit plus de 90 % du CE, d'où la nécessité d'avoir une technique de nage irréprochable pour limiter ses résistances. L'autre part du CE fait référence au facteur mécanique, que l'on distingue en natation comme la propulsion (Figure 1), ce qui témoigne de la part déterminante des résistances externes en milieu aquatique et donc du faible rendement de l'homme dans ce milieu. En comparaison avec une performance en course à pied pour des durées d'effort maximales similaires, la puissance métabolique est de 1905 kW pour un 5 km à pied et de 1892 kW pour un 1500 mètres dans l'eau.

2.2. Entraînement en force en natation :

La natation sportive fait partie des sports à tendance répétitive, connus pour ses entraînements longs et nécessitant en majeure partie les qualités d'endurance, car bien souvent, les distances parcourues lors des entraînements peuvent varier entre 10 km par semaine pour des nageurs de bas niveau, jusqu'à 100 km pour les nageurs de haut niveau de longue distance.

La performance maximale lors d'une épreuve de longue durée s'obtient par la capacité de l'athlète à générer une puissance musculaire élevée sur l'ensemble du parcours associée à un faible coût énergétique (Aagaard, 2011).

Ce développement de la puissance est lié au développement de la force et de la vitesse, par le produit de la force en newton (N) et de la vitesse (m/s) sur terre, mais en natation, elle est représentée par le produit de la force de propulsion et de la vitesse de nage (m/s).

Cette puissance maximale est fournie grâce à la filière anaérobie qui permet le recrutement rapide des fibres de type 2a, déterminantes dans l'utilisation de la force maximale sur un court instant, d'où son implication lors des épreuves de natation.

Cependant, dans le cadre du renforcement musculaire en natation, un questionnement est permis quant à la similarité entre les valeurs de force propulsive en milieu aquatique et de force maximale enregistrée en salle de musculation ;

Selon McArdle (1970), il n'y a que 13 % de la force max à sec qui se développe dans l'eau, et le pourcentage baisse avec l'augmentation des distances, soit 2,5 % sur le 1500 m. Cependant, de nombreux facteurs peuvent fausser cette estimation, notamment par une activation différente des muscles si l'on essaie de reproduire un mouvement de crawl à sec et dans l'eau.

La part du métabolisme anaérobie responsable de la capacité en force maximale musculaire et en explosivité selon les distances de courses est représentée dans le tableau ci-dessous. (Tableau 1)

Métabolismes exprimés en %	Distances				
	50m	100m	200m	400m	1500m
Origine anaérobie	85	60	40	15	5
Origine aérobie	15	40	60	85	95

Tableau 1 : Pourcentages respectifs estimés des différentes sources énergétiques sollicitées au cours des compétitions nagées en crawl, d'après Montpetit, 1992.

Ce tableau, inspiré des travaux de Montpetit (1992), démontre l'importance de l'utilisation des 2 voies métaboliques au cours des épreuves de natation. Celui-ci témoigne d'une augmentation de la part du métabolisme anaérobie au fur et à mesure que les distances diminuent, car le temps d'effort se raccourcit. À l'inverse, cette part est en baisse avec l'augmentation des distances et donc de la durée d'efforts.

Bien que la part du métabolisme aérobie diminue sur les petites distances, sa sollicitation reste déterminante dans les séances d'entraînements qui durent plusieurs heures, mais également elle est primordiale pour la resynthèse de l'ATP lors des phases de récupération.

Pour entretenir leur capacité anaérobie, les nageurs doivent avant tout exploiter leurs forces maximales et leur explosivité lors des séances dans l'eau, mais surtout lors des séances de préparation physique en salle de musculation qui permettront un recrutement plus efficace des fibres de type 2 par l'utilisation de charges lourdes et ainsi produire un transfert de force dans l'eau.

Mais à quoi correspond vraiment un entraînement en force ?

La force maximale est la force la plus élevée que le système neuromusculaire peut exercer par une contraction maximale *volontaire*. Elle correspond à la charge qu'un individu n'est capable de mobiliser qu'une seule fois (1RM) (Baechle et al, 2008).

Cette force se développe à des intensités entre 85 et 100 % de la 1RM, moins de 6 répétitions sur 2 à 6 séries par exercice, ajoutées à une récupération entre 2 et 5 minutes (Baechle et al, 2008).

Selon Wirth et al (2022), l'entraînement en force maximale participe à plusieurs bénéfices pour le corps humain, notamment sa capacité à prévenir les changements dégénératifs du système musculo-

squelettique actif et passif, c'est-à-dire qu'il va prévenir les traumatismes ou autres changements potentiels que peuvent rencontrer les muscles, les tendons et les os du corps.

À noter également que le développement de la force maximale et du taux de développement de la force seront bénéfiques pour l'explosivité des membres supérieurs dans les nages, les départs au plot et les virages qui sont des éléments clés afin d'améliorer la vitesse de propulsion durant les courses.

Dans cette logique, l'amélioration de la force maximale n'aura pas seulement un effet positif sur les distances de type sprint ; mais également sur les distances à majorité aérobie en raison de l'augmentation du nombre de virages. (Blanksby et al, 1996)

Outre son efficacité dans la nage, le travail de la force a un rôle préventif pour les blessures chez les nageurs, car selon une étude, les nageurs ont une densité osseuse inférieure à des athlètes pratiquant des sports de mise en charge et de force (Courteix et al., 1998).

Ces faiblesses sont situées au niveau de la colonne vertébrale (lordose), de l'articulation de l'épaule (conflits sous-acromial) et des genoux (inflammation et fibrose de la plica synoviale), dues à des mouvements articulairement défavorables ou à du surentraînement.

Ce développement de la force est particulièrement recommandé chez les nageurs de sprint pour répondre aux fortes résistances dont ils font face avec leur vitesse de nage bien plus élevée que des nageurs de fonds, c'est pourquoi ils présentent une forte densité musculaire et osseuse.

L'entraînement en force chez les nageurs permet une meilleure minéralisation osseuse et une meilleure stabilité des articulations des genoux, de la hanche et de l'épaule (Dawson et al, 2015).

Ce développement est conseillé pour les pré-adolescents avant leur pic de croissance, car il va permettre une amélioration de la densité osseuse, de la capacité aérobie, des habiletés motrices et sportives, de la sensibilité à l'insuline et même de la santé mentale, et une diminution du risque de douleur, cardio-vasculaire, de blessures liées à l'activité physique. Si ce développement a lieu avant sa croissance, mais aussi durant la croissance, les performances futures de l'enfant seront optimisées. (Pochetti et al, 2018)

2.3. Entraînement en endurance de force en natation

La natation requiert d'avoir un métabolisme aérobie développé si l'on veut atteindre un haut niveau de performance, non seulement pour une récupération efficace post-entraînement et en compétition, mais aussi pour assumer les dizaines de milliers de mètres parcourus lors des semaines d'entraînements, que l'on soit sprinter ou non. C'est pour cela que dans la périodisation des entraînements, les débuts de saison commencent par du travail d'hypertrophie et d'endurance de force. En début de saison, l'objectif est de retrouver la masse musculaire perdue pendant la période de trêve et de préparer progressivement le corps au développement des prochaines qualités physiques durant la saison. Le développement de l'endurance de force fait partie de ses objectifs de début de saison afin de laisser le corps s'adapter aux charges, mais surtout pour commencer le travail sur la force répétitive, qui est la capacité du système neuromusculaire à maintenir un haut niveau de force sur le long terme, une qualité physique très importante pour les nageurs.

