



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation

Pays de la Loire

54, Rue de la Baugerie 44230 Saint-Sébastien sur Loire

**PROTOCOLE D'ETUDE PILOTE POUR DETERMINER
L'IMPACT DE LA PLONGEE SOUS-MARINE SUR LA
REEDUCATION DE LA PARAPLEGIE**

Héloïse BOULVAIS

Mémoire UE28

Semestre 10

Année scolaire : 2022/2023

REGION DES PAYS DE LA LOIRE



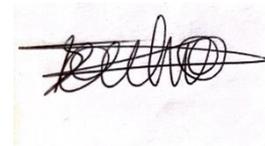
Engagement de Non Plagiat

Je, soussignée BOULVAIS Héloïse, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à Le Bignon,

Le 20/04/2023,

Signature :

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Héloïse Boulvais', written over a horizontal line. The signature is somewhat stylized and includes a large loop at the end.

AVERTISSEMENT

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.

RESUME

La paraplégie est une pathologie impactant le système sensori-moteur et végétatif du tronc et des membres inférieurs proportionnellement au niveau d'atteinte neurologique. Ceci s'accompagne généralement d'atteintes psychiques et sociales. Le renforcement musculaire, le réentraînement à l'effort et l'activité physique, la rééducation des capacités respiratoires ainsi que la balnéothérapie sont des grands axes de rééducation de cette pathologie. Ils sont tous réalisables dans le cadre de la plongée sous-marine. Cette activité implique une immersion en condition hyperbare. Pratiquée par 1000 licenciés en situation de handicap chaque année, elle est aussi utilisée dans certains centres de rééducation.

Nous proposons une étude de faisabilité de l'utilisation de la plongée sous-marine répétitive en tant qu'outil rééducatif ayant pour but l'amélioration de la qualité de vie de personnes atteintes de paraplégie.

Nous présentons le protocole d'une étude pilote de faisabilité en groupe unique. Un groupe de dix patients, atteints de paraplégie chronique, suivra un programme d'exercices en immersion à 6 mètres de profondeur pendant 30 minutes, 3 fois par semaine, durant 5 semaines. Nous évaluerons l'évolution de la qualité de vie des participants à court terme comme critère principal. Comme critères secondaires, nous évaluerons l'évolution de la fonction motrice, de la spasticité, des capacités cardio-respiratoires à court et moyen, ainsi que l'évolution de la qualité de vie à moyen terme.

Ce protocole permettra à des études plus robustes de poursuivre l'investigation des effets positifs et négatifs de la plongée sous-marine sur la rééducation des personnes paraplégiques, et ce dans les limites de l'étude de faisabilité. Sur le plan clinique, il permettra d'améliorer cette pratique en intégrant notamment de plus grands échantillons de patients.

Il n'existe pas de traitement curatif de la paraplégie. Il est primordial d'offrir à cette population une rééducation promettant la meilleure capacité de récupération possible mais aussi un niveau de qualité de vie le plus élevé possible.

MOTS-CLES : Plongée sous-marine ; paraplégie ; rééducation

ABSTRACT

Paraplegia is a pathology which affects the sensory-motor and vegetative system of the trunk and lower limbs with respect to the level of neurological injury. It is usually associated with social and psychological consequences. Muscle strengthening, exercise training and physical activity, respiratory rehabilitation and balneotherapy are considered main axes for rehabilitation. All feasible with scuba diving. It implies full immersion under hyperbaric conditions. It is used by some rehabilitation centre and a thousand licensed disabled people practice it each year.

We propose a feasibility study for the use of repetitive scuba diving as a rehabilitation tool to improve the quality of life of paraplegic patients.

We present the pilot feasibility study protocol for a single group. A group of ten patients with chronic paraplegia will undergo an exercises routine based on 6 meters immersion for 30 minutes, 3 times a week for 5 weeks. We will assess the short term participants' quality of life improvement as the main outcome on the one hand. On the other hand, the evolution in motor function, spasticity, and cardiorespiratory capacity at short and mid-term, in addition to mid-term quality of life changes, as secondary outcome.

This protocol will enable more robust studies to pursue investigation on positive and negative effects of scuba diving rehabilitation on people with paraplegia, within the feasibility study limits. From the clinical perspective, it will allow the practice improvement through the integration of a larger sample of patients.

There are not any curative treatments for paraplegia. For the well-being of the population with paraplegia, it is therefore crucial to offer a promising rehabilitation with the best chances of improvement towards recovery in addition to a quality of life level as high as possible

KEYWORDS: Scuba diving ; paraplegia ; rehabilitation

GLOSSAIRE

- **ANPT** : Academy of Neurological Physical Therapy
- **ASIA** : American Spinal Injury Association
- **ATA** : Atmosphère absolue
- **CACI** : Certificat médical d’Absence de Contre-Indication
- **CNIL** : Commission Nationale de l’Informatique et des Libertés
- **EBP** : Evidence Based Practice
- **EH** : Encadrant Handiplongeur
- **FFESSM** : Fédération Française d’Etudes et de Sports Sous-Marins
- **FFH** : Fédération Française du Handicap
- **HAS** : Haute Autorité de Santé
- **MAS** : Modified Ashworth Scale (Echelle d’Ashworth modifiée)
- **MPR** : Médecine Physique et de Réadaptation
- **MRC** : Medical Research Council
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **PESH** : Plongeur En Situation de Handicap
- **RIPH3** : Recherche Impliquant la Personne Humaine de catégorie 3
- **SF-36** : Short Form – 36
- **VO₂max** : Consommation maximale de dioxygène
- **ZPP** : Zone de Préservation Partielle

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION.....	1
II. CADRE CONCEPTUEL.....	1
A. LA PARAPLEGIE	1
B. LA PLONGEE SOUS-MARINE	13
C. LA PLONGEE SOUS-MARINE ET LA PARAPLEGIE.....	18
III. PROBLEMATISATION.....	21
IV. METHODE.....	22
A. CONCEPTION DU PROTOCOLE.....	22
1. CONTEXTE	23
2. POPULATION	24
3. PARAMETRES ET EVALUATIONS.....	24
OBJECTIF PRINCIPAL	24
CRITERE PRINCIPAL.....	24
OBJECTIFS SECONDAIRES	25
CRITERES SECONDAIRES	25
B. PROCEDURE DE L’INTERVENTION.....	27
1. RECRUTEMENT DES PATIENTS	27
2. INTERVENTIONS	27
3. CRITERES D’ARRET DE PARTICIPATION	30
4. VIGILANCE ET GESTION DES EFFETS INDESIRABLES	31
C. QUALITE METROLOGIQUE DES CRITERES DE JUGEMENT	31
1. CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL	31
2. CRITERE DE JUGEMENT SECONDAIRE.....	32
D. COLLECTE ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES	33
1. RECUEIL DES DONNEES	33
2. ANALYSE STATISTIQUE.....	33
E. CADRE ETHIQUE, ADMINISTRATIF ET REGLEMENTAIRE.....	34
V. RESULTATS.....	34
A. PRESENTATION DES RESULTATS	34

VI. DISCUSSION	35
A. HYPOTHESES DES RESULTATS ATTENDUS	35
B. LIMITES ET BIAIS DE L'ETUDE	36
C. PERSPECTIVES PROFESSIONNELLES	37
VII. CONCLUSION.....	39
ANNEXE 1 – Diagnostic de la paraplégie	I
ANNEXE 2 – Bilans	III
ANNEXE 3 – Contre-indications à la pratique de la plongée sous-marine	VIII
ANNEXE 4 – Programme d'exercices réalisés en immersion.....	X

I. INTRODUCTION

Depuis la nuit des temps, les êtres vivants évoluent en s'adaptant à leur environnement pour survivre. Au fil des générations, les espèces vivantes améliorent leur structure anatomique et moléculaire afin de vivre au mieux dans leur milieu aux conditions parfois hostiles. Ces adaptations peuvent être au niveau du génome, donc permanentes, ou bien au niveau métabolique, donc temporaires.

La stratégie d'adaptation métabolique est notamment adoptée par les athlètes. Ils utilisent les bénéfices à court ou moyen terme des environnements hypoxiques afin d'augmenter leur performance.(1)

Nous pourrions penser que d'autres conditions particulières pourraient engendrer une réponse métabolique bénéfique. Les conditions hyperbares ne pourraient-elles pas offrir des bénéfices également ? La condition hyperbare représente l'augmentation de la pression environnante, notamment sous le niveau de la mer. Les activités subaquatiques comme la plongée sous-marine font partie de ces activités en condition hyperbare.

Si ces stratégies profitent aux sportifs, nous pouvons nous poser la question suivante : ces adaptations ne pourraient-elles pas également bénéficier aux personnes en situation de handicap ?

La plongée sous-marine est déjà pratiquée par des personnes en situation de handicap en tant que loisir. Elle est également employée dans certains centres de rééducation, notamment avec des personnes atteintes de lésion médullaire comprenant la paraplégie.

Seulement, nous ne connaissons pas encore les conséquences métaboliques et anatomiques ayant lieu suite à la plongée sous-marine.

II. CADRE CONCEPTUEL

A. LA PARAPLEGIE

- **La moelle épinière** est un organe important du système nerveux central s'étendant du foramen magnum jusqu'au cône terminal en L2. À sa suite se poursuit le filum terminal ; des racines nerveuses également appelées queue de cheval.(2)

La moelle épinière est principalement composée de cellules nerveuses permettant la transmission des informations entre le cerveau et le corps. Elle est protégée par la colonne vertébrale. Elle se divise en plusieurs régions, chacune contrôlant une partie du corps différente. Nous pouvons notamment souligner deux renflements de la moelle épinière ; le cervical situé entre C5 et T1 assurant la liaison avec les membres supérieurs et le lombo-sacral situé entre T10 et L1 destiné aux membres inférieurs. (2)

Les fonctions principales de la moelle épinière incluent la transmission des signaux moteurs volontaires et involontaires du cerveau vers les muscles, ainsi que des signaux sensitifs externes et internes des récepteurs vers le cerveau. Elle permet donc le passage des voies motrices, sensitives et végétatives (également appelées autonomes). (2,3)

- En cas de **lésion de la moelle épinière**, ces fonctions peuvent être toutes ou en partie altérées entraînant des déficiences motrices, sensitives et/ou du système autonome sous le site lésionnel. (2–4)

En France, d'après les études épidémiologiques, entre 40 000 et 50 000 personnes sont atteintes de traumatismes médullaires et il y a entre 1200 et 1500 nouveaux cas par an. Pour 50% des personnes atteintes par traumatisme, la moyenne d'âge de survenue de la lésion médullaire est entre 16 et 30 ans. L'incidence et la prévalence des autres étiologies possibles sont encore inconnues. (2–4)

La cause principale de la paraplégie est traumatique, les autres causes sont dites médicales. Les causes médicales peuvent apparaître brutalement ou progressivement lors d'un processus tumoral, infectieux, métabolique, iatrogène ou suite à une malformation... Les déficiences peuvent être définitives ou passagères.(2,3)

Les blessures médullaires se définissent par un niveau neurologique traduisant une lésion métamérique ne correspondant pas toujours au niveau vertébral osseux. Le niveau neurologique désigne le dernier métamère dont les fonctions motrices et sensitives sont considérées normales. (2–4)

En fonction du niveau neurologique cervical ou thoraco-lombaire, il sera donné le nom de tétraplégie (cervical) ou de paraplégie (thoraco-lombaire). La paraplégie implique une atteinte

à partir du métamère T2 jusqu'au niveau sacré. Elle peut entraîner une atteinte de tout ou une partie du tronc, des organes pelviens et des membres inférieurs. Tandis que la tétraplégie, les lésions supérieures à T2, pourra également entraîner une atteinte des membres supérieurs. (2,3)

Parmi l'ensemble des lésions médullaires, la paraplégie représenterait près de 40% des personnes atteintes. (5)

Internationalement, l'échelle American Spinal Injury Association (ASIA) (*Annexe 1*) est utilisée pour déterminer le niveau d'atteinte neurologique et le caractère complet ou non de la lésion. (2-4)

Elle catégorise le niveau neurologique des lésions en fonction des capacités motrices et sensitives. Ces capacités sont évaluées grâce à 10 muscles clés et 28 dermatomes. L'évaluation est bilatérale. (6)

Le caractère complet ou incomplet est déterminé en fonction de la contraction volontaire et de la sensation anale (S4-S5). Le score AIS A correspond à la lésion complète, les scores B, C et D correspondent aux lésions incomplètes et le score AIS E correspond à un état considéré normal. (2,3,6) (Tableau I) Parfois, même lorsque la sensation et/ou la motricité anale est absente (S4-S5), il peut subsister une fonction motrice et/ou sensitive dans une zone sous lésionnelle, nous nommons cela une zone de préservation partielle (ZPP). (7)

Tableau I - Score AIS de l'échelle ASIA

Score	Description de la lésion
AIS A	Complet sensitif et moteur Aucune fonction sensitive et motrice au niveau sacrée (S4-S5) Possibilité de ZPP (Zone de Préservation Partielle) sensitive et/ou motrice
AIS B	Incomplet sensitif, complet moteur Fonction sensitive préservée en sacrée (S4-S5). Aucune fonction motrice sous-lésionnelle
AIS C	Incomplet sensitif et moteur Commande sous-lésionnelle motrice mais la majorité des muscles clés sont côté à moins de 3
AIS D	Incomplet sensitif et moteur Commande sous-lésionnelle motrice et la majorité des muscles clés sont côté à plus de 3
AIS E	Les fonctions motrices et sensitives sont normales

Suite à une paraplégie traumatique, il s'en suit deux phases, le choc spinal puis le retour à l'automatisme médullaire.

La première phase de choc spinal présente une sidération médullaire en sous-lésionnel. Cela se traduit par une paraplégie flasque, aréflexique avec une anesthésie complète à tous les modes. Dans le prolongement de la levée de la sidération médullaire, après 6 à 12 semaines, s'installe la deuxième phase dite évolutive. (2,3)

Le retour à l'automatisme médullaire dépend de la destruction ou de l'intégrité de la moelle épinière ou des racines nerveuses en sous-lésionnel. Si la moelle a été détruite alors, la paraplégie peut rester flasque. Le cas échéant, il y aura une réapparition des réflexes ostéo-tendineux et une apparition de la spasticité.(2,3)

L'indicateur pronostic principal est le caractère complet ou incomplet de la lésion. Le pronostic de récupération fonctionnelle sensori-moteur s'établit grâce au grade AIS réévalué régulièrement durant le premier mois post-lésionnel. Il n'est cependant établi définitivement qu'à partir de 1 an. (2,3)

- L'**impact global** de la paraplégie dépend de plusieurs facteurs comme l'âge de la survenue et l'étendue de la lésion ainsi que de la disponibilité des ressources et de l'environnement physique, social et économique. Les conséquences engendrées par une blessure médullaire sont aussi nombreuses qu'il existe de personnes atteintes.

Généralement nous retrouvons plusieurs types de conséquences :

Principalement, la lésion de la moelle épinière entraîne presque toujours des **atteintes sensori-motrices**. Elles se traduisent par une perte totale ou partielle sous-lésionnelle de la fonction motrice et/ou de la sensibilité superficielle et profonde, comprenant notamment la sensibilité thermo-algique.(2,3)

En fonction du niveau neurologique, la perte motrice peut impacter la fonction respiratoire. Entre T2 et T4, les abdominaux sont totalement paralysés. Entre T4 et T12, les abdominaux et les intercostaux sont paralysés proportionnellement aux racines touchées. (2) Ces paralysies

plus ou moins partielles entraînent une diminution de la ventilation engendrant elle-même une diminution des volumes respiratoires et de la compliance thoracique. Cela caractérise le syndrome restrictif ; diminution de tous les volumes respiratoires sauf du volume résiduel qui, quant à lui, augmente. (2) Les personnes atteintes de paraplégie sont également plus à risque de développer ou de majorer des infections respiratoires. (8)

Par l'atteinte de l'ensemble du système nerveux central (soit du système moteur, sensitif et végétatif), des **déficits associés** sont souvent retrouvés :

- Suite à la lésion motrice, de la spasticité peut apparaître en sous-lésionnel. Cela évoque une manifestation motrice involontaire en réponse à un étirement. Elle est présente chez 65 à 85% des personnes atteintes de blessures médullaires. (3) Les conséquences peuvent altérer fortement le système ostéo-articulaire en réduisant l'amplitude du mouvement actif et passif. Elle est augmentée par une épine irritative ; stimulation nociceptive cutanée, ostéo-articulaire, vasculaire ou viscérale dans le territoire sous-lésionnel. (2,3)

- La lésion des voies autonomes entraîne plusieurs conséquences telles que la dysréflexie autonome, l'hypotension orthostatique et des troubles de thermorégulation.

