



HAL
open science

Effets de l'immersion dans la population des insuffisants rénaux français

Quentin Loheac

► **To cite this version:**

Quentin Loheac. Effets de l'immersion dans la population des insuffisants rénaux français. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04439249

HAL Id: dumas-04439249

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04439249>

Submitted on 4 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THESE DE DOCTORAT EN MEDECINE

DIPLOME D'ETAT

Année : 2023

Thèse présentée par :

Monsieur LOHEAC Quentin
Né le 05/08/1992 à Guingamp

Thèse soutenue publiquement le 17 octobre 2023

Titre de la thèse :

Effets de l'immersion dans la population des insuffisants rénaux français

Présidente

Mme le Professeur CORNEC LE GALL Émilie

Membres du jury

Mme le Docteur HENCKES Anne

M. le Docteur EGRETEAU Pierre-Yves

M. le Professeur REGNARD Jacques

M. le Professeur QUERELLOU Gaël-Emgan

LE MEUR Yannick	Néphrologie
LE NEN Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologique
LEROYER Christophe	Pneumologie
MANSOURATI Jacques	Cardiologie
MARIANOWSKI Rémi	Oto-rhino-laryngologie
MERVIEL Philippe	Gynécologie obstétrique
MISERY Laurent	Dermato-vénérologie
NEVEZ Gilles	Parasitologie et mycologie
NONENT Michel	Radiologie et imagerie médicale
REMY-NERIS Olivier	Médecine physique et réadaptation
SALAUN Pierre-Yves	Biophysique et médecine nucléaire
SARAUX Alain	Rhumatologie
TIMSIT Serge	Neurologie
VALERI Antoine	Urologie
WALTER Michel	Psychiatrie d'adultes

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers de 1^{ère} Classe – Praticien libéral de 1^{ère} Classe

ABGRAL Ronan	Biophysique et médecine nucléaire
AUBRON Cécile	Réanimation
BEN SALEM Douraied	Radiologie et imagerie médicale
BEZON Éric	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BROCHARD Sylvain	Médecine physique et réadaptation
CARRE Jean-Luc	Biochimie et biologie moléculaire
COUTURAUD Francis	Pneumologie
DEVAUCHELLE-PENSEC Valérie	Rhumatologie
DUEYMES Maryvonne	Immunologie
GIROUX-METGES Marie-Agnès	Physiologie
HERY-ARNAUD Geneviève	Bactériologie-virologie
HUET Olivier	Anesthésiologie-réanimation
L'HER Erwan	Réanimation
LE RESTE Jean-Yves	Médecine générale
LE ROUX Pierre-Yves	Biophysique et médecine nucléaire
MONTIER Tristan	Biologie cellulaire
NOUSBAUM Jean-Baptiste	Gastroentérologie
PAYAN Christopher	Bactériologie-virologie
PRADIER Olivier	Cancérologie
SEIZEUR Romuald	Anatomie
STINDEL Éric	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
TROADEC Marie-Bérengère	Génétique

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers de 2^{ème} Classe - Praticien libéral de 2^{ème} Classe

ANSART Séverine	Maladies infectieuses
BRONSARD Guillaume	Pédopsychiatrie
CORNEC Divi	Rhumatologie
CORNEC-LE GALL Emilie	Néphrologie
DE VRIES Philine	Chirurgie infantile
DIDIER Romain	Cardiologie
GENTRIC Jean-Christophe	Radiologie et imagerie médicale

GUILLOU Morgane	Addictologie
IANOTTO Jean-Christophe	Hématologie
LE BERRE Rozenn	Thérapeutique
LE GAC Gérald	Génétique
LE FLOC'H Bernard	Médecine générale
LE MARECHAL Cédric	Génétique
LE VEN Florent	Cardiologie
LIPPERT Éric	Hématologie
LODDÉ Brice	Médecine et santé au travail
MAGRO Elsa	Neurochirurgie
ROUÉ Jean-Michel	Pédiatrie
SCHICK Ulrike	Cancérologie - Radiothérapie
TALAGAS Matthieu	Histologie, embryologie et cytogénétique
THEREAUX Jérémie	Chirurgie digestive
TROMEUR Cécile	Pneumologie
UGUEN Arnaud	Anatomie et cytologie pathologiques

Maîtres de Conférences des Universités – Praticiens Hospitaliers Hors Classe

DOUET-GUILBERT Nathalie	Génétique
JAMIN Christophe	Immunologie
MOREL Frédéric	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
PLEE-GAUTIER Emmanuelle	Biochimie et biologie moléculaire

Maîtres de Conférences des Universités – Praticiens Hospitaliers de 1^{ère} Classe

BERROUIGUET Sofian	Psychiatrie d'adultes
BRENAUT Emilie	Dermato-vénéréologie
HILLION Sophie	Immunologie
LE GAL Solène	Parasitologie et mycologie
PERRIN Aurore	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
QUERELLOU Solène	Biophysique et médecine nucléaire
ROBIN Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
ROPARS Juliette	Pédiatrie
SALIOU Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
VALLET Sophie	Bactériologie-virologie

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers de 2^{ème} Classe – Praticiens libéraux de 2^{ème} Classe

BARAIS Marie	Médecine générale
BEAURUELLE Clémence	Bactériologie virologie
LE MAO Raphaël	Thérapeutique
LETISSIER Hoël	Chirurgie orthopédique et traumatologique
NABBE Patrice	Médecine générale
PONS-BECMEUR Christelle	Médecine physique et réadaptation
POUGNET Richard	Médecine et Santé au travail
QUÉNÉHERVÉ Lucille	Gastroentérologie
THUILLIER Philippe	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques

Praticiens Hospitaliers Universitaires

BAGACEAN Cristina	Hématologie
DISSAUX Brieg	Anatomie
UGUEN Kévin	Génétique

Professeurs des Universités Associés

BARRAINE Pierre	Médecine générale
CHIRON Benoît	Médecine générale
LE MOIGNE Emmanuelle	Médecine interne
METGES Jean-Philippe	Cancérologie
QUERELLOU Emgan	Médecine d'urgence
SUPLY Benoît	Médecine légale

Maîtres de Conférences des Universités Associés

BEURTON-COURAUD Lucas	Médecine générale
DERRIENNIC Jérémy	Médecine générale
FONSECA Jérôme	Médecine générale
GURIEC Nathalie	Nutrition
LAVENNE-COLLOT Nathalie	Pédopsychiatrie
PUSZKAREK Thibault	Médecine générale
VIALA Jeanlin	Médecine générale

Professeur des Universités

BORDRON Anne	Biologie cellulaire
---------------------	---------------------

Maîtres de Conférences des Universités

BERNARD Delphine	Biochimie et biologie moléculaire
BRAVERMAN Louis	Sociologie
DANY Antoine	Epidémiologie et santé publique
LE CORNEC Anne-Hélène	Psychologie
LANCIEN Frédéric	Physiologie
LE CORRE Rozenn	Biologie cellulaire
MIGNEN Olivier	Physiologie
MORIN Vincent	Electronique et informatique

Maîtres de Conférences des Universités Contractuels LRU

PHAM Chi-Hieu	Traitement image et signal en imagerie médicale et radiothérapie
SOARES MESQUITA QUEMENER Mirka	Psychologie

Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche

KÉRUZORÉ Marc	Biochimie et biologie moléculaire
----------------------	-----------------------------------

Professeurs Certifiés / Agrégés du second degré

MONOT Alain	Français
RIOU Morgan	Anglais

Professeurs Agrégés du Val-de-Grâce (Ministère des Armées)

COLAS Marie Dominique	Psychiatrie
------------------------------	-------------

Maîtres de Stages Universitaires - Référents (Ministère des Armées)

AUGUSTE Béatrice	Médecine Générale
BOUVAREL Sophie	Médecine Générale
DA SILVA MOINET Virginie	Médecine Générale/Urgences
LE COAT Anne	Médecine Générale / Urgences

REMERCIEMENTS

Mme la Professeure Émilie CORNEC-LE GALL

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de cette thèse.
Veuillez recevoir Madame la Professeure, l'assurance de mon profond respect.

Mme le Docteur Anne HENCKES

Je vous remercie pour votre implication dans la genèse de ce travail, sans laquelle ce projet n'aurait pas été possible.

Je vous remercie pour votre aide, votre disponibilité et vos remarques toujours très justes.

Mr le Docteur Pierre-Yves EGRETEAU

Je te remercie pour ton aide précieuse dans la conception de ce travail, pour ta patience et pour les innombrables conseils que tu m'as apportés.

Je te remercie également pour tes enseignements lorsque j'étais interne dans le service de Réanimation du Centre Hospitalier de Morlaix. Ce fût un immense plaisir, et un honneur, d'apprendre à soigner à tes côtés.

Mr le Professeur Jacques REGNARD

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer à ce jury.

Je vous remercie également de m'avoir permis d'assister à votre enseignement et de bénéficier de vos commentaires sur mon travail.

Mr le Professeur Gaël-Emgan QUERELLOU

Merci pour la transmission de ta passion pour la Médecine d'Urgence depuis les premiers jours de ma formation à tes côtés. Merci pour la formation de qualité que tu as contribué à me fournir.

Au Professeur Henri BRACQ et à l'ensemble de l'équipe du service de Chirurgie Pédiatrique du Centre Hospitalier Universitaire de Rennes pour avoir admirablement soigné mon plus jeune frère et fait naître en moi, très jeune, l'envie de devenir médecin.

Au Dr Didier HUVET, mon médecin de famille, pour avoir pris soin de ma famille et m'avoir toujours soutenu dans mon parcours.

Au Dr Benoît RENAUD, pour m'avoir accueilli à ses côtés et conforté dans mon souhait de devenir médecin.

Au Dr Fabrice PAZART, pour m'avoir soigné et soutenu dans mon parcours.

À mes co-internes de Médecine d'Urgence et amis, **Margaux, Marion, Mélissa, Sabine, Stéphanie, Benjamin, Gaspard, Kévin, Nolwenn, Thibault et Vincent.**

À mes amis rencontrés durant les études de Médecine, **Vincent, Aloïs, Hamza, Pierrick, Coralie, Meghan, Lou, Margaux, Romane, Alizée, Floriane, Alexandra...**

À tous les membres des équipes du service des **Urgences Adultes**, du **SAMU**, des **Urgences Pédiatriques**, de **Réanimation pédiatrique** et de **Médecine Interne du CHU de Brest** ainsi qu'aux membres du **service de Réanimation du CH de Morlaix.**

À mes ami-e-s plongeurs en apnée, **Léo, Vincent, Philippe, Guillaume, Éric, Maxime, Olivier G, Olivier B, Yoann, François, Pierre, Michel, Jérémy, Aline, Bérengère, ...** pour toutes les plongées partagées passées et à venir !

À mes copains de toujours, **Romain** et **Adrien**, pour notre amitié qui traverse les années !

À **Laurence Perrigault, Roberte** et **Daniel Le Moine, Annick** et **Jean Trillet**, pour les moments précieux passés ensemble lorsque j'étais enfant puis adolescent.

À mes **grands-parents**, pour leur soutien.

À ma **belle-famille**, pour sa gentillesse.

À mes frères, **Alexandre** et **Nathan**, pour notre complicité et notre solidarité qui nous a aidé à grandir ensemble.

À mes **parents**, pour leur amour et leur soutien sans faille depuis toujours.

À **Marie**, pour l'amour qui nous unit.

À toutes les **personnes atteintes d'une maladie rénale chronique** ayant participé à cette étude. Je vous remercie pour vos réponses à mon questionnaire sans lesquelles ce travail n'aurait pas été possible.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	10
A) Physiologie rénale et immersion	10
1- Effets de la pression hydrostatique.....	10
2- Diurèse d'immersion	11
3- Adaptation à la sortie de l'eau.....	13
B) Effets du vêtement protecteur	13
C) Variations des conditions de l'immersion.....	14
1- Durée	14
2- Température	14
3- Profondeur.....	15
D) Variations du type d'activités pratiquées	16
1- Plongée en apnée.....	16
2- Plongée avec équipement respiratoire.....	18
3- Natation	19
E) Insuffisance rénale et immersion.....	19
1- Définition insuffisance rénale	19
2- Physiopathologie en immersion	20
3- Problématiques et dangers de l'immersion	22
4- Immersion et abords vasculaires chez les insuffisants rénaux	23
5- Association insuffisance rénale et maladies métaboliques et vasculaires.....	23
6- Réhabilitation des patients insuffisants rénaux chroniques en milieu aquatique.....	24
7- Recommandations	24
ETUDE : Effets de l'immersion dans la population des insuffisants rénaux français.....	28
I. Introduction.....	28
A) Rationnel	28
B) Objectifs	28
II. Matériel et méthodes	29
A) Type de l'étude.....	29
B) Population.....	29
C) Critères d'inclusion et de non-inclusion.....	29
D) Modalités de recrutement	29
E) Critères d'évaluation	30
F) Éthique	31
III. Résultats	32
A) Caractéristiques des patients	32
B) Activités pratiquées	32
C) Évolution de la pratique	33
D) Problèmes rencontrés	33
E) Avis des médecins et de l'entourage sur la pratique	34
F) Raisons, bénéfices et risques de la pratique selon les patients.....	34
G) Profils	35
H) Exemples de cas	35
IV. Discussion	45
A) Risques de la pratique	45
1- Identification par le questionnaire.....	45
2- Risques réels.....	45
B) Bénéfices de la pratique	47

1- Identification par le questionnaire.....	47
2- Identification par la littérature.....	48
C) Limites et biais de l'étude	48
D) Propositions pour la pratique d'activités aquatiques selon le concept de Sport-Santé	49
1- Pour les médecins.....	49
2- Pour les patients	52
E) Perspectives de recherche.....	53
CONCLUSION	54
BIBLIOGRAPHIE	55
ANNEXES	64
A) Questionnaire	64
B) Serment d'Hippocrate	72
C) Résumé.....	73

INTRODUCTION

A) Physiologie rénale et immersion

1- Effets de la pression hydrostatique

Une immersion est effectuée au cours de la pratique de plusieurs sports dont notamment la plongée avec équipement respiratoire, la plongée en apnée, la chasse sous-marine, la natation, la nage avec palmes, la voile, le surf, le bodyboard, le canoë, le kayak, le paddle, la marche aquatique, l'aquagym... Cette immersion est totale ou partielle selon la pratique.

L'immersion entraîne des modifications physiologiques nombreuses et peut conduire au développement de processus physiopathologiques spécifiques et non spécifiques.

Elle soumet le corps à une augmentation de pression hydrostatique appliquée sur les tissus. En effet la densité de l'eau est huit cent fois supérieure à l'air et lors d'une immersion tous les dix mètres la pression hydrostatique augmente d'un bar.

Cette pression s'exerce différemment selon la nature des tissus. Au niveau musculaire le réseau vasculaire subit une compression du fait de la composition hydrique prédominante des muscles les entourant. Il en résulte une diminution de la compliance vasculaire et de la capacité du réseau vasculaire systémique (1). Cela entraîne un transfert sanguin (d'environ 700ml) vers des territoires vasculaires de compliance meilleure. Ce déplacement liquidien est rapide. Les territoires vasculaires de meilleure compliance sont localisés au niveau du thorax, notamment au niveau de la circulation pulmonaire (2-4) et au niveau abdominal (vaisseaux mésentériques et pelviens).

Le retour veineux augmente alors avec en implication anatomique une augmentation de diamètre de la veine cave inférieure et des cavités cardiaques droites (2,5-7). La précharge du cœur droit augmente (surcharge transitoire).

L'augmentation de précharge cardiaque stimule les barorécepteurs à basse pression (volorécepteurs atrium droit et gauche)(8). L'augmentation du volume d'éjection systolique stimule les barorécepteurs à haute pression (barorécepteurs artériels carotidiens et aortiques)(8). Cela entraîne une augmentation d'activité parasympathique (qui entraîne une diminution de la fréquence cardiaque) et une diminution d'activité sympathique (9,10).

Le réseau vasculaire pulmonaire est entièrement sollicité (11-13), constituant entre les cavités cardiaques droite et gauche une importante zone d'expansion volumique. Après la mise en jeu de la circulation pulmonaire, il est constaté une diminution de la compliance vasculaire systémique (1). Les pressions circulatoires sont augmentées dans l'ensemble du réseau cardio-vasculaire (pression veineuse centrale, cavités cardiaques, circulation pulmonaire, réseaux systémiques artériel, capillaire et veineux) (12-14). Il y a alors un état d'hypervolémie relative.

Au niveau des membres, la pression hydrostatique exercée diminue la pression transmurale vasculaire. L'augmentation de la pression appliquée aux couches cutanéomusculaires engendre une augmentation de la pression hydrostatique interstitielle qui devient supérieure à la pression capillaire (15), il y a une inversion de la pression transmurale. Cela génère un transfert d'eau interstitielle (et cellulaire) dans le secteur plasmatique (16-18). Ce transfert s'installe en quelques minutes (16,19). Il s'agit d'un déplacement plus lent que celui observé au sein du réseau vasculaire (espace bien délimité par les parois vasculaires). En effet ce transfert liquidien entre les espaces vasculaire, intersitiel et cellulaire s'effectue entre des espaces cloisonnés ayant des caractéristiques structurelles différentes et donc des variabilités

d'adaptation lorsqu'ils sont soumis à une variation de pression. Durant la première heure d'immersion et à neutralité thermique, le volume plasmatique augmente en raison de ce mécanisme avec survenue d'une hémodilution (20–23). Ce transfert durera pendant des heures.

Le fonctionnement du système lymphatique est quant à lui compromis par la pression hydrostatique ambiante notamment au niveau pulmonaire et pleural, ce qui réduit le drainage interstitiel et contribue à favoriser un œdème.

Lors de l'immersion, des adaptations rapides aux variations de la volémie sont nécessaires notamment pour s'opposer à la surcharge volémique initiale. La fonction rénale et des mécanismes neuro-endocriniens sont alors fortement sollicités.

L'hypervolémie relative découlant de l'immersion diminue légèrement la sécrétion de rénine, angiotensine, aldostérone et ADH (9,17,24–27).

Par ailleurs l'hypervolémie relative entraîne une distension auriculaire droite et cela stimule la sécrétion des peptides cardiaques ANP (atrial natriuretic peptide) (6,28–32) et BNP (brain natriuretic peptide) (32–34).