Nous distinguerons ici l'endurance aérobie, qui est le développement de la consommation d'oxygène travaillée lors des entraînements dans l'eau. Et l'endurance de force, qui sera travaillée lors des entraînements en salle de musculation, avec des intensités entre 20 et 60 % de la 1RM, en réalisant au minimum 15 répétitions sur 3 à 7 séries d'exercices et avec entre 15 sec et 2 min de récupération (Baechle et al, 2008).

2.4. Entraînement combiné dans la natation

Selon Wilson (2012) et Hawley (2009), l'entraînement combiné est le couplage d'entraînement de force et d'endurance, et ce, dans un même programme.

Dans la natation, ces deux qualités physiques sont nécessaires pour la performance des nageurs, car le sport demande de pouvoir maintenir un haut niveau de force sur des distances importantes, d'où la nécessité du travail neuromusculaire par la force et du travail de résistances musculaires sur le long terme.

Cependant, dans la littérature scientifique, le développement de plusieurs qualités physiques dans un même programme fait débat quant à l'efficacité de celle-ci ; il peut donc y avoir un doute sur les conséquences physiologiques de l'entraînement combiné proposé ci-dessus.

Plusieurs études ont été menées au fil du temps pour s'intéresser à l'efficacité d'un tel entraînement ; et il s'avère que ce programme peut tout à fait améliorer ces deux qualités physiques (Bell, 1991 ; Izquierdo, 2005 ; Losnegaard, 2010).

Mais y a-t-il des limites à leur développement ?

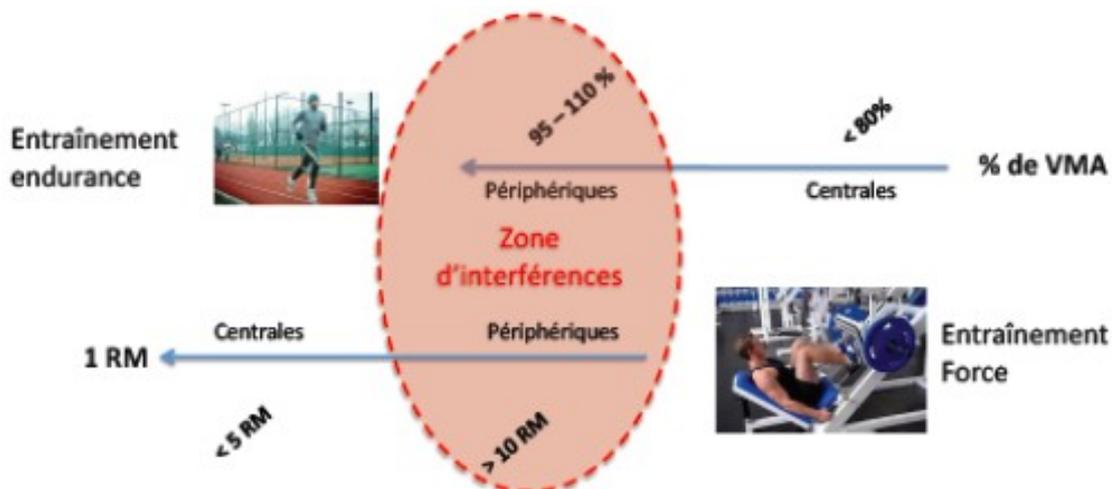


Figure 2: Schéma des interférences liées aux types d'entraînements

En effet, un entraînement combiné peut provoquer un phénomène d'interférence, c'est-à-dire que les adaptations induites dans un entraînement combiné sont inférieures à celles provoquées par un entraînement de la force ou d'endurance seul. Cela arrive lorsque deux facteurs identiques sont développés au même moment, comme par exemple sur la figure 2 ; la force musculaire sous maximal (> 10 répétitions) et l'endurance à des seuils max (95-110 % de VMA) (Milner-Brown, 1975).

Selon une étude menée sur des haltérophiles, les sujets ont montré qu'ils recrutaient les unités motrices des fibres musculaires de type 2 : fibres rapides qui sont sollicitées lors de charges lourdes et sur des mouvements explosifs, mais également les fibres musculaires de type 1, fibres lentes sollicitées sur les efforts de type endurance (Suchomel, 2018).

À l'inverse, une étude menée sur des sujets réalisant des entraînements d'endurance sur ergocycle durant 6 semaines a montré une augmentation du volume des mitochondries des fibres de types 2a et 2b, mais également de type 1. (Howald, 1985)

Ces deux études font référence à un développement de la force pour la première et de l'endurance pour la deuxième. Elles montrent que peu importe le type d'entraînement, toutes les fibres musculaires se développeront.

Mais les phénomènes d'interférence interviennent également sur l'hypertrophie musculaire induite par l'entraînement en force. Elle serait altérée par l'entraînement en endurance lors d'un entraînement combiné. Ce constat s'explique, car la molécule ATK produite par l'entraînement en force va inhiber le TSC2 responsable de la synthèse de masse musculaire.

La TSC2 est produite par l'AMPK (voie aérobie), ce qui va inhiber la synthèse de protéines pour gagner en muscles.

En résumé, l'entraînement combiné en force et en endurance va inhiber la prise de masse musculaire. C'est une conséquence qui n'est pas dérangeante dans le protocole de cette étude, car l'objectif n'est pas le développement de la masse musculaire, mais plutôt des qualités de force et d'endurance de force.

Finalement, l'entraînement combiné proposé dans ce mémoire ne devrait provoquer aucun phénomène d'interférences au vu du développement de deux qualités physiques ne faisant pas partie d'un même facteur de développement. L'entraînement en force est un facteur d'adaptation central, et l'entraînement en endurance de force, un facteur d'adaptation périphérique (Figure 2).

3. Problématique :

La revue de littérature a permis de comprendre que la natation est un sport complet et qu'il est important de développer toutes les qualités physiques possibles pour atteindre de hauts niveaux de performances. Mais de nombreux facteurs sont à prendre en compte lors d'une course en natation, comme la capacité à générer une force et une puissance maximales sur une courte période de temps, mais aussi à conserver cette force sur de longues distances. D'où la nécessité de constater l'efficacité d'un entraînement combiné en force et en endurance de force qui regroupe dans un même programme les qualités physiques nécessaires à la performance des nageurs de crawl en compétition. Cependant, la disparité des épreuves en crawl pose un problème quant à l'impact de ce programme. L'étude qui sera menée va donc permettre de répondre à la question suivante : L'entraînement combiné permettra-t-il d'améliorer les performances en sprint autant que sur des longues distances ? Ou sera-t-elle plus efficace sur une épreuve particulière ?