La dysréflexie autonome est une hyperactivité soudaine et excessive du système sympathique, provoquant une augmentation de la pression artérielle et une bradycardie. Sa symptomatologie se caractérise par des maux de tête, une sudation excessive, un rougissement sus-lésionnel, une vision trouble et une dyspnée. Ce trouble est courant chez les personnes atteintes de lésions supérieures ou égales à T6. Elle est déclenchée par une épine irritative comme une infection urinaire, une constipation, ... (2,3)

L'hypotension orthostatique est une hypoactivité du système sympathique lors de la verticalisation entraînant une chute soudaine de la pression artérielle lorsque la personne se lève. Elle provoque des vertiges, des nausées et parfois des évanouissements. La gravité est proportionnelle au niveau de l'atteinte. (2,3)

La thermorégulation permet de maintenir le corps à la température optimale tout en privilégiant les organes nobles (cœur et cerveau). Au niveau sous-lésionnel, il peut survenir une dysrégulation du contrôle vasomoteurs et de la capacité de sudation entraînant des troubles de la thermorégulation. Associée à la paralysie musculaire et une circulation sanguine altérée en sous lésionnelle, le risque d'hypothermie est plus important. (2) Il n'empêche que le risque

d'hyperthermie est également possible en présence d'une forte chaleur extérieure ou par un effort intense. Cette dysrégulation est proportionnelle au niveau d'atteinte. (9)

○ Les lésions du système sensori-moteur et végétatif peuvent provoquer une perturbation du transit intestinal et du système urinaire. Une incapacité à ressentir et/ou contrôler les besoins fécaux et urinaires est fréquemment identifiée. Il est important de noter qu'une vessie neurogène augmente le risque d'infection urinaire qui constitue une épine irritative. (2,3)

○ L'altération des voies nerveuses implique généralement l'altération des voies algiques. À long terme, elle peut conduire à des douleurs résiduelles de type neuropathiques en sous-lésionnel ou au niveau lésionnel. (2,3)

○ Des modifications corporelles temporaires ou définitives peuvent se déclarer. Elles entraînent des complications qui peuvent être rares et graves ou bien fréquentes. En particulier : la syringomyélie, les escarres ou plus généralement les blessures, les accidents thromboemboliques et les douleurs musculo-squelettiques :

La syringomyélie est la formation d'une ou plusieurs cavités de liquide céphalo-rachidien à l'intérieur de la structure anatomique de la moelle épinière. Elle peut menacer une perte de fonction supplémentaire sur un ou plusieurs métamères. (2,3)

Les restrictions physiques limitent les déplacements et augmentent le risque d'escarre et d'accident thromboembolique. Les escarres sont des lésions cutanées initiées par un point de compression. Le risque d'escarre, et plus généralement de blessure (lésion cutanée voire fracture), est aggravé par le déficit de sensibilité en sous-lésionnel.(2,3) Les accidents thromboemboliques résultent de la formation d'un caillot sanguin dans les veines empêchant le sang de circuler. Ils se manifestent notamment lorsque qu'une personne ne peut pas se lever. (2,3)

La paralysie des membres inférieurs oblige la personne à utiliser de manière excessive les muscles et parties du corps intactes, soit généralement les épaules et le rachis cervical. Des douleurs musculo-squelettiques de type mécaniques peuvent donc apparaître par phénomène d'« overuse ». (2,3)

○ Toutes ces conditions affectent l'ensemble des organes et du corps. La paraplégie et ses conséquences engendrent des modifications du système musculo-squelettique (atrophie, ostéoporose, diminution des amplitudes articulaires) mais également de la composition corporelle, métabolique et du système cardio-respiratoire. (10) En effet, le système cardio-

respiratoire est notablement diminué suite au déconditionnement consécutif à la blessure. Nous pouvons souligner que le déconditionnement est d'autant plus fort que le niveau d'atteinte est élevé. (2,5)

○ Au-delà des limitations physiques, des limitations fonctionnelles et sociales rentrent en compte. Les personnes paraplégiques sont généralement indépendantes pour les activités de la vie quotidienne ; se laver, se nourrir, s'habiller, se transférer et se mobiliser. Malgré ces aptitudes, la capacité de marche n'est pas toujours possible. (2,3) En cela, il peut y avoir un accès restreint à certains espaces, à la pratique de loisirs, notamment la pratique sportive. La perte d'indépendance et de mobilité peut limiter la reprise des activités que pouvait exercer la personne avant l'apparition de la paraplégie. Cette nouvelle condition peut être difficile à accepter par les personnes atteintes de paraplégie.

○ Ces personnes font face à de nombreux défis psychosociaux. (2) L'estime de soi, l'image corporelle et la qualité de vie sont généralement diminuées ainsi que la satisfaction moyenne à l'égard de la vie par rapport à celle de la population générale. La prévalence de la dépression, de l'anxiété et de troubles de stress post-traumatique sont plus élevés dans la population de paraplégique par rapport à la population générale. (11,12) Il est alors nécessaire de se créer de nouveaux repères corporels, environnementaux et sociaux afin de pouvoir y faire face. Les retentissements psychologiques de la paraplégie peuvent également affecter les proches et les aidants de la personne atteinte.

L'ensemble des conséquences physiques, mentales et sociales impact la qualité de vie de la personne touchée par la paraplégie. En 1993, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit la qualité de vie comme « la perception qu'un individu a de sa place dans la vie, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lequel il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. C'est donc un concept très large qui peut être influencé de manière complexe par la santé physique du sujet, son état psychologique et son niveau d'indépendance, ses relations sociales et sa relation aux éléments essentiels de son environnement », cette définition fait toujours foi aujourd'hui d'après la Haute Autorité de Santé (HAS).(13)

• Afin de pouvoir mettre en œuvre un parcours de soin spécifique et centré sur le patient, il faut obtenir des éléments précis de mesure lors du **bilan diagnostic masso-kinésithérapique**.

Les bilans parcourent l'ensemble des troubles pouvant affecter cette population, ils s'orientent aussi bien sur les capacités physiques que sur leur état de santé mentale ou encore sur l'environnement socio-économique et personnel. Le bilan complet est long et comprend plusieurs tests mis en œuvre par différents professionnels de la santé.

Nous nommons ici les tests les plus courants en pratique et/ou fiables, permettant d'objectiver la fonction motrice, la spasticité, les capacités respiratoires et la qualité de vie :

○ La fonction motrice est la capacité de contraction volontaire d'un muscle. En neurologie centrale, les tests manuels musculaires sont couramment utilisés. Ils utilisent la gravité et la perception de l'opérateur pour évaluer la fonction motrice. Les scores s'établissent sur des échelles numériques allant de 0 à 5. (14) Ils ont été recommandés pour les scores AIS A, B, C et D de paraplégie chronique notamment par le groupe de travail sur les lésions médullaires de l'Academy of Neurologic Physical Therapy (ANPT). Seulement, bien que validés, ces tests, en laissant l'appréciation à l'opérateur, appauvrissent leur sensibilité surtout pour les cotations entre 3 et 5. (14,15)

Un des tests manuels les plus utilisés est l'échelle Medical Research Council (MRC). (Tableau II) Il n'y pas de position spécifique décrite ni pour les différents muscles ni pour les différentes cotations. Pour que ces tests soient reproductibles, il faut, au préalable, définir des positions précises pour chaque muscle et chaque cotation.(3,14)

Tableau II - Echelle d'évaluation motrice MRC

Score	Description
0	Pas de contraction
1	Trace de contraction musculaire sans mouvement associé
2	Mouvement complet réalisable sans pesanteur
3	Mouvement complet réalisable contre pesanteur
4	Mouvement complet réalisable contre résistance et pesanteur
5	Mouvement complet réalisable à force normale

Il est également possible d'utiliser un dynamomètre à main afin de mesurer en kilogramme (kg), en livres (lb) ou en newton (N) la force isométrique développée. Cet outil de mesure

permet d'obtenir une valeur plus précise et de détecter une différence minimale plus petite entre deux évaluations lorsque les résultats des tests manuels musculaires sont entre 3 et 5. (14,15) Seulement, il n'est utilisable que si le muscle ou le groupe musculaire testé permet un mouvement contre la gravité. Cet outil est fortement recommandé pour les personnes paraplégiques. Son utilisation est simple mais les positions de la personne testée et de l'opérateur doivent être reproductibles.(14,16)

○ La spasticité est la contraction involontaire d'un muscle en réponse à son étirement. Il existe plusieurs échelles afin de la quantifier. En pratique il est généralement utilisé l'échelle d'Ashworth modifiée (MAS) qui a longtemps été considérée comme référence internationale.(3) Il existe deux types de notations, sur 4 ou sur 5, mais elles sont similaires sur l'utilisation et la description de chaque niveau. (Tableau III) (3) Elle laisse l'évaluation de chaque niveau à l'appréciation de l'opérateur quant à la qualité et la quantité du mouvement. Bien qu'elle soit simple et rapide d'utilisation, cette échelle admet la subjectivité de l'opérateur.(17) Egalement, cette échelle ne prend pas en compte la vitesse d'exécution. (3) Similairement aux tests musculaires manuels, les positions du sujet et de l'opérateur ne semblent pas décrites. Il est alors impératif de prédéfinir pour chaque muscle une position pour optimiser la reproductibilité du test. (18)

Tableau III - Echelle d'Ashworth modifiée

MAS (sur 4)	MAS (sur 5)	Description du niveau
0	0	Pas d'hypertonie
1	1	Légère hypertonie avec stretch reflex ou minime résistance en fin de course
1+	2	Hypertonie avec stretch reflex et résistance au cours de la première moitié de la course musculaire autorisée
2	3	Augmentation importante du tonus musculaire durant toute la course musculaire mais le segment de membre reste facilement mobilisable
3	4	Augmentation considérable du tonus musculaire. Le mouvement passif est difficile.
4	5	Hypertonie majeure. Mouvement passif impossible

○ Les capacités cardio-respiratoires peuvent se mesurer de 2 manières ; en terme de force des muscles respiratoires ou en terme d'endurance du système cardio-respiratoire à l'effort.

D'un point de vue mécanique, le test le plus couramment utilisé est la spirométrie (une partie des examens de l'exploration fonctionnelle respiratoire). (19) Elle quantifie des volumes et des débits. Les volumes mesurés sont la capacité vitale forcée et le volume expiratoire maximal en 1 seconde. Les débits mesurés sont le débit de pointe, la pression expiratoire maximale et la pression inspiratoire maximale. (8) La pression inspiratoire maximale est la mesure non invasive la plus sensible de la force des muscles respiratoires. La réduction de la capacité vitale renseigne le syndrome restrictif tandis que la diminution des débits informe sur le syndrome obstructif (obstruction des voies aériennes). (8,20)

D'un point de vue endurance, il peut être fait le test de 6 minutes de marche ou le test de poussée de 6 minutes. Ces deux tests sous-maximaux permettent de quantifier l'endurance respiratoire mais plus généralement la réponse du système cardio-respiratoire en mesurant la capacité aérobie. Le test des 6 minutes de marche est fortement recommandé par le groupe de travail sur les lésions médullaires de l'ANPT pour les personnes paraplégiques capables de le réaliser.

Ces tests mesurent la distance parcourue en marchant, avec ou sans aide technique, ou en fauteuil roulant pendant 6 minutes. Le participant peut prendre autant de repos qu'il le souhaite pendant le test mais cela doit être retranscrit dans le rapport. Le but est de parcourir le maximum de distance. Les mesures de la fréquence cardiaque et de la saturation doivent être effectuées avant et après le test ainsi que toutes les minutes pendant le test. (21–24) Grâce à la distance parcourue et la différence de fréquence cardiaque avant et après le test, la consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) est calculée. (25)

Ils sont simples d'utilisation puisqu'ils ne nécessitent qu'un ruban de marquage, un chronomètre et un appareil mesurant la fréquence cardiaque et la saturation.(23)

○ Enfin, la qualité de vie est essentielle à évaluer car elle permet d'apprécier le ressenti de la personne sur chaque aspect : physique, mental, social et environnemental.

Plusieurs échelles sont décrites et validées, il n'en existe pas une en particulier recommandée pour la paraplégie. Par exemple, il existe les échelles SF-36, WHOQOL-BREF, LISAT 9, Quality of life index, ... (3)

L'échelle SF-36 (Short Form 36) est recommandée pour tous les types de personnes paraplégiques chroniques. Elle est intéressante car elle explore de nombreuses composantes bio-psycho-sociales ; la santé générale perçue et son évolution, l'activité physique, la vie et les relations avec les autres, les douleurs physiques, la vitalité, la santé psychique ainsi que les limitations dues à l'état physique et psychique.(26) Ces éléments sont évalués sur les 4 semaines précédant le test sauf pour une question concernant l'évolution de la santé perçue

comparativement à un an auparavant. Cette échelle se découpe en 8 dimensions pour un total de 36 questions. L'échelle de Likert est utilisée pour répondre à chaque question. (3,26)

Un score pour chaque dimension peut être établi ainsi que deux scores composites : physique et mental. Plus le score est élevé plus les capacités de la personne sont importantes.(3,26) Il n'est pas possible d'obtenir un score global car il serait alors considéré que la proportion des composantes physiques et mentales serait parfaitement équivalente dans la qualité de vie. (27) Ce questionnaire ne nécessite qu'un stylo et prend entre 5 et 10 minutes à remplir ; son utilisation est simple. Il peut être auto-administré ou en entretien, il n'est pas recommandé de l'administrer par voie postale.(3,26)

- Suite à l'évaluation des capacités physiques, de la qualité de vie et de la participation, l'objectif est d'améliorer l'ensemble de ces compétences. Pour cela, la **prise en charge** est pluridisciplinaire et spécifique à chaque patient. Le masso-kinésithérapeute est un des nombreux acteurs et couvre la rééducation motrice et sensitive de la paraplégie. Aujourd'hui, l'HAS et la littérature scientifique recommande aux masseurs-kinésithérapeutes plusieurs axes de traitement : (4)

- Tout d'abord, les programmes de verticalisation progressive et premiers levers sont des éléments clés de la réadaptation cardio-respiratoire à l'orthostatisme et sont réalisables aussi tôt que possible.

- Egalement, la rééducation doit se porter sur l'aspect musculaire et articulaire. Il est important d'entreprendre l'athlétisation des membres supérieurs et du tronc mais également de solliciter la motricité sous-lésionnelle préservée pour maintenir ou améliorer une certaine fonctionnalité. Le maintien d'un état orthopédique correct est crucial pour éviter les complications posturales comme des rétractions dues à la spasticité.(2,3)

- En fonction de la capacité respiratoire de chaque patient, il est nécessaire d'entretenir et d'améliorer l'efficacité, la force et l'endurance des muscles respiratoires, inspireurs et expirateurs ainsi que la compliance thoracique.(8) Des résistances peuvent être utilisées à l'expiration et à l'inspiration pour augmenter le travail musculaire.

○ Fonctionnellement, l'HAS recommande le travail de l'équilibre du tronc et des transferts. Ils sont essentiels pour favoriser l'autonomie du patient dans tous les actes de la vie quotidienne, tels que l'alimentation, la toilette, l'habillage et les transferts. L'apprentissage du maniement du fauteuil roulant l'est également pour permettre au patient de se déplacer en toute sécurité et de manière autonome.

○ L'objectif ultime, lorsqu'il est possible, est de favoriser la marche chez les patients atteints de paraplégie. Pour les patients porteurs d'une lésion médullaire incomplète, la rééducation à la marche est essentielle afin de restaurer une motricité dissociée, efficace et fonctionnelle. Cependant, pour les patients atteints de paraplégie complète, le bénéfice de la marche appareillée est limité en raison d'un coût énergétique élevé et d'un caractère peu fonctionnel. Cela peut conduire à l'abandon du dispositif, sauf dans les niveaux bas. Néanmoins, la rééducation à la marche peut apporter des avantages psychologiques et sociaux pour les patients atteints de paraplégie, même si elle ne conduit pas nécessairement à une récupération complète de la motricité.