La perfusion tissulaire est bien assurée en immersion à la neutralité thermique. Elle est favorisée par la réplétion vasculaire (augmentation de la précharge cardiaque et du volume d'éjection systolique donc du débit cardiaque), par la diminution d'activité sympathique et par la diminution de pression transmurale des vaisseaux périphériques (conséquence de l'augmentation de la pression hydrostatique ambiante). La diminution d'activité sympathique et la diminution de pression transmurale entraîne une relaxation myogène vasculaire périphérique (35,36) qui diminue les résistances périphériques (37,38) et facilite les échanges capillaires transmuraux (39).

Cela facilite les échanges gazeux tissulaires en immersion et notamment l'oxygénation qui est ainsi assurée avec un débit cardiaque souvent inférieur à celui requis lors des activités physiques terrestres (36,40). Cependant l'augmentation des pressions sur l'ensemble du système cardio-vasculaire contraint le cœur à une augmentation de travail (mineure au repos) avec en conséquence un accroissement de ses besoins en oxygène.

2- Diurèse d'immersion

L'immersion entraîne une diminution de la masse des individus. Elle est due notamment à l'augmentation du débit urinaire. Cette diminution de masse augmente avec la durée d'immersion et varie légèrement d'un jour à l'autre (41,42).

En effet il survient en immersion une augmentation de la diurèse du fait de la diminution de sécrétion de rénine, angiotensine, aldostérone et ADH, de la diminution de l'activité nerveuse sympathique (due à l'augmentation du VES stimulant les barorécepteurs à haute pression) qui entraîne une vasodilatation des artéioles rénales afférentes ; et de la sécrétion des peptides cardiaques (ANP et BNP) dont le rôle est mineur. Cela augmente le débit de filtration glomérulaire, diminue la réabsorption hydrique tubulaire et au total augmente l'excrétion hydrique (43,44).

La diurèse est un mécanisme d'adaptation en réponse aux effets de l'immersion qui entraîne une hypervolémie relative avec d'une part une augmentation rapide de la précharge cardiaque et des pressions vasculaires; et d'autre part une augmentation lente du volume plasmatique par transfert de liquide interstitiel et intracellulaire dans le plasma (16).

La diurèse d'immersion peut-être estimée à 4 ml/min (17,25,45) et elle est 2,5 à 3 fois supérieure à la diurèse pré-immersion. Elle peut être d'amplitude variée selon les individus (45).

Pendant la première phase d'immersion survient une hémodilution. Puis dans un second temps une hémococoncentration apparaît en conséquence de la réponse rénale avec élimination urinaire d'eau provenant du secteur plasmatique (adaptation volémique à la diminution de capacité du réseau vasculaire) et des secteurs interstitiel et cellulaire. Progressivement le volume plasmatique se stabilise mais les transferts de liquides interstitiels et cellulaires vers le plasma se poursuivent.

La perte hydrique en immersion résulte pour plus de 80% du volume d'une augmentation de la diurèse (25). Le reste des pertes hydriques est dû à la sudation et la respiration.

Le bilan hydrique est donc négatif en immersion avec une diminution des volumes des secteurs plasmatique, interstitiel et intracellulaire (17,18,45,46).

Il a été estimé que 30% du volume urinaire est d'origine plasmatique et 70% d'origine non initialement plasmatique (donc interstitiel et intracellulaire)(17). L'eau d'origine interstitielle et cellulaire transite par le secteur plasmatique avant d'être éliminée par voie rénale.

Durant l'immersion cette perte hydrique n'altère pas l'hémodynamique du sujet car la capacité du réseau vasculaire est adaptée au volume sanguin circulant par le biais de la pression hydrostatique exercée par l'eau environnante (47). Le maintien de l'homéostasie et notamment de l'équilibre hydro-minéral des secteurs extra et intra-cellulaire est assuré par les reins avec une excrétion des électrolytes parallèle à la diurèse d'immersion (17,18,25,45,48,49). La réabsorption tubulaire des électrolytes est diminuée (25). La natriurèse et la clairance osmolaire sont augmentées (25).

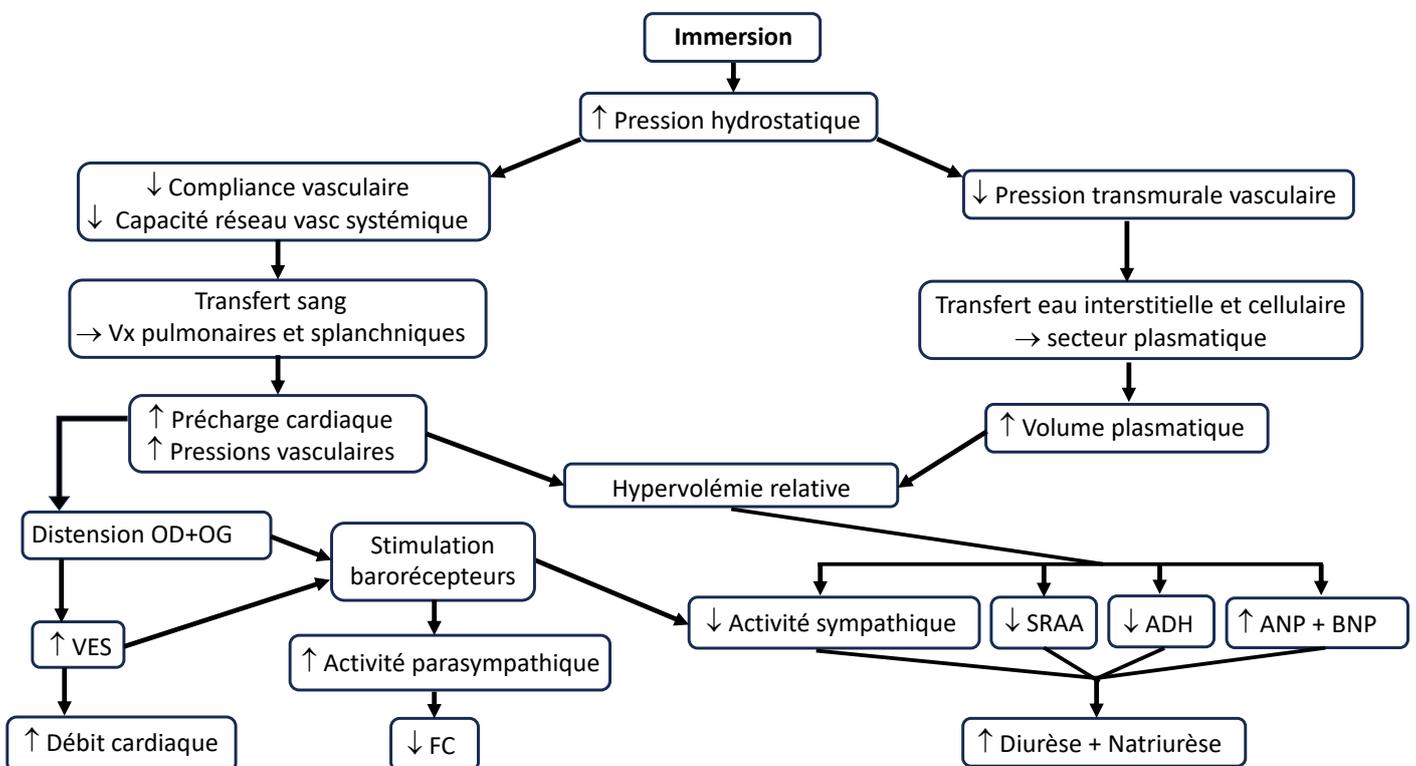


Figure 1. Schéma des effets de l'immersion

3- Adaptation à la sortie de l'eau

Avec la fin d'immersion, la disparition de la compression exercée par la pression hydrostatique (et celle du vêtement élastique) s'accompagne d'une baisse brutale de la pression interstitielle, en particulier dans les muscles des membres. Devenue inférieure à la pression intravasculaire, la pression interstitielle génère un appel d'eau plasmatique que traduit l'augmentation initiale de l'hématocrite (hémococentration). Simultanément, la capacité vasculaire systémique augmente alors que le volume plasmatique a été réduit pendant des immersions suffisamment longues. Si elle est significative, l'hypovolémie fonctionnelle cause la baisse de précharge cardiaque et du volume d'éjection systolique (25,38,50–52) associée à la baisse de perfusion microcirculatoire dans les secteurs compliants. Ceci cause le déversement passif de sang de la microcirculation dans de plus grandes veines, ce qui abaisse l'hématocrite et apparaît comme une hémodilution (53,54). Cette séquence de retentissements hémodynamiques à la sortie de l'eau est d'autant plus perceptible que l'immersion est longue ou répétée (55).

La baisse de retour veineux met en décharge les barorécepteurs ce qui augmente l'activité sympathique et donc la pression artérielle diastolique (55).

Puis, la baisse de pression dans le secteur interstitiel suscite un transfert d'eau plasmatique vers les secteurs interstitiel et cellulaire (transfert lent et variable selon la nature des tissus). Ce transfert se fait par mécanisme osmotique avec hémococoncentration isotonique. Plus lentement et de façon prolongée, les transferts d'eau entre plasma et interstitium sont réglés par des différences d'osmolalité.

Au décours de l'immersion, le rein assure la reconstitution des volumes liquidiens intra et extra cellulaires ainsi que la rééquilibration électrolytique des différents compartiments. Cette adaptation est plus lente que celle qui a eu lieu en sens inverse pendant l'immersion.

La soif est de survenue tardive malgré la perte hydrique durant l'immersion, car elle n'apparaît que lorsque l'osmolalité plasmatique augmente, parfois après plusieurs heures.

Des accidents de décompression peuvent survenir plusieurs minutes et même plusieurs heures après la sortie de l'eau car la perfusion sanguine des tissus peut rester diminuée et donc entraver l'élimination des gaz inertes (diazote notamment).

La capacité de réaliser des activités physiques soutenues après la sortie de l'eau est diminuée en raison de l'hypovolémie (47).

B) Effets du vêtement protecteur

Les vêtements techniques élastiques en plusieurs pièces (gilet, veste, pantalon, cagoule) ou en une pièce (combinaison) apportent une protection thermique. Ajustés à la surface du corps ils diminuent de façon majeure la circulation de l'eau sur la peau et les pertes de chaleur convectives, mais ne diminuent pas les échanges par conduction. La majorité de ces vêtements améliore aussi l'hydrodynamisme. Largement utilisés en plongée et en natation ils sont majoritairement en néoprène. Ce matériau élastique permet l'ajustement à la surface du corps en engendrant une pression cutanée qui a été mesurée à 25mmHg environ sur les membres pour une combinaison en néoprène de 5 mm d'épaisseur (17). Cette pression cutanée a des effets circulatoires similaires à la pression hydrostatique qui s'exerce sur le corps en immersion (17).

Ainsi, le port d'une combinaison en néoprène, que ce soit hors de l'eau ou en immersion, diminue la capacité vasculaire systémique et secondairement augmente la diurèse.

Hors de l'eau, une perte de poids survient de façon augmentée lors du port de combinaison comparativement au non port de combinaison; lors du port de combinaison en immersion cette perte de poids est encore majorée (sur une durée d'évaluation expérimentale de deux

heures il a été montré que le port de combinaison entraîne une perte de poids deux fois plus importante hors de l'eau et trois fois plus importante en immersion comparé à la situation de non port de combinaison hors de l'eau)(17). Hors de l'eau, l'effet de la combinaison augmente sensiblement le débit urinaire et en immersion cet effet est peu à peu dilué dans la compression exercée par la pression hydrostatique et devient mineur au-delà de quelques mètres (17).

Le volume urinaire représente environ 85% de la perte de masse (17). Une diminution de volume plasmatique survient également, et cette diminution est évaluée à 30% du volume de la diurèse (hors de l'eau ou en immersion) (17).

Par ailleurs, le port d'un vêtement élastique s'accompagne d'une restriction de l'ampliation thoracique ce qui nécessite une augmentation du travail inspiratoire (17,56). La combinaison doit ainsi être de taille appropriée à la morphologie de l'individu mais pas trop serrée du fait d'un risque d'intolérance respiratoire à l'effort (56).

C) Variations des conditions de l'immersion

1- Durée

Pour des immersions courtes la perte d'eau totale est limitée.

Lors d'immersions prolongées les réponses physiologiques se modifient (57). Une immersion prolongée conduit à une hypovolémie résiduelle avec pertes minérales associées (49).

Pour une immersion de 6 heures la perte de masse est d'environ 1,8 à 2,2 kg, la diminution de volume plasmatique de 7%, le volume urinaire d'environ 1,5 à 1,8 L et la perte de NaCl de 6 à 8 g (25), ce qui correspond environ à l'apport alimentaire quotidien moyen en France.

Pour une immersion de 10 à 12 h la diurèse est d'environ 4,5 L (45).

En cas d'immersions successives la diminution de masse et la diurèse semblent rester identiques au cours des différentes plongées (55).

2- Température

La neutralité thermique pour l'homme dans l'eau est d'environ 34°.

L'immersion en eau froide entraîne une stimulation sympathique avec vasoconstriction périphérique réflexe (58,59). Cela diminue le débit sanguin dans les tissus périphériques par augmentation des résistances vasculaires. En conséquence, il y a une délivrance moindre d'oxygène en périphérie, qui modifie la mise en jeu des filières énergétiques avec notamment un rôle majoré de la filière anaérobie (25,60).

La vasoconstriction périphérique diminue la capacité du réseau vasculaire systémique et majore le transfert de sang vers le tronc. La baisse du volume plasmatique déjà présente du fait de l'immersion est majorée (23,25,61–63) avec extravasation plasmatique au niveau de l'abdomen en raison de l'augmentation de la pression hydrostatique dans les réseaux vasculaires splanchnique et pelvien non concernés par la vasoconstriction (8).

Le débit de filtration glomérulaire et la diurèse sont augmentés (25). L'augmentation du débit de filtration glomérulaire pourrait être causée par une augmentation du flux sanguin rénal parallèle au transfert de sang vers la circulation pulmonaire dans cette situation de froid créant une vasoconstriction périphérique (25). L'augmentation de la diurèse pourrait être causée par l'augmentation du débit de filtration glomérulaire ainsi que par une réabsorption tubulaire réduite de sodium et/ou une moindre réabsorption d'eau libre dans le tube collecteur (25).

L'immersion en eau froide augmente modestement la diurèse mais diminue davantage le volume plasmatique (25).

Une étude a mis en évidence que l'exposition du visage au froid entraîne une vasoconstriction des artères rénales (64). Il s'agissait simplement d'une stimulation de la face par le froid, et non d'une immersion en eau froide, donc ces résultats sont difficilement transposables et reflètent une réponse directe au froid avec simulation sympathique.

L'exposition au chaud peut survenir lors de plongées dans une eau chaude ou lors d'un effort physique d'intensité modérée à soutenue. Le sujet met alors en jeu des réponses physiologiques comprenant une vasodilatation cutanée et une sudation. Celles-ci sont très peu efficaces notamment en raison d'une impossibilité d'évaporation cutanée.

Cependant il a été mis en évidence qu'en situation de plongée en eau chaude ou lors d'un exercice physique soutenu associé au port d'un habit technique professionnel, la diurèse d'immersion est diminuée. Néanmoins la perte hydrique totale est majorée et le volume plasmatique est diminué du fait de la sudation (18,65).

3- Profondeur

L'augmentation de profondeur augmente la pression hydrostatique ambiante d'un bar tous les dix mètres.

Avec l'augmentation de profondeur la pression exercée sur les membres par le port de combinaison ne varie pas. Cette pression est évaluée à 25 mmHg environ. Elle se fonde dans l'augmentation progressive de pression hydrostatique (75 mmHg à 1 m, 750 mmHg à 10 m)(17).

En plongée avec équipement respiratoire la pression hydrostatique augmente le débit urinaire et cause une perte hydrique en fonction de la durée d'immersion de façon indépendante de la profondeur. En effet, la variation de profondeur en immersion semble ne pas entraîner de modification significative de perte de poids ni de diurèse mais ces données s'appuient sur une étude menée pour de faibles profondeurs (maximum 12 m), en eau chaude (28 °C) et chez des plongeurs avec équipements respiratoires et combinaison (17).

En plongée avec équipement respiratoire la pression gazeuse dans les voies aériennes s'équilibre avec la pression hydrostatique ambiante ce qui limite le transfert sanguin dans la circulation pulmonaire et la précharge cardiaque. Ainsi, en périphérie les pressions capillaire et veineuse restent suffisamment élevées pour que le transfert d'eau du secteur interstitiel vers le secteur plasmatique dans les muscles ne varie pas avec la profondeur et par conséquent la diurèse d'immersion non plus.

Lors de plongées sèches à saturation à grandes profondeurs (3 à 49,5 atmosphères absolues) il est mis en évidence une augmentation de la diurèse avec baisse de l'osmolalité urinaire (secondaire à une baisse de la réabsorption d'eau libre par inhibition de l'ADH). La diurèse est particulièrement augmentée lors de la phase de compression puis se maintient lors de la phase de pression et enfin diminue lors de la décompression (66). La diurèse hyperbare précoce conduit à une déshydratation initiale activant le système rénine angiotensine aldostérone. Cependant ces effets sont dus uniquement à la pression et lorsque l'individu est immergé dans l'eau les effets de la submersion éclipsent les effets de la pression (19).

En plongée en apnée, l'augmentation de pression hydrostatique avec la profondeur comprime le volume des gaz pulmonaire. Le transfert sanguin dans la circulation pulmonaire augmente davantage qu'en plongée avec équipement respiratoire (cf paragraphe I. D) 1- Plongée en apnée). L'hypervolémie relative majorée cause vraisemblablement une intense stimulation des barorécepteurs à basse pression, les volorécepteurs atriaux, avec en réponse une augmentation de la diurèse (67). Ainsi il semblerait qu'en plongée en apnée la diurèse d'immersion

augmente en profondeur, en réponse à l'hypervolémie relative majorée, mais des mesures seraient nécessaires pour le confirmer.