4. Objectifs

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer la capacité de l'entraînement combiné en force et en endurance de force sur un protocole de 8 semaines sur les performances des nageurs en crawl, lors de sprints jusqu'au longue distance et de distinguer si un tel programme suffit pour développer toutes les qualités physiques nécessaires chez un nageur ou si ce programme profitera sur certaines distances.

5. Hypothèses

L'hypothèse est la suivante : le protocole va permettre une amélioration de toutes les distances qui seront testées, avec des meilleurs résultats sur les courtes distances de 25 et 75 m, mais une amélioration notable pour les longues distances due à une amélioration du temps passé lors des virages.

Soit H0 : il n'y a pas de différence significative des performances après le protocole.

Soit H1 : il y a une différence significative des performances après le protocole.

6. Matériel(s) et méthode (protocole expérimental)

6.1. Sujets :

Dans cette étude, le protocole a été réalisé sur 8 nageurs du groupe performance du club de L'AVAN natation. Ce groupe regroupe les meilleurs nageurs du club ayant un niveau régional. Ils ont en moyenne $7,3 \pm 2$ années de pratique en compétition. La moyenne d'âge des nageurs est de $17,6 \pm 5,9$ ans, le plus jeune à 13 ans et le plus âgé à 19 ans. Le groupe est composé de 2 filles et 6 garçons. Durant le protocole, un des nageurs masculin s'est blessé aux genoux, il n'a donc pas pu suivre les séances comme les autres, et a donc été écarté du protocole afin de ne pas compromettre les résultats.

6.2. Matériels :

Les séances de préparation physique pour la réalisation de l'entraînement combiné se sont déroulées dans la salle de musculation du club qui est uniquement équipée de machine guidée, de quelques appareils de cardio et d'autres accessoires tels que des kettlebells, élastiques, tapis de sol, médecin ball, plots. Ci-dessous, la liste des matériels à disposition :

Tableau 2: Matériels et machines de la salle de musculation de la piscine du Trioll

Machines	Quantités
Bench press	1
Leg curl	1
Leg extension	1
Butterfly	1
Chaise romaine (Poignet dips, barre de traction)	1
Élévation latérale	1
Tirage vertical	1
Tirage horizontal	1
Poules hautes et basses	2
Rameurs	2
Vélos	2

Les tests se sont déroulés dans le bassin sportif de la piscine municipale de Triolo à Villeneuve d'Ascq. Il est composé de 6 couloirs de 25m avec plots.

6.3. Protocole :

Les séances de musculation se sont déroulées 2 fois par semaine, le mercredi était réservé au développement de la force maximale, et le dimanche après-midi pour le développement de l'endurance de force, ces deux séances étaient juste avant l'entraînement dans l'eau. Le protocole s'est déroulé sur 8 semaines, une première phase de test a eu lieu 1 semaine avant le début du protocole, puis l'autre 1 semaine après la fin du protocole. Ces journées de tests étaient composées d'un échauffement standardisé de 1200m à une intensité modérée , puis de prise de temps sur 800m, 200m, 75m et 25m dans cet ordre, avec entre 5 et 10min de récupération passive entre les courses. Les temps pris sur les courses sont : temps de l'épreuve, temps aux premiers 15 mètres, temps de tous les 5m après la poussée du mur.

7. Analyse statistique

Tableau 3: Caractéristiques des sujets

	Sujets
Effectif (n)	7
Sexe H:F	5:2
Âges (année)	17,6 ± 5,9 ans
Taille (cm)	178 ± 10 cm
Poids (kg)	69 ± 9 kg
Expérience en compétition (année)	7,3 ± 2 ans

Les données quantitatives sont exprimées en moyenne et écart-type , et les données qualitatives sont dénombrées.

Nous avons vérifié si la distribution des données suit une loi normale avec le test de Shapiro-Wilk, puis nous vérifions l'homogénéité des variances à l'aide du test de Levene.

Pour comparer les données statistiques, nous avons utilisé le test paramétrique pour 2 échantillons appariés, qui est le test T de Student. Ensuite, la taille de l'effet a été calculée avec le D de Cohen (table annexe 3). Les valeurs sont considérées significatives pour un $p < 0,05$.

Enfin, les analyses statistiques ont été réalisées sur les logiciels Excel, OpenOffice Calc et Jamovi.

8. Résultats :

Les résultats des différents tests et parties de courses des 7 nageurs au test de normalité de Shapiro-Wilk (annexe 1) sont tous supérieurs à la valeur de $p > 0,05$, cela signifie que la distribution des résultats suit une loi normale. Puis, pour orienter le choix du test à réaliser, il faut également vérifier l'homogénéité des variances, soit avec le test de Levene (Annexe 1). Les résultats nous dévoilent pour l'entièreté des données avant/après selon les distances que les valeurs de p sont supérieures à 0,05, ce qui valide l'homogénéité des variances et donc oriente notre choix sur un test paramétrique.

Le but de notre analyse des résultats est de comparer les résultats d'un même groupe, avant et après un protocole, donc le test effectué est celui de T de Student pour variables appariées, afin de constater s'il y a une différence significative, soit $p < 0,05$ ou non significative, soit $p > 0,05$, donc pas de différence.

Tableau 4: Tableau des résultats statistiques du 800m et ses parties de courses.

	Vitesse 800 (m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)		Vitesse 5m (m.s-1)	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test2
Moyenne	1,33	1,36	1,99	2,11	1,98	2,17
Ecart type	0,09	0,07	0,16	0,25	0,16	0,24
T de Student	P=0,031		P=0,020		P=0,034	
D de cohen (effet size)	1,06		1,19		1,03	

On constate sur ce tableau que le T de Student nous permet de rejeter l'hypothèse H_0 , car la valeur de P est inférieure à 0,05, donc il y a bien une différence significative entre les vitesses des nageurs avant et après le protocole. De plus, selon la table du d de Cohen, la taille de l'effet observé des 3 parties de courses du tableau montre un effet très élevé, soit $> 1,20$ et < 2 . (Table D de Cohen en annexe 3)

Tableau 5: Tableau des résultats statistiques du 200m et ses parties de courses.

	Vitesse 200(m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)		Vitesse 5m (m.s-1)	
	Test1	Test 2	Test 1	Test2	Test1	Test2
Moyenne	1,45	1,47	1,90	2,08	2,12	2,23
Ecart type	0,09	0,09	0,33	0,19	0,26	0,29
T de Student	P=0,01		P=0,181		P=0,013	
D de cohen (effet size)	0,28		0,57		1,31	
Puissance			0,25			

Ce tableau nous montre que le T de Student nous permet de rejeter l'hypothèse H_0 , $p < 0,05$ pour les résultats du 200 m et des 5 m du 200 m, soit une taille de l'effet faible pour le premier (0,28) et très élevée pour le second (1,31).