○ Enfin, le réentraînement cardio-respiratoire à l'effort est nécessaire pour préserver la condition physique. En effet, les personnes paraplégiques ont une condition cardio-respiratoire inférieure à celle de la population générale. (5) Le réentraînement serait en capacité d'induire des changements structurels et fonctionnels au niveau du système nerveux central (cortex cérébral et moelle épinière) et musculo-squelettique. Il pourrait favoriser le maintien de l'état fonctionnel des neurones de la moelle épinière et favoriser l'activation et la régénération des cellules du système musculaire. (28)

L'activité physique, comprenant le renforcement musculaire et le réentraînement à l'effort, préserve tous ces bénéfices. Au contraire, il a été déterminé que la sédentarité entraînerait des modifications métaboliques ainsi que des systèmes musculo-squelettique et cardio-respiratoires délétères. C'est pourquoi il est fortement recommandé aux personnes paraplégiques de commencer ou de poursuivre une activité physique régulière. (10)

En rééducation depuis de nombreuses années, une des activités physiques les plus pratiquées est la balnéothérapie.(2) Elle consiste à la réalisation d'exercices en immersion plus ou moins complète du corps dans l'eau.

Une des propriétés les plus intéressantes de l'eau dans ce cadre est la poussée d'Archimède, défiant ainsi la gravité ressentie à sec.(29) La flottabilité peut presque permettre de recréer

l'impondérabilité, l'impact du poids sur les articulations et les muscles est alors réduit. Cela permet une relaxation des muscles favorisant ainsi la réalisation de mouvement par la personne. Une autre de ses propriétés est la résistance. En effet, les exercices exécutés dans l'eau permettent une résistance supplémentaire contrairement aux exercices terriens. (29)

Enfin, l'augmentation de pression effectuée par l'eau permet, lors d'une immersion jusqu'à la poitrine, une compression veineuse et lymphatique ainsi qu'une augmentation du débit sanguin et du travail inspiratoire. De plus, les organes sensoriels comme la peau réagissent différemment au contact de l'eau en fonction de la pression et de la température. (29,30)

Toutes ces recommandations sont larges et il n'est pas encore inscrit de protocole plus précis pour cette population. (10) Il a seulement été retrouvé une étude de 2018 faisant état de lignes directrices sur le renforcement musculaire et le réentraînement à l'effort chez les adultes atteints de blessures médullaires chroniques. Cette étude rapporte 2 recommandations différentes : (31)

- Sur le renforcement musculaire :
 - 20 min d'exercices en aérobie d'intensité modérée à vigoureuse 2 fois par semaine
 - ET
 - 3 séries d'exercices de force pour chaque groupe musculaire fonctionnel principal, à une intensité modérée à vigoureuse, 2 fois par semaine.
- Sur le réentraînement cardio-respiratoire à l'effort :
 - 30 min d'exercice en aérobie d'intensité modérée à vigoureuse 3 fois par semaine

L'activité physique, comprenant le renforcement musculaire et le réentraînement à l'effort, la balnéothérapie et la rééducation des capacités ventilatoires par la respiration contre résistance (détendeur) sont retrouvées dans une même pratique : la **plongée sous-marine**.

B. LA PLONGEE SOUS-MARINE

• La **plongée sous-marine** se définit comme une « activité consistant à descendre sous la surface de l'eau, muni d'appareils divers, soit à titre sportif, soit à des fins scientifiques ou militaires ». (32) Nous pouvons la définir comme une activité physique modérée à vigoureuse, aquatique, en condition hyperbare.(33) La plongée sous-marine regroupe déjà plusieurs axes de

rééducation (activité physique et balnéothérapie, travail respiratoire) et à cela s'ajoute : un environnement hyperbare, une activité sociale dans un état de pleine conscience.

○ L'environnement hyperbare est une élévation de la pression environnante. En plongée sous-marine, la pression augmente avec la profondeur ; il est considéré que la pression augmente de 1 ATA (atmosphère absolue) tous les 10 mètres de profondeur sachant qu'au niveau 0 (niveau de la mer) il y a 1 ATA. La pression ambiante augmente donc le travail inspiratoire. Avec la profondeur, notamment entre 10 et 20m, s'opère une bradycardie et une augmentation des paramètres sympathiques. (34)

La plongée sous-marine peut donner lieu à une hyperoxie, en fonction du type de gaz utilisé dans les bouteilles de plongée. En effet, une plongée utilisant de l'air enrichi en dioxygène associée à l'augmentation de pression ambiante entraîne une hyperoxie. (35) Il est toutefois important de noter que l'inhalation d'une concentration trop élevée de dioxygène peut avoir des effets néfastes sur le corps.

Depuis quelques années, il existe l'oxygénothérapie hyperbare, une « thérapie physique sûre et non invasive qui consiste à placer les patients dans une chambre sous pression et à inhaler de l'oxygène élevé ou pur à une pression supérieure à la pression atmosphérique pour améliorer l'oxygène dissous dans le sang afin de soulager les symptômes et de traiter la maladie avec moins d'effets secondaires. » (36) Elle est notamment utilisée lors d'accident de décompression de plongée sous-marine situé au niveau de la moelle épinière. Cette thérapie n'est pas encore totalement explorée, mais ses effets pourraient permettre de diminuer l'apoptose après une lésion médullaire traumatique, de réguler le stress oxydatif et l'inflammation, de favoriser l'angiogenèse et de stimuler la récupération nerveuse, il pourrait y avoir des effets neuroprotecteurs. Plus cette thérapie serait appliquée tôt, plus la récupération serait grande. Il n'y a, cependant, pas assez d'étude pour être mise en pratique aujourd'hui dans le cadre de la rééducation de la paraplégie. (37,38)

Même si la plongée n'est pas une oxygénothérapie hyperbare, par extrapolation, nous pensons qu'elle pourrait, dans une moindre mesure, reproduire les conditions de cette thérapie.

○ La plongée sous-marine peut avoir des effets bénéfiques sur la santé mentale et la qualité de vie en réduisant notamment le stress et l'anxiété. (39) En effet, les plongeurs sont souvent amenés à se concentrer sur leur respiration, lente et profonde, et sur leur environnement immédiat. Grâce à cela, ils peuvent atteindre un état de pleine conscience, retrouvé également en méditation. L'état de pleine conscience est la capacité à focaliser intentionnellement son

attention de façon ouverte et sans jugement sur l'instant présent. (40) Ces effets sur le bien être psychique ont déjà été suggérés dans plusieurs études avec des personnes valides ou en situation de handicap.(40–43)

○ Enfin, la plongée sous-marine est une activité pratiquée la plupart du temps en groupe. Elle permet de se sociabiliser autour d'un même intérêt. La particularité de cette activité est l'immersion et sa ressemblance avec la sensation d'apesanteur. Elle permet aux personnes paraplégiques de sortir du fauteuil roulant, ainsi ils rapportent la sensation d'être libérés de leur handicap et d'être égaux au reste de la population générale. (42,44)

Cette activité semble donc avoir des effets bénéfiques sur les plans biologique, physique, psychologique et social.

• Aujourd'hui, nous retrouvons la plongée sous-marine dans la vie des personnes paraplégiques mais également dans la littérature scientifique :

○ Cette activité est déjà pratiquée depuis de nombreuses années comme loisir par un nombre croissant de personnes valides, mais également par des personnes handicapées. (45) En effet, depuis le début des années 70, il existe une pratique handiplongée en France. Dès 1980, une première commission d'handiplongée a vu le jour au sein de la Fédération Française du Handicap (FFH). En 2011, la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins (FFESSM) signe une convention avec la FFH et prend la responsabilité de la plongée sous-marine pour personne en situation de handicap. Il apparaît à sa suite les qualifications « Handisub » pour les plongeurs (PESH) et les encadrants (EH).(46) En 2018, la FFESSM estimait à 1 000 personnes en situation de handicap licenciés en plongée sous-marine. (47)

○ Au-delà de son utilisation « loisir », la plongée apparaît également dans plusieurs centres de rééducation. Par exemple, le centre Altygo Hélio Marin à Plérin l'utilise avec de jeunes patients paralysés cérébraux. Egalement, au centre Beaulieu à Rennes, la pratique de la plongée est initiée avec des patients blessés médullaires. Malgré plusieurs démarches, nous n'avons malheureusement pas réussi à prendre contact avec eux. Le nombre de centres de rééducation proposant ce type de rééducation n'est pas référencé.

○ Dans la littérature, il existe peu d'articles sur les bénéfices de la plongée sous-marine associée à la paraplégie. En 1988, Madorsky rapportait que la plongée sous-marine pouvait être une rééducation neurorégénérative additive favorable.(48,49) Puis en 1991, Stanghelle souligne l'efficacité de la plongée sous-marine dans la réduction de la spasticité chez les blessés médullaires.(50)

En 1999 et en 2007, deux essais contrôlés randomisés ont été menés sur un groupe respectif de 9 et 6 patients paraplégiques.

Dans la première étude, une augmentation significative de la capacité vitale a été mesurée et une diminution satisfaisante des spasmes musculaires douloureux. Cette étude étant en allemand et non traduite en anglais et/ou français, il n'est pas possible pour nous de comprendre l'entièreté de l'étude. Nous nous questionnons notamment sur le faible nombre de sujet. Si le nombre de sujets nécessaire n'a pas été calculé, il est alors difficile de généraliser ces effets. (51)

Dans la deuxième étude, la spasticité a significativement diminué tandis que la qualité de vie a significativement augmenté. Egalement, cette étude ne renseigne pas comment le nombre de sujet a été choisi, et ne présente pas les résultats des tests statistiques. Cela implique un niveau de preuve moindre. (52)

Plus récemment, en 2019, une étude incluant 10 hommes paraplégiques a permis de montrer un effet positif de la plongée sur le bonheur éprouvé par les participants et sur les compétences développées en plongée sous-marine. Seulement, cette étude ne prend en compte que les capacités nécessaires et les avantages de la plongée sous-marine récréative. (53)

Bien que l'ensemble de ces études montrent plusieurs résultats significatifs, nous ne possédons pas assez d'informations sur les processus mis en œuvre lors de l'élaboration de ces études. Aussi, elles ont été menées sur de courtes périodes. Il serait intéressant de poursuivre les investigations sur une durée plus longue pour évaluer l'importance et le maintien des effets à court et moyen terme.

Historiquement, la plongée sous-marine a été beaucoup étudiée pour ses effets néfastes ; maladies de décompression, barotraumatismes, etc. Depuis quelques années, les études se portent également sur les bénéfices de l'environnement hyperbare, et plus particulièrement de la plongée sous-marine.

Plusieurs études sur des plongeurs valides ont montré des changements significatifs de molécules biochimiques. Il n'est pas possible de savoir les réels effets car le nombre d'études

est trop limité et chaque essai comporte des modalités d'interventions (température, profondeur, temps d'immersion, remontée) et d'évaluation différentes. (54,55)

Mais il peut être suspecté de nombreux bénéfices sur les mécanismes biochimiques notamment sur l'expression des sirtuines. Ce sont des protéines assurant un rôle important dans la régulation de plusieurs processus cellulaires comme la survie ou la médiation du métabolisme cellulaire ou encore la suppression de l'inflammation. Elles auraient un impact positif dans la prévention des maladies liées à l'âge. (55,56)

Egalement, une étude de 2019 n'a pas montré d'augmentation des marqueurs de stress cardiaque et musculaire lors de la plongée sous-marine contrairement à la plongée en apnée.(57) De plus, deux études de 2021 et 2022 ont suggéré que la plongée sous-marine permettait une adaptation du système cardio-vasculaire, musculo-squelettique et immunitaire. Ces adaptations ont été décrites par des changements de biomarqueurs, bien que restant dans les normes de référence, pouvant notamment permettre un effet cardio-protecteur. (33,58)

- La plongée sous-marine reste une activité comportant des **risques** certains, sa réglementation nécessite d'être suivie rigoureusement. En 2005, les premiers accords nationaux quant à la réglementation de la pratique de la plongée sous-marine par les personnes en situation de handicap font suite à la loi s'inscrivant pour « l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes en situation de handicap ». (59) Aujourd'hui, il existe donc une réglementation officielle pour les personnes en situation de handicap, elle n'est cependant pas spécifique à la paraplégie. (45)

Il ressort de cette **réglementation** pour les plongeurs en situation de handicap (PESH) quelques points essentiels : (45)

- Quand est-ce qu'une personne doit intégrer le programme Handisub :

L'intégration se fait selon plusieurs critères, intrinsèques et extrinsèques. Les critères intrinsèques à la personne sont les critères médicaux et techniques. Les critères extrinsèques sont reliés à l'environnement, la météo, la sécurité, les conditions matérielles de réalisation de plongée etc. Il est obligatoire d'intégrer le parcours Handisub pour les personnes qui nécessiteraient un aménagement du cadre réglementaire du cursus classique.

- Comment l'intégration se fait-elle :

D'après l'article 322-77 du Code du sport, « toute personne en situation de handicap peut bénéficier d'une aide matérielle ou d'une aide humaine durant sa formation ou durant sa

pratique ». (60) Il est cependant indispensable d'obtenir un Certificat médical d'Absence de Contre-Indication (CACI) à la pratique. Ce dernier doit être délivré par un médecin de médecine physique et de réadaptation (MPR), du sport ou fédéral ; chaque fédération décide du statut du médecin demandé. Le médecin délivrant le CACI définit également le cadre dans lequel la formation et la pratique de la plongée sous-marine seront possibles. Ce cadre fera état des restrictions possibles.

○ Quelles contre-indications ou limitations sont imposées :

Il n'existe pas de contre-indication ou de limitation spécifique hormis celles imposées pour la plongée sous-marine des valides (*Annexe 3*) et celles imposées par le médecin lors de la délivrance du CACI. Pour les personnes en situation de handicap mental, psychique ou cognitif, nous notons tout de même la limitation au « PESH 6m » ou à certaines conditions du « PESH 12m ».

○ Quelles sont les conditions de pratique :

La réglementation prend en compte 4 espaces d'évolution :

- PESH 6m
- PESH 12m
- PESH 20m
- PESH 40m

Elle définit pour chaque espace les compétences nécessaires du plongeur et du moniteur en cohérence avec le code du sport. La validation des espaces par la personne en situation de handicap se fait donc par les compétences réalisées et acquises et non selon la nature de sa déficience. (45)

C. LA PLONGEE SOUS-MARINE ET LA PARAPLEGIE

Concernant les personnes touchées par la paraplégie, il n'est pas décrit de manière officielle ni le processus d'intégration ni le niveau accordé car ils sont déterminés par leurs compétences individuelles comme décrit ci-dessus.

Il peut être supposé, en fonction du niveau d'atteinte de la lésion médullaire, les différentes compétences pouvant être accordées aux personnes paraplégiques : (Tableau IV) (61)

Tableau IV - Niveaux d'autonomie et de déficits en fonction de la paraplégie

Niveau	Muscles clés	Etat fonctionnel	Pratique de la plongée
T2 à T10	Intercostaux	Autonome en FR Difficulté à l'expectoration	Possible de faire manipulation, natation Difficulté si il y a du courant
T11	Abdominaux supérieurs	Possible difficulté à l'expectoration	Possible de faire manipulation, natation Difficulté si il y a du courant
T12	Abdominaux inférieurs	Peu de difficulté à l'expectoration Tronc stable	Stabilité en immersion Autonome à l'habillage
L1	Sartorius	Début de flexion de hanche	Stabilité en immersion Autonome à l'habillage
L2	Psoas	Marche en 4 temps avec appareillage	Bonne stabilité dans l'eau
L3	Quadriceps	Marche avec releveurs et cannes	Début de palmage
L4	Tibial antérieur	Marche avec cannes seules	Début de palmage
L5	Moyen fessier	Marche avec cannes seules	Début de palmage
S1	Grand Fessier et Triceps sural	Marche sans canne	Autonome pour matériel Palmage efficace
S2	Muscles plantaires	Normal sauf mictions	Autonome
S3	Sphincters du périnée	Mictions normales	Autonome
S4	Normalité	Normalité	Autonome

Evidemment, les compétences de chacun sont variables en fonction du niveau d'atteinte mais également de la sphère bio-psycho-social. Il est impossible de prédire de manière systématique des compétences propres à chacun.