D) Variations du type d'activités pratiquées

La pratique de sports aquatiques et subaquatiques requiert une augmentation de travail cardiaque plus importante qu'à terre du fait des pressions augmentées sur l'ensemble du système cardiovasculaire en immersion. L'augmentation de travail cardiaque est variable en fonction du sport pratiqué (importante en natation, moindre en plongée avec équipement respiratoire par exemple) et de son intensité. Par ailleurs, le faible rendement énergétique locomoteur en immersion demande davantage de travail cardiaque pour un même niveau d'intensité d'effort comparativement à une pratique terrestre (68). La dépense énergétique nécessaire à un déplacement à une vitesse donnée est plus grande dans l'eau que sur terre du fait de la nécessité de vaincre en immersion des forces résistives hydrodynamiques bien plus importantes que les résistances aérodynamiques présentes en ambiance terrestre (69,70). Ainsi, dans une étude ayant comparé des individus effectuant un exercice sur ergomètre dans l'air (à 23 degrés) et dans l'eau (à 30 degrés), la consommation d'oxygène pour une fréquence de 60 tours par min équivalait à 25 W de plus dans l'eau qu'en milieu terrestre. Cette différence prise en compte, la relation $\dot{V}O_2$ par rapport à l'intensité de l'exercice était en revanche très similaire, de même que les $\dot{V}O_2$ max atteintes et la $\dot{V}O_2$ au repos (71).

L'intensité de l'activité physique en immersion influe sur la diurèse. En effet, dans une étude ayant consisté à immerger jusqu'au cou des individus en maillot de bain dans une eau à neutralité thermique, il a été montré qu'à partir d'une heure d'activité physique d'intensité modérée à intense, le débit urinaire est d'autant plus diminué que l'effort est intense. Mais il reste supérieur à celui qui est mesuré sans immersion au repos et à l'effort. En deçà d'une heure d'exercice, le débit urinaire à l'effort quelle que soit son intensité (léger à intense) est quasi identique au débit urinaire de repos immergé. Pour un effort en immersion d'intensité faible durant jusqu'à 3 h la diurèse est quasi identique à celle mesurée au repos (44). Dans une étude plus récente, publiée en 2015 et réalisée dans une eau à 29 °C avec port de combinaison et équipement respiratoire de type recycleur, il a été mis en évidence lors d'effort de palmage durant 2 h une perte de masse augmentée, des pertes hydriques sudorales augmentées, une diurèse moindre et un volume plasmatique davantage réduit que lors de l'immersion statique (18).

1- Plongée en apnée

L'apnée est un arrêt de la ventilation mais la respiration cellulaire se poursuit. Le volume de gaz pulmonaire est alors soumis aux variations de pression ambiante selon la loi de Boyle-Mariotte dérivée de la loi des gaz parfaits.

Loi des gaz parfaits : $PV=nRT$ (où P: pression; V: volume ; n: quantité de matière; R: constante des gaz parfaits; T: température)

À température constante selon la loi de Boyle-Mariotte $PV=constante$

Donc avec la profondeur le volume de gaz pulmonaire diminue inversement à l'augmentation de pression ambiante.

À dix mètres de profondeur, avec deux bars de pression, le volume de gaz pulmonaire (c'est à dire la capacité pulmonaire totale), n'est plus que la moitié de ce qu'il était à la surface, soit environ trois litres pour un individu ayant une capacité pulmonaire totale de six litres, valeur moyenne chez un homme adulte.

À quarante mètres de profondeur, la pression est de cinq bars, le volume de gaz pulmonaire est divisé par cinq, soit environ 1,2 litres ce qui correspond globalement au volume résiduel pulmonaire (c'est-à-dire le volume de gaz restant dans les poumons après une expiration forcée).

La cage thoracique permet dans les premiers mètres une adaptation à la baisse de volume de gaz pulmonaire grâce à sa capacité de déformation partielle. L'ascension du diaphragme participe également à cette adaptation. Mais ces mécanismes sont insuffisants pour s'adapter à la baisse de volume de gaz pulmonaire notamment lorsque celui-ci approche du volume résiduel pulmonaire.

C'est l'afflux de sang dans les réseaux vasculaires du thorax (veines caves, circulations pulmonaire et bronchique) (« blood shift ») qui limite l'écrasement de la cage thoracique par l'augmentation de pression ambiante au fur et à mesure que la profondeur augmente (19,72–74). En plongée en apnée, du fait de la compression du gaz pulmonaire et grâce au mécanisme de blood shift le volume sanguin thoracique augmente donc davantage qu'en plongée avec scaphandre. Lors de la remontée le volume de gaz pulmonaire ré-augmente et le volume sanguin thoracique diminue (75).

La plongée en apnée déclenche aussi un ensemble de réponses adaptatives couramment désignées comme « réflexe de plongée » ou « réflexe d'immersion ». Très développées chez les mammifères marins, ces réponses sont aussi également présentes chez les mammifères terrestres dont l'homme. Elles comprennent une bradycardie, une vasoconstriction périphérique et une contraction splénique (76,77).

La bradycardie résulte de l'activation parasympathique qui répond à la mise en charge des barorécepteurs et à l'augmentation de précharge cardiaque et de volume d'éjection systolique (78).

La vasoconstriction périphérique survient via une augmentation d'activité sympathique ce qui limite la distribution de sang aux organes non essentiels (muscles squelettiques, reins)(79–81). Cette double stimulation sympathique et parasympathique (« autonomic conflict ») pourrait être pourvoyeuse de troubles du rythme cardiaque notamment chez les individus déjà atteints d'une cardiopathie.

La contraction splénique libère dans la circulation des globules rouges stockés dans la rate et permet ainsi d'augmenter le transport de l'oxygène (82–84).

La plongée en apnée comporte une première phase de bien-être puis si l'apnéiste reste immergé suffisamment longtemps une seconde phase apparaît dite phase de lutte (85). Au cours de cette phase des mouvements ventilatoires involontaires apparaissent et notamment des mouvements diaphragmatiques. Ces mouvements involontaires augmentent en intensité et en fréquence avec la durée de l'immersion. Ils facilitent la contraction splénique, augmentent temporairement le retour veineux et donc le volume d'éjection systolique (86), et permettent d'améliorer l'oxygénation cérébrale (87).

En plongée en apnée, progressivement après arrêt de la ventilation on observe une augmentation de la pression partielle en dioxyde de carbone (PCO_2) et une diminution de la pression partielle d'oxygène (PO_2), majorées par l'exercice physique. Cependant, si l'apnéiste effectue une descente en profondeur, et non simplement un exercice statique ou dynamique proche de la surface, la PCO_2 et la PO_2 vont initialement augmenter avec la profondeur selon la loi de Dalton. Cette loi stipule que la pression totale au sein d'un mélange de gaz est égale à la somme des pressions partielles de chaque gaz composant le mélange, chaque gaz se comportant comme s'il était seul et occupant le volume total.

L'augmentation de la PO₂ avec la profondeur est supérieure à l'augmentation de la PCO₂ car le dioxyde de carbone est vingt fois plus soluble que le dioxygène.

Si l'apnée est prolongée l'individu présentera donc une hypercapnie et une hypoxémie, cette dernière étant majorée à la remontée selon la loi de Dalton énoncée ci-dessus.

L'hypercapnie détectée par les chémorécepteurs centraux et périphériques occasionne une sensation d'inconfort avec envie de ventiler à nouveau ce qui entraîne conventionnellement la rupture de l'apnée. Cependant, dans certaines conditions, ces stimuli n'entraînent pas l'arrêt de l'apnée, notamment en cas d'hyperventilation préalable (baisse de la PCO₂ initiale) ou en cas d'accoutumance à l'hypercapnie chez un individu s'entraînant régulièrement.

L'hypoxémie peut alors entraîner une syncope hypoxique, majoritairement sans survenue de prodromes (88), et dont le seuil de survenue est d'environ 20 à 30 mmHg de PaO₂ (89,90).

En plongée en apnée, l'hypoxie sollicite fortement les filières anaérobies pour la production d'énergie, d'autant plus du fait de la vasoconstriction périphérique. Au décours d'une apnée le taux de lactates est ainsi augmenté (88,91)

Par ailleurs en milieu terrestre l'hypoxie augmente la diurèse (92).

2- Plongée avec équipement respiratoire

La plongée avec équipement respiratoire permet une poursuite de la ventilation après submersion grâce à un matériel spécifique délivrant des gaz comprimés compensant la pression hydrostatique ambiante. Elle comporte plusieurs éléments d'équipement dont notamment une bouteille de gaz comprimés, un détendeur et un gilet de stabilisation. La bouteille, communément appelée « bloc », contient un mélange de gaz comprimés qui est généralement de l'air mais qui peut être de composition différente selon la pratique (Nitrox, Trimix...). Le détendeur est un dispositif permettant d'adapter la pression des gaz inhalés, initialement contenus dans la bouteille, à la pression hydrostatique ambiante qui varie selon la profondeur. Cet équipement permet une immersion avec ventilation à volume pulmonaire constant et en pression positive. Le gilet de stabilisation, communément appelé « stab », permet d'ajuster la flottabilité du plongeur et sert également de support à la bouteille ainsi qu'aux autres accessoires.

Certains plongeurs utilisent un autre dispositif appelé recycleur. Ce dispositif fonctionne en circuit fermé (aucune bulle n'est émise par le dispositif) ou semi-fermé et permet un traitement du gaz expiré afin de permettre une ré-utilisation de celui-ci.

Contrairement à la plongée en apnée, la plongée avec équipement respiratoire n'entraîne pas de diminution du volume de gaz pulmonaire. Le transfert sanguin dans la circulation pulmonaire est limité par la pression des gaz pulmonaires s'équilibrant avec la pression hydrostatique ambiante. La diurèse est augmentée en plongée avec équipement respiratoire du fait de l'hypervolémie relative mais ne variera pas avec la profondeur (17) (cf. paragraphe I. C) 3-Profondeur).

L'utilisation d'un équipement classique avec bouteille de gaz et détendeur entraîne la ventilation d'un gaz sec et froid. Cela nécessite l'humidification et le réchauffement du gaz avec en conséquence des pertes hydriques respiratoires augmentées. En revanche l'utilisation d'un recycleur permet la ventilation d'un gaz humide et chaud limitant les pertes hydriques respiratoires.

La plongée avec équipement respiratoire est encadrée par des règles de pratiques strictes du fait de risques spécifiques potentiellement graves. Ces risques sont principalement les barotraumatismes, les accidents de décompression, l'œdème pulmonaire d'immersion et la narcose aux gaz inertes.

L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI) est une pathologie pouvant être développée dans tout sport aquatique impliquant une immersion. Il est bien décrit en plongée avec équipement respiratoire, en plongée en apnée et en natation (93). Chez le plongeur avec équipement respiratoire c'est la première cause d'accident respiratoire (94). Il peut survenir chez des sujets jeunes en bonne santé (95–97).

Ces manifestations associent une dyspnée, une toux et une hémoptysie. La sévérité de l'atteinte est variable, pouvant être résolutive spontanément après émergence ou aller jusqu'au décès du pratiquant (98,99).

Les mécanismes de survenue d'un OPI sont plurifactoriels. Il est lié à une défaillance de la barrière alvéolo-capillaire soumise à des contraintes spécifiques en immersion. Les facteurs favorisant sa survenue sont l'eau froide (100), l'effort intense (97,101), le stress psychologique (102,103) et les contraintes ventilatoires liées notamment à l'équipement respiratoire (104), à la combinaison (105) et aux contractions diaphragmatiques (106). La pratique de la plongée avec un détendeur ou le port d'un tuba augmente le travail ventilatoire et la dépression alvéolaire ce qui augmente le risque d'OPI. Selon la position du plongeur équipé d'un détendeur l'inspiration et l'expiration seront plus ou moins rendus difficiles (tête vers la surface l'effort inspiratoire est augmenté et l'expiration facilitée ; tête vers le fond l'inspiration est facilitée et l'effort expiratoire augmenté du fait de la variation du rapport de pression entre les voies aériennes et la pression hydrostatique ambiante). Par ailleurs la plongée avec un détendeur majore également le risque d'OPI du fait d'une bronchoconstriction survenant lors de la ventilation de gaz froid et sec (107).

La prise en charge d'un OPI consiste initialement en la sortie de l'eau et la mise à l'abri du pratiquant puis l'administration d'oxygène pour corriger l'hypoxémie de façon adaptée à l'état respiratoire du patient (masque à haute concentration, ventilation non invasive) (108).

3- Natation

La pratique de la natation s'effectue en milieu naturel ou en piscine, équipé d'une combinaison ou non. L'individu est immergé juste sous la surface de l'eau.

Différents types de nages peuvent être effectués, sur le ventre ou sur le dos. L'individu nageant effectue classiquement des cycles ventilatoires alternant inspiration bouche hors de l'eau, apnée une fois la face ré-immersée puis expiration débutée face immergée et poursuivie bouche hors de l'eau. Quel que soit la position de nage la pression trans-thoracique, résultant de la pression hydrostatique ambiante, est toujours négative. Cela nécessite un effort inspiratoire plus grand qu'en milieu terrestre et ce d'autant plus que l'exercice sera plus intense. L'utilisation d'un tuba ajoute de l'espace mort (56), augmentant le temps inspiratoire et la négativité de la pression transthoracique, donc l'effort inspiratoire devant être développé pour inspirer.

E) Insuffisance rénale et immersion

1- Définition insuffisance rénale

L'insuffisance rénale chronique est définie par la diminution irréversible du débit de filtration glomérulaire qui est le meilleur indicateur du fonctionnement rénal. Elle résulte soit de

l'évolution d'une maladie rénale chronique, soit de la non-récupération après une agression rénale aiguë.

Les maladies rénales chroniques sont définies par l'existence depuis plus de 3 mois (109–112):

- d'une insuffisance rénale définie par un débit de filtration glomérulaire (DFG) inférieur à 60 ml/min/1,73 m²
- et/ou d'une anomalie rénale morphologique ou histologique à condition qu'elle soit «cliniquement significative »,
- et/ou d'une anomalie dans la composition du sang ou de l'urine secondaire à une atteinte rénale.

Les différents stades de la maladie rénale chronique reposent sur la mesure ou sur l'estimation du débit de filtration glomérulaire (DFG).

Stade	Description	DFG (ml/min/1,73m ²)
1	Maladie rénale chronique ¹ avec fonction rénale normale	≥ 90
2	Maladie rénale chronique ¹ avec insuffisance rénale légère ²	60-89
3A	Insuffisance rénale légère à modérée	45-59
3B	Insuffisance rénale modérée à sévère	30-44
4	Insuffisance rénale sévère	15-29
5	Insuffisance rénale terminale	< 15

Tableau 1. Stades de la maladie rénale chronique

¹ Avec marqueurs d'atteinte rénale : protéinurie, hématurie, leucocyturie, ou anomalies morphologiques ou histologiques ou marqueurs de dysfonction tubulaire, persistant plus de trois mois.

² Un DFG compris entre 60 et 89 ml/min peut être normal chez un sujet âgé.

Les maladies rénales chroniques peuvent aboutir à l'insuffisance rénale terminale et au décès. Chez la plupart des patients en France, l'insuffisance rénale terminale peut être traitée par la transplantation rénale et/ou l'épuration extrarénale (hémodialyse ou dialyse péritonéale).

En France, environ 5,7 millions de personnes sont atteintes de maladie rénale chronique dont environ 3 millions à un stade d'insuffisance rénale chronique 3 à 5 (113). Parmi ces 3 millions de personnes environ 90 000 sont au stade d'insuffisance rénale terminale (stade 5) dont environ 50 000 patients dialysés et 40 000 patients greffés (114).

2- Physiopathologie en immersion

En immersion, l'adaptation de la fonction rénale à la surcharge volémique est limitée par une pathologie rénale préexistante.

Une étude réalisée chez le chien en immersion pendant 100 min a montré une augmentation du volume plasmatique de 7% chez le chien en bonne santé contre 40% chez le chien insuffisant rénal (bi-néphrectomie)(60).

Lors d'une immersion le facteur atrial natriurétique augmente de façon moindre chez le sujet insuffisant rénal chronique dialysé que chez le sujet sain, mais avec des valeurs basales avant immersion plus élevées chez le sujet insuffisant rénal (115). Il peut ainsi être supposé une

moindre production de facteur atrial natriurétique en immersion chez le patient insuffisant rénal chronique de façon adaptative à des variations fréquentes de volémie entre deux séances de dialyse. Cependant le pouvoir diurétique du facteur atrial natriurétique (de même que le peptide natriurétique cérébral) est faible. Le facteur atrial natriurétique exerce essentiellement une action d'augmentation de perméabilité des capillaires et veinules pour lutter contre la surcharge volumique (116).

Chez des patients insuffisants rénaux chroniques anuriques, la réalisation d'une séance de dialyse en immersion facilite l'ultrafiltration (et donc la perte de poids) en entraînant une augmentation du transfert de liquide du secteur interstitiel vers le secteur plasmatique sous l'effet de la pression hydrostatique appliquée sur l'organisme. Une dialyse effectuée chez des sujets immergés ne s'accompagne pas d'une hypovolémie marquée et le volume plasmatique est moins diminué qu'après une dialyse au sec (117).

De plus il a été mis en évidence chez un patient insuffisant rénal chronique dialysé et cirrhotique que l'immersion facilite la réabsorption plasmatique de l'ascite (épanchement séreux) et contribue ainsi à augmenter le volume plasmatique, d'autant plus que le rein n'assure plus correctement la régulation du volume plasmatique. La pression veineuse centrale augmente avec l'arrivée plasmatique de liquide interstitiel et séreux dans un territoire vasculaire compliant restreint par la pression hydrostatique (118).

Chez des patients atteints de cirrhose décompensée avec œdème, ascite et défaut d'élimination urinaire l'immersion permet la restauration d'une diurèse et d'une natriurèse plus importante (avec donc élimination urinaire d'œdème et d'ascite). L'immersion augmente la pression veineuse centrale ainsi que la pression artérielle pulmonaire bloquée (reflet de la pression capillaire pulmonaire) (119).

Chez les patients insuffisants rénaux sévères et terminaux, l'immersion permet dans une certaine mesure de rétablir une diurèse qui diminue l'hypervolémie par absorption plasmatique d'eau du troisième secteur et limite l'augmentation de la pression capillaire pulmonaire bloquée (reflet de la pression auriculaire gauche) et de la congestion de la circulation pulmonaire (118,120).