Pour les résultats du 15 m et du 200 m, le test T de Student nous permet de valider H_0 , soit $p > 0,05$, il n'y a pas de différence significative avant et après le protocole, la force de l'effet est moyenne, mais afin de ne pas commettre une erreur de choix de valider H_0 alors que H_1 est vraie, on mesure la puissance de l'effet, le résultat est très faible, soit $< 0,883$, donc cela ne nous permet pas d'être sûr que H_0 est vraie. Selon la table des valeurs de puissance (annexe 2)

Tableau 6: Tableau des résultats statistiques du 75 m et ses parties de courses.

	Vitesse 75m (m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)		Vitesse 5m (m.s-1)	
	Test1	Test2	Test1	Test2	Test1	Test2
Moyenne	1,65	1,66	2,13	2,14	2,23	2,30
Ecart type	0,12	0,15	0,18	0,22	0,30	0,30
T de Student	0,74		0,72		0,15	
D de cohen (effet size)	0,13		0,14		0,62	
Puissance	0,06		0,06		0,30	

Ce tableau des valeurs des parties de courses du 75 m, selon les valeurs de T de Student $p > 0,05$, nous permet de valider l'hypothèse H_0 : il n'y a pas de différence significative des résultats avant et après le protocole.

De plus, selon le D de Cohen, la taille de l'effet est non significative pour les résultats du 75 m et du 15 m et moyenne pour la moyenne des 5 m.

De plus, la puissance de l'effet est non significative également, donc pas certain que H_0 soit vrai, car $< 0,883$.

Tableau 7: Tableau des résultats statistiques du 25 m et son 15 m

	Vitesse 25m (m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)	
	Test1	Test2	Test 1	Test 2
Moyenne	2,00	1,96	2,17	2,14
Ecart type	0,15	0,17	0,21	0,19
T de Student	0,08		0,13	
D de cohen (effet size)	0,81		0,67	
Puissance	0,44		0,32	

Ce dernier tableau rend compte des résultats des parties de course du 25 m. Le résultat du T de student permet de valider l'hypothèse H_0 , soit $p > 0,05$. Il n'y a donc pas de différence significative avant et après le protocole pour le 25 m et 15 m de la course.

La force de l'effet est élevée pour le 25 m, soit $> 0,80$, et moyenne pour le 15 m, soit $> 0,50$ selon la table du d de Cohen.

De plus, la puissance de l'effet est peu significative, donc la validité de H_0 n'est pas certaine en rejetant H_1 , car $< 0,883$.

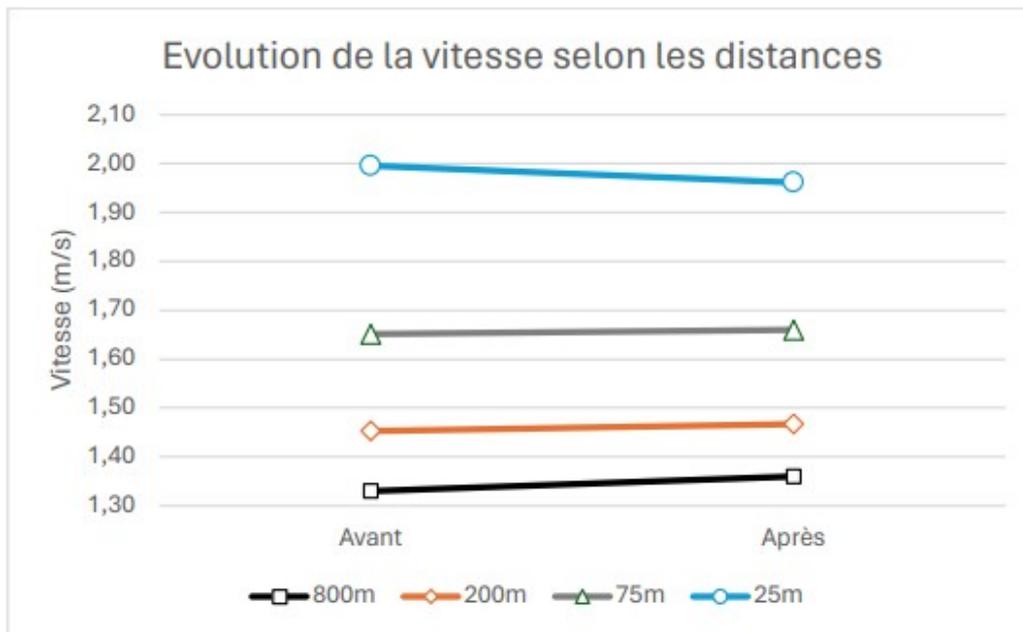


Figure 3: Évolution de la vitesse selon les 4 courses du test

Ce graphique montre l'évolution des performances moyennes des nageurs sur les 4 distances de tests. Il permet d'observer sur quelle distance les nageurs se sont le plus améliorés. Ici, c'est le 800 m qui présente une courbe un peu plus pentue, suivi du 200 m puis du 75 m. Et enfin, une baisse de la performance du 25 m.

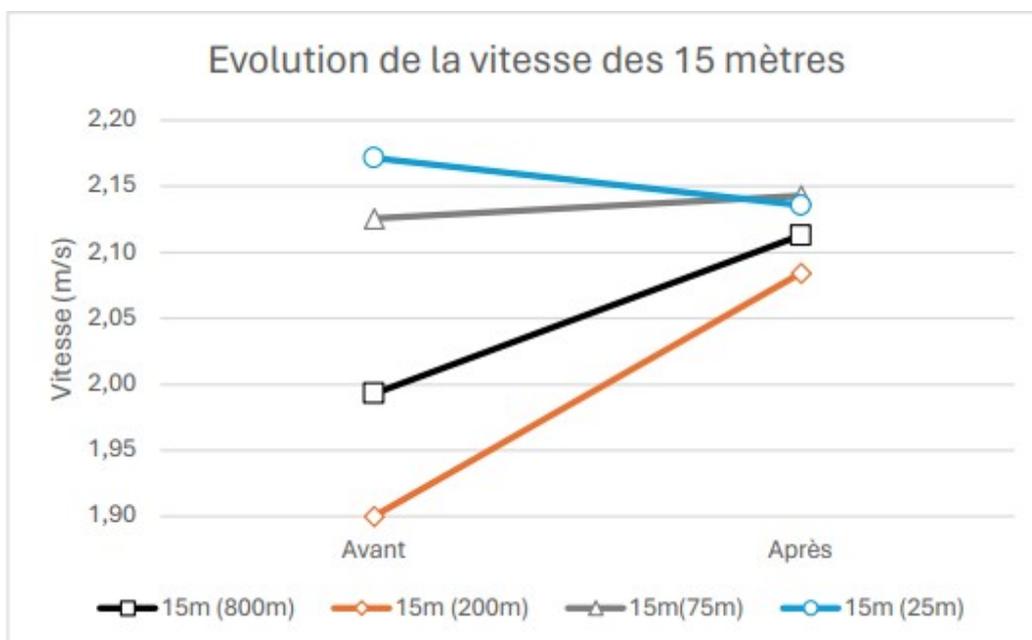


Figure 4: Évolution de la vitesse des 15 mètres de chaque courses.