Bien qu'il n'y ait pas de contre-indications formelles, nous pouvons tout de même, à la vue des conséquences possibles suite à une paraplégie, émettre des points de vigilance et des contre-indications à la pratique de la plongée sous-marine : (62)

- Des **contre-indications** sont indiquées par les médecins fédéraux comme la présence d'une syringomyélie, d'épisodes infectieux (respiratoires, urinaires, ...) et de lésions cutanées.(63) En effet, l'apparition de ces phénomènes constituent des interdictions temporaires à la pratique jusqu'à un rétablissement total. Il a également été suggéré que la plongée sous-marine répétitive avec une profondeur supérieure à 10 mètres (ou 2 ATA) puisse être délétère pour les personnes portant une pompe à baclofène.

- Il existe pour cette population des **difficultés avérées** :

- Tout d'abord l'accessibilité, il est fortement probable qu'un aide à la descente et à la remontée dans l'eau soit nécessaire.

- Egalement, la thermorégulation est une problématique récurrente. Par l'atteinte du système végétatif et de la sensibilité, les personnes atteintes ne ressentent pas forcément l'hypothermie, de plus, il a été décrit que le temps de réchauffement était plus long chez les personnes paraplégiques que chez les personnes valides, même après le séchage. Il sera nécessaire de prévoir une combinaison adaptée à la température de l'eau. À l'inverse, le risque d'hyperthermie est également présent, notamment sur les sorties en extérieures avec les températures estivales et l'habillage précoce.

- La fragilité cutanée est également un risque important pouvant mener à une contre-indication temporaire. Il est essentiel de surveiller l'état cutané avant et après chaque plongée, en effet, une surpression due à l'équipement ou une blessure ne sont pas forcément ressenties par la personne au niveau sous-lésionnel à cause de potentiels déficits de sensibilité.

- Enfin, les fonctions vésicales et fécales doivent être prises en compte. L'incontinence n'est pas contre-indiquée mais il se doit d'être aménagé un temps et un lieu adéquat au sondage avant et après chaque plongée. L'immersion en condition hyperbare augmente le drainage lymphatique, augmentant lui-même la diurèse.

- En fonction de chaque personne, certaines **difficultés** sont **possibles** :
 - En premier lieu, la fonction respiratoire peut être impactée par la paraplégie. L'expectoration est parfois difficile à exécuter, il existe des manœuvres de désobstruction réalisables en immersion par l'accompagnant qui semblent être efficaces. De plus, la fatigabilité des muscles respiratoires peut mener à un essoufflement plus précoce que chez une personne valide.
 - La fatigabilité musculaire est aussi généralisable aux muscles des membres et du tronc.

III. PROBLEMATISATION

La paraplégie est une pathologie impactant le système sensori-moteur et végétatif du tronc et des membres inférieurs proportionnellement au niveau d'atteinte neurologique. Ces atteintes physiques s'accompagnent généralement d'atteintes psychiques et sociales. Les grands axes de rééducation de la paraplégie regroupent notamment le renforcement musculaire, le réentraînement à l'effort et l'activité physique, la rééducation des capacités respiratoires ainsi que la balnéothérapie.

La plongée sous-marine est une activité physique en immersion dans un environnement hyperbare. D'un point de vue strictement théorique, la plongée sous-marine est composée d'éléments utilisés séparément en médecine et en rééducation étant ou pouvant être intéressant dans la rééducation des personnes paraplégiques.

La plongée sous-marine chez des personnes paraplégiques semble apporter des effets bénéfiques sur les plans biochimique, physique et psychique.

De ce fait, nous proposons ce protocole d'étude pilote dans la suite d'une étude de 2021 de Henrykowska et al. Elle porte sur la perception de plongeurs et de non plongeurs (182 personnes au total) en situation de handicap physique sur les effets thérapeutiques de la plongée sous-marine sur le corps et l'esprit. Le questionnaire SF-36 a été utilisé. Les résultats montrent qu'une majorité des plongeurs pensent avoir des améliorations physiques et/ou psychiques. (44) Cette étude a été menée sur une population en situation de handicap mais il n'est pas indiqué les résultats spécifiques aux personnes paraplégiques. De plus, elle n'a pas été menée suite à une série de plongées spécifiques.

Nous questionnons l'effet de la répétition de plongées sous-marine, et souhaitons évaluer les effets bénéfiques sur la qualité de vie ainsi que sur la fonction motrice, la spasticité et les capacités respiratoires des personnes paraplégiques.

IV. METHODE

A. CONCEPTION DU PROTOCOLE

Ce protocole présente une étude pilote de faisabilité en groupe unique sur l'intérêt de la plongée sous-marine dans la rééducation de la paraplégie. La méconnaissance et le manque de littérature disponible à ce sujet nous empêche de réaliser un protocole d'essai contrôlé randomisé.

Nous chercherons à évaluer les potentiels effets et les mesures de sécurité nécessaires lors de plongée sous-marine répétées à moyen terme. Dans un premier temps nous chercherons, quel est l'impact de la plongée sous-marine sur la qualité de vie. Dans un deuxième temps, nous cherchons à déterminer si la plongée sous-marine est une activité permettant de maintenir ou d'améliorer la force des membres supérieurs et inférieurs, de diminuer la spasticité et d'augmenter les capacités cardio-respiratoires.

Ce protocole suit les critères des lignes directrices SPIRIT pour l'écriture d'un protocole de recherche.

Le protocole suivra le calendrier suivant : (Figure 1)

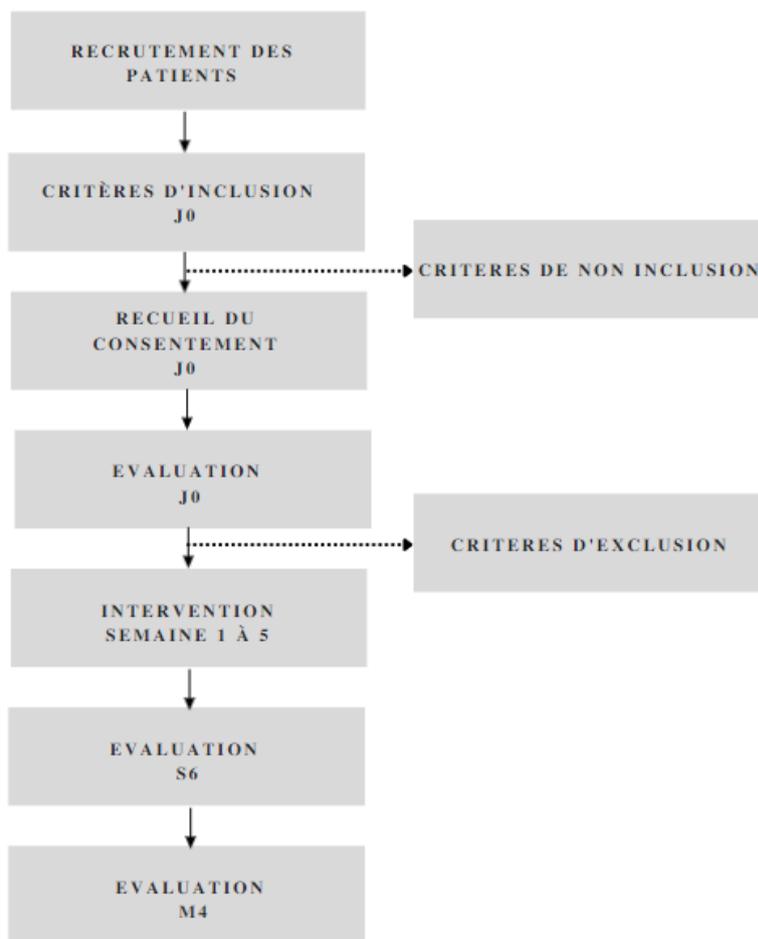


Figure 1 - Calendrier de l'étude

1. CONTEXTE

L'étude se déroulera dans la fosse de plongée de 10m de la piscine de Gayeulles à Rennes. Nous faisons le choix de plongée en piscine et non en mer car : lors de premières plongées, il est important de commencer dans un espace peu profond. De plus, les conditions extérieures comme le courant, les vagues et la météo sont imprévisibles et non reproductibles. Et enfin, afin d'éviter de possibles biais lors de nos résultats ; il a été décrit que les environnements naturels extérieurs pouvaient influencer de manière significative sur la qualité de vie. (43)

L'équipe de recherche se composera de masso-kinésithérapeutes en capacité de plonger, de médecins fédéraux de la FFESSM, de moniteurs agréés par la FFESSM de niveau EH1, d'un pneumologue et d'un data manager. Un masso-kinésithérapeute expérimenté externe à l'équipe de recherche réalisera les différents tests au cours de l'étude.

2. POPULATION

Notre intervention s'intéresse à une population de personnes en situation de paraplégie. Nous incluons dans l'étude les personnes répondant aux critères suivants :

- Lésion médullaire inférieure à T1 (non inclus) de toute étiologie depuis plus d'un an
- Avoir entre 18 et 60 ans inclus (avoir plus de 60 ans : réglementation de la FFESSM considère comme senior) (64)
- N'ayant jamais fait de plongée sous-marine
- N'ayant pas participé à un programme de rééducation intensive dans les 5 derniers mois
- Ayant un certificat d'absence de contre-indication (CACI) délivré par un médecin fédéral agréé de la FFESSM
- Lieu d'habitation à moins de 30 minutes du lieu d'intervention

Les participants ne devront pas remplir les critères de non-inclusion suivants :

- Présenter une contre-indication de la réglementation de plongée sous-marine de la FFESSM
- Présenter une syringomyélie
- Être fumeur

NB : *La motricité anale et vésicale sont non-obligatoires. Il faudra prendre des dispositions en amont et en aval de chaque plongée pour la réalisation des sondages.*

Les traitements habituels de chaque participant seront acceptés et maintenus sauf s'ils entraînent un des critères de non-inclusion ci-dessus.

3. PARAMETRES ET EVALUATIONS

OBJECTIF PRINCIPAL

Au sein de cette population, nous nous intéressons **principalement** à l'évolution de la **qualité de vie** à court terme.

CRITERE PRINCIPAL

Le critère principal est l'évolution du score de l'échelle SF-36 (*Annexe 2*) entre la baseline et la 6^{ème} semaine. Cette échelle est traduite et validée en français. De plus, elle comprend plusieurs parties prenant en compte, la composante physique et mentale ainsi que

l'évolution de santé perçue. (cf. Cadre conceptuel) Il sera auto-administré. Nous avons fait ce choix car elle a été utilisée dans les travaux de Henrykowska et al. de 2021 pour lesquels nous faisons suite. (44)

OBJECTIFS SECONDAIRES

Nous nous intéressons à l'évolution entre le baseline, la 6^{ème} semaine et le 4^{ème} mois :

1. De la qualité de vie : (entre la baseline et le 4^{ème} mois)
2. De la fonction motrice
3. De la spasticité
4. Des capacités cardio-respiratoires.

CRITERES SECONDAIRES

1. Concernant la **fonction motrice** :

L'échelle MRC est régulièrement utilisée dans ce contexte. Seulement, sa fiabilité est moindre lors des cotations 4 et 5 ainsi que sa sensibilité à détecter une différence entre deux évaluations. Nous utiliserons alors cette échelle seulement pour les cotations comprises entre 0 et 2 inclus. Si le participant a la capacité de créer un mouvement contre pesanteur alors nous la mesurerons à l'aide d'un dynamomètre, ce dernier n'étant pas fiable sur les cotations de 0 à 2 inclus. (cf. Cadre conceptuel) La fonction motrice sera évaluée sur l'ensemble des groupes musculaires des membres inférieurs et les groupes musculaires de l'épaule et du bras.

2. Lors de l'évaluation de la **spasticité** :

Nous utiliserons l'échelle d'Ashworth modifié (MAS) sur 5. Cette échelle est recommandée et, bien qu'elle ne soit pas la plus précise, elle nous permet de nous rapprocher de la pratique de terrain. (cf. Cadre conceptuel) Elle sera pratiquée sur l'ensemble des groupes musculaires des membres inférieurs.

3. Enfin, les **capacités cardio-respiratoires** :

Elles seront évaluées selon la force des muscles respiratoires et la réaction du système cardio-respiratoire à l'effort :

a. Concernant la **force** des muscles respiratoires :

La spirométrie sera employée. Effectivement, la mesure des volumes et débits respiratoires pourra donner des indications quant à leur force. (cf. Cadre conceptuel) Nous procéderons à la spirométrie en suivant le protocole décrit par Miller et al. décrit en 2005.(19)

b. Concernant l'**endurance** du système cardio-respiratoire :

Nous utiliserons le test des 6 minutes de marche et s'il est impossible à réaliser pour un participant le test de poussée de 6 minutes. (cf. Cadre conceptuel) Les mesures de la fréquence cardiaque et de la saturation seront prises avant le test, toutes les minutes pendant le test et après le test.

Chaque évaluation sera effectuée à J0, à la 6^{ème} semaine (S6) puis à la fin du 4^{ème} mois (M4). Notre critère principal repose sur l'évolution de la qualité de vie entre J0 et S6 car il décrit les effets à moyen terme. Notre critère secondaire est l'évolution de l'ensemble des paramètres évalués entre J0 et S6 et entre J0 et M4 afin de questionner les effets à long terme.

Tableau V - Récapitulatif des critères de jugement et de leur temporalité

Critères	Modalités évaluées	Evaluation	Temporalité
Primaire	Qualité de vie	SF-36	S6
Secondaires	Qualité de vie	SF-36	M4
	Fonction motrice	Echelle MRC et/ou dynamomètre	S6 et M4
	Spasticité	Echelle d'Ashworth modifiée	S6 et M4
	Capacité ventilatoire	Spirométrie	S6 et M4
	Système cardio-respiratoire	Test des – minutes de marche ou test de poussée de 6 minutes	S6 et M4

B. PROCEDURE DE L'INTERVENTION

1. RECRUTEMENT DES PATIENTS

Le lieu de l'intervention étant situé à Rennes, nous procéderons au recrutement dans les établissements de soins accueillant des personnes paraplégiques (exemple : Centre Beaulieu) et dans les associations de patients de personnes atteintes de paraplégie situés à Rennes et dans son agglomération.

Nous transmettrons une fiche d'information via les équipes soignantes des établissements et via les mailing lists des associations de patients. La fiche d'information contiendra les objectifs, la procédure et les risques de l'intervention ainsi que les critères d'inclusion et de non-inclusion des participants. Nous joindrons également une liste des médecins pouvant fournir un certificat d'absence de contre-indications à la pratique de la plongée sous-marine. Ces fiches seront à retourner à l'équipe de recherche par mail ou par voie postale ainsi qu'un certificat d'absence de contre-indication délivré par un médecin fédéral, MPR ou du sport.

Nous souhaitons un groupe de 10 participants. Etant une étude de faisabilité, le nombre de participants intégré n'est pas basé sur un calcul du nombre de sujets nécessaires pour montrer une efficacité. Dans les précédentes études, le nombre de participants se situait entre 6 et 14.(51–53) Egalement, la logistique de terrain nous contraint. La période de recrutement est de 6 mois.

Suite au recrutement, les participants seront ré-informés des objectifs, des risques et des différentes étapes de l'étude. Leur consentement quant à leur participation et à l'utilisation des données sera recueillies. L'anonymisation des données sera effectuée. Ils seront également informés de leur droit à s'opposer à poursuivre l'étude ou à l'utilisation de leur données.

2. INTERVENTIONS

L'intervention se déroulera sur 5 semaines avec 3 jours d'intervention par semaine. Nous avons déterminé cette période et cette fréquence par rapport aux précédents protocoles mis en œuvre et les recommandations d'activité physique pour les personnes paraplégiques retrouvés dans la littérature.