Un œdème pulmonaire d'immersion a été mis en évidence chez un patient de 66 ans insuffisant rénal chronique dialysé et hypertendu. Ce patient avait présenté une dyspnée aiguë oxygénorequérante et des crachats hémoptoïques au décours d'une plongée avec équipement respiratoire. Les conditions de plongée étaient une température de l'eau à 17 degrés, une profondeur de 15 mètres. Le patient portait un vêtement à volume constant (« combinaison sèche »). La prise en charge de ce patient a consisté en un soutien ventilatoire par BiPAP, l'administration de dérivés nitrés et de nicardipine ainsi que la réalisation d'hémodialyse avec ultrafiltration extra-corporelle. Les examens complémentaires réalisés avaient permis de mettre en évidence une sténose aortique et une dysfonction ventriculaire gauche non connue auparavant. L'état clinique du patient s'est progressivement amélioré avec régression de son oxygénorequérance trois jours après l'évènement. Les mécanismes retenus pour expliquer l'œdème pulmonaire d'immersion chez ce patient étaient l'association de la rétention hydrique entre deux dialyses, de l'augmentation de la post-charge cardiaque due à son hypertension artérielle chronique et majorée par la vasoconstriction en eau froide et de l'augmentation de la pression capillaire pulmonaire due à sa dysfonction ventriculaire gauche. Au décours de cet évènement la pratique de la plongée a été contre-indiquée pour ce patient (121).

En immersion le sujet insuffisant rénal chronique aura vraisemblablement une augmentation de volume plasmatique plus importante que le sujet sain du fait d'une diurèse d'immersion réactionnelle à l'hypervolémie relative plus ou moins élevée selon la sévérité de sa maladie rénale.

De plus le sujet ayant un traitement de suppléance par dialyse intermittente et n'ayant pas de diurèse résiduelle, peut être en surcharge volémique avant dialyse et en déplétion volémique après dialyse.

3- Problématiques et dangers de l'immersion

Dans quelle mesure s'immerger serait donc dangereux pour un sujet insuffisant rénal ?

Le stade d'insuffisance rénale à partir duquel le sujet insuffisant rénal pratiquant une activité sportive aquatique verrait ses mécanismes d'adaptation dépassés, et donc à risque d'accident, n'est pas clairement défini.

Le transfert de liquide des secteurs interstitiel et intracellulaire vers le secteur plasmatique se poursuit tout au long de l'immersion ce qui pose la question d'une durée limite d'immersion chez les patients ayant une absence ou une faible diurèse résiduelle, en raison de l'augmentation persistante du volume plasmatique.

Les variations de volémie importantes auxquelles sont soumis les patients dialysés entre deux séances permettent peut-être de développer une tolérance à ces variations de volémie, et donc en l'occurrence à l'hypervolémie rencontrée en immersion.

De plus l'insuffisance rénale chronique est fréquemment associée à des comorbidités cardio-vasculaires qui pourraient entraîner une moins bonne tolérance à l'augmentation du travail cardiaque et des pressions sur l'ensemble du système cardio-vasculaire induites par l'immersion.

Les situations de pratique de sports aquatiques les plus à risques pour les patients insuffisants rénaux chroniques dialysés seraient l'immersion en eau froide, avec port de combinaison et effectuée à distance de la séance de dialyse précédente.

Les principaux risques en cas d'inadaptation de la fonction rénale aux variations hémodynamiques seraient l'œdème pulmonaire d'immersion et la défaillance cardiaque.

Par ailleurs, chez les patients greffés rénaux l'impact sur le greffon de l'augmentation de la pression hydrostatique ambiante et de la pression générée par la combinaison n'est pas connu.

Les conséquences de la plongée en apnée sur la fonction rénale à long terme ont été étudiées chez des femmes plongeuses professionnelles coréennes. Une plus grande prévalence de l'insuffisance rénale chronique a été observée pour les plongeuses en apnée comparativement au groupe témoin (12,6 vs 8%)(122). La plongée en apnée pratiquée pendant des années serait donc un facteur de risque indépendant d'insuffisance rénale chronique. Pour tenter d'expliquer cette prévalence plus grande, un effet délétère de l'hypoxie répétée sur le tubule rénal est envisagé car les cellules y contiennent de nombreuses mitochondries (en rapport avec le grand métabolisme nécessaire à la fonction tubulaire).

L'impact de la plongée en apnée sur la fonction rénale à court terme est possiblement un dysfonctionnement rénal précoce, comme le suggèrent les résultats d'une étude menée sur des sujets plongeant à 40 mètres et dont la concentration de créatinine était augmentée de 40% (123).

4- Immersion et abords vasculaires chez les insuffisants rénaux

Les patients insuffisants rénaux chroniques hémodialysés porteurs d'une fistule artério-veineuse (sous-entendu fistule artério-veineuse native) ou d'une greffe artério-veineuse (fistule artério-veineuse prothétique) sont à risque de thrombose intra-fistule favorisée par le port d'un vêtement élastique qui entraîne une compression prolongée de la zone (112,124,125). Les patients insuffisants rénaux chroniques hémodialysés peuvent également être porteurs d'un cathéter veineux central, dont le risque principal en immersion est probablement infectieux.

Les patients insuffisants rénaux chroniques bénéficiant d'un traitement de suppléance par dialyse péritonéale sont quant à eux porteurs d'un cathéter qui doit être protégé du risque infectieux lors de la pratique des activités aquatiques (126). Lors de la pratique de la natation des cas d'infections du site de sortie du cathéter et des péritonites ont été rapportés mais seraient relativement rares (126). Par ailleurs, l'étanchéité du dispositif de protection pourrait être altérée par des bulles d'air dont les variations de pression favorisent la formation.

5- Association insuffisance rénale et maladies métaboliques et vasculaires

La survenue d'une maladie rénale chronique est étroitement liée aux facteurs de risques cardiovasculaires notamment l'hypertension artérielle et le diabète qui représentent près de 50% des causes d'insuffisance rénale chronique terminale (114).

Par ailleurs l'évolution d'une maladie rénale chronique aura des conséquences cardio-vasculaires et métaboliques mais également hématologiques et nutritionnelles.

Les patients insuffisants rénaux chroniques sont à haut risque cardio-vasculaire (112), notamment à risque de cardiopathie ischémique, d'accident vasculaire cérébral et d'artériopathie des membres inférieurs.

Les pratiquants de sports aquatiques insuffisants rénaux chroniques représentent une population hétérogène qui peut être divisée en deux groupes (127): d'une part des patients jeunes, présentant uniquement une insuffisance rénale chronique isolée et indemnes de facteurs de risques cardio-vasculaires, et d'autre part des patients plus âgés, insuffisants rénaux chroniques volontiers polyopathologiques présentant des facteurs de risque cardiovasculaires qui peuvent être la cause de cette maladie rénale ou associée à celle-ci. Dans cette seconde population des recommandations spécifiques pour la pratique des sports aquatiques doivent être appliquées en prenant en compte les comorbidités et traitements du patient.

Les contre-indications absolues d'ordre cardio-vasculaire et métabolique à la pratique de sports subaquatiques sont: un diabète déséquilibré, une cardiopathie évoluée, le port de défibrillateur implantable, une anticoagulation avec INR > 3 (127). Toute symptomatologie cardio-vasculaire est une contre-indication temporaire notamment l'hypertension artérielle modérée ou sévère. De même un patient traité par bêtabloquant ne pourra pratiquer une activité subaquatique que sous certaines conditions: prescription pour une pathologie compatible avec la pratique de la plongée, choix de la molécule et de la posologie adaptées au sujet, parfaite tolérance respiratoire si besoin vérifiée par un pneumologue, capacités physiques conservées démontrées par un test d'effort sous traitement (127).

6- Réhabilitation des patients insuffisants rénaux chroniques en milieu aquatique

Les effets de l'exercice physique chez les patients atteints de néphropathie chronique ont été évalués dans une revue systématique Cochrane parue en 2011 (128). Cette revue systématique a intégré trente deux études dans la méta-analyse. Les résultats démontrent qu'un exercice physique régulier améliore significativement la forme physique, le fonctionnement physique et la qualité de vie liée à la santé chez les adultes souffrant de néphropathie chronique. Ces résultats sont valables chez tous les patients insuffisants rénaux chroniques (stade de néphropathie chronique un à cinq, patients ne nécessitant pas encore de dialyse, patients dialysés (hémodialyse et dialyse péritonéale), patients transplantés rénaux).

Les effets de l'entraînement physique ont ensuite été évalués de façon plus spécifiques chez les patients insuffisants rénaux chroniques dialysés dans une revue systématique Cochrane parue en 2022 (129). Cette méta-analyse a intégré soixante dix sept études (soit trois mille huit cent quarante six participants) dont sept études incluant des patients ayant une suppléance de la fonction rénale par dialyse péritonéale. Cinquante six études utilisaient l'exercice aérobique, vingt et une l'exercice de résistance et dix neuf un entraînement combiné. La fréquence d'entraînement était majoritairement de trois fois par semaine. Les résultats de cette étude indiquent que l'entraînement physique :

- améliore probablement la capacité fonctionnelle à effectuer des activités et tâches de la vie quotidienne (amélioration de la capacité à marcher, de la force et de l'endurance)
 - améliore probablement les symptômes dépressifs, particulièrement lorsque l'entraînement dure plus de quatre mois
 - pourrait améliorer la fatigue, la douleur et la composante physique de la qualité de vie
- Par ailleurs selon les auteurs de cette méta-analyse les effets indésirables de l'entraînement physique étaient rarement rapportés et mal définis donc la sécurité de l'entraînement physique restait incertaine.

Une seule étude a évalué spécifiquement les effets de l'exercice en milieu aquatique (130). Cette étude a fait suivre à des patients insuffisants rénaux chroniques hémodialysés un programme d'exercice aquatique de natation durant quatre mois à raison de trois séances par semaine de durée soixante minutes. Les résultats montrent qu'après avoir suivi ce programme les paramètres physiques individuels (test de marche six minutes, test du lever de chaise et test chronométré du lever de chaise, force de serrement manuelle, test de flexion du tronc) et la qualité de vie (composantes physique et mentale) étaient significativement augmentés comparativement à la période antérieure au programme. De plus comparativement au groupe contrôle (poursuite du mode de vie sédentaire habituel durant quatre mois) les paramètres physiques individuels étaient tous augmentés significativement (excepté une absence de différence significative au test de force de serrement manuelle) de même que la qualité de vie dans sa composante mentale.

Les auteurs ne précisaient pas la survenue d'éventuelles complications ou événements indésirables durant cette étude.

7- Recommandations

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) : «La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité» (131).

L'OMS recommande (132) pour les adultes âgés de 18 à 65 ans en bonne santé:

- Pratiquer au moins, au cours de la semaine, 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité modérée ou au moins 75 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue.
- Pratiquer l'activité d'endurance par périodes d'au moins 10 minutes
- Augmenter la durée de l'activité d'endurance d'intensité modérée de façon à atteindre 300 minutes par semaine ou pratiquer 150 minutes par semaine d'activité d'endurance d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue pour pouvoir en retirer des bénéfices supplémentaires sur le plan de la santé
- Pratiquer des exercices de renforcement musculaire faisant intervenir les principaux groupes musculaires au moins deux jours par semaine.

Pour les adultes âgés de plus de 65 ans en bonne santé les recommandations sont identiques et il est ajouté que lorsque des personnes âgées ne peuvent pratiquer la quantité recommandée d'activité physique en raison de leur état de santé, elles devraient être aussi actives physiquement que leurs capacités et leur état le leur permettent.

Les recommandations de l'OMS précisent que chez les individus auxquels la maladie impose des restrictions, les individus dont l'aptitude à l'exercice est faible et les individus sédentaires l'intensité et la quantité d'activité nécessaire pour tirer un bénéfice important sur le plan de la santé et de la condition physique sont moindres que chez les personnes dont le niveau d'activité et la forme physique sont meilleurs.

Globalement dans la population générale les bénéfices de l'activité physique l'emportent sur les risques. Il est possible de réduire sensiblement le risque de manifestations indésirables en augmentant progressivement le niveau d'activité, en particulier chez les adultes sédentaires. Le choix d'activités à faible risque et l'adoption d'un comportement prudent lors de la pratique de toute activité peuvent réduire au maximum la fréquence et la gravité de ces événements et maximiser les effets bénéfiques d'une activité physique régulière. Chez les personnes présentant une incapacité la pratique sportive doit être adaptée à chaque individu en fonction de son aptitude à l'exercice et des risques ou restrictions spécifiques liés à sa santé. Dans la population générale l'exercice physique régulier diminue le risque de décès (quelqu'en soit la cause), les maladies coronariennes, les accidents vasculaires cérébraux, l'hypertension artérielle, le diabète type 2, le syndrome métabolique, l'ostéoporose, les cancers du colon et du sein, et la dépression (132–141). La sédentarité est le quatrième facteur de risque de mortalité à l'échelle mondiale (132).

En France le concept de Sport-Santé a été développé récemment. Il correspond à la pratique d'activités physiques ou sportives qui contribuent à la santé et au bien-être du pratiquant, conformément à la définition de la santé selon l'OMS dans ses dimensions physique, psychologique et sociale. C'est un programme centré sur la pratique d'activités physiques ou sportives de type RASP (régulière, adaptée, sécurisée, progressive) comme facteur de santé, dont les bienfaits ont été démontrés par un rapport de l'INSERM (142). La pratique du sport-santé, vise d'une part, à maintenir la santé du sujet sain et à prévenir l'apparition de maladies chroniques et la perte d'autonomie et, d'autre part, elle contribue à une meilleure qualité de vie (mieux vivre avec la maladie) chez les personnes atteintes de pathologies chroniques non transmissibles et prévient l'aggravation et/ou la récurrence de ces maladies chroniques. La création de Maisons Sport-Santé a vu le jour depuis 2019 en France et s'intègre dans la volonté de création d'espaces favorables à la pratique d'activités physiques et sportives réunissant pratiquants et professionnels de la santé et du sport. Par ailleurs, une loi visant à favoriser le développement du Sport-Santé est parue en mars 2022 (143) et des conseils aux

pratiquants ont été édités par la Haute Autorité de Santé (HAS) en décembre 2022 (144) avec notamment des fiches conseils pour la pratique sportive spécifiques de plusieurs pathologies et de l'état de santé selon les périodes de la vie (il n'existe pas pour l'instant de fiche spécifique pour les patients insuffisants rénaux chroniques).

La Société de Physiologie et de Médecine Subaquatique et Hyperbare (MEDSUBHYP) et la Société Française de Médecine de l'Exercice et du Sport (SFMES) recommandent en 2020 pour la pratique de la plongée sous marine de loisir (127):

- Chez les patients avec un DFG ≤ 60 ml/min/1,73 m² ou de maladie rénale d'avoir recours à un avis néphrologique spécialisé.
- Chez les patients au stade d'insuffisance rénale chronique sévère (stade 4) ou terminale (5) une contre-indication aux activités subaquatiques.
- Chez les patients transplantés rénaux un avis néphrologique spécialisé
- Chez les patients dialysés rares possibilités de pratique dans des conditions spécifiques après concertation entre patient, néphrologue et médecin de plongée.

La Société de Physiologie et de Médecine Subaquatique et Hyperbare (MEDSUBHYP) et la Société Française de Médecine du Travail (SFMT) recommandent en 2018 pour la pratique de la plongée professionnelle (127,145):

- Chez les patients ayant un antécédent significatif de maladie rénale même silencieuse un avis néphrologique doit être demandé.
- Chez les patients avec un DFG ≤ 60 ml/min/1,73 m² une contre-indication de la plongée professionnelle.
- Chez les patients avec un DFG autour de 60 ml/min/1,73 m² le recours à un avis néphrologique pour le travail en hyperbarie sèche de façon limitée dans le temps.
- Chez les patients avec une protéinurie > 1 g/24h une contre-indication à la plongée professionnelle (même avec un DFG > 60 ml/min/1,73 m²).
- Chez les patients ayant un syndrome néphrotique avec protéinurie à 2-3g/24h une contre-indication à la plongée professionnelle.
- Chez les patients ayant un rein unique avec microalbuminurie $> 30\mu$ g/24h une restriction d'exposition (non précisée).
- Chez les patients ayant de multiples kystes rénaux volumineux une contre-indication à la plongée professionnelle.

La société américaine UHMS (Undersea and Hyperbaric Medical Society) a édité des recommandations en 2021 (146) dans lesquelles l'insuffisance rénale est considérée comme à risque relatif pour la pratique de la plongée avec augmentation modérée du risque de survenue d'évènements indésirables liés à la pratique. Il est précisé que selon les individus ce risque peut être acceptable d'où la nécessité d'une évaluation personnalisée par le médecin référent pour juger de la possibilité de l'activité ou au contraire de sa contre-indication.

L'organisation internationale DAN (Divers Alert Network) promeut la sécurité des plongeurs dans le monde et en ce sens a formulé des conseils pour les plongeurs dialysés (147). Il est conseillé que l'aptitude médicale à la plongée chez les patients insuffisants rénaux dialysés soit toujours évaluée individuellement. Il est par ailleurs précisé que lorsqu'un patient dialysé pose la question de la sécurité de sa pratique à son médecin souvent il obtient une réponse non totalement satisfaisante du fait de la fréquente méconnaissance de la physiologie en plongée. Le DAN souligne le risque lié aux variations hydro-électrolytiques survenant lors d'une plongée avec le risque majoré d'œdème pulmonaire et/ou de dysfonction cardiaque conséquente à l'état d'hypervolémie relative avec défaut d'élimination urinaire. Par ailleurs il

met en garde contre les risques liés aux accès vasculaires, notamment le risque de thrombose lors du port de combinaison (en particulier si combinaison trop serrée ce qui compromet le débit) mais également le risque infectieux. Un autre risque est la mauvaise tolérance de l'exercice physique du fait de l'anémie souvent associée à l'insuffisance rénale chronique ; il est donc recommandé d'avoir un taux d'hémoglobine normal pour la pratique. D'autre part il pourrait exister un potentiel risque de trouble de la vigilance chez les patients insuffisants rénaux chroniques en plongée du fait de l'accumulation de sous-produits du métabolisme et de l'effet narcotique de l'azote qui ensemble pourraient avoir un effet synergique. Par ailleurs il est recommandé de prendre en considération la fréquente difficulté de prise en charge médicale rapide en cas d'incidents lors d'une plongée car les sites de pratique sont très souvent éloignés des centres médicaux.