Suivant le même procédé que le graphique précédent, celui-ci permet de comparer l'évolution de la moyenne des 15 m des nageurs. Il montre une nette amélioration pour le premier 15 m du 200 m crawl, suivi de celui du 800, et enfin du 75 m, et une contre-performance pour celui du 25 m.

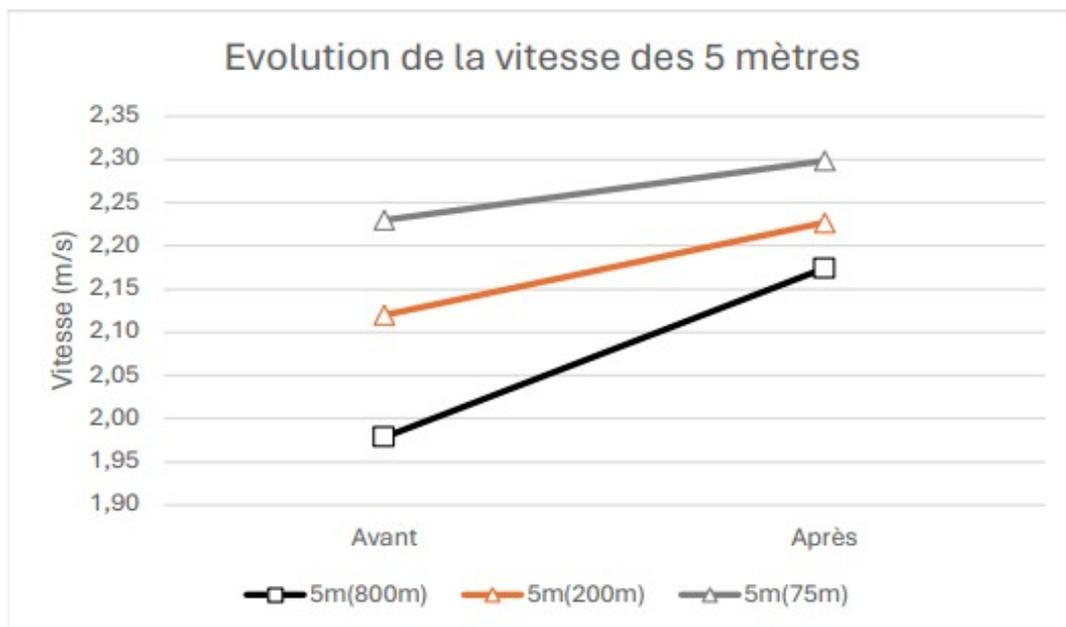


Figure 5: Evolution de la vitesse moyenne des 5 mètres de chaque courses

Enfin, sur ce graphique, c'est l'évolution des performances de la moyenne des 5 mètres des nageurs qui sont comparées. Il rend compte d'une amélioration importante des 5 m du 800, puis du 200 m et enfin du 75 m en dernière position.

La taille de l'effet est un indicateur sur l'effet positif de l'entraînement sur les performances : plus il est élevé, plus l'entraînement a une influence positive sur les performances des tests.

En outre, les résultats de cette étude montrent en premier lieu une plus grande amélioration des performances des 5 m au 200 m crawl (effect size =1,31), dans un second temps, une amélioration importante de la vitesse du 1^{er} 15 m du 800 m crawl (ES=1,19), dans un troisième temps, une amélioration significative des performances du 800 m crawl (ES=1,06), et enfin une nette amélioration des performances sur 5 m du 800 m crawl (ES=1,03).

Le reste ayant une taille de l'effet moins importante que ceux cités, ils présentent tout de même une amélioration des performances à la suite du protocole.

À noter également que, lorsqu'on regarde les ES des distances, on remarque une amélioration plus importante des performances des 5 m plutôt que des 15 m ou des courses entières.

9. Discussion

À travers cette étude, l'objectif était de constater une amélioration des performances autant sur les courtes distances que les longues distances. Cependant, au vu des résultats, le protocole a permis une amélioration significative de certaines parties de courses, mais pas toutes, nous allons donc voir pourquoi, en mettant en relation nos résultats avec ceux d'autres études de la littérature scientifique.

Amélioration plus importante des 5 m, dont celle du 200 m crawl :

L'amélioration des performances des 5 m n'est pas très étonnante au vu de l'entraînement combiné en force et en endurance musculaire. L'entraînement en force permet aux nageurs d'avoir une force de propulsion plus importante lorsqu'ils arrivent au mur. Cela rejoint l'étude de Wirth et al (2022), expliquant que la musculation permet une amélioration de la propulsion des virages, mais aussi des départs. Cependant, là où l'endurance de force rentre en jeu, c'est surtout pour les virages. En effet, lors d'une longue distance en natation, le nombre de virages est nombreux. Comme sur un 800 m, le nageur doit pousser 31 fois le plus efficacement possible sur le mur afin de conserver ou même accélérer sa vitesse de nage en quittant le mur. Pouvoir enchaîner autant de virages en poussant fort sur le mur requiert donc une endurance de force importante. Selon Riwald et al (2015), « l'endurance de force fait référence à la capacité du système neuromusculaire à réaliser la plus grande somme possible d'impulsions pendant une période donnée contre des résistances élevées ».

L'amélioration des 5m sur un 200m, fait partie de la stratégie de courses des nageurs élite, Veiga et al (2015) ont mené une étude sur des nageurs élitistes spécialiste du 200m nage libre, ils ont constaté que les nageurs perdaient en efficacité de nage est donc en vitesse, mais ils arrivaient à maintenir la même vitesse sous marine lors des culbutes, ils ont estimé une moyenne au 5m après la poussée à $2,6 \pm 0,19$ m/s , pour comparer, les nageurs de notre études sont après le protocole à $2,17 \pm 0,26$ m/s au 5 m du 200 m crawl.

Amélioration du temps du 800.

L'amélioration du temps du 800 m peut s'expliquer par différents moyens : d'abord, l'entraînement en endurance de force y est pour quelque chose dans le sens où c'est une longue distance qui demande une répétition de mouvement importante et donc un effort musculaire répété, de plus, les nageurs font face à 31 virages lors d'un 800 m en petit bassin, ce qui demande une force de propulsion répétée. Donc la part des virages dans cette distance occupe un pourcentage important du temps de course. D'ailleurs, selon Morais et al. (2019), ils contribuent entre 19 et 20 % du temps de nage sur un 100 m

crawl. En comparaison avec une plus longue distance, ils peuvent atteindre jusqu'à 36 % du temps total d'un 1500 m. Donc, la simple amélioration des virages permet assurément une amélioration non négligeable du temps de course total du 800 m.

Les résultats montrent notamment une taille de l'effet importante sur le premier 15 m du 800 m, ce qui rentre également dans l'amélioration générale du temps de la course.