- En effet, la **durée** des protocoles intéressant la plongée sous-marine et les personnes paraplégiques s'est située entre 6 jours et 3 semaines. (51–53) Mais une étude récente sur les

effets de la plongée sous-marine récréative répétitive incluant des personnes valides s'est réalisée sur 5 semaines. (33,58)

- Il a été suggéré en 2018, par les lignes directrices d'un comité international, de réaliser 30 minutes d'exercice en aérobic d'intensité modérée à vigoureuse 3 fois par semaine.(31) La plongée sous-marine étant considérée comme une activité physique modérée à vigoureuse, nous avons arrêté notre choix sur une **fréquence** de 3 fois par semaine. (33,58)
- Nous n'avons pas le détail de l'ensemble des études, mais sur les données que nous avons, le **nombre de plongée total** était entre 5 et 6. (33,52,58) Il a été suggéré d'augmenter le nombre de plongée et/ou la durée du protocole pour améliorer les résultats déjà mis en évidence. (52) Notre protocole contiendra donc un total de 15 plongées sur 5 semaines.
- Nous avons également déterminé le **temps d'immersion** grâce aux lignes directrices éditées en 2018. Le temps d'immersion correspond au temps écoulé à la profondeur maximale, il ne comprend donc pas le temps de descente et de remontée. De plus, dans chaque étude, dont les modalités d'immersion étaient retransmises, le temps d'immersion était également de 30 minutes. (33,52,58)

L'ensemble de ces informations nous ont conduit à ces modalités d'intervention.

La première semaine d'intervention sera particulière car elle représente la phase d'initiation à la plongée sous-marine. Cette phase correspond à l'apprentissage des notions de sécurité et d'exercices de respiration ainsi que la découverte d'un nouvel environnement.

- Sur la **première journée**, il y aura lieu d'un cours théorique à sec, d'exercices de respiration et d'une première immersion à 1 mètre de profondeur.
 - Le cours théorique portera sur les notions élémentaires de la plongée sous-marine. Il comprendra notamment les mesures de sécurité, la description du matériel et la communication en immersion.
 - Il sera suivi d'exercices de respiration. Durant la plongée sous-marine, la respiration se veut lente et ample. Cela permet d'économiser l'air stocké dans la bouteille et de permettre une éventuelle entrée dans un état de pleine conscience. Ces exercices serviront à l'apprentissage de ce type de respiration aux participants.

○ Enfin, la première immersion se déroulera sur une profondeur de 1 mètre pendant 30 minutes. Il sera effectué un rappel et une mise en pratique des notions de sécurité vues précédemment. Elle permettra aux participants d’appréhender ce nouvel environnement, la manière de se mouvoir et les différentes sensations.

• Sur les **deux autres interventions** de cette première semaine, il y aura une séance d’exercice de respiration à sec et une immersion de 30 minutes pour chacune.

Sur la deuxième intervention l’immersion se fera à une profondeur de 2m tandis que pendant la troisième plongée, les participants descendront jusqu’à 4m. Les 30 minutes d’immersion seront constituées de rappels des mesures de sécurité et l’apprentissage de l’équilibration, de la stabilité et du déplacement sous-marin.

Les semaines 2 à 5 seront différentes puisqu’elles comprendront seulement une immersion à 6 mètres de profondeur trois fois dans la semaine.

• Nous choisissons la **profondeur** de 6 mètres car c’est la profondeur considéré comme espace proche dans la réglementation de la plongée sous-marine Handisub. L’espace proche est l’espace qui ne demande aucune compétence particulière au plongeur en situation de handicap.

• Lors des **30 minutes d’immersion**, nous proposons un programme d’exercices évolutif suivant les recommandations de la HAS et de la littérature sur la rééducation de la paraplégie. Le programme d’exercice est consultable en annexe (*Annexe 4*). Il prend en compte le travail de mobilité, de renforcement musculaire des membres supérieurs et inférieurs ainsi qu’un réentraînement cardio-respiratoire à l’effort. Bien que les grands axes de rééducations soient validés dans la littérature, il n’existe ni protocole précis en renforcement musculaire ni en balnéothérapie. Ce programme d’exercice s’appuie donc sur des exercices pratiqués régulièrement sur le terrain en balnéothérapie et à sec. L’objectif principal de ces exercices est d’augmenter la qualité de vie, c’est pourquoi ces exercices sont globaux et fonctionnels.

Pendant l’ensemble des plongées, le type d’air utilisé sera de l’air comprimé. La remontée ne nécessitera pas de pallier car la profondeur n’est pas assez importante.

Pour réaliser cette étude, le matériel de plongée est nécessaire ; combinaison entière, masque et palmes, des bouteilles de plongée avec des détendeurs. Le port des palmes, même si la paraplégie est complète, permet la flottabilité du bas du corps et augmente la stabilité sous-marine.(63)

La figure suivante présente un schéma récapitulatif de la procédure d'intervention : (Figure 2)

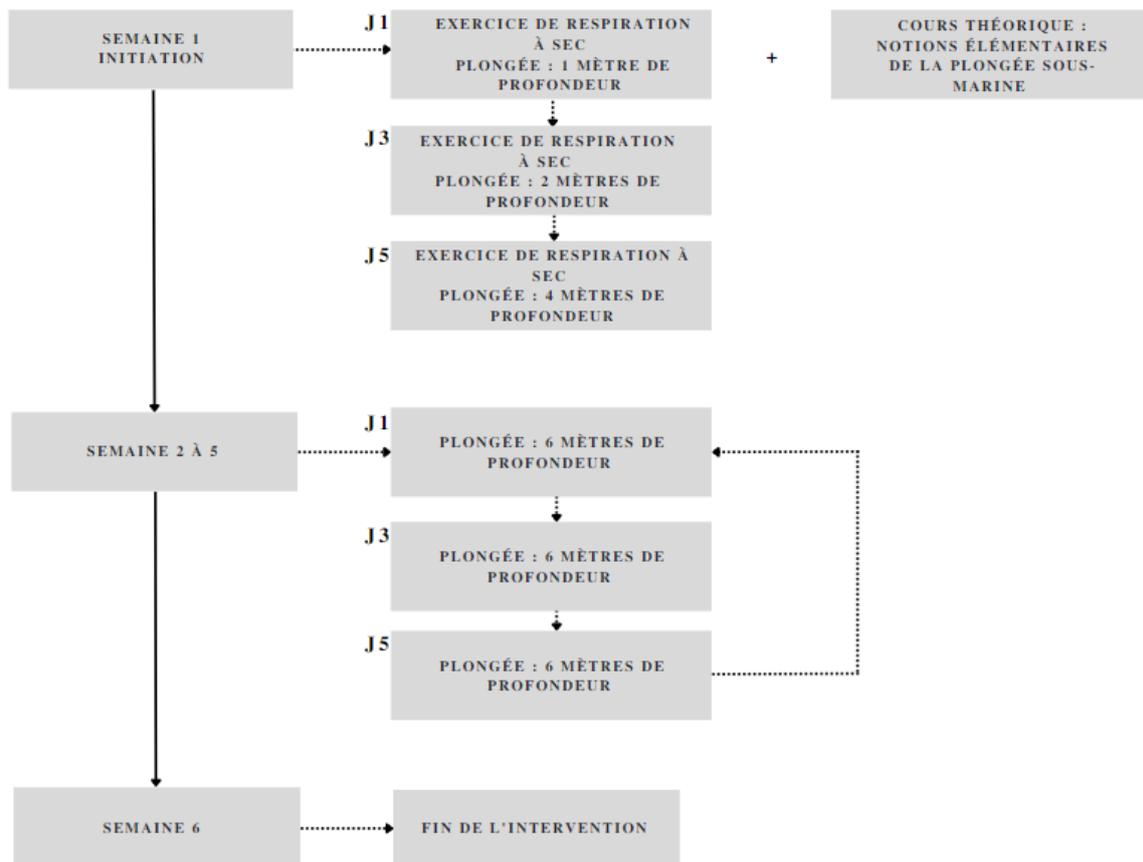


Figure 2 - Description de la procédure d'intervention

3. CRITERES D'ARRET DE PARTICIPATION

Les critères d'arrêt de participation à notre étude sont :

- Le retrait du consentement à la participation à l'étude ou à l'utilisation des données recueillies comme cité dans la loi (cf. Cadre éthique et réglementaire)
- La perte de contact avec le participant (« perdu de vue »)
- L'apparition d'un des effets indésirables suivants ; l'arrêt sera temporaire ou définitif :
 - Décès
 - Un ou plusieurs tests font état de valeurs anormales pouvant nuire à la santé du participant lors de l'évaluation à J0
 - Le participant ne tolère pas la tête sous l'eau, l'environnement, le matériel, etc.
 - Apparition de contre-indications durant l'étude : état infectieux (urinaire, respiratoire, ...), dégradation de l'état cutané, etc.
 - Constantes ou sensations anormales décrites par un participant

Les traitements habituels de chaque participant seront maintenus. Si ces traitements entraînent un des critères cités ci-dessus, le participant arrêtera l'étude.

4. VIGILANCE ET GESTION DES EFFETS INDESIRABLES

La plongée sous-marine est une activité physique exigeante. Bien qu'elle soit déjà pratiquée sous forme de loisir, nous ne connaissons pas encore l'ensemble de ses effets sur la santé des personnes paraplégiques. Nous avons donc prévu des mesures de sécurité afin de prévenir les effets indésirables pouvant survenir au cours de notre étude.

Avant et après chaque plongée, il devra être effectué la prise des constantes suivantes :

- Fréquence cardiaque
- Température
- Saturation
- Tension
- Glycémie
- Surveillance de l'état cutané

Nous avons choisi les éléments suivants en rapport avec les symptômes décrits par les différentes conséquences de la paraplégie (dysréflexie autonome, hypotension orthostatique, trouble de la thermorégulation, lésion cutanée, blessure). Nous veillerons à la réhydratation post-intervention de chaque participant.

Si un participant remplit un des critères d'exclusion, qu'il rapporte une constante ou une sensation anormale, alors il devra alors arrêter l'intervention. Il recevra des soins proportionnels à l'effet indésirable jusqu'à son rétablissement ou consolidation. S'il recouvre un état stable avant la fin de l'intervention alors le médecin fédéral de l'équipe de recherche devra valider la reprise de l'intervention.

C. QUALITE METROLOGIQUE DES CRITERES DE JUGEMENT

1. CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL

Le **questionnaire SF-36** est traduit et validé en français, ses qualités psychométriques sont identiques à la version originale américaine.(26) Sa validité de construction est

d'excellente à adéquate, tout comme sa cohérence interne (alpha de Cochrane de 0,76 à 0,90). (65) La différence minimale cliniquement pertinente est de 3 points pour les scores composites physique et mental. (26)

Nous faisons le choix d'appliquer le test statistique séparément aux scores composites physique et mental, et à chacune des 8 catégories citées ci-après :

- L'activité physique
- Limitations dues à l'état physique
- La santé générale perçue
- Vitalité
- La vie et les relations avec les autres
- Limitations dues à l'état psychique
- La santé psychique
- Les douleurs physiques

2. CRITERE DE JUGEMENT SECONDAIRE

• Il est difficile de connaître la validité et la fiabilité des **tests musculaires manuels**. En effet, la validité, la cohérence interne et la reproductibilité dépendent de la population, de la pathologie et de son degré ainsi que du muscle ou du groupe musculaire testé. Cependant, il est suggéré que la corrélation entre les tests musculaires manuels et le dynamomètre à main est d'adéquate à excellente. (14)

• Le **dynamomètre** présente lui-même une corrélation excellente par rapport au test isocinétique.(14) De plus, sa fiabilité inter et intra-opérateur est excellente.(16,66) Ces informations confortent l'utilisation commune de ces deux outils au sein de notre étude.

• L'**échelle d'Ashworth modifiée** présente une fiabilité adéquate (ICC = 0,56) tout en sachant que sa fiabilité intra-opérateur est supérieure à sa fiabilité inter-opérateur.(18,67) Il sera alors préférable qu'un seul opérateur réalise l'ensemble des évaluations. Sa validité tout comme pour les tests manuels musculaires est difficile à mesurer en raison de la diversité des pathologies, des populations et des muscles testés.

• La **spirométrie** ne présente, à notre connaissance, pas de données métrologiques.

• Le **test de 6 minutes de marche** obtient une excellente validité de critère sauf pour les marcheurs dépendants ou ayant de faibles capacités de marche tandis que sa validité de

construction est d'adéquate à excellente.(22) La différence minimale cliniquement pertinente globale est de 0,10 m/s (mètre par seconde).(23) Sa fiabilité inter et intra-opérateur est excellente. (22)

- Le **test de poussée de 6 minutes** bénéficie également d'une excellente validité par la corrélation avec le temps d'exercice maximal, la charge de travail maximal et l'indépendance fonctionnelle, bien qu'il existe une corrélation seulement adéquate avec le pic d'O₂.(21,24,68) Nous retrouvons dans la littérature plusieurs scores de coupure indiquant une faible condition physique, 604 mètres et 280 mètres.(21,24) La différence entre ces deux scores étant importantes, nous préférons ne pas les prendre en compte. Sa fiabilité inter-opérateur est excellente.(21,24)

D. COLLECTE ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

1. RECUEIL DES DONNEES

Tout au long de l'étude, les évaluations seront réalisées par un kinésithérapeute expérimenté externe à l'équipe de recherche. L'ensemble des données recueillies au cours du recrutement et des évaluations seront rassemblées dans un dossier patient confidentiel.

L'évaluateur transmettra ensuite les données au data manager de l'équipe de recherche. Concernant l'évaluation de la fonction motrice, si un participant reçoit la cotation 0 à l'évaluation à J0, alors les données concernant seulement la fonction motrice seront rejetées. En effet, sachant que la cotation 0 correspond à la paralysie complète du muscle, nous savons qu'un an après la lésion la cotation ne pourra pas évoluer. Si un participant n'a pas reçu au moins la moitié de l'intervention, alors ces données ne seront pas comptabilisées dans l'analyse. Si des données sont manquantes, elles devront être justifiées.

Le traitement statistique sera effectué sur le logiciel « R ».

2. ANALYSE STATISTIQUE

Notre étude est observationnelle et quantitative sur un groupe unique. Elle compte un faible nombre de participant (< 30). Nous pratiquerons donc un test statistique non paramétrique de comparaison de moyennes des différences pré et post intervention sur l'ensemble des évaluations. L'échantillon est apparié.

Nous utiliserons donc le test non-paramétrique de Wilcoxon. Pour chaque test le niveau de signification sera $\alpha = 0,05$.

La taille d'effet pour le test de Wilcoxon, est souvent décrite comme suivante : 0,10 - < 0,3 (petit effet), 0,30 - < 0,5 (effet modéré) et $\geq 0,5$ (effet important).

E. CADRE ETHIQUE, ADMINISTRATIF ET REGLEMENTAIRE

Ce protocole est conforme à la Déclaration d'Helsinki. Il devra cependant recevoir la validation par le comité de protection des personnes RIPH3 (Recherche Impliquant la Personne Humaine de catégorie 3).

En effet, ce protocole est encadré par la Loi Jardé (loi n°2012-300 du 5 mars 2012 relative aux recherches impliquant la personne humaine). Ainsi, l'article L1121-1 du code de la santé publique indique que notre protocole d'étude intègre la catégorie 3. En conséquence, sa mise en place nécessite les prérequis suivants :

- Doit être financé par un promoteur
- Doit obtenir l'avis favorable d'un comité de protection des personnes
- Doit recevoir une autorisation de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) concernant le traitement des données relatives aux participants
- Doit informer individuellement les participants sur les détails de la procédure et le droit de refuser de participer ou de retirer son consentement à tout moment
- Doit recueillir pour chaque participant un formulaire de consentement éclairé écrit et signé avant le commencement de l'intervention
- Doit avoir une assurance

V. RESULTATS

A. PRESENTATION DES RESULTATS

La présentation des résultats se découpera en une première partie décrivant dans les caractéristiques de la population puis en plusieurs parties ; une pour chaque paramètre étudié.

Pour chaque élément, les données seront représentées par un texte descriptif suivi d'un tableau. Le tableau reflétera les données brutes de chaque participant ainsi que la différence pré/post intervention et les résultats des tests statistiques (p-value, d de Cohen).