La société ISPD (International Society for Peritoneal Dialysis) et le réseau GREX (Global Renal Exercise) ont édité des recommandations en 2021 concernant l'activité physique chez les individus ayant une suppléance de la fonction rénale par dialyse péritonéale (148):

- La natation et les autres sports nautiques doivent être pratiqués de préférence soit dans de l'eau de mer, soit dans des piscines réputées bien entretenues (privées ou municipales) afin de limiter l'exposition aux agents pathogènes d'origine hydrique.
- La baignade et les autres sports nautiques en eau libre doivent être évités immédiatement après une tempête afin de limiter l'exposition aux agents pathogènes d'origine hydrique.
- Un pansement transparent imperméable ou un sac de colostomie doivent être appliqués pour sécuriser et protéger le cathéter et le site de sortie de l'humidité pendant une baignade ou la natation, bien qu'il reste incertain que cette stratégie atténue le risque d'infection.
- Des soins de routine du site de sortie du cathéter doivent être effectués après la baignade et les sports nautiques.

ETUDE : Effets de l'immersion dans la population des insuffisants rénaux français

I. INTRODUCTION

A) Rationnel

Les complications de l'immersion chez les patients insuffisants rénaux chroniques sont actuellement peu documentées dans la littérature.

Les recommandations actuelles des sociétés savantes préconisent une contre-indication aux activités subaquatiques dès le stade d'insuffisance rénale sévère.

Cette étude avait pour ambition de faire un état des lieux de la pratique des sports aquatiques et des événements favorables ou défavorables associés à cette pratique dans la population des patients insuffisants rénaux chroniques français.

Les conclusions de cette étude pourraient ensuite amener à affiner les recommandations actuelles quant à la pratique sportive aquatique chez les patients insuffisants rénaux chroniques ou à encourager la réalisation d'études prospectives permettant de mieux comprendre les observations de notre étude.

B) Objectifs

L'objectif principal de cette étude était l'évaluation de la survenue d'évènements lors ou au décours d'activités aquatiques dans une population d'insuffisants rénaux.

Définition des évènements :

- évènements subjectifs : malaise, inconfort, douleur, essoufflement
- évènements objectifs : déshydratation, œdème pulmonaire, infection, traumatisme, problèmes de voie d'abord (fistule artérioveineuse, cathéter de dialyse), consultation, hospitalisation.

Les objectifs secondaires de cette étude étaient :

- Description des sports aquatiques pratiqués
- Description de la population des pratiquants de sports aquatiques insuffisants rénaux
- Description de facteurs pouvant être associés à la survenue d'évènements
- Évaluation des complications de l'abord vasculaire
- Évaluation des bénéfices de la pratique selon le patient -Évaluation d'une limitation de la pratique liée à la survenue puis à l'évolution de la maladie
- Implication de professionnels de santé dans le suivi de la pratique sportive et les éventuelles décisions d'arrêt de sport

II. MATERIEL ET METHODES

A) Type de l'étude

Étude observationnelle rétrospective à l'échelle nationale française menée entre le 15/06/2022 et le 15/12/2022.

B) Population

Patients insuffisants rénaux chroniques, quel que soit le stade de leur maladie, pratiquants ou ayant pratiqué des sports aquatiques.

C) Critères d'inclusion et non inclusion

Critères d'inclusion :

- Insuffisance rénale chronique, quel que soit le stade, les traitements passés ou en cours, la réalisation ou non d'une greffe rénale, et l'éventuelle méthode de suppléance (dialyse par cathéter d'hémodialyse, par fistule artérioveineuse, dialyse péritonéale) ou pas.
- Pratique (actuelle ou par le passé) de sports aquatiques
- Non-opposition formulée

Critère de non-inclusion :

- Refus de participation
 - Patients sous protection judiciaire (tutelle, curatelle, sauvegarde de justice)
 - Patients sous privation de liberté (détenu)
- (ces deux derniers critères de non-inclusion étaient vérifiés dans la première partie du questionnaire)

D) Modalités de recrutement :

Un questionnaire (en annexe) a été diffusé par voie informatique auprès de :

- Sociétés savantes :
 - * Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française
 - * Société Francophone de Néphrologie Dialyse et Transplantation
 - * Société Française de Médecine du Sport
- Fédérations Sportives Françaises
 - * Fédération Française d'Étude et de Sports Sous-Marins
 - * Fédération Française de Voile
 - * Fédération Française de Natation
- Associations de patients :
 - * France Rein
 - * Association pour l'Information et la Recherche sur les Maladies Rénales Génétiques
 - * Association Fédérative des Sportifs Transplantés et Dialysés

Ces sociétés, fédérations et associations ont ensuite diffusé à leurs membres le questionnaire. Au début du questionnaire étaient exposés le contexte et les objectifs de notre projet. Les patients étaient ensuite invités à donner leur non-opposition qui conditionnaient l'accès à la suite du questionnaire.

E) Critères d'évaluation

Principal :

Le critère d'évaluation principal était la survenue d'un événement lors ou au décours d'une activité aquatique défini par :

- événements subjectifs : malaise, inconfort, douleur, essoufflement
- événements objectifs : déshydratation, œdème pulmonaire, infection, traumatisme, problèmes de voie d'abord (fistule artérioveineuse, cathéter de dialyse), consultation, hospitalisation.

Le critère d'évaluation principal était évalué dans notre questionnaire (en annexe) dans la partie intitulée « Problèmes rencontrés durant la pratique d'activités aquatiques » au moyen de plusieurs questions permettant de renseigner la survenue ou non d'un ou de plusieurs événements au cours de la pratique d'activités aquatiques.

Secondaires :

Les critères d'évaluation secondaires étaient :

-Description des sports aquatiques pratiqués :

Plongée avec équipement respiratoire, plongée en apnée, chasse sous-marine, natation, nage avec palmes, voile, surf, bodyboard, canoë, kayak, paddle, marche aquatique, aquagym.

-Description de la population des pratiquants de sports aquatiques insuffisants rénaux :

Âge, sexe, stade de la maladie rénale, comorbidités, traitement de suppléance si présent : greffe, hémodialyse, dialyse péritonéale.

-Description de facteurs pouvant être associés à la survenue d'événements :

Âge, stade de la maladie rénale, comorbidités, fréquence, durée et lieu de pratique, port d'une combinaison.

-Évaluation des complications de l'abord vasculaire :

Survenue ou non d'une complication de l'abord vasculaire, nature du problème rencontré, activité pratiquée lors de la survenue de la complication.

-Évaluation des bénéfices de la pratique selon le patient :

Sensation de bien-être physique, sensation de bien-être psychique, meilleure acceptation de la maladie, meilleure observance du traitement, autre (texte libre patient).

-Évaluation d'une limitation de la pratique liée à la survenue puis à l'évolution de la maladie :

Pratique modifiée ou non avant et pendant la survenue de la maladie rénale.

Pratique modifiée ou non avec l'évolution de la maladie rénale.

Pratique modifiée ou non à la suite d'une éventuelle dialyse ou greffe.

-Implication de professionnels de santé dans le suivi de la pratique sportive et les éventuelles décisions d'arrêt de sport :

Discussion ou non avec médecin traitant ou néphrologue ou médecin du sport si survenue d'évènements au cours de la pratique.

Avis selon le patient de ses référents médicaux sur la pratique de sports aquatiques.

F) Éthique

Cette étude a obtenu un avis favorable du Comité d'Éthique du Centre Hospitalier de Morlaix (cf annexe).

Concernant la déclaration CNIL cette étude rentre dans le cadre de la « Méthodologie de Référence » (MR-004) en application des dispositions de l'article 54 alinéa 5 de la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés. Ce changement a été homologué par décision n° 2018-155 du 3 mai 2018. Le CHRU de Brest, Gestionnaire de l'étude, a signé un engagement de conformité à cette « Méthodologie de Référence ».

Les investigateurs de l'étude ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Aucun financement n'a été dédié à cette étude.

III. RESULTATS

A) Caractéristiques des patients

Au total, trente-sept patients ont répondu au questionnaire. Parmi eux trente-trois ont été inclus dans l'étude (quatre personnes ont été exclus car ils n'avaient pas de maladie rénale chronique) (cf. tableau 2).

La population de l'étude comprenait quinze femmes et dix-huit hommes. L'âge moyen des patients inclus était de cinquante cinq ans, leur masse moyenne soixante-dix kilogrammes, leur taille moyenne un mètre soixante-et-onze et leur indice de masse corporelle (IMC) moyen vingt-quatre.

Au moment de l'étude treize patients étaient atteints d'insuffisance rénale terminale, quatre d'insuffisance rénale sévère, neuf d'insuffisance rénale modérée, cinq d'insuffisance rénale légère et deux de maladie rénale chronique de stade non connu (du patient). Leur diurèse résiduelle était, selon les patients, de trente millilitres à quatre litres.

Vingt deux patients avaient eu une suppléance de la fonction rénale par dialyse dont quinze ayant également bénéficié d'une greffe rénale. Parmi les vingt-deux patients ayant eu une suppléance de la fonction rénale par dialyse onze étaient traités par hémodialyse, six par dialyse péritonéale et cinq par hémodialyse et dialyse péritonéale.

La voie d'accès était majoritairement une fistule artérioveineuse qui concernait dix-huit patients, un cathéter de dialyse péritonéale pour dix patients, un cathéter d'hémodialyse pour neuf patients et enfin une greffe artério-veineuse pour cinq patients (plusieurs patients avaient eu différentes voies d'accès au cours de leur prise en soins).

Dix neuf patients avaient bénéficié d'une greffe rénale dont quinze ayant également eu une suppléance de la fonction rénale par dialyse.

Donc dans cette étude il y avait quinze patients ayant eu une greffe rénale et une dialyse, quatre patients une greffe rénale sans jamais de dialyse, et sept patients uniquement une dialyse.

Concernant les comorbidités des patients de notre étude, sept patients avaient des pathologies cardiaques associées, quatre des pathologies respiratoires, quatre des pathologies endocriniennes et trois des pathologies neurologiques (cf. tableau 2 bis et figure 6).

B) Activités pratiquées

Depuis la découverte de leur maladie rénale trente deux patients avaient pratiqué des sports aquatiques (cf. tableau 3). Une patiente avait arrêté la pratique de la natation en piscine et en mer depuis la découverte de sa maladie rénale car ces activités lui auraient été proscrites après la pose d'un cathéter de dialyse péritonéale.

Parmi les trente deux patients pratiquants de sports aquatiques après la découverte de leur maladie rénale, vingt trois pratiquaient la natation ou nage avec palmes (les patients déclarant se baigner simplement, au nombre de deux, ont été également inclus dans cette catégorie), huit la voile, sept la plongée avec équipement respiratoire, six le surf ou bodyboard, cinq le canoë, le kayak ou le paddle, cinq la plongée en apnée ou la chasse sous-marine, quatre la marche aquatique et quatre l'aquagym.

En plus des sports aquatiques, vingt sept patients de notre étude pratiquaient des sports non aquatiques dont notamment le vélo, la marche et la course à pied. La patiente ne pratiquant

plus de sports aquatiques depuis la découverte de sa maladie rénale pratiquait en revanche des sports non aquatiques.

Durant la pratique d'activités aquatiques, dix neuf patients rapportaient utiliser une combinaison, majoritairement de type intégrale en néoprène (quinze patients), et d'épaisseur variable, entre trois et sept millimètres.

Les conditions de la pratique des activités sont détaillées ci-dessous dans les tableaux 4, 5 et 6.

C) Évolution de la pratique

Concernant l'évolution de la pratique sportive aquatique (cf. tableau 7), vingt-cinq patients déclaraient avoir une pratique différente avant la survenue de leur maladie (et un patient ne pouvait pas évaluer sa pratique sportive avant sa maladie rénale car le diagnostic avait été porté à l'âge de trois ans). Plusieurs patients déclaraient notamment une pratique plus intense avant la survenue de leur maladie avec pour certains une pratique en compétition.

Parmi ces vingt-cinq patients, quinze avaient dû modifier leur pratique sportive lors de la survenue de la maladie rénale. Une asthénie importante et le temps consacré à leur prise en charge médicale étaient les deux éléments principalement évoqués pour expliquer cette modification.

Au cours de l'évolution de la maladie, vingt-et-un patients sur vingt-six (et non vingt-cinq car le patient ayant eu un diagnostic précoce est ici compatibilisé) avaient dû modifier leur pratique. L'asthénie, des épisodes infectieux et les comorbidités associées à la maladie rénale étaient rapportés comme facteurs ayant modifié la pratique.

Dans le groupe des vingt-deux patients dialysés, seize avaient modifié leur pratique après le début de la dialyse. Plusieurs patients évoquaient une asthénie limitant leur activité et des précautions liés au port d'un cathéter avec notamment l'arrêt de la pratique en piscine. Une patiente pratiquant la natation en piscine et en milieu naturel, et ne pratiquant pas de sports terrestres, avait totalement cessé ses activités aquatiques sur avis médical après la pose d'un cathéter de dialyse péritonéale.

Dans le groupe des dix-neuf patients greffés rénaux, douze avaient modifié leur pratique après la greffe. Huit patients rapportaient une pratique sportive plus intense, permise par un meilleur état de forme ressenti et une plus grande aisance respiratoire. Deux individus avaient même repris une pratique sportive en compétition. Cependant certains patients indiquaient qu'une dégradation secondaire progressive de leur insuffisance rénale et l'apparition de comorbidités leur avaient fait restreindre leurs activités.

Les patients ayant cessé temporairement ou totalement leur pratique l'expliquaient par leur état de fatigue, la présence d'un cathéter ou d'une fistule artérioveineuse, la douleur, une infection ou en période post-greffe rénale.

Certains patients s'étaient alors orientés vers d'autres activités physiques dont notamment le vélo, la marche et la course à pied.

D) Problèmes rencontrés

Durant la pratique d'activités sportives aquatiques certains patients s'étaient retrouvés face à des difficultés ou à des complications (cf tableau 8). Un patient avait présenté un incident de voie d'abord avec ouverture de la poche contenant le cathéter de dialyse péritonéale alors qu'il se baignait en mer avec survenue au décours d'une infection intra-abdominale avec péritonite. Il n'y avait pas d'autre cas d'infection rapportée. Aucun patient n'avait présenté de malaise. Des dyspnées d'effort avaient été ressenties par neuf patients au cours de leur

pratique, vraisemblablement pour une partie d'entre eux dans un contexte de port de combinaison (précision non spécifiée par les patients). Un patient décrivait un épisode de déshydratation. Trois patients décrivaient la survenue de crampes et un autre un phénomène de Raynaud.

Un seul patient avait été hospitalisé au décours (non immédiat) d'une activité sportive aquatique, pour une infection de voie d'abord qui avait donné lieu secondairement à une péritonite.

Parmi les trente deux patients de notre étude qui pratiquaient des sports aquatiques depuis le diagnostic de maladie rénale, quinze avaient répondu à la question d'avoir informé ou non un médecin au décours d'un évènement survenue lors de leur pratique. La grande majorité des médecins informés étaient des néphrologues. Par ailleurs six patients déclaraient n'avoir informé aucun de leurs référents médicaux.

Une modification de pratique au décours d'évènements survenus n'a été rapportée que par deux patients.

E) Avis des médecins et de l'entourage sur la pratique

Selon les patients, l'avis des médecins référents sur la pratique des sports aquatiques par leurs patient insuffisants rénaux était favorable pour plus d'un tiers des personnes (treize sur trente deux), neutre pour quatre personnes et défavorable pour quatre personnes. Douze patients disaient ne pas connaître le point de vue de leur médecin référent sur leur pratique (cf. tableau 9).

L'avis de l'entourage était favorable à la pratique pour quinze patients, neutre pour seize et défavorable pour deux (cf. tableau 9).

F) Raisons, bénéfices et risques de la pratique selon les patients

Selon les patients, les raisons de la poursuite d'activités sportives aquatiques après le diagnostic de maladie rénale étaient, le bien être ressenti avec la pratique de ces activités, le maintien et/ou l'amélioration de leur capacités physiques, la passion, l'antalgie procurée ou dans le cadre de leur activité professionnelle (cf. tableau 10).

Les bénéfices apportés par ces activités étaient, selon les patients, avant tout physiques avec notamment le maintien et ou l'amélioration de leurs capacités physiques (développement de la masse musculaire, amélioration de la dyspnée, souplesse, contrôle du poids) mais aussi antalgiques (diminution des arthralgies) et un transit amélioré. Plusieurs personnes rapportaient une meilleure tolérance de l'activité physique dans l'eau que sur terre.

Les autres bénéfices rapportés étaient psychologiques (bien être ressenti par la pratique de l'activité, assouvissement d'une passion, sensation d'équilibre, dépassement de soi, meilleure estime de soi, oubli temporaire du statut de malade et finalement acceptation plus facile de la maladie) et sociaux (survenue de rencontres, intégration dans un groupe, partage d'une activité ou d'une passion commune) (cf. tableau 10).

Les risques de la pratique d'activités aquatiques étaient selon les patients les problèmes de voie d'abord, les infections, l'asthénie, un malaise, des crampes, la rupture de kyste rénal, la décompensation d'une pathologie cardiaque associée et l'œdème pulmonaire d'immersion. Selon trois patients (déclarant pratiquer uniquement la natation) il n'y avait aucun risque à la pratique d'activités aquatiques. Par ailleurs, trois patients disaient ne pas connaître les risques de cette pratique et quatre n'ont pas souhaité répondre à cette question (cf. tableau 10).

G) Profils

Dans la population de notre étude les profils des patients étaient variés mais deux profils principaux avaient été identifiés : un premier profil était représenté par des patients jeunes ou d'âge moyen ayant eu un diagnostic de maladie rénale survenu précocément dans leur vie, indemnes de pathologies cardio-vasculaires associées et qui pratiquent plus ou moins intensivement des sports aquatiques et subaquatiques. Un second profil était celui de patients plus âgés, ayant une insuffisance rénale chronique ancienne et des comorbidités cardio-vasculaires associées et qui pratiquent le sport de façon occasionnelle.