Peu d'amélioration des 15 m :

La faible amélioration des performances au 15 m peut s'expliquer par de nombreux facteurs, un des plus importants est celui de la technique. En effet, le départ au plot se fait d'une façon particulière afin d'optimiser l'entrée dans l'eau et d'avoir un maximum de vitesse. Il s'agit tout de même d'avoir une forte inclinaison vers l'avant du haut du corps pendant le départ, qui provoque une légère ouverture de hanche au début du mouvement de décollage. Ensuite, le haut du corps est accéléré par une ouverture accentuée de l'angle de l'articulation de la hanche. La part des muscles des jambes et des extenseurs de la hanche dans l'impulsion totale dépend principalement de la position de départ du nageur. Plus les angles des genoux et des hanches choisis sont petits, plus la distance d'accélération est longue et donc la possibilité d'appliquer une force à la masse corporelle à des fins d'accélération. Les petits angles imposent des exigences plus élevées à la capacité conditionnelle de force et augmentent le temps sur le bloc de départ ainsi que les temps de contact pendant les virages. Si la force nécessaire est disponible, des temps de démarrage et de virage plus longs peuvent entraîner une vitesse de décollage plus élevée au départ, d'après Lyttle et al (1998).

Donc, une grande partie de la performance des 15 m se joue sur ce départ. Les nageurs de cette étude ne sont pas à un niveau assez haut pour exécuter le plongeon parfait, ce qui influence considérablement leur premier 15 m. Une mauvaise posture lors du plongeon aura une influence négative sur l'expression de la force de propulsion sur le plot et donc de la vitesse d'entrée dans l'eau.

Bien que la relation positive entre la force des membres inférieurs et la vitesse du départ jusqu'au 15 m ait été largement prouvée (Strzala et al, 2016), il n'en demeure pas moins la supériorité de la qualité du plongeon sur les composantes physiques mises en jeu lors d'un départ au plongeon en natation sportive.

Peu d'amélioration du 25 m :

Les résultats de cette étude dévoilent une légère baisse de la performance du 25 m. Cela peut s'expliquer en grande partie par le départ plongeon, décrit précédemment, comme étant un mouvement difficile même à ce niveau. La part du départ jusqu'au 15 m représente la majorité de la course, soit 60 % de la distance de course. Donc, une simple erreur provoquera inévitablement une mauvaise performance. Cependant, c'est sur cette distance que l'on peut apercevoir une plus grande expression

de la force maximale travaillée en musculation, et aussi de la filière anaérobie alactique, car la moyenne du temps de nage est de $7,19 + 0,67$ secondes.

Donc les résultats du 25 m ne sont pertinents que pour des nageurs de très bons niveaux, car une simple erreur technique est impardonnable pour sa performance.

Limite :

Le dernier constat nous amène donc à nous rendre compte de certaines limites qu'engendre cette étude, et il y a une certaine légitimité à s'interroger sur la fiabilité et la précision des résultats.

Notamment, la question de la fréquence des séances de musculation se pose. En effet, deux séances par semaine peuvent être limitantes en termes de développement de la force et de l'endurance musculaire. Pour certains nageurs, cela peut ne pas être suffisant pour observer des gains significatifs.

Également, la répartition de ces séances, entre la force maximale le mercredi et le développement de l'endurance de force le dimanche, peut être contraignante. Certains athlètes pourraient ne pas bénéficier pleinement de cette répartition en raison de différences individuelles dans la récupération et la réponse à l'entraînement.

L'effectif de cette étude est une limite à ne pas oublier, en effet, un faible nombre de participants modifie considérablement les résultats statistiques, notamment la taille de l'effet et la puissance de l'effet qui sont dépendants du nombre de sujets, peuvent engendrer une incertitude quant à l'hypothèse validée.

Par rapport aux journées de tests, leurs organisations sont assez chargées pour les nageurs. En effet, durant 2 heures, ils enchaînent les 4 distances. Malgré des récupérations supérieures à 5 minutes, certains peuvent avoir un contrecoup lors des dernières prises de temps, ce qui pourrait éventuellement expliquer les résultats des performances du 25 m crawl.

La fiabilité des prises de temps est également une question à se poser : les prises de temps des 4 distances sont très peu précises, car elles ont été réalisées avec un chronomètre le jour J, il aurait fallu, dans le meilleur des cas possibles, mesurer avec des plaques automatiques pour améliorer la précision. De plus, les temps des 15 m et 5 m sont encore moins précis, car elles ont été faites lors du visionnage des courses de chacun. Avoir une personne à chaque virage aurait pu être une solution pour améliorer la précision des temps.

De plus, l'organisation dans les couloirs peut créer un problème pour la qualité des jours de tests, en effet les nageurs partent par vagues de 4 séparées de 10 secondes d'intervalles chacun, cependant les nageurs peuvent parfois se gêner lors des dépassements et lors des virages, ce qui influence significativement les temps des 5 m, sans compter des phénomènes de vagues créés par les nageurs, etc.

Le départ plongeon crée une limite technique plus qu'une limite des qualités physiques, ce qui provoque une influence importante sur les 25 m et 75 m, car il représente un haut pourcentage du temps de course. Il aurait peut-être fallu partir dans l'eau pour éviter l'effet du plongeon.

10. Conclusions et Perspectives

D'après les valeurs de taille de l'effet du test D de Cohen, on en déduit que l'entraînement combiné en force maximale et en endurance de force permet l'amélioration de la vitesse et donc du temps de la moyenne des 5 mètres après avoir poussé sur le mur. Cela s'explique par la capacité à générer plus de force sur le mur et également la capacité à répéter cette force un grand nombre de fois grâce à l'endurance de force entraînée.

Peu d'améliorations des performances des 1^{er} 15 m, car bien que lié à la force maximale, le départ plongeon demande une technique particulière pour pouvoir exploiter pleinement ses qualités de force, d'où la contre-performance du 25 m.

Une amélioration significative du 800 m a été constatée à la suite du protocole, notamment par l'amélioration des virages et du 15 premier mètre qui représente une grande partie du temps de course.

En résumé, l'entraînement combiné en force Max et endurance de force permet une amélioration du temps des 5 m sur des distances de 200 et 800 m, mais pas pour les départs (15 m).

Pour pousser plus loin l'effet du protocole sur les performances, il serait intéressant de faire les tests sur des distances de compétition telles qu'un 100 m et un 50 m plutôt que 75 m et 25 m, enfin de voir l'effet sur les performances qui peuvent être testées en conditions réelles de compétition et ainsi l'amélioration des performances des nageurs.

Également, une corrélation entre la force maximale des nageurs et leurs temps de courses pourrait être intéressante pour constater si l'amélioration vient bien de l'effet de l'entraînement combiné et non de l'entraînement quotidien dans l'eau, puis faire une autre corrélation avec un test d'endurance de force qui serait déterminé pour faire un lien entre les résultats des tests et la capacité de répétition de la force.

Les résultats de la présente étude posent problème quant à la fiabilité des résultats sur 15 m. Une étude ultérieure pourrait commencer les tests en partant dans l'eau pour éviter l'influence du plongeon.

La question de l'effectif est importante : faire ce protocole avec un plus grand nombre de nageurs améliorera la taille de l'effet ainsi que sa puissance, et donc la précision des tests et des résultats statistiques.