VI. DISCUSSION

A. HYPOTHESES DES RESULTATS ATTENDUS

Nous supposons que les résultats de l'étude à moyen terme seront en faveur d'une augmentation de la qualité de vie, de la fonction motrice des membres supérieurs, de la force des muscles respiratoires et de l'endurance cardio-respiratoire. Egalement, nous supposons le maintien de la fonction motrice des membres inférieurs et la diminution de la spasticité.

En effet, l'étude de Haydn et al. en 2007 a déjà montré une augmentation significative de la qualité. Nous pensons donc obtenir des résultats similaires avec un effet fort, bien que cette étude ait été réalisée sur un faible nombre de sujets.

Egalement, le déplacement sous-marin demande une participation importante du haut du corps notamment des membres supérieurs. Par conséquent nous estimons un impact modéré sur la fonction motrice des muscles de l'épaule et du bras en bilatéral. Les membres inférieurs, impactés par la paraplégie, seront tout de même sollicités par le programme d'exercice autant que possible. C'est pourquoi nous présumons un maintien de leur fonction motrice.

L'étude de Novak et Ladurner en 1999 a montré une augmentation significative de la capacité vitale. Notre étude étant plus longue et comportant des exercices de respiration associés, nous espérons obtenir également une forte augmentation de ce critère.

Bien qu'il n'y ait pas eu d'étude spécifique sur l'endurance cardio-respiratoire des personnes paraplégiques en plongée sous-marine, les effets de l'activité physique ont montré une adaptation de ce système. La plongée sous-marine étant une activité physique modérée à vigoureuse, nous supposons qu'une augmentation modérée sera présente à la fin du programme.

Enfin, l'étude de Haydn et al. en 2007 a également montré la réduction significative de la spasticité. Nous imaginons alors que notre intervention diminuera modérément de manière significative la spasticité au sein du groupe de participant.

Enfin, les effets de la plongée sous-marine à long terme sont difficiles à prédire car les effets à court et moyen terme sont encore mal connus et aucune étude, à notre connaissance, n'a évalué ce critère.

B. LIMITES ET BIAIS DE L'ETUDE

Ce protocole présente une étude de faisabilité, elle est donc exploratoire. Pour cette raison, nous n'incluons pas un grand nombre de sujets. Par conséquent, la validité des résultats obtenus sera non représentative de l'ensemble de la population cible et ne pourra pas être généralisée.

Egalement, en l'absence d'un groupe contrôle utilisant un traitement prouvé. En cela, il est difficile de conclure du réel bénéfice de la plongée sous-marine. L'application d'une intervention sur un unique groupe amène également d'autres contraintes comme l'inutilité de la mise en aveugle des sujets et des encadrants de l'intervention. Les résultats de l'étude peuvent alors être biaisés par les préjugés des participants et des encadrants. Nous avons choisi un évaluateur externe à l'équipe de recherche, ne connaissant donc pas le sujet de l'étude, afin de diminuer le biais d'évaluation.

Le recrutement des patients demande un certificat d'absence de contre-indication. Nous prenons conscience des implications que cela engendrera dans la validité externe des résultats. Telles que la nécessité pour le participant de pouvoir se déplacer (avec ou sans aide) jusqu'au cabinet et de recommencer plusieurs fois si nécessaires en fonction des examens demandés.

Egalement, nous adoptons des critères d'inclusion larges dans notre étude. Ils laissent l'opportunité à des personnes pouvant avoir des caractéristiques personnelles très différentes d'intégrer l'étude. Il peut y avoir des différences d'âge, de niveau lésionnel et de durée du handicap importantes ainsi qu'une proportion de genre ou de non-genre différentes. Ce large spectre peut donner lieu à des réactions disparates face l'intervention et biaiser les résultats. À ce même titre, la diversité des traitements habituels des participants peuvent également être un facteur confondant sur les résultats de l'étude.

Nous n'avons pas pu attester de la validité et de l'ensemble des données métrologiques des tests évaluant les paramètres étudiés. En effet, les nombreux domaines d'application de l'ensemble des tests étudiés et leur variation entre les pathologies et leur gravité provoque un biais de spectre. C'est aussi l'intérêt d'une étude de faisabilité.

Lors de la conception de l'intervention, deux limites ont été identifiées :

Premièrement, le choix des exercices administrés en immersion sont basés sur notre expérience. Ils sont standardisés mais ne relèvent pas de données de la littérature car, à notre connaissance, aucun protocole n'a précisé les exercices utilisés (en balnéothérapie ou à sec). En cela, les

résultats de l'étude ne seront peut-être pas aussi concluants que si le programme d'exercice pouvait s'appuyer l'evidence based practice (EBP).

Deuxièmement, dans le cadre d'une étude exploratoire et de premières plongées pour les participants ainsi que par soucis de sécurité, nous avons limité la profondeur maximale à six mètres. Il avait été notifié dans les précédentes études que l'augmentation de profondeur augmenterait les résultats. Il faudra dans de futures recherches questionner cet aspect.

C. PERSPECTIVES PROFESSIONNELLES

- Du point de vue de la **recherche scientifique**, si cette étude s'avérait montrer des résultats positifs, elle pourrait permettre de mener de plus amples recherches dans ce domaine. Notre étude préliminaire permettrait de mettre en place des études randomisées, plus robustes, en réduisant les limites et biais cités ci-dessus. Elles auraient ainsi une meilleure validité.

Les effets de la plongée sous-marine sur la rééducation et la réadaptation des patients blessés médullaires sont encore incertains. Il serait intéressant d'en déterminer les bénéfices et risques afin de percevoir l'intérêt de l'utilisation en rééducation et ses conditions de réalisation. En effet, si ces effets sont avérés, plusieurs questions en découlent ; la profondeur et/ou le temps de plongée augmentent-ils ces effets, à quelle fréquence et pendant combien de temps faut-il pratiquer la plongée pour apporter des effets sur le long terme ? A contrario, il faudrait déterminer si l'ensemble de ces modalités peut amoindrir ces effets, voire les rendre néfastes pour la santé, dans cette population.

Nous pensons qu'il serait pertinent de comparer la plongée à la balnéothérapie. Ces deux activités sont similaires sur plusieurs aspects, nous pourrions imaginer qu'une différence serait engendrée par l'augmentation de la pression ambiante, l'environnement hyperbare. Egalement, la comparaison avec l'utilisation d'un caisson hyperbare serait une méthode judicieuse pour déterminer si les effets de la plongée sont dus à son environnement hyperbare.

Notre étude se base sur une population de personnes paraplégiques chroniques, il serait intéressant, à l'avenir, de déterminer son intérêt également chez une population paraplégique en phase évolutive. Nous pouvons questionner ses effets pour la récupération nerveuse.

- Du point de vue **clinique**, la plongée sous-marine est déjà intégrée dans quelques centres de rééducation en France. Elle n'est néanmoins pas accessible à tous les patients. Si les résultats se révélaient positifs, ils pourraient permettre de mettre en lumière un intérêt plus important pour cette pratique. En fonction de l'importance de l'efficacité, nous pouvons questionner son impact économique. En effet, bien que cette activité soit coûteuse, la prise en charge des personnes paraplégiques demande un coût élevé à l'Etat et aux personnes atteintes. Il pourrait être intéressant d'analyser si la plongée sous-marine peut, en augmentant la santé physique et psychique des personnes paraplégiques, diminuer leurs coûts médicaux. Il faudra évidemment de nombreuses études et années avant de pouvoir généraliser ce type de parcours.

Même s'il ne résulte pas d'effet physique significatif, nous pensons tout de même qu'il serait intéressant de démocratiser ce procédé. En effet, au-delà des potentiels effets bénéfiques sur les capacités physiques, il permet au patient de changer d'environnement, de découvrir et de se familiariser avec le milieu aquatique et par conséquent de développer de nouvelles compétences. La plongée pourrait permettre aux patients d'appréhender leur corps et leur nouvelle condition différemment. De même, cela pourrait donner l'envie de poursuivre, hors du centre de rééducation, cette activité physique de manière régulière.

- D'un point de vue **personnel**, bien que cette étude reste en l'état de projet et ne puisse apporter directement de réponses. Son écriture a permis d'acquérir des compétences et d'enrichir nos connaissances sur la paraplégie et la plongée sous-marine. La paraplégie est une pathologie à laquelle nous sommes assurément confrontés au cours de notre carrière. L'ensemble des notions analysées sur ce sujet me permettront, sans aucun doute, d'améliorer ma pratique.

L'investigation des données est parfois longue mais nous a permis d'adopter une stratégie de recherche efficiente. La pratique de la kinésithérapie évolue assez rapidement et s'engage de plus en plus dans une pratique basée sur des preuves scientifiques (EBP). L'actualisation des connaissances au cours de la carrière d'un kinésithérapeute est primordiale. Dans notre future pratique, il sera indispensable de pouvoir concilier l'exercice de la kinésithérapie ainsi que l'entretien et la mise à jour des connaissances. Cela passe notamment par l'efficacité des recherches dans la littérature.

L'écriture, en elle-même, nous a permis d'affûter notre esprit critique et de synthèse. En effet, la conception questionne sur chacun des aspects et détails de l'étude. Il n'est pas évident de concevoir l'entièreté d'un protocole mais son écriture nous permet de prendre pleinement conscience de l'importance de chaque étape.

Ce travail est d'autant plus complexe qu'il ne sera pas mis en œuvre, les parties financière et administrative ne sont pour l'instant pas achevées.

Cette initiation à la recherche est une démarche enrichissante sur le plan professionnel et personnel.

VII. CONCLUSION

Nous avons proposé un travail de recherche visant à questionner l'impact de la plongée sous-marine dans le contexte particulier d'une rééducation de la paraplégie. L'existence d'une activité Handisub, associée aux travaux préliminaires nous interroge sur les bénéfices potentiels d'une rééducation kinésithérapique dans un environnement subaquatique hyperbare.

Notre objectif et critère de jugement principal porte sur la qualité de vie à moyen terme. Aucun traitement curatif n'existant aujourd'hui pour les personnes atteintes de paraplégie, il nous semble alors primordial de pouvoir proposer une rééducation prenant en compte la qualité de vie. Il est indispensable de promouvoir un suivi permettant une récupération et une qualité de vie maximale. Les critères de jugement secondaire portaient sur des marqueurs physiques car nous avons émis l'hypothèse que les effets bénéfiques de la rééducation en balnéothérapie, conjugués aux effets bénéfiques connus de la plongée sous-marine chez les valides puissent être scientifiquement observables et statistiquement significatifs.

Le design de cette étude nous semble approprié pour permettre la poursuite des investigations quant aux effets positifs et négatifs de la plongée sous-marine dans le cadre de la rééducation. Ainsi, la plongée sous-marine pourrait se démocratiser et devenir un nouvel outil de rééducation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Mujika I, Sharma AP, Stellingwerff T. Contemporary Periodization of Altitude Training for Elite Endurance Athletes: A Narrative Review. *Sports Med.* 1 nov 2019;49(11):1651-69.
2. Morand A. *Pratique de la rééducation neurologique*. 3ème. Elsevier Masson; 2022. 352 p.
3. Pallot A, Rostagno S, Tourlet C. *Rééducation en neurologie*. Elsevier Masson; 2022. 568 p.
4. HAS. *Guide - Affection de longue durée paraplégie (lésions médullaires)*. 2007.
5. Farkas GJ, Gordon PS, Swartz AM, Berg AS, Gater DR. Influence of mid and low paraplegia on cardiorespiratory fitness and energy expenditure. *Spinal Cord Ser Cases.* 16 déc 2020;6:110.
6. Furlan JC, Fehlings MG, Tator CH, Davis AM. Motor and Sensory Assessment of Patients in Clinical Trials for Pharmacological Therapy of Acute Spinal Cord Injury: Psychometric Properties of the ASIA Standards. *Journal of Neurotrauma.* nov 2008;25(11):1273-301.
7. Rupp R, Biering-Sørensen F, Burns SP, Graves DE, Guest J, Jones L, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation.* 1 mars 2021;27(2):1-22.
8. Terson de Paleville DGL, McKay WB, Folz RJ, Ovechkin AV. Respiratory Motor Control Disrupted by Spinal Cord Injury: Mechanisms, Evaluation, and Restoration. *Transl Stroke Res.* 1 déc 2011;2(4):463-73.
9. Price MJ, Trbovich M. Chapter 50 - Thermoregulation following spinal cord injury. In: Romanovsky AA, éditeur. *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier; 2018. p. 799-820. (Thermoregulation: From Basic Neuroscience to Clinical Neurology, Part II; vol. 157).
10. Gaspar R, Padula N, Freitas TB, Oliveira JJP de, Torriani-Pasin C. Physical Exercise for Individuals With Spinal Cord Injury: Systematic Review Based on the International Classification of Functioning, Disability, and Health. *Journal of Sport Rehabilitation.* 2019;28(5):505-16.
11. Williams R, Murray A. Prevalence of Depression After Spinal Cord Injury: A Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 1 janv 2015;96(1):133-40.
12. Post MWM, van Leeuwen CMC. Psychosocial issues in spinal cord injury: a review. *Spinal Cord.* mai 2012;50(5):382-9.
13. HAS. *Évaluation des technologies de santé à la HAS : place de la qualité de vie* [Internet]. Haute Autorité de Santé. 2018. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_2883073/fr/evaluation-des-technologies-de-sante-a-la-has-place-de-la-qualite-de-vie

14. Noreau L, Vachon J. Comparison of three methods to assess muscular strength in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord*. oct 1998;36(10):716-23.
15. Herbison GJ, Isaac Z, Cohen ME, Ditunno JF. Strength post-spinal cord injury: myometer vs manual muscle test. *Spinal Cord*. sept 1996;34(9):543-8.
16. Burns SP, Breuninger A, Kaplan C, Marin H. Hand-held dynamometry in persons with tetraplegia: comparison of make- versus break-testing techniques. *Am J Phys Med Rehabil*. janv 2005;84(1):22-9.
17. Meseguer-Henarejos AB, Sánchez-Meca J, López-Pina JA, Carles-Hernández R. Inter- and intra-rater reliability of the Modified Ashworth Scale: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Phys Rehabil Med*. juin 2018;54(4).
18. Craven BC, Morris AR. Modified Ashworth scale reliability for measurement of lower extremity spasticity among patients with SCI. *Spinal Cord*. mars 2010;48(3):207-13.
19. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*. 1 août 2005;26(2):319-38.
20. Berlowitz DJ, Wadsworth B, Ross J. Respiratory problems and management in people with spinal cord injury. *Breathe (Sheff)*. déc 2016;12(4):328-40.
21. Cowan RE, Callahan MK, Nash MS. The 6-min Push Test Is Reliable and Predicts Low Fitness in Spinal Cord Injury. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. oct 2012;44(10):1993-2000.
22. van Hedel HJ, Wirz M, Dietz V. Assessing walking ability in subjects with spinal cord injury: validity and reliability of 3 walking tests. *Arch Phys Med Rehabil*. févr 2005;86(2):190-6.
23. Forrest GF, Hutchinson K, Lorenz DJ, Buehner JJ, Vanhiel LR, Sisto SA, et al. Are the 10 meter and 6 minute walk tests redundant in patients with spinal cord injury? *PLoS One*. 2014;9(5):e94108.
24. Solanki R, Chaudhari P, Bhise A. Cardio Respiratory Fitness Testing in Spinal Cord Injury Patients Using 6 Minute Push Test. *Healthline Journal*. 2016;7(1):60-3.
25. Vanhelst J. Evaluation de la capacité fonctionnelle cardiorespiratoire chez l'enfant : tests de marche et tests de course. *Rev Med Brux*. 2013;
26. Calmus S, Morin S. Aide à l'utilisation de questionnaires patients de mesure des résultats de soins (PROMs) pour améliorer la pratique clinique courante - HAS. 17 juin 2021;
27. Lins L, Carvalho FM. SF-36 total score as a single measure of health-related quality of life: Scoping review. *SAGE Open Med*. 4 oct 2016;4:2050312116671725.
28. Fu J, Wang H, Deng L, Li J. Exercise Training Promotes Functional Recovery after Spinal Cord Injury. *Neural Plast*. 2016;2016:4039580.