H) Exemples de cas

Les cas de ces trois personnes illustrent la diversité des profils des patients insuffisants rénaux chroniques qui pratiquent des activités sportives aquatiques et subaquatiques.

- 1- Cette patiente âgée de vingt-sept ans avait une insuffisance rénale modérée (DFG 49 ml/min) (après greffe rénale). Le diagnostic d'insuffisance rénale avait été fait à l'âge de dix-huit ans avec découverte d'hyperoxalurie primitive de type un, et la malade avait été dialysée de vingt-trois à vingt-six ans puis greffée rénale à vingt-six ans. Elle était actuellement sous immunosuppresseur. Avant son diagnostic de maladie rénale elle pratiquait régulièrement la natation, la voile, le surf et le kayak. Il n'était pas mis en évidence de pathologie cardio-vasculaire ni respiratoire associée. La patiente avait poursuivi ses activités sportives après le diagnostic de sa maladie, avec un arrêt pendant trois mois après la greffe. Elle avait également effectué un baptême de plongée avec équipement respiratoire après accord de sa néphrologue alors qu'elle avait à cette période une suppléance de sa fonction rénale par dialyse. Le seul événement survenu lors de la pratique d'activités sportives aquatiques était une dyspnée d'effort en natation mais elle était décrite comme similaire avant le diagnostic de maladie rénale. Les bénéfices ressentis de sa pratique étaient physiques et psychologiques.
- 2- Ce patient âgé de soixante-deux ans avait une insuffisance rénale terminale avec une diurèse résiduelle de deux cent millilitres par jour. Il était dialysé depuis l'âge de soixante ans (hémodialyse, porteur d'une fistule artério-veineuse). Par ailleurs il avait également plusieurs comorbidités : cardiopathie ischémique stentée avec insuffisance cardiaque et antécédent d'œdème aigu pulmonaire ; hypertension, dyslipidémie, diabète non insulino-dépendant. Il était pratiquant de voile et de kite-surf. Il précisait porter une combinaison lors de sa pratique. Sa pratique avait changé avec la survenue de la maladie rénale avec une diminution de la fréquence, de la durée et de l'intensité de ses entraînements mais également un choix de conditions météorologiques plus clémentes. Les bénéfices ressentis de la poursuite de sa pratique depuis la survenue de sa maladie rénale étaient le maintien de sa condition physique et le plaisir de pouvoir pratiquer sa passion.
- 3- Ce patient âgé de cinquante-neuf ans avait une insuffisance rénale terminale (DFG estimé à 13 ml/min/1,73 m²) avec une diurèse résiduelle d'un à un litre et demi par jour. Il n'avait encore jamais été dialysé et était en attente de pose de fistule artério-veineuse prévue dans un délai court. Il avait par ailleurs une comorbidité : de l'hypertension artérielle (sous bithérapie antihypertensive). Il était pratiquant de plongée avec équipement respiratoire et de natation. En plongée, il déclarait être

détenteur du niveau trois et préparer le niveau quatre. Ses plongées étaient au nombre de trente par an et étaient réalisées sur les côtes de France métropolitaine ou dans des eaux chaudes avec port d'une combinaison semi-étanche de trois à sept millimètres. Les profils de ses plongées étaient variables mais il s'agissait toujours de plongées à l'air comprimé pendant quinze à soixante minutes et avec une profondeur maximale de soixante mètres. En natation, il déclarait nager environ deux fois par semaine en piscine durant deux heures soit une distance de l'ordre de cinq kilomètres. Il déclarait qu'aucun évènement n'était survenu lors de la pratique de ses activités aquatiques et subaquatiques.

Caractéristiques des patients (N=33)	
Age moyen (min-max)	55 ans (27 – 76)
Sexe :	
-Femme	15
-Homme	18
Poids moyen (min-max)	70,7 kg (49-101,6)
Taille moyenne (min-max)	1,71 m (1,45-1,87)
IMC moyen	24
Estimation du stade actuel de la maladie rénale chronique selon le DFG (ml/min/1,73 m ²) :	
-insuffisance rénale légère (60-89)	5
-insuffisance rénale modérée (30-59)	9
-insuffisance rénale sévère (15-29)	4
-insuffisance rénale terminale (<15)	13
-inconnue	2
Diurèse résiduelle	30 à 4000 ml
<u>Dialyse</u> (actuelle et/ou passée)	22/33
Mode :	
-Hémodialyse	11
-Dialyse péritonéale	6
-Hémodialyse et dialyse péritonéale	5
Voie d'accès :	
-Fistule artérioveineuse	18
-Greffe artérioveineuse	5
-Cathéter de dialyse (hémodialyse)	9
-Cathéter de dialyse (péritonéal)	10
Greffe rénale	19/33 (dont 15/19 individus ayant également été dialysés)

Tableau 2.

Caractéristiques des patients (N=33)	
Comorbidités :	
-Cardiaques	7
* Coronaropathie	5
* Œdème aigu pulmonaire	4
-Respiratoires	4
*BPCO	1
*Apnée du sommeil	1
*Pneumopathie interstitielle	1
*Embolie pulmonaire	1
-Endocrinologiques	4
*Diabète type 2 (dont insulino-requérance)	4 (2)
-Neurologiques	3
*AVC	2
*Neuropathie périphérique	1

Tableau 2 bis.

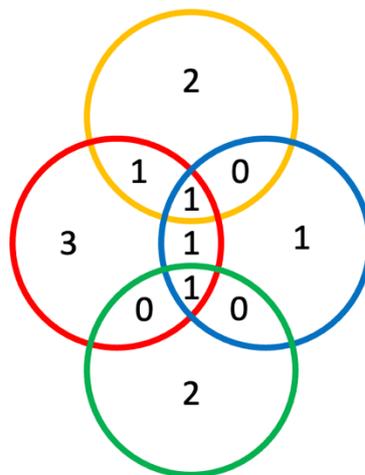


Figure 2. Schéma illustrant la répartition des comorbidités des patients

Pratique d'activités sportives aquatiques depuis la découverte de la maladie rénale	
<u>Sports aquatiques pratiqués :</u>	32/33
-Plongée avec équipement respiratoire/en scaphandre autonome	7
-Plongée en apnée /chasse sous-marine	5
-Natation / Nage avec palmes	23
-Voile	8
-Surf / Bodyboard	6
-Canoë / Kayak / Paddle	5
- Marche aquatique (Longe-côte)	4
- Aquagym	4
<u>Sports non aquatiques pratiqués :</u>	27/33
-Vélo	12
-Marche	11
-Course à pied	10
-Yoga	5
-Autres sports	15
<u>Port de combinaison :</u>	19/32
-Type	
*Shorty	5
*Intégrale néoprène	15
*Semi-étanche	4
*Étanche	0
-Épaisseur en mm	
* 3	10
* 5	7
* 7	6

Tableau 3.

Conditions de la pratique d'activités sportives aquatiques depuis la découverte de la maladie rénale – partie 1	
<u>Plongée avec équipement respiratoire</u>	
*Lieux	
Uniquement ou majoritairement eaux chaudes	3
Uniquement ou majoritairement Côtes de France (métropole)	1
Les deux	2
Pas de réponse	1
*Fréquence (/année)	
< 5	2
5 à 10	1
10 à 30	2
> 30	1
Pas de réponse	1
*Durée	
< 30 min	1
30 min à 1h	6
> 1h	0
*Profondeur moyenne maximale lors d'une sortie	
< 10m	2
20m	1
30m	2
40m	1
60m	1
<u>Plongée en apnée et/ou chasse sous-marine</u>	
*Lieux	
Piscine uniquement	0
Milieu naturel uniquement (mer ou carrière)	4
Piscine et milieu naturel (mer ou carrière)	1
*Fréquence	
Quelques fois dans l'année	5
*Durée moyenne des sorties en milieu naturel	
<30 min	1
30 min à 1h	1
1h à 1h30	2
> 1h30	1
*Profondeur moyenne maximale lors d'une sortie	
< = 5m	3
10m	1
15m	1

Tableau 4.

Conditions de la pratique d'activités sportives aquatiques depuis la découverte de la maladie rénale – partie 2	
<u>Natation et/ou nage avec palme</u>	
*Lieux	
Piscine	7
Milieu naturel (mer/lac/rivière)	5
Les deux	10
Pas de réponse	1
*Fréquence	
Quelques fois dans l'année	8
Une à deux fois par mois	1
Une à deux fois par semaine	13
Pas de réponse	1
*Durée	
< 30 min	3
30 min à 1h	15
> 1h	2
Pas de réponse	3
*Distance	
< 1 km	4
1 à 1,5 km	7
> 1,5 km	6
Pas de réponse	6
<u>Voile / surf / bodyboard / canoë / kayak / paddle</u>	
*Lieux	
Uniquement ou majoritairement dans les eaux chaudes	2
Uniquement ou majoritairement sur les côtes de France (métropole)	7
Eaux chaudes et côtes de France métropolitaine	1
*Fréquence	
Quelques fois dans l'année	5
Une à deux fois par mois	2
Une à deux fois par semaine	1
Plus de 3 fois par semaine	2
*Durée	
1 à 2h	6
>2h	2
Pas de réponse	2

Tableau 5.

Conditions de la pratique d'activités sportives aquatiques depuis la découverte de la maladie rénale – partie 3	
<u>Marche aquatique</u>	
*Lieux	
Uniquement ou majoritairement sur les côtes de France (métropole)	3
Pas de réponse	1
*Fréquence	
Quelques fois dans l'année	1
Une à deux fois par semaine	1
Pas de réponse	2
*Durée	
45 min	1
60 min	1
Pas de réponse	2
*Profondeur d'immersion	
Genoux	1
Poitrine	1
Cou	1
Pas de réponse	1
<u>Aquagym</u>	
*Fréquence	
Une à deux fois par mois	2
Pas de réponse	2
*Durée	
30 min	1
45min	1
60min	1
Pas de réponse	1
*Profondeur d'immersion	
Bassin	1
Poitrine	2
Cou	1

Tableau 6.

Évolution de la pratique sportive aquatique	
Pratique différente avant sa survenue	25/32 ¹
Modifiée lors du diagnostic	15/25
Modifiée avec son évolution	21/26 ²
Modifiée suite au début de la dialyse	16/22
Modifiée suite à la greffe rénale	12/19
Raisons d'arrêt (actuel ou passé) de la pratique :	
-asthénie	6
-infection	1
-douleur	1
-cathéter	3
-fistule artérioveineuse	3
-début dialyse	1 (arrêt plongée bouteille)
-post-greffe rénal	1
Orientation (temporaire ou définitive) vers d'autres activités physiques :	11
-Course à pied	2
-Marche	3
-Vélo	4
-Autres sports	5

Tableau 7.

¹ Trente-deux personnes compatibilisées et non trente-trois car une personne avait eu le diagnostic de maladie rénale dans la petite enfance donc avant de pratiquer du sport.

² Vingt-six personnes compatibilisées et non vingt-cinq pour la raison citée ci-dessus.

Problèmes rencontrés durant la pratique d'activités sportives aquatiques	
Problèmes de voie d'abord (fistule artérioveineuse, greffe artério-veineuse, cathéter de dialyse)	1/22
Malaise	0/32
Dyspnée d'effort	9/32
Autres évènements :	6/31
-Déshydratation	1
-Œdème pulmonaire	0
-Infection	1 (péritonite)
-Traumatisme	0
-Autres	4 (crampes: 3 ; phénomène de Raynaud: 1)
Hospitalisation au décours	1
Médecin informé :	9/15
-Néphrologue	8
-Médecin traitant	1
-Autre médecin	0
-Aucun	6
Modification de pratique au décours	2/32

Tableau 8.

Avis des médecins et de l'entourage sur la pratique des sports aquatiques	
<u>Avis des médecins selon leurs patients :</u>	
-Favorable	13
-Neutre	4
-Défavorable	4
-Patient ne sait pas	12
<u>Avis de l'entourage du patient :</u>	
-Favorable	15
-Neutre	16
-Défavorable	2

Tableau 9.

Raisons, bénéfices et risques de la poursuite d'activités aquatiques depuis le diagnostic de maladie rénale selon les patients	
<u>Raisons selon les patients :</u>	
-maintien et/ou amélioration capacités physiques	10
-bien être ressenti	12
-antalgique	3
-passion	6
-métier	2
<u>Bénéfices selon les patients :</u>	
-physique	
*maintien et/ou amélioration capacités physiques	22 (masse musculaire 5, dyspnée 5, poids 1)
*antalgique	3
*transit	1
-psychologique	15
-social	2
<u>Risques selon les patients :</u>	
-problèmes de voies d'abord	5
-infections	3
-asthénie	4
-malaise	2
-crampe	1
-rupture kyste rénal	1
-décompensation pathologie cardiaque associée	1
-œdème pulmonaire d'immersion	1
-aucun	3
-non connu	3
-pas de réponses	4

Tableau 10.

IV. DISCUSSION

A) Risques de la pratique

1- Identification par le questionnaire

Les risques de la pratique identifiés par le questionnaire étaient multiples mais seul un évènement grave (sans décès) a été identifié.

Le risque objectif identifié était le problème de voie d'abord avec risque d'infection. En effet, dans notre étude un patient avait présenté une ouverture de la poche contenant son cathéter de dialyse péritonéale alors qu'il s'était baigné en mer avec survenue au décours d'une infection intra-abdominale avec péritonite.

Les risques subjectifs identifiés étaient la dyspnée d'effort, la déshydratation (considérée comme subjective car non confirmée par une évaluation médicale chez ce patient), les crampes.

Il n'était pas survenu d'œdème pulmonaire d'immersion ni de malaise parmi l'ensemble des participants de notre étude.

Certains patients ne connaissaient pas les risques de la pratique d'où la nécessité de développer l'information et la prévention lors des consultations médicales notamment.

2- Risques réels

Les risques de la pratique sportive aquatique et subaquatique chez les patients insuffisants rénaux chroniques comprennent d'une part tous les risques liés à cette pratique connus chez les patients indemnes de pathologies rénales et d'autre part tous les risques spécifiques additionnés.

Les risques de la pratique non spécifiques aux insuffisants rénaux sont notamment cardio-vasculaires avec l'œdème pulmonaire d'immersion, les troubles du rythme cardiaque et l'ischémie myocardique.

Les risques de la pratique spécifiques aux insuffisants rénaux sont peu connus et mal documentés.

Les risques pouvant être considérés comme réels lors de la pratique de sports aquatiques et subaquatiques chez les patients insuffisants rénaux chroniques sont d'ordre cardio-vasculaires et respiratoires, hydro-électrolytiques et liés à la voie d'abord.

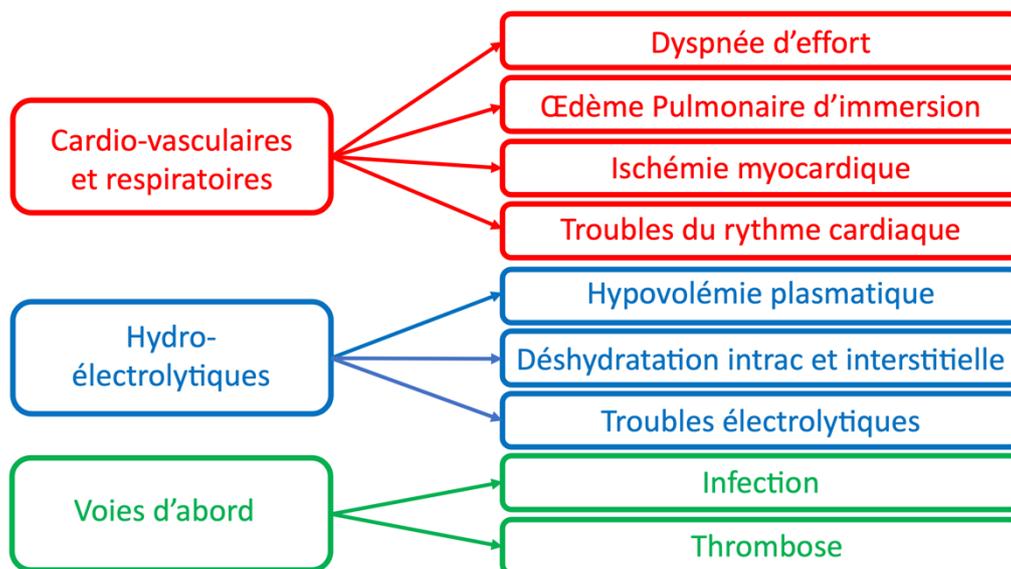


Figure 3. Risques réels

Les risques réels d'ordre cardio-vasculaires et respiratoires sont :

- Dyspnée d'effort d'origine plurifactorielle. Elle peut notamment être liée à la maladie rénale du patient, à ses complications (anémie), à des comorbidités associées (insuffisance cardiaque, maladie intercurrente notamment épisode infectieux) mais aussi aux complications des traitements. De plus l'augmentation du travail cardiaque est supérieure en immersion comparativement aux activités terrestres. Le matériel utilisé peut également contribuer à la dyspnée d'effort car l'usage d'une combinaison restreint l'ampliation thoracique et l'usage d'un tuba augmente l'espace mort ce qui engendre la nécessaire augmentation du travail inspiratoire. Par ailleurs la dyspnée d'effort peut être le symptôme d'un œdème pulmonaire d'immersion.
- Oedème pulmonaire d'immersion pouvant vraisemblablement (pas de cas prouvé à ce jour) être favorisé chez les sujets insuffisants rénaux par une augmentation de volume plasmatique plus importante que chez le sujet sain en conséquence d'une diurèse d'immersion (réactionnelle à l'hypervolémie relative) plus ou moins diminuée selon la sévérité de la maladie rénale. De plus il s'y additionne chez les patients dialysés une surcharge volémique avant la séance. L'insuffisance rénale n'a cependant pas été identifiée à ce jour dans la littérature comme facteur de risque d'œdème pulmonaire d'immersion. Les comorbidités cardio-vasculaires associées augmenteraient également ce risque.
- Ischémie myocardique favorisée par une augmentation du travail cardiaque plus importante en immersion comparativement aux activités terrestres. De plus les patients insuffisants rénaux chroniques sont à haut risque cardiovasculaire (cardiopathie ischémique, accident vasculaire cérébral, artériopathie des membres inférieurs...). En effet les maladies rénales chroniques sont fortement liées aux facteurs de risques cardiovasculaires notamment l'hypertension artérielle et le diabète qui représentent 50% des causes d'insuffisance rénale chronique terminale.