En outre, ce protocole d'entraînement combiné, ajouté avec des changements pour réduire les limites, peut-être un outil intéressant pour améliorer les performances en petit bassin avec un grand nombre de virages, soit à partir de 200 m, et si le programme ajoute des séances d'haltérophilie pour travailler la triple extension utile au plongeon, alors le protocole pourrait également permettre une amélioration sur les distances de compétitions inférieures, 100 m et 50 m.

Peut-être que ce protocole pourrait servir d'une base dans la programmation des séances de préparation physique, et d'y ajouter par dessus des macrocycles de développement d'autres qualités physiques.

11. Références bibliographiques

Arede J., Vaz R., Franceschi A., Gonzalo-Skok O., Leite N.(2019) Effects of a combined strength and conditioning training program on physical abilities in adolescent male basketball players. *J. Sports Med. Phys. Fit*;59:1298–1305.

[doi: 10.23736/S0022-4707.18.08961-2.](https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08961-2)

BAUMGARTEN, G. (2018-2019). *Quelle méthode de musculation privilégier afin d'optimiser les gains de force et de puissance, dans le cadre des entraînements combinés ?*. Mémoire recherche, Faculté des Sciences du Sport de Dijon.

Blanksby, B., Gathercole, D. G., & Marshall, R. N. (1996). Plateforme de force et analyse vidéo du virage en culbute par des nageurs par tranche d'âge.

. *The Journal of Swimming Research*, **11**, 40-45.

Campos EZ, Kalva-Filho CA, Gobbi RB, Barbieri RA, Almeida NP, Papoti M. Contribution anaérobie déterminée dans les distances de natation : relation avec la performance. *Front Physiol*. 10 octobre 2017 ;8 :755. DOI : 10.3389/fphys.2017.00755. PMID : 29066977 ; PMCID : PMC5641383.

CAZORLA G, (1994). *Natation et leurs techniques d'évaluations Bordeaux*. Guadeloupe : Troisième Colloque International de la Guadeloupe.

Dawson C., Rodeo S.A. Sports medicine: Swimming injuries and prevention.(2015), *Science of Swimming Faster*. Human Kinetics; Champaign, IL,. pp. 371–380.

Di Prampero PE. (1986) The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med*, 7 : 55-72

G.P. Millet, R. Candau. (2002). Facteurs mécaniques du coût énergétique dans trois locomotions humaines. *Science & Sports, Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS* ; 17 : 166-76.

Lyttle A., Blanksby B., Elliott B., Lloyd D. Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn ; Actes du XVIe Symposium ISBS 1998 ; Constance, Allemagne. 21-25 july 1998 ; p. 225 - 228.

PMID: 11055815 DOI: [10.1080/026404100419856](https://doi.org/10.1080/026404100419856)

Barbosa, T. M., Costa, M. J., Morais, J. E., Morouço, P., Moreira, M., Garrido, N. D., Marinho, D. A., & Silva, A. J. (2013). Characterization of speed fluctuation and drag force in young swimmers: A gender comparison. *Human Movement Science*, 32(6), 1214–1225. 10.1016/j.humov.2012.07.009
DOI : 10.1080/14763141.2018.1435713

Pla, R(2018). *Les limites de la performance en natation : Entre facteurs innés et influences des stratégies d'entraînement*.Thèse,Université Paris Descartes,Paris.

Pochetti J., Ponczosznik D., Rojas P., Testa N.(2018) Strength training in children and adolescents: Benefits, risks and recommendations. *Arch. Argent. Pediatr*;**116**:S82–S91. [doi: 10.5546/aap.2018.S82](https://doi.org/10.5546/aap.2018.S82)

Riewald, S. Périodisation et planification. Dans : Riewald S., Rodeo S., éditeurs. *Science de la natation plus rapide*. l'activité physique ; Champaign, IL, États-Unis : 2015. p. 173 à 198.

Rodriguez FA, Mader A. (2003) Energy metabolism during 400 m and 100 m crawl swimming: computer simulation based on free swimming measurement. In Biomechanics and medicine in swimming. *Under the direction of Chatard JC*. . 78 : 373

Rønnestad BR, Mujika I.(2014) Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* ;**24**(4):603–12.

doi: 10.1111/sms.12104

SPY,K. *L'entraînement combiné force-endurance pour améliorer la performance dans les disciplines de longue durée*, 2017.

<https://fr.slideshare.net/KarolySPY/entrainement-combine-forceendurance-copie>

Strzala, M., Tyka, A. K., & Kryst, L (2016) *Leg Strength and Sprint Performance in Young Swimmers*. *Journal of Human Kinetics*, 2016, vol. **50**, pp. 167-176.

Thomas R. Baechle, Roger W. Earle. (2008) *National Strength & Conditioning Association* Etats-Unis : Human Kinetics.

Toussaint HM, Hollander AP.(1994). Energetics of competitive swimming. Implications for training programmes. *Sports Med*,**18**(6),384-405.

Wirth k, Keiner M, Fuhrmann S, Nimmerichter A, and Haff G, (2022). Strength Training in Swimming. *Int J Environ Res Public Health*, **19**(9) , 5369

Lien : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9100337/>

12. Annexes:

	Vitesse 800 (m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)		Vitesse 5m (m.s-1)		Vitesse 200(m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)		Vitesse 5m (m.s-1)	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test2	Test1	Test 2	Test 1	Test2	Test1	Test2
Aurélien	1.45	1.45	2.24	2.52	2.28	2.43	1.61	1.59	2.35	2.34	2.5	2.58
Michel	1.44	1.46	2.17	2.40	2.06	2.41	1.56	1.57	2.21	2.27	2.47	2.60
Elise	1.25	1.30	1.83	1.93	1.80	1.95	1.39	1.40	1.89	1.92	1.97	2.00
Geraldine	1.29	1.30	1.87	1.89	1.95	1.86	1.42	1.39	1.46	2.16	1.93	1.97
Simon	1.33	1.40	1.95	2.08	1.94	2.37	1.43	1.42	1.89	1.87	2.00	2.13
William	1.23	1.33	2.02	2.06	1.87	2.22	1.39	1.51	1.51	2.11	2.10	2.37
Milan	1.29	1.31	1.87	1.91	1.95	1.98	1.37	1.39	1.99	1.92	1.87	1.94
Moyenne	1.33	1.36	1.99	2.11	1.98	2.17	1.45	1.47	1.90	2.08	2.12	2.23
Ecart type	0.09	0.07	0.16	0.25	0.16	0.24	0.09	0.09	0.33	0.19	0.26	0.29
Normalité	0.20	0.07	0.28	0.1	0.27	0.18	0.06	0.07	0.59	0.39	0.63	0.127
Homogénéité P>0,05	P=1		P=1		P=1		P=1		P=1		P=0.53	
T de student	P=0.031		P=0.020		P=0.034		P=0.01		P=0.181		P=0.013	
D de cohen (effet size)	1.06		1.19		1.03		0.28		0.57		1.31	
Puissance									0.25			