29. Ellapen TJ, Hammill HV, Swanepoel M, Strydom GL. The benefits of hydrotherapy to patients with spinal cord injuries. *Afr J Disabil.* 16 mai 2018;7(0):450.
30. Stan AE. The benefits of participation in aquatic activities for people with disabilities. *Medicina Sportiva.* 2012;6.
31. Martin Ginis KA, van der Scheer JW, Latimer-Cheung AE, Barrow A, Bourne C, Carruthers P, et al. Evidence-based scientific exercise guidelines for adults with spinal cord injury: an update and a new guideline. *Spinal Cord.* avr 2018;56(4):308-21.
32. Plongée sous-marine [Internet]. Larousse. Disponible sur: https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/plong%C3%A9e_sous-marine/80657
33. Žarak M, Perović A, Njire Bratičević M, Šupraha Goreta S, Dumić J. Adaptive response triggered by the repeated SCUBA diving is reflected in cardiovascular, muscular, and immune biomarkers. *Physiol Rep.* 19 janv 2021;9(2):e14691.
34. Noh Y, Posada-Quintero HF, Bai Y, White J, Florian JP, Brink PR, et al. Effect of Shallow and Deep SCUBA Dives on Heart Rate Variability. *Front Physiol.* 27 févr 2018;9:110.
35. Sureda A, Ferrer MD, Batle JM, Tauler P, Tur JA, Pons A. Scuba Diving Increases Erythrocyte and Plasma Antioxidant Defenses and Spares NO without Oxidative Damage. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* juin 2009;41(6):1271-6.
36. Li T, Wang Y, Feng C, Li Q, Ran Q, Chen B, et al. Hyperbaric oxygen therapy for spinal cord injury. *Medicine (Baltimore).* 4 déc 2020;99(49):e23536.
37. Patel NP, Huang JH. Hyperbaric oxygen therapy of spinal cord injury. *Med Gas Res.* 30 juin 2017;7(2):133-43.
38. Huang L, Zhang Q, Fu C, Liang Z, Xiong F, He C, et al. Effects of hyperbaric oxygen therapy on patients with spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *BMR.* 3 nov 2021;34(6):905-13.
39. Morgan A, Sinclair H, Tan A, Thomas E, Castle R. Can scuba diving offer therapeutic benefit to military veterans experiencing physical and psychological injuries as a result of combat? A service evaluation of Depththerapy UK. *Disability and Rehabilitation.* 6 nov 2019;41(23):2832-40.
40. Beneton F, Michoud G, Coulange M, Laine N, Ramdani C, Borgnetta M, et al. Recreational Diving Practice for Stress Management: An Exploratory Trial. *Front Psychol.* 18 déc 2017;8:2193.
41. Walker PA, Kampman H. « It didn't bring back the old me but helped me on the path to the new me »: exploring posttraumatic growth in British veterans with PTSD. *Disabil Rehabil.* déc 2022;44(24):7455-63.

42. Carin-Levy G, Jones D. Psychosocial Aspects of Scuba Diving for People with Physical Disabilities: An Occupational Science Perspective. *Can J Occup Ther.* févr 2007;74(1):6-14.
43. Carreño A, Gascon M, Vert C, Lloret J. The Beneficial Effects of Short-Term Exposure to Scuba Diving on Human Mental Health. *Int J Environ Res Public Health.* oct 2020;17(19):7238.
44. Henrykowska G, Soin J, Siermontowski P. Scuba Diving as a Form of Rehabilitation for People with Physical Disabilities. *Int J Environ Res Public Health.* 26 mai 2021;18(11):5678.
45. FFESSM. HANDISUB Plongeurs en situation de handicap - Conditions de pratiques, brevets et qualifications des plongeurs et moniteurs. 2020 sept.
46. Vivier-Sanna C. Création d'une section Handi dans un club de plongée jeunes FFESSM. 2012.
47. Crambe E. Le cursus HandiSub doit-il évoluer ? 2018.
48. Madorsky JG. Scuba Diving for the Handicapped. 1988;2.
49. Madorsky JG, Madorsky AG. Scuba diving: taking the wheelchair out of wheelchair sports. *Arch Phys Med Rehabil.* mars 1988;69(3 Pt 1):215-8.
50. Stanghelle JK, Berstad J. [Diving of patients with spinal cord injuries]. *Tidsskr Nor Laegeforen.* 30 juin 1991;111(17):2095-7.
51. Novak HF, Ladurner G. [Scuba diving as a rehabilitation approach in paraplegia]. *Rehabilitation (Stuttg).* août 1999;38(3):181-4.
52. Haydn T, Brenneis C, Schmutzhard J, Gerstenbrand F, Saltuari L, Schmutzhard E. Tauchen als therapeutische Option bei Patienten mit Querschnittsyndrom. *NE.* 27 juin 2008;
53. Abdelkarem K. Relation between Scuba Diving and the happiness among paraplegia Persons. *Assiut Journal of Sport Science and Arts.* 1 août 2019;219.
54. Trape P, Watelain E. Plongée sous-marine et déficience motrice : état de l'art. *Science & Sports.* mai 2018;33:S8-10.
55. Perovic A, Unic A, Dumic J. Recreational scuba diving: negative or positive effects of oxidative and cardiovascular stress? *Biochem Med (Zagreb).* 15 juin 2014;24(2):235-47.
56. Dumić J. Effect of scuba diving on the oxidant/antioxidant status, SIRT1 and SIRT3 expression in recreational divers after a winter nondive period.
57. Marlinge M, Coulange M, Fitzpatrick RC, Delacroix R, Gabarre A, Lainé N, et al. Physiological stress markers during breath-hold diving and SCUBA diving. *Physiol Rep.* 25 mars 2019;7(6):e14033.

58. Dumić J, Cvetko A, Abramović I, Goreta SŠ, Perović A, Bratičević MN, et al. Changes in Specific Biomarkers Indicate Cardiac Adaptive and Anti-inflammatory Response of Repeated Recreational SCUBA Diving. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022;9.
59. Loi n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées.
60. FFESSM, Commission Technique Nationale. Manuel de Formation Technique - Brevets et qualification - Code du Sport m.e.p. 30 juin 2012;17.
61. Pauget P, Guenin M. Déficiences physiques et plongée. 2016.
62. Gouin E. Modifications physiologiques induites par la plongée chez le plongeur blessé médullaire, implications pratiques et organisation fédérale. Université Claude Bernard LYON I; 2012.
63. Communication personnelle avec le Docteur Michel Guénin - Médecin fédéral plongée. 2022.
64. Commission Médicale et de prévention. FFESSM - Règlement Médical Fédéral. 2018.
65. Forchheimer M, McAweeney M, Tate DG. Use of the SF-36 among persons with spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil*. mai 2004;83(5):390-5.
66. May LA, Burnham RS, Steadward RD. Assessment of isokinetic and hand-held dynamometer measures of shoulder rotator strength among individuals with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. mars 1997;78(3):251-5.
67. Tederko P, Krasuski M, Czech J, Dargiel A, Garwacka-Jodzis I, Wojciechowska A. Reliability of clinical spasticity measurements in patients with cervical spinal cord injury. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2007;9(5):467-83.
68. Baattaiah BA, Murray D, Cowan RE, Groah SL, Liungberg IH, Rounds AK, et al. Association of Six Minute Push Test Distance and Measures of Cardiorespiratory Fitness in Spinal Cord Injury: 1472 Board #147 June 1 9: 00 AM - 10: 30 AM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. mai 2017;49(5S):409.

TABLE DES ANNEXES

- **ANNEXE N°1** – Diagnostic de la paraplégie : échelle ASIA
- **ANNEXE N°2** – Bilans : SF-36
- **ANNEXE N°3** – Contre-indications à la pratique de la plongée sous-marine
- **ANNEXE N°4** – Programme d'exercice en immersion

ANNEXE 1 – Diagnostic de la paraplégie : Echelle ASIA



INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI)



ISCoS
The International Spinal Cord Society

Nom du patient _____ Date / heure de l'examen _____

Nom de l'examinateur _____ Signature _____



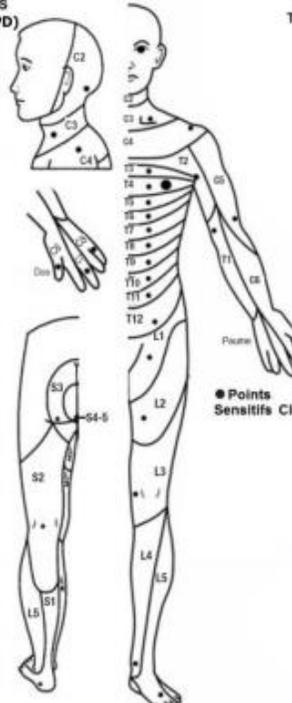
Hôpitaux universitaires Paris-Sud
Assistance Publique - Hôpitaux de Paris

DROITE

MOTEUR MUSCLES CLÉS

SENSITIF POINTS SENSITIFS CLÉS
Toucher (LTD) Piqûre (PPD)

	C2		
	C3		
	C4		
	C5		
Flexion du coude	C5		
Extension du poignet	C6		
Extension du coude	C7		
Flexion du majeur	C8		
Abduction du 5ème doigt	T1		
Remarques (Muscle non-clé ? Raison de NT ? Douleur ?)			
	T2		
	T3		
	T4		
	T5		
	T6		
	T7		
	T8		
	T9		
	T10		
	T11		
	T12		
	L1		
	L2		
Flexion de la hanche	L2		
Extension du genou	L3		
Dorsiflexion de cheville	L4		
Extension du gros orteil	L5		
Flexion plantaire de cheville	S1		
	S2		
	S3		
(VAC) Contraction Anale Volontaire (Oui / Non)	S4-5		
TOTAL DROITE			
(MAXIMUM)	(50)	(56)	(56)



● Points Sensitifs Clés

GAUCHE

MOTEUR MUSCLES CLÉS

POINTS SENSITIFS CLÉS
Toucher (LTG) Piqûre (PPG)

	C2		
	C3		
	C4		
	C5		
Flexion du coude	C5		
Extension du poignet	C6		
Extension du coude	C7		
Flexion du majeur	C8		
Abduction du 5ème doigt	T1		
MOTEUR (cf. cotation au verso)			
	T2		
	T3		
	T4		
	T5		
	T6		
	T7		
	T8		
	T9		
	T10		
	T11		
	T12		
	L1		
	L2		
Flexion de la hanche	L2		
Extension du genou	L3		
Dorsiflexion de cheville	L4		
Extension du gros orteil	L5		
Flexion plantaire de cheville	S1		
	S2		
	S3		
(DAP) Pression anale profonde (Oui / Non)	S4-5		
TOTAL GAUCHE			
(MAXIMUM)	(56)	(56)	(50)

SCORES MOTEURS

MSD + MSG = MS TOTAL
MAX (25) (25) (50)

MID + MIG = MI TOTAL
MAX (25) (25) (50)

SCORES SENSITIFS

LTD + LTG = LT TOTAL
MAX (56) (56) (112)

PPD + PPG = PP TOTAL
MAX (56) (56) (112)

NIVEAUX NEUROLOGIQUES Étales de classification 1 à 5 au verso

1. SENSITIF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3. NIVEAU LÉSIONNEL	<input type="text"/>	4. COMPLETE OU INCOMPLETE	<input type="text"/>	5. SCORE DE DEFICIENCE ASIA (AIS)	<input type="text"/>	ZONE DE PRÉSERVATION PARTIELLE	<input type="text"/>	SENSITIVE	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MOTRICE	<input type="text"/>	<input type="text"/>
-------------	----------------------	----------------------	---------------------	----------------------	---------------------------	----------------------	-----------------------------------	----------------------	--------------------------------	----------------------	-----------	----------------------	----------------------	---------	----------------------	----------------------

Cotation fonction musculaire

- 0 = paralysie totale
- 1 = contraction visible ou palpable
- 2 = mouvement actif dans son amplitude complète, sans pesanteur
- 3 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre pesanteur
- 4 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre résistance
- 5 = mouvement normal (dans son amplitude complète, contre résistance complète)
- NT = non testable (immobilisation, douleur, amputation, hypertonie sur > 50% amplitude du mouvement)

Cotation sensitive

- 0 = absente
- 1 = diminuée (appréciation partielle ou altérée, incluant hyperesthésie)
- 2 = normale
- NT = non testable

Fonctions musculaires non clés (facultatif)

Peut être utilisé pour attribuer un niveau moteur et différencier AIS B vs C

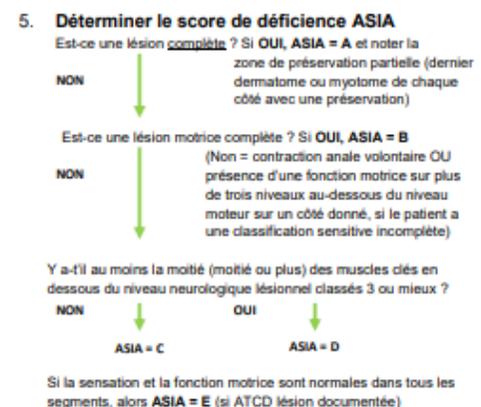
Mouvement	Racine
Epaule : flexion, extension, abduction, adduction, rotation interne et externe	C5
Coude : supination	
Coude : pronation	C6
Poignet : flexion	
Doigts : flexion, extension	C7
Pouce : flexion, extension, abduction dans le plan	
Doigts : flexion MCP	C8
Pouce : opposition, adduction et abduction dans le plan perpendiculaire à la paume	
Doigts : abduction de l'index	T1
Hanche : adduction	L2
Hanche : rotation externe	L3
Hanche : extension, abduction, rotation interne	L4
Genou : flexion	
Cheville : inversion et éversion	
Orteils : extension MTP et IP	
Hallux et Orteils : flexion et abduction IPP et IPD	L5
Hallux : adduction	S1

Echelle de déficience ASIA

- A = Complet** : aucune sensibilité ou motricité dans le territoire S4-S5.
- B = Incomplet sensitif** : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5.
- C = Incomplet moteur** : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau a un score < 3 (motricité non fonctionnelle).
- D = Incomplet moteur** : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau a un score ≥ 3.
- E = Normal** : la sensibilité et la motricité sont normales. Il peut persister des anomalies des réflexes.

Etapes de la classification

1. Déterminer les niveaux sensitifs pour les côtés droit et gauche.
Le niveau sensitif est le dernier dermatome sain pour la piqûre et le toucher.
2. Déterminer les niveaux moteurs pour les côtés droit et gauche.
Défini par le dernier muscle clé côté ≥ 3, à condition que les muscles sus-jacents soient considérés intacts.
Note : dans les régions où il n'y a pas de myotome à tester, le niveau moteur est présumé être le même que le niveau sensoriel, si la fonction motrice testable au dessus de ce niveau est également normale.
3. Déterminer le niveau lésionnel
Il s'agit de la partie la plus distale avec sensibilité intacte et force musculaire antigravitaire (≥ 3), pourvu qu'il y ait au-dessus respectivement une fonction normale. Le niveau lésionnel est la plus proximal des niveaux sensoriels et moteurs déterminés dans les étapes 1 et 2.
4. Déterminer si la lésion est complète ou incomplète. (c'est à dire l'absence ou la présence d'épargne sacrée)
Si la contraction anale volontaire = **Non** ET tous scores sensoriels S4-S5 = **0** ET la pression anale profonde = **Non**, alors la lésion est considérée comme **Complète**. Sinon, la lésion est **Incomplète**.



Référence : American Spinal Injury Association, International Standards for neurological classification of spinal cord injury, Site internet : <https://asia-spinalinjury.org/information/download/>

ANNEXE 2 – Bilans

• Qualité de vie : Questionnaire SF-36

■ ■ Comment répondre au questionnaire

Les questions qui suivent portent sur votre état de santé, telle que vous la ressentez. Ces informations nous permettront de mieux savoir comment vous vous sentez dans votre vie de tous les jours.

Veuillez répondre à toutes les questions en entourant le chiffre correspondant à la réponse choisie, comme il est indiqué. Si vous ne savez pas très bien comment répondre, choisissez la réponse la plus proche de votre situation.

1/ Dans l'ensemble, pensez-vous que votre santé est :
1: Excellente 2: Très bonne 3: Bonne 4: Médiocre 5: Mauvaise

2/ Par rapport à l'année dernière à la même époque, comment trouvez-vous votre état de santé actuel ?

1: Bien meilleur que l'an dernier

2: Plutôt meilleur

3: À peu près pareil

4: Plutôt moins bon

5: Beaucoup moins bon

- 3/ Voici la liste d'activités que vous pouvez avoir à faire dans votre vie de tous les jours. Pour chacune d'entre elles, indiquez si vous êtes limité en raison de votre état de santé actuel :

Liste d'activités	OUI beaucoup limité (e)	OUI peu limité(e)	NON pas du tout limité(e)
A			
Efforts physiques importants tels que courir, soulever un objet lourd, faire du sport...	1	2	3
B			
Efforts physiques modérés tels que déplacer une table, passer l'aspirateur, jouer aux boules	1	2	3
C			
Soulever et porter les courses	1	2	3
D			
Monter plusieurs étages par l'escalier	1	2	3
E			
Monter un étage par l'escalier	1	2	3
F			
Se pencher en avant, se mettre à genoux, s'accroupir	1	2	3
G			
Marcher plus d'un kilomètre à pied	1	2	3
H			
Marcher plusieurs centaines de mètres	1	2	3
I			
Marcher une centaine de mètres	1	2	3
J			
Prendre un bain, une douche ou s'habiller	1	2	3

- 4/ Au cours de ces quatre dernières semaines, et en raison de votre état physique :

	OUI	NON
A		
Avez-vous réduit le temps passé à votre travail ou à vos activités habituelles?	1	2
B		
Avez-vous accompli moins de choses que vous auriez souhaité?	1	2
C		
Avez-vous dû arrêter de faire certaines choses?	1	2
D		
Avez-vous eu des difficultés à faire votre travail ou toute autre activité? (par exemple, cela vous a demandé un effort supplémentaire)	1	2

5/ **A** u cours de ces quatre dernières semaines, et en raison de votre état émotionnel (comme vous sentir triste, nerveux (se) ou déprimé(e) :

	OUI	NON
A		
Avez vous réduit le temps passé à votre travail ou activités habituelles ?	1	2
B		
Avez vous accompli moins de choses que vous ne l'auriez souhaité ?	1	2
C		
Avez vous eu des difficultés à faire ce que vous aviez à faire avec autant de soin et d'attention que d'habitude ?	1	2

6/ **A** u cours de ces quatre dernières semaines, dans quelle mesure votre état de santé, physique ou émotionnel vous a-t-il gêné(e) dans votre vie sociale et vos relations avec les autres, votre famille, vos amis ou vos connaissances ?

1: Pas du tout 2: Un petit peu 3: Moyennement 4: Beaucoup 5: Énormément

7/ **A** u cours de ces quatre dernières semaines, quelle a été l'intensité de vos douleurs (physiques) ?

1: Nulle

2: Très faible

3: Faible

4: Moyenne

5: Grande

6: Très grande

8/ **A** u cours de ces quatre dernières semaines, dans quelle mesure vos douleurs physiques vous ont-elles limitées dans votre travail ou vos activités domestiques ?

1: Pas du tout 2: Un petit peu 3: Moyennement 4: Beaucoup 5: Énormément

9/ Les questions qui suivent portent sur comment vous vous êtes senti(e) au cours de ces quatre dernières semaines. Pour chaque question, veuillez indiquer la réponse qui vous semble la plus appropriée. Au cours de ces quatre dernières semaines y a-t-il eu des moments où :

	En permanence	Très souvent	Souvent	Quelque fois	Rarement	Jamais
A						
Vous vous êtes senti(e) dynamique ?	1	2	3	4	5	6
B						
Vous vous êtes senti(e) très nerveux(se) ?	1	2	3	4	5	6
C						
Vous vous êtes senti(e) si découragé(e) que rien ne pouvait vous remonter le moral ?	1	2	3	4	5	6
D						
Vous vous êtes senti(e) calme et détendu(e) ?	1	2	3	4	5	6
E						
Vous vous êtes senti(e) débordant d'énergie ?	1	2	3	4	5	6
F						
Vous vous êtes senti(e) triste et abattu(e) ?	1	2	3	4	5	6
G						
Vous vous êtes senti(e) épuisé(e) ?	1	2	3	4	5	6
H						
Vous vous êtes senti(e) heureux(se) ?	1	2	3	4	5	6
I						
Vous vous êtes senti(e) fatigué(e) ?	1	2	3	4	5	6

10/ Au cours de ces quatre dernières semaines, y a-t-il eu des moments où votre état de santé, physique ou émotionnant vous a gêné dans votre vie et vos relations avec les autres, votre famille et vos connaissances ?

1: En permanence

2: Une bonne partie du temps

3: De temps en temps

4: Rarement

5: Jamais

11/ Indiquez pour chacune des phrases suivantes dans quelle mesure elles sont vraies ou fausses dans votre cas :

	Totalement vraie	Plutôt vraie	Je ne sais pas	Plutôt fausse	Totalement fausse
A					
Je tombe malade plus facilement que les autres	1	2	3	4	5
B					
Je me porte aussi bien que n'importe qui	1	2	3	4	5
C					
Je m'attends à ce que ma santé se dégrade	1	2	3	4	5
D					
Je suis en excellente santé	1	2	3	4	5

Tableau résumé des concepts :

Nom des échelles	Symboles	Résumé du contenu
Activité physique	PF	Mesure des limitations des activités physiques telles que marcher, monter des escaliers, se pencher en avant, soulever des objets et les efforts physiques importants et modérés.
Limitations dues à l'état physique	RP	Mesure de la gêne, due à l'état physique, dans les activités quotidiennes : mesure des limitations de certaines activités ou la difficulté pour les réaliser.
Douleurs physiques	BP	Mesure de l'intensité de la douleur et de la gêne occasionnée.
Santé perçue	GH	Auto-évaluation de la vitalité, de l'énergie, de la fatigue.
Vie et relation avec les autres	SF	Mesure les limitations des activités sociales dues aux problèmes de santé physique et psychique.
Santé psychique	MH	Auto-évaluation de la santé psychique : anxiété, dépression, bien-être (bonheur) ?
Limitations dues à l'état psychique	RE	Mesure la gêne due aux problèmes psychiques dans les activités quotidiennes : temps passé au travail moins important, travail bâclé.
Évolution de la santé perçue	HT	Évolution de la santé perçue comparée, d'une année à l'autre.

Références :

- Ware J.E., Sherbourne C.D., 1992 ; Ware J.E. 1997
- Leplège A. et al., 1998; Leplège A., 2001
- Mc Horney C.A. et al., 1993 ; Perneger T.V. et al., 1995

ANNEXE 3 – Contre-indications à la pratique de la plongée sous-marine

Cette liste est indicative et non limitative. Toute pathologie chronique ou prise d'un traitement chronique doit faire l'objet d'une évaluation particulière par un médecin ayant les compétences pour. Les problèmes doivent être abordés au cas par cas, éventuellement avec un bilan auprès d'un spécialiste, la décision tenant compte du niveau technique (débutant, confirmé ou encadrant). En cas de litige, la décision finale doit être soumise à la Commission Médicale et de Prévention Régionale, puis en appel, à la Commission Médicale et de Prévention Nationale.

Plongée en scaphandre	Contre indications définitives	Contre indications temporaires
Cardiologie	Cardiopathie congénitale Insuffisance cardiaque symptomatique Cardiomyopathie obstructive Pathologie avec risque de syncope Tachycardie paroxystique BAV II ou complet non appareillés Maladie de Rendu-Osler Valvulopathies (*)	Hypertension artérielle non contrôlée Coronaropathies : à évaluer (*) Péricardite Traitement par anti-arythmique : à évaluer (*) Traitement par bêtabloquants par voie générale ou locale: à évaluer (*) Shunt D G découvert après accident de décompression à symptomatologie cérébrale ou cochléo-vestibulaire (*)
Oto-rhino-laryngologie	Cophose unilatérale Évidement pétromastoïdien Ossiculoplastie Trachéostomie Laryngocèle Déficit audio. bilatéral à évaluer (*) Otospongiose opérée Fracture du rocher Destruction labyrinthique uni ou bilatérale Fistule peri-lymphatique Déficit vestibulaire non compensé	Chirurgie otologique Épisode infectieux Polypose nasosinusienne Difficultés tubo-tympaniques pouvant engendrer un vertige alterno-barique Crise vertigineuse ou au décours immédiat d'une crise Tout vertige non étiqueté Asymétrie vestibulaire sup. ou égale à 50%(6mois) Perforation tympanique (et aérateurs trans-tympaniques) Barotraumatismes de l'oreille interne ADD labyrinthique +shunt D-G : à évaluer (*)
Pneumologie	Insuffisance respiratoire Pneumopathie fibrosante Vascularite pulmonaire Asthme : à évaluer (*) Pneumothorax spontané ou maladie bulleuse, même opéré : à évaluer (*) Chirurgie pulmonaire	Pathologie infectieuse Pleurésie Traumatisme thoracique

Plongée en scaphandre	Contre indications définitives	Contre indications temporaires
Ophthalmologie	Pathologie vasculaire de la rétine, de la choroïde, ou de la papille, non stabilisées, susceptibles de saigner Kératocône au delà du stade 2 Prothèses oculaires ou implants creux Pour les N3, N4, et encadrants : vision binoculaire avec correction <5/10 ou si un œil <1/10, l'autre <6/10	Affections aiguës du globe ou de ses annexes jusqu'à guérison Photokératectomie réfractive et LASIK : 1 mois Phacoémulsification-trabéculéctomie et chirurgie vitro-rétinienne : 2 mois Greffe de cornée : 8 mois Traitement par bêta bloquants par voie locale : à évaluer (*)
Neurologie	Épilepsie Syndrome déficitaire sévère Pertes de connaissance itératives Effraction méningée neurochirurgicale, ORL ou traumatique Incapacité motrice cérébrale	Traumatisme crânien grave à évaluer
Psychiatrie	Affection psychiatrique sévère Éthylisme chronique	Traitement antidépresseur, anxiolytique, par neuroleptique ou hypnogène Alcoolisation aiguë
Hématologie	Thrombopénie périphérique, thrombopathies congénitales. Phlébites à répétition, troubles de la crase sanguine découverts lors du bilan d'une phlébite. Hémophiles : à évaluer (*)	Phlébite non explorée
Gynécologie		Grossesse
Métabolisme	Diabète traité par insuline : à évaluer (*) Diabète traité par antidiabétiques oraux (hormis biguanides) Troubles métaboliques ou endocriniens sévères	Tétanie / Spasmophilie
Dermatologie	Différentes affections peuvent entraîner des contre-indications temporaires ou définitives selon leur intensité ou leur retentissement pulmonaire, neurologique ou vasculaire	
Gastro-Entérologie	Manchon anti-reflux	Hernie hiatale ou reflux gastro-œsophagien à évaluer
Toute prise de médicament ou de substance susceptible de modifier le comportement peut être une cause de contre-indication La survenue d'une maladie de cette liste nécessite un nouvel examen		
Toutes les pathologies affectées d'un (*) doivent faire l'objet d'une évaluation spécifique, et le certificat médical d'absence de contre-indication ne peut être délivré que par un médecin fédéral		
La reprise de la plongée après un accident de désaturation, une surpression pulmonaire, un passage en caisson hyperbare ou autre accident de plongée sévère, nécessitera l'avis d'un Médecin Fédéral ou d'un médecin spécialisé selon le règlement médical de la C.M.P.N. (Cf. ci-dessous)		

Référence : Commission Médicale et de prévention. FFESSM - Règlement Médical Fédéral. 2018.

ANNEXE 4 – Programme d'exercices réalisé en immersion

Semaine	Intervention n°1	Intervention n°2	Intervention n°3
2	<ul style="list-style-type: none"> • Echauffement : 10 min <p>Stabilisation horizontale et verticale</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Renforcement musculaire et mobilité : 10 min <p>Circuit d'ateliers : 3 tours :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Passage d'une balle autour de la taille et de la tête ◦ Toucher avec les mains ses genoux, ses chevilles : se regrouper et s'étendre au maximum ◦ Jumping Jacks avec les jambes si possible <ul style="list-style-type: none"> • Détente : 10 min <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Echauffement : 10 min <p>Stabilisation horizontale et verticale</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réentraînement à l'effort : 10 min <p>Recherche d'objets</p> <ul style="list-style-type: none"> • Détente : 10 min <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Echauffement : 10 min <p>Stabilisation horizontale et verticale</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Renforcement musculaire et mobilité : 10 min <p>Circuit d'ateliers : 3 tours :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Toucher la bouteille de gaz en bas et en haut avec les deux mains ◦ Déplacements en ondulation ◦ Macarena <ul style="list-style-type: none"> • Détente : 10 min <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> • Echauffement : 10 min <p>Travail du transfert de la stabilisation horizontale à verticale et vice-versa</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réentraînement à l'effort : 10 min <p>Passage d'obstacles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Détente : 10 min <p>Type sophrologie : Concentration sur les</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Echauffement : 10 min <p>Travail du transfert de la stabilisation horizontale à verticale et vice-versa</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Renforcement musculaire et mobilité : 10 min <p>Circuit d'ateliers 3 tours :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Avec un bâton : recherche des fins d'amplitude des deux épaules 	<ul style="list-style-type: none"> • Echauffement : 10 min <p>Travail du transfert de la stabilisation horizontale à verticale et vice-versa</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réentraînement à l'effort : 10 min <p>Aller-retour en relais</p> <ul style="list-style-type: none"> • Détente : 10 min <p>Type sophrologie : Concentration sur les</p>

	<p>sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<p>◦ Passage balle lestée autour de la taille et la tête</p> <p>◦ Déplacements en ondulations</p> <p>• Détente : 10 min</p> <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<p>sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>
4	<p>• Echauffement : 10 min</p> <p>Travail du transfert de la stabilisation horizontale dorsale à ventrale et vice-versa</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <p>• Renforcement musculaire et mobilité : 10 min</p> <p>Circuit d'ateliers 3 tours : ◦ Toucher haut et bas de la bouteille de gaz à deux mains ◦ Jumping Jacks avec balle lestée ◦ Macerena</p> <p>• Détente : 10 min</p> <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<p>• Echauffement : 10 min</p> <p>Travail du transfert de la stabilisation horizontale dorsale à ventrale et vice-versa</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <p>• Réentraînement à l'effort : 10 min</p> <p>Recherche d'objets : difficile d'accès</p> <p>• Détente : 10 min</p> <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<p>• Echauffement : 10 min</p> <p>Travail du transfert de la stabilisation horizontale dorsale à ventrale et vice versa</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <p>• Renforcement musculaire et mobilité : 10 min</p> <p>Circuit d'ateliers 3 tours : ◦ Avec bâton : recherche fin d'amplitude ◦ Toucher avec les mains ses genoux ou chevilles : se regrouper et s'étendre au maximum ◦ Push-up lesté, jambe tendues si possible</p> <p>• Détente : 10 min</p> <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>
5	<p>• Echauffement : 10 min</p> <p>Stabilisation de l'ensemble des positions et transferts</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <p>• Réentraînement à l'effort : 10 min</p>	<p>• Echauffement : 10 min</p> <p>Stabilisation de l'ensemble des positions et transferts</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <p>• Renforcement musculaire et mobilité : 10 min</p>	<p>• Echauffement : 10 min</p> <p>Stabilisation de l'ensemble des positions et transferts</p> <p>Déplacement sous-marin : brasse avec les bras et palmage si possible</p> <p>• Réentraînement à l'effort : 10 min</p>

	<p>Aller-retour en relais</p> <p>• Détente : 10 min</p> <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<p>Circuit d'ateliers 3 tours :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Passage d'une balle autour de la taille et de la tête ◦ Jumping Jacks avec balles lestées ◦ Tour sur soi-même en avant <p>• Détente : 10 min</p> <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>	<p>Course d'obstacles en relais</p> <p>• Détente : 10 min</p> <p>Type sophrologie : Concentration sur les sensations du corps : légèreté, sensation de l'eau sur la peau, sentir ses poumons se gonfler et se vider de l'air, ...</p>
--	--	---	--

NB : Les temps d'exercices comprennent également des temps de pauses