- Troubles du rythme cardiaque favorisés par les modifications cardio-vasculaires en immersion, la double stimulation sympathique et parasympathique et les variations de température.

Les risques réels d'ordre hydro-électrolytiques sont :

- Hypovolémie plasmatique pour une immersion de durée longue (plus de deux à trois heures) ou des immersions successives chez les patients ayant une diurèse non ou modérément diminuée.
- Déshydratation intracellulaire et interstitielle pour une immersion de durée longue ou des immersions successives.
- Troubles électrolytiques de survenue favorisée par une immersion de durée longue et/ou par la répétition d'immersions successives avec un équilibre pré-immersion n'ayant pas le temps de retrouver son état de base.

Ces trois risques sont présents également à l'émersion. Chez l'insuffisant rénal il y a un risque de défaut de réadaptation en émergence car le rein doit assurer la reconstitution des volumes liquidiens intra et extra cellulaires et la rééquilibration électrolytique. Cette adaptation est plus lente qu'en phase d'immersion et les activités physiques sont limitées devant l'hypovolémie plasmatique persistante pendant plusieurs heures.

Les risques réels liés à la voie d'abord sont :

- Infection par la voie d'abord qui constitue une potentielle porte d'entrée infectieuse. Ce risque est majoré chez les patients ayant un traitement immunosuppresseur donc chez les patients greffés rénaux.
- Thrombose de l'abord vasculaire de dialyse (fistule et greffe artérioveineuse) possiblement favorisée par la compression qu'impose un vêtement élastique.

Lors de la conception de notre étude une fréquence importante de survenue de dyspnée était attendue, notamment en lien avec la probabilité de survenue d'un œdème pulmonaire d'immersion et possiblement associée à une dysfonction cardiaque. Finalement, les résultats de notre étude mettent en évidence une fréquence modérée de la dyspnée d'effort (rapportée par neuf des trente-deux patients) et aucune survenue d'œdème pulmonaire d'immersion.

B) Bénéfices de la pratique

1- Identification par le questionnaire

Les bénéfices de la pratique étaient d'ordres physiques, psychologiques et sociaux. Les bénéfices physiques étaient notamment le maintien et ou l'amélioration des capacités physiques avec le développement de la masse musculaire, de l'endurance (amélioration de la dyspnée), de la souplesse et le contrôle du poids. Des bénéfices physiques sur l'antalgie (diminution des athralgies notamment) et la favorisation du transit ont été également identifiés. Par ailleurs plusieurs personnes décrivaient une meilleure tolérance de l'activité physique dans l'eau que sur terre.

Les bénéfices psychologiques étaient un bien être ressenti par la pratique de l'activité,

l'assouvissement d'une passion, la sensation d'équilibre, le dépassement de soi, la meilleure estime de soi, l'oubli temporaire du statut de malade et finalement une acceptation plus facile de la maladie.

Les bénéfices sociaux étaient la survenue de rencontres, l'intégration dans un groupe (amical, association de patients, association sportive), le partage d'une activité ou d'une passion commune.

2- Identification par la littérature

À l'échelle mondiale la sédentarité est le quatrième facteur de risque de mortalité (132). Dans la population générale l'exercice physique régulier diminue le risque de décès (quelqu'en soit la cause), les maladies coronariennes, les accidents vasculaires cérébraux, l'hypertension artérielle, le diabète type 2, le syndrome métabolique, l'ostéoporose, les cancers du colon et du sein, et la dépression (132-141).

Chez les adultes souffrant de néphropathie chronique l'exercice physique régulier améliore significativement la forme physique, le fonctionnement physique et la qualité de vie en rapport avec la santé. Ces résultats sont valables autant pour les patients ne nécessitant pas encore de dialyse que pour les patients dialysés et les patients transplantés rénaux (128). Plus spécifiquement chez les patients insuffisants rénaux chroniques dialysés l'entraînement physique améliore probablement la capacité fonctionnelle à effectuer des activités et tâches de la vie quotidienne (amélioration de la capacité à marcher, de la force et de l'endurance), améliore probablement les symptômes dépressifs (particulièrement lorsque l'entraînement dure plus de quatre mois) et pourrait améliorer la fatigue, la douleur et la composante physique de la qualité de vie (129).

Chez les patients insuffisants rénaux sévères et terminaux l'immersion permet dans une certaine mesure de rétablir une diurèse qui diminue l'hypervolémie (hypervolémie par absorption plasmatique d'eau du troisième secteur). Ainsi, la diurèse limite la congestion de la circulation pulmonaire (118,120).

Les bénéfices de l'exercice physique en milieu aquatique chez les patients insuffisants rénaux chroniques hémodialysés sont une augmentation significative des paramètres physiques individuels et de la qualité de vie (composantes physique et mentale) (130).

En plus de l'effet bénéfique de l'activité physique en elle-même, on peut supposer un effet bénéfique propre à l'immersion.

C) Limites et validité de l'étude

La limite principale de notre étude était la faible taille de notre échantillon de population. Cependant il était prévisible d'obtenir une faible taille d'échantillon car une grande proportion des individus de la population étudiée s'entend contre-indiquer la pratique des sports aquatiques et subaquatiques.

Dans le monde environ 850 millions de personnes sont atteintes de maladie rénale chronique (149,150). En France, environ 5,7 millions de personnes sont atteintes de maladie rénale chronique dont environ 3 millions aux stades 3 à 5 d'insuffisance rénale chronique (113).

Parmi ces 3 millions de personnes environ 90 000 sont au stade terminal (stade 5) dont environ 50 000 patients dialysés et 40 000 patients greffés (114).

Notre étude comporte un biais de sélection car parmi les 33 patients inclus une majorité étaient au stade 5 de la maladie rénale chronique (15 patients ayant eu une greffe rénale et une

dialyse, 4 patients une greffe rénale sans jamais de dialyse, et 7 patients uniquement une dialyse). La population des insuffisants rénaux chroniques stade modéré à sévère (stade 3 et 4) est donc peu représentée en regard de sa prévalence réelle. De plus les personnes ayant répondu au questionnaire étaient majoritairement des personnes sportives et non des personnes sédentaires. La proportion importante de patients insuffisants rénaux chroniques terminaux et sportifs dans cette étude peut s'expliquer par un accès au questionnaire facilité dans cette population du fait de leur suivi médical régulier et de leur implication dans des fédérations sportives, de même que dans des associations de patients. De plus ces patients se sentent probablement plus concernés par la problématique étudiée. Ainsi cette étude a une validité externe moyenne car la population de l'étude n'est pas représentative de toute la population cible des patients insuffisants rénaux chroniques.

D) Propositions pour la pratique d'activités aquatiques selon le concept de Sport-Santé

Au regard des données de la littérature et des résultats de cette étude il est nécessaire que la pratique des sports aquatiques et subaquatiques par les insuffisants rénaux chroniques soit guidée par des précautions complémentaires comparativement à la population générale étant donné les risques spécifiques éventuels auxquels cette population est exposée.

Ainsi, l'autorisation, ou à l'inverse la contre-indication, de la pratique selon les recommandations actuelles des sociétés savantes et des fédérations sportives pourraient voir leurs limites modifier. En effet, cette décision ne peut pas être fondée sur la seule prise en compte du degré d'insuffisance rénale, mais elle doit aussi intégrer un ensemble de paramètres physiques et psychologiques propres à l'individu. De même les spécificités et les modalités de la pratique ainsi que l'environnement doivent être pris en considération.

Ceci d'autant plus que la pratique de sports aquatiques et subaquatiques comporte de réels bénéfices pour la santé au sens global de l'OMS (131).

1- Pour les médecins

Plusieurs spécialités médicales prennent en soin des patients insuffisants rénaux chroniques pratiquants de sports aquatiques et subaquatiques. Les médecins concernés sont notamment les médecins néphrologues, les médecins généralistes, les médecins urgentistes et les médecins du sport. Les circonstances de la consultation peuvent être diverses allant du suivi à la survenue d'évènements graves nécessitant un diagnostic et une prise en soins urgente.

Afin d'accompagner au mieux les patients dans leur pratique sportive il importe de connaître les effets de l'immersion, d'évaluer l'aptitude fonctionnelle du patient et d'identifier le type, la fréquence, l'intensité et les conditions de la pratique.

En consultation il est nécessaire dans un premier temps de poser la question de la pratique sportive au patient. Dans notre étude, il était mis en évidence une hétérogénéité de rapport médecin-patient concernant la question de la pratique sportive. En effet, 40 % des patients déclaraient ne pas avoir informé leur médecin après la survenue d'un évènement associé à leur pratique sportive aquatique, 36 % des individus déclaraient ne pas connaître l'avis de leur médecin concernant leur pratique sportive aquatique et plusieurs médecins semblaient ne pas avoir d'avis sur cette pratique. Les raisons pouvant expliquer ces résultats sont possiblement un manque de temps en consultation pour aborder correctement cette question de la pratique sportive aquatique et un défaut de connaissance sur le sujet.

En effet, l'accompagnement d'un patient insuffisant rénal chronique dans sa pratique sportive nécessite du temps pour aborder l'ensemble des problématiques. Le temps de consultation dont dispose le médecin référent est majoritairement consacré à la prise en soins de l'individu

avec la réalisation d'un interrogatoire, d'un examen clinique, l'adaptation du traitement, la programmation d'examen complémentaires ou d'interventions ; et donc le temps peut fréquemment manquer pour aborder le sujet de la pratique sportive.

Dans un second temps il faut évaluer l'aptitude du patient à la pratique. Cela nécessite une prise en compte de la sévérité de la maladie rénale mais également des comorbidités associées. En effet les aptitudes cardio-vasculaire, respiratoire, neurologique, métabolique et psychologique jouent un rôle prépondérant dans le bon déroulement des activités physiques aquatiques.

L'évaluation de la maladie rénale doit comporter l'évaluation de sa sévérité, son évolutivité, sa tolérance, les méthodes de suppléances utilisées et leur modalité, les complications associées mais également les connaissances du patient vis-à-vis de sa pathologie, son autonomie dans la gestion de sa maladie, son observance, son aptitude à faire appel à des référents médicaux en cas de difficultés et le soutien disponible dans son environnement. Par ailleurs, chez les pratiquants de sports aquatiques qui ne sont pas déjà insuffisants rénaux chroniques, il y aurait certainement un bénéfice à évaluer précocément la fonction rénale afin d'adapter plus aisément ultérieurement les pratiques selon l'évolution de la fonction rénale. Sur le plan cardio-vasculaires il faut rechercher une cardiopathie ischémique, rythmique, valvulaire ou hypertensive. La survenue d'œdème aigu pulmonaire est un élément important à identifier. Sur le plan respiratoire il faut rechercher une maladie pulmonaire chronique dont notamment l'asthme et la broncho-pneumopathie chronique obstructive. Sur le plan neurologique il faut identifier des antécédents d'accidents vasculaires cérébraux, de maladie dégénérative, de troubles de l'équilibre, de l'audition. Sur le plan métabolique il faut rechercher un diabète. Sur le plan psychologique il faut rechercher d'éventuelles névroses ou psychoses pouvant compromettre la sécurité des activités pratiquées.

Enfin il faut évaluer la pratique souhaitée de façon exhaustive. Ainsi il faut rechercher le type de la pratique, sa fréquence, son intensité, le matériel utilisé (port de combinaison, équipement respiratoire) mais également les conditions environnementales de la pratique (température de l'eau, conditions météorologiques). Pour la plongée avec équipement respiratoire et la plongée en apnée il faut questionner le patient sur son niveau et la profondeur de pratique.

Les situations à risques doivent être identifiés et rappelées au patient : température de l'eau froide, port de combinaison, effort intense, immersions successives, immersions à distance de la précédente séance de dialyse, pathologies intercurrentes.

Avec l'ensemble de ces éléments le médecin référent obtient une vision globale du patient associant sa maladie, ses comorbidités et sa pratique sportive. Cela permet d'envisager une pratique sportive aquatique et subaquatique adaptée à chaque patient insuffisant rénal chronique avec connaissance des risques spécifiques encourus ce qui facilite également leur prévention et augmentera le rapport bénéfices-risques de ces activités.

Le médecin du sport semble légitime, du fait de sa connaissance de la problématique sportive, pour être le médecin référent de l'organisation et du suivi de cette pratique sportive.

La réalisation d'une consultation de Sport-Santé dédiée à la question de la pratique sportive aquatique faciliterait l'obtention d'une vision globale du patient. En effet, cela permettrait de faire un état des lieux de la maladie rénale et du projet du patient puis de l'informer et de l'accompagner pour une bonne gestion des risques généraux et spécifiques de sa pratique.

Afin de mener à bien ce projet individualisé, une coopération articulée autour du patient avec le médecin spécialiste néphrologue et le médecin généraliste est indispensable. En particulier,

le médecin du sport doit prendre connaissance des spécificités de la maladie du patient auprès du médecin spécialiste néphrologue.

L'objectif de la pratique Sport-Santé chez les patients insuffisants rénaux chroniques doit être de contribuer à la santé et au bien-être du pratiquant dans ses dimensions physique, psychologique et social. Cette pratique doit être régulière, adaptée, sécurisée et progressive afin de contribuer à une meilleure qualité de vie et prévenir l'aggravation de la maladie chronique.

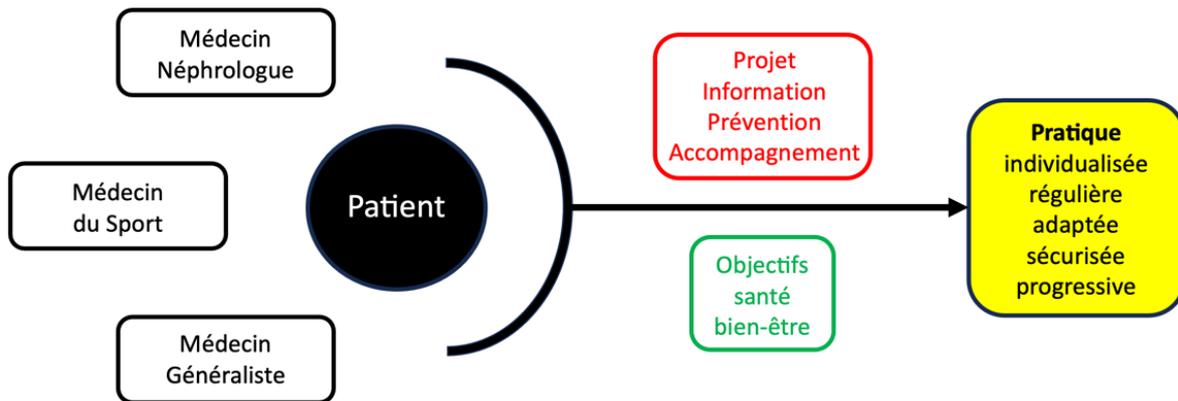


Figure 4. Propositions pour la pratique d'activités aquatiques selon le concept de Sport-Santé

2- Pour les patients

La pratique de sports aquatiques et subaquatiques chez les patients insuffisants rénaux est possible mais sous certaines conditions.

Voici une proposition de fiche pratique de recommandations à destination des patients :

FICHE PRATIQUANT

INSUFFISANCE RENALE CHRONIQUE ET SPORTS AQUATIQUES

AVANT

- J'ai un suivi médical régulier de ma maladie rénale (et des éventuelles autres maladies)
- Je parle à mon médecin (néphrologue, médecin du sport, médecin traitant) de ma pratique sportive aquatique.
 - Je discute avec lui des risques, des précautions et des adaptations nécessaires
- Je trouve du matériel adapté et confortable (pas de combinaison serrée)
- J'informe les personnes avec qui je pratique de ma maladie rénale
- Je m'hydrate correctement (ni trop ni trop peu)
- Je m'informe des possibilités de joindre les secours en cas de besoin (notamment en extérieur et/ou à l'étranger)
- Si** mon activité a lieu en extérieur je prends connaissance des conditions météo
- Si** je suis porteur d'une fistule artério-veineuse ou d'un cathéter de dialyse je le protège suivant les recommandations de mes référents médicaux
- Δ Si** j'ai de la fièvre ou une douleur dans la poitrine ou un essoufflement inhabituel j'annule ma séance de sport et je consulte rapidement mon médecin

PENDANT

- Je ne pratique jamais seul mais en duo ou en groupe ou sous supervision d'un surveillant
- J'adapte l'intensité de mon effort aux préconisations de mon médecin
- Je ne dépasse pas mes prérogatives de profondeur en plongée
- Je suis attentif à la survenue d'une gêne dont notamment un essoufflement inhabituel, des vertiges, une douleur thoracique ou de fistule ou de cathéter.
- Δ Si** cela survient j'arrête mon activité, je préviens les personnes m'accompagnant et j'appelle le 15.

APRÈS

- Je reste attentif à la survenue d'une gêne
- Je m'hydrate correctement (ni trop ni trop peu)
- Je poursuis un suivi médical régulier
 - et si la maladie évolue je discute avec mon médecin d'une adaptation de mon activité
- Δ Si** un évènement est survenu pendant ou après la pratique j'en parle rapidement à mon médecin

E) Perspectives de recherche

Des études ultérieures pour mieux comprendre les effets de l'immersion chez les patients insuffisants rénaux chroniques seraient utiles. Voici une proposition de sujets d'études :

-Étude observationnelle prospective évaluant les effets de l'immersion chez des patients insuffisants rénaux chroniques (stade 2 à 5) avec comparaison de l'incidence des événements défavorables selon le stade de la maladie rénale, la diurèse résiduelle et l'éventuelle méthode de suppléance. Cette étude permettrait de préciser la survenue des événements défavorables en immersion encore mal documentés à ce jour.

-Étude évaluant la survenue d'œdème pulmonaire d'immersion à minima chez des patients insuffisants rénaux chroniques (stade 2 à 5) avec comparaison par groupe selon le stade de la maladie rénale, la diurèse résiduelle et l'éventuelle méthode de suppléance. La survenue d'œdème pulmonaire d'immersion à minima est en effet probable étant donné la fréquence rapportée de dyspnée d'effort dans notre étude. L'évaluation de la survenue d'un œdème pulmonaire pourrait être réalisée au moyen d'une échographie pleuro-pulmonaire à la recherche de signes congestifs immédiatement après émergence.

-Étude évaluant la survenue de troubles hydro-électrolytiques au décours d'immersion chez des patients insuffisants rénaux chroniques avec comparaison selon le stade de la maladie rénale, la diurèse résiduelle et l'éventuelle méthode de suppléance. Une évaluation des troubles hydro-électrolytiques par réalisation d'un bilan biologique avant et après immersion ainsi qu'un contrôle des entrées et sorties avant, pendant et après l'immersion seraient nécessaires.

-Étude évaluant le rôle de la combinaison dans la survenue d'une dyspnée d'effort chez des patients insuffisants rénaux chroniques (stade 2 à 5). Une comparaison de la fréquence et de l'intensité de survenue d'une dyspnée lors du port d'une combinaison à neutralité thermique dans l'air puis dans l'eau avec et sans combinaison permettrait de préciser l'étiologie de la dyspnée d'effort fréquemment rapportée dans notre étude.

-Étude évaluant les effets de l'immersion et de la combinaison sur les fistules artério-veineuses, greffes artério-veineuse et greffon. Des analyses par écho-doppler en laboratoire disposant d'une cuve d'eau permettraient de rechercher des variations de flux et/ou de diamètres dans les vaisseaux de la voie d'abord et du greffon. L'étude par écho-doppler pourrait également permettre de rechercher des thromboses infra-cliniques.

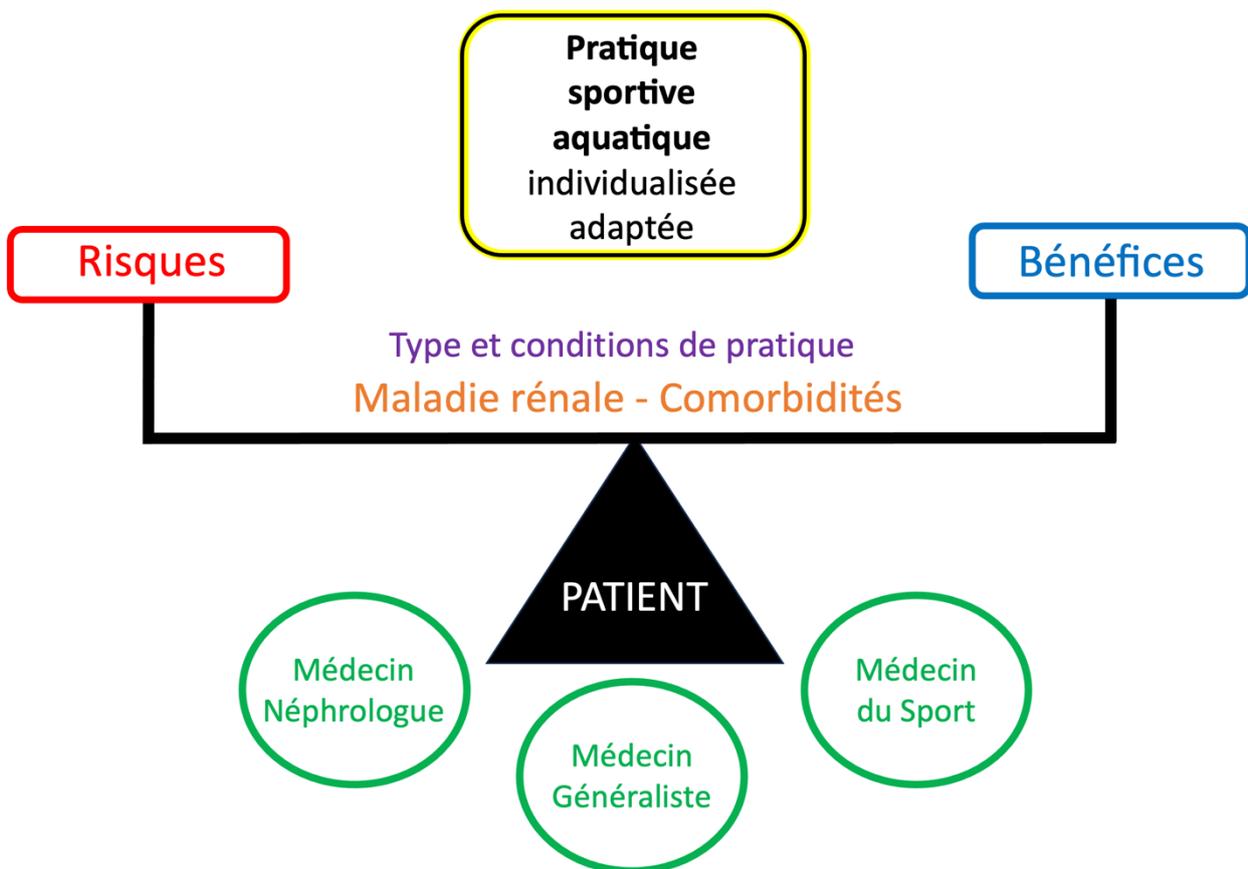
-Étude évaluant l'incidence de l'insuffisance rénale chronique chez les plongeurs en apnée. Il s'agirait d'une étude prospective réalisée sur plusieurs années, menée dans une cohorte d'individus jeunes, pratiquant régulièrement la plongée en apnée et indemnes de pathologie cardio-vasculaires et métaboliques. Des prélèvements biologiques réalisés annuellement avec dosage de la créatinine pourrait accroître les connaissances sur l'éventualité d'une altération de la fonction rénale dans la population des plongeurs en apnée.

CONCLUSION

Dans l'état actuel des connaissances, la pratique de sports aquatiques et subaquatiques par des patients insuffisants rénaux chroniques comporte des risques réels (dyspnée d'effort, déshydratation, troubles électrolytiques, œdème pulmonaire d'immersion, troubles du rythme cardiaque, ischémie myocardique, infection et thrombose de l'abord vasculaire). Ces risques sont vraisemblablement variables en fonction du degré d'insuffisance rénale et des comorbidités éventuellement associées mais aussi selon le type et les conditions de la pratique.

Des études ultérieures permettraient certainement de mieux comprendre les effets de l'immersion chez les patients insuffisants rénaux chroniques et apporteraient d'autres éléments de conseils et d'accompagnement de ces personnes.

Une vision globale de ces différents éléments en concertation entre néphrologue, médecin du sport et patient permettrait d'envisager une pratique sportive adaptée et individualisée, d'autant plus que celle-ci comporte des bénéfices d'ordre physiques, psychologiques et sociaux.



BIBLIOGRAPHIE

1. Koubenec HJ, Risch WD, Gauer OH. Effective compliance of the circulation in the upright sitting posture. *Pflugers Arch.* 18 mai 1978;374(2):121-4.
2. Arborelius M, Ballidin UI, Lilja B, Lundgren CE. Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerosp Med.* juin 1972;43(6):592-8.
3. Greenleaf JE, Morse JT, Barnes PR, Silver J, Keil LC. Hypervolemia and plasma vasopressin response during water immersion in men. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* déc 1983;55(6):1688-93.
4. Harrison MH, Keil LC, Wade CA, Silver JE, Geelen G, Greenleaf JE. Effect of hydration on plasma volume and endocrine responses to water immersion. *J Appl Physiol* (1985). oct 1986;61(4):1410-7.
5. Larsen AS, Johansen LB, Stadeager C, Warberg J, Christensen NJ, Norsk P. Volume-homeostatic mechanisms in humans during graded water immersion. *J Appl Physiol* (1985). déc 1994;77(6):2832-9.
6. Shiraishi M, Schou M, Gybel M, Christensen NJ, Norsk P. Comparison of acute cardiovascular responses to water immersion and head-down tilt in humans. *J Appl Physiol* (1985). janv 2002;92(1):264-8.
7. Lange L, Lange S, Echt M, Gauer OH. Heart volume in relation to body posture and immersion in a thermo-neutral bath. A roentgenometric study. *Pflugers Arch.* 1974;352(3):219-26.
8. Regnard J. Physiologie cardio-vasculaire en plongée. In: *Coeur et plongée.* Ellipses. Paris; 2017. p. 75-111.
9. Mourot L, Bouhaddi M, Gandelin E, Cappelle S, Dumoulin G, Wolf JP, et al. Cardiovascular autonomic control during short-term thermoneutral and cool head-out immersion. *Aviat Space Environ Med.* janv 2008;79(1):14-20.
10. Chouchou F, Pichot V, Garet M, Barthélémy JC, Roche F. Dominance in cardiac parasympathetic activity during real recreational SCUBA diving. *Eur J Appl Physiol.* juin 2009;106(3):345-52.
11. Begin R, Epstein M, Sackner MA, Levinson R, Dougherty R, Duncan D. Effects of water immersion to the neck on pulmonary circulation and tissue volume in man. *J Appl Physiol.* mars 1976;40(3):293-9.
12. Risch WD, Koubenec HJ, Beckmann U, Lange S, Gauer OH. The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. *Pflugers Arch.* 18 mai 1978;374(2):115-8.
13. Risch WD, Koubenec HJ, Gauer OH, Lange S. Time course of cardiac distension with rapid immersion in a thermo-neutral bath. *Pflugers Arch.* 18 mai 1978;374(2):119-20.
14. Wester TE, Cherry AD, Pollock NW, Freiburger JJ, Natoli MJ, Schinazi EA, et al. Effects of head and body cooling on hemodynamics during immersed prone exercise at 1 ATA. *J Appl Physiol* (1985). févr 2009;106(2):691-700.
15. Miki K, Hajduczuk G, Hong SK, Krasney JA. Plasma volume changes during head-out water immersion in conscious dogs. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology.* 1 sept 1986;251(3):R582-90.
16. Johansen LB, Pump B, Warberg J, Christensen NJ, Norsk P. Preventing hemodilution abolishes natriuresis of water immersion in humans. *Am J Physiol.* sept 1998;275(3):R879-888.
17. Castagna O, Blatteau JE, Vallee N, Schmid B, Regnard J. The underestimated compression effect of neoprene wetsuit on divers hydromineral homeostasis. *Int J Sports Med.* déc 2013;34(12):1043-50.
18. Castagna O, Desruelle AV, Blatteau JE, Schmid B, Dumoulin G, Regnard J.

- Alterations in Body Fluid Balance During Fin Swimming in 29 °C Water in a Population of Special Forces Divers. *Int J Sports Med.* déc 2015;36(14):1125-33.
19. Pendergast DR, Moon RE, Krasney JJ, Held HE, Zamparo P. Human Physiology in an Aquatic Environment. *Compr Physiol.* 20 sept 2015;5(4):1705-50.
 20. Gordon CJ, Fogarty AL, Greenleaf JE, Taylor NAS, Stocks JM. Direct and indirect methods for determining plasma volume during thermoneutral and cold-water immersion. *Eur J Appl Physiol.* juin 2003;89(5):471-4.
 21. Johansen LB, Videbaek R, Hammerum M, Norsk P. Underestimation of plasma volume changes in humans by hematocrit/hemoglobin method. *Am J Physiol.* janv 1998;274(1):R126-130.
 22. Khosla SS, DuBois AB. Fluid shifts during initial phase of immersion diuresis in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* avr 1979;46(4):703-8.
 23. Stocks JM, Patterson MJ, Hyde DE, Jenkins AB, Mittleman KD, Taylor N a. S. Effects of immersion water temperature on whole-body fluid distribution in humans. *Acta Physiol Scand.* sept 2004;182(1):3-10.
 24. Sheldahl LM, Tristani FE, Connelly TP, Levandoski SG, Skelton MM, Cowley AW. Fluid-regulating hormones during exercise when central blood volume is increased by water immersion. *Am J Physiol.* mai 1992;262(5 Pt 2):R779-785.
 25. Jimenez C, Regnard J, Robinet C, Mourot L, Gomez-Merino D, Chennaoui M, et al. Whole body immersion and hydromineral homeostasis: effect of water temperature. *Eur J Appl Physiol.* janv 2010;108(1):49-58.
 26. Epstein M. Renal effects of head-out water immersion in humans: a 15-year update. *Physiol Rev.* juill 1992;72(3):563-621.
 27. Norsk P, Bonde-Petersen F, Warberg J. Central venous pressure and plasma arginine vasopressin during water immersion in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1985;54(1):71-8.
 28. Nagashima K, Nose H, Yoshida T, Kawabata T, Oda Y, Yorimoto A, et al. Relationship between atrial natriuretic peptide and plasma volume during graded exercise with water immersion. *J Appl Physiol (1985).* janv 1995;78(1):217-24.
 29. Brechat PH, Wolf JP, Simon-Rigaud ML, Brechat N, Kantelip JP, Berthelay S, et al. Influence of immersion on respiratory requirements during 30-min cycling exercise. *European Respiratory Journal.* 1 avr 1999;13(4):860-6.
 30. Ayme K, Gavarry O, Rossi P, Desruelle AV, Regnard J, Boussuges A. Effect of head-out water immersion on vascular function in healthy subjects. *Appl Physiol Nutr Metab.* avr 2014;39(4):425-31.
 31. Regnard J, Coulange M, Castagna O, Boussuges A, Jimenez C, Mourot L, et al. Kinetics of changes in plasma concentration of cardiac natriuretic peptides according to dive features, Communication at the 39th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society (EUBS). In La Réunion; 2013.
 32. Regnard J, Bouhaddi M, Barrot L, Belon F, Dehecq B, Garnache-Ottou F, et al. Cardiovascular strains assessed from cardiac peptides and markers of endothelial function during 8 to 12h rebreathing cold water dives, Communication à la 40ième réunion annuelle de l'European Underwater and Baromedical Society (EUBS). In Wiesbaden, Allemagne; 2014.
 33. Regnard J, Wolf J, Mourot L, Tordi N, Bouhaddi M. « Mesure de la capacitance vasculaire et de la répartition des volumes sanguins. Régulation hémodynamique systémique » Compte rendu final de l'opération « Immersion de longue durée à neutralité thermique ». Toulon: IRBA-IMNSSA; 2009 p. 160-215. Report No.: 09-05, PEA n° 010809, CO n° 06CO025.
 34. Gempp E, Blatteau JE, Louge P, Drouillard I, Galland FM. N-terminal pro brain natriuretic peptide increases after 1-h scuba dives at 10 m depth. *Aviation, Space, and*

Environmental Medicine. 2005;76(2):114.

35. Davis MJ. Perspective: Physiological Role(s) of the Vascular Myogenic Response. *Microcirculation*. 2012;19(2):99-114.
36. Laughlin MH, Davis MJ, Secher NH, van Lieshout JJ, Arce-Esquivel AA, Simmons GH, et al. Peripheral circulation. *Compr Physiol*. janv 2012;2(1):321-447.
37. Echt M, Lange L, Gauer OH. Changes of peripheral venous tone and central transmural venous pressure during immersion in a thermo-neutral bath. *Pflugers Arch*. 1974;352(3):211-7.
38. Boussuges A. Immersion in thermoneutral water: effects on arterial compliance. *Aviat Space Environ Med*. nov 2006;77(11):1183-7.
39. Balldin UI, Lundgren CE. Effects of immersion with the head above water on tissue nitrogen elimination in man. *Aerosp Med*. oct 1972;43(10):1101-8.
40. Jammes Y, Coulange M, Delliaux S, Jammes C, Gole Y, Boussuges A, et al. Fin Swimming Improves Respiratory Gas Exchange. *Int J Sports Med*. mars 2009;30(3):173-81.
41. Roy C, Regnard J, Barthet M, Peyras R, Le Pechon J, Conso F. La déshydratation obligatoire après la plongée, un facteur méconnu d'accident de décompression. *Société Française de Microcirculation*. 1988;
42. Lacombe Y. Bilan hydrique au décours de plongées autonomes en lac [Thèse de Médecine]. [Faculté de Médecine Paris Ouest]: René Descartes; 1989.
43. Hammerum MS, Bie P, Pump B, Johansen LB, Christensen NJ, Norsk P. Vasopressin, angiotensin II and renal responses during water immersion in hydrated humans. *J Physiol*. 15 août 1998;511 (Pt 1):323-30.
44. Rim H, Yun YM, Lee KM, Kwak JT, Ahn DW, Choi JK, et al. Effect of physical exercise on renal response to head-out water immersion. *Appl Human Sci*. janv 1997;16(1):35-43.
45. Castagna O, Blatteau J, Peny C, Ruby X, Chopart R, Barrot L, et al. Fluid balance during prolonged Scuba dive: effect of hydratation during immersion. *Abstracts of the 40th EUBS Annual Meeting*. Caisson. 2014;28-9.
46. Johansen LB, Foldager N, Stadeager C, Kristensen MS, Bie P, Warberg J, et al. Plasma volume, fluid shifts, and renal responses in humans during 12 h of head-out water immersion. *J Appl Physiol* (1985). août 1992;73(2):539-44.
47. Boussuges A, Gole Y, Mourot L, Jammes Y, Melin B, Regnard J, et al. Haemodynamic changes after prolonged water immersion. *J Sports Sci*. avr 2009;27(6):641-9.
48. Greenleaf JE, Shvartz E, Kravik S, Keil IC. Fluid shifts and endocrine responses during chair rest and water immersion in man. *Journal of Applied Physiology*. 1 janv 1980;48(1):79-88.
49. Mourot L, Wolf JP, Galland F, Robinet C, Courtière A, Bouhaddi M, et al. Short-term vasomotor adjustments to post immersion dehydration are hindered by natriuretic peptides. *Undersea Hyperb Med*. 2004;31(2):203-10.
50. Molénat F, Boussuges A, Grandfond A, Rostain JC, Sainty JM, Robinet C, et al. Haemodynamic effects of hyperbaric hyperoxia in healthy volunteers: an echocardiographic and Doppler study. *Clin Sci (Lond)*. avr 2004;106(4):389-95.
51. Boussuges A, Molenat F, Grandfond