	Vitesse 75m (m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)		Vitesse 5m (m.s-1)		Vitesse 25m (m.s-1)		Vitesse 15m (m.s-1)	
	Test1	Test2	Test1	Test2	Test1	Test2	Test1	Test2	Test 1	Test 2
Aurélien	1.79	1.84	2.26	2.41	2.55	2.53	2.21	2.25	2.49	2.43
Michel	1.86	1.88	2.35	2.36	2.73	2.82	2.17	2.15	2.40	2.32
Elise	1.60	1.49	2.09	1.89	1.93	1.94	1.87	1.82	1.95	1.97
Geraldine	1.59	1.54	1.80	1.88	1.96	2.07	1.86	1.82	2.01	1.98
Simon	1.54	1.58	2.10	2.01	2.24	2.15	1.93	1.85	2.02	2.02
William	1.63	1.71	2.24	2.31	2.15	2.39	2.06	1.98	2.21	2.23
Milan	1.55	1.58	2.04	2.14	2.05	2.19	1.87	1.86	2.12	2.00
Moyenne	1.65	1.66	2.13	2.14	2.23	2.30	2.00	1.96	2.17	2.14
Ecart type	0.12	0.15	0.18	0.22	0.30	0.30	0.15	0.17	0.21	0.19
Normalité	0.09	0.28	0.66	0.29	0.3	0.72	0.09	0.06	0.37	0.09
Homogénéité P>0,05	P=1		P=1		P=1		P=1		P=0.94	
T de student	0.74		0.72		0.15		0.08		0.13	
D de cohen (effet size)	0.13		0.14		0.62		0.81		0.67	
Puissance	0.06		0.06		0.30		0.44		0.32	

Annexe 1 : Tableau des valeurs statistiques selon les sujets et les distances parcourus

Power by Effect Size

True effect size	Power to detect	Description
$0 < \delta \leq 0.302$	$\leq 50\%$	Likely miss
$0.302 < \delta \leq 0.432$	50% – 80%	Good chance of missing
$0.432 < \delta \leq 0.556$	80% – 95%	Probably detect
$\delta \geq 0.556$	$\geq 95\%$	Almost surely detect

Annexe 2 : Tableau des valeurs de puissance de l'effet selon l'effectif et la taille de l'effet.

Seuil (en valeur absolue)	Interprétation
0,20	Faible
0,50	Moyen
0,80	Elevé
1,20	Très élevé
2,00	Immense

Annexe 3: Table des valeurs de d de cohen

13. Résumé et Mots-clès :

Objectifs : Le but de cette étude est d'analyser les effets de l'entraînement combiné en force et endurance de force sur les performances en crawl, en passant des courtes aux longues distances.

Matériels et méthodes : les travaux de cette étude ont été menés sur 7 nageurs (initialement 8), âgés de $17,6 \pm 5,9$ ans mesurant 178 ± 10 cm, avec une masse de 69 ± 9 kilogrammes et une expérience en natation niveau compétition de $7,3 \pm 2,1$. Le protocole s'est déroulé sur 8 semaines, avec une séance Force Max et une séance d'endurance de force par semaine en salle de musculation.

Ils ont été testés avant et 1 semaine après le protocole, sur 4 distances types en crawl : 800 m, 200 m, 75 m, 25. Lors de ces tests, les données récoltées seront le temps total des courses, la moyenne des 5 m une fois poussée sur le mur, ainsi que le premier 15 mètres.

Résultats : le test statistique choisi est le test T de Student pour échantillons appariés afin de comparer les données avant et après le protocole. Il y a une différence significative des résultats du temps total du 800 m, 200 m, 15 m (800 m), \bar{x} 5 m (800 m), \bar{x} 5 m (200 m). Il n'y aucune différence significative pour les valeurs suivantes : 15 m (200 m), 75 m, 15 m (75 m), \bar{x} 5 m (75 m), 25 m, 15 m (25 m).

On constate par contre une taille de l'effet (d de Cohen) importante de l'entraînement sur les résultats des tests suivants : \bar{x} vitesse 5 m du 200 mètres (1,31), vitesse 15m du 800m (1,19), vitesse du 800 m(1,06) et enfin \bar{x} vitesse des 5 m du 800m (1,03). Le seuil de significativité a été établi à $p < 0,05$ pour toutes les analyses.

Discussion et conclusion : Le protocole apporte une amélioration des performances des distances supérieures ou égale à 200 m, grâce à l'amélioration des virages (5 m) due au développement de la force maximale, et du temps de course total dû au développement de l'endurance de force. Peu ou pas d'améliorations pour les distances inférieures à 200 m en raison de la prééminence du départ plongé jugé trop technique à ce niveau.

Mots clés : Natation – Entraînement combiné – Force – Endurance – Crawl -Virage- Départ – Filières énergétiques.

Abstract and keywords :

Objectives: The aim of this study is to analyze the effects of combined strength and strength endurance training on front crawl performance, moving from short to long distances.

Materials and methods: This study was carried out on 7 swimmers (initially 8), aged 17.6 ± 5.9 years, measuring 178 ± 10 cm, with a mass of 69 ± 9 kilograms and competitive swimming experience of 7.3 ± 2.1 years. The protocol took place over 8 weeks, with one maximal strength session and one strength endurance session per week in the gym.

They were tested before and 1 week after the protocol, over 4 typical crawl distances in front crawl : 800 m, 200 m, 75 m, 25 m. During these tests, the data collected will be the total time of the races, the average of 5 m once pushed on the wall, as well as the first 15 meters.

Results: The statistical test chosen is the Student's T test for paired samples to compare the data before and after the protocol. There is a significant difference in the total time results of 800 m, 200 m, 15 m (800 m), \bar{x} 5 m (800 m), \bar{x} 5 m (200 m). There is no significant difference for the following values: 15 m (200 m), 75 m, 15 m (75 m), \bar{x} 5 m (75 m), 25 m, 15 m (25 m).

On the other hand, we find a significant effect size (Cohen's d) of training on the results of the following tests: \bar{x} speed 5 m of 200 meters (1.31), 15m speed of the 800m (1.19), speed of the 800m (1.06) and finally \bar{x} speed of the 5m of the 800m (1.03). The significance level was set at $p < 0.05$ for all analyses.

Discussion and conclusion: The protocol improves performance over distances of 200 m or more, thanks to the improvement in turns (5 m) due to the development of maximal strength, and in total race time due to the development of strength endurance. Little or no improvement for distances under 200 m, due to the prominence of the diving start, considered too technical at this level.

Keywords: Swimming – Combined training – Strength – Endurance – Front crawl

Compétences acquises durant le stage et le mémoire :

- Concevoir des protocoles de mesures adaptés pour l'entraînement et la performance dans le cadre de projets sportifs.
- Analyser les résultats des évaluations et l'évolution des performances dans les disciplines sportives pour modéliser et optimiser la performance et entraîner les pratiquants.
- Maîtriser l'usage d'outils technologiques au service du projet de performance (objets Connectés, analyse vidéo...) pour évaluer des facteurs de la performance.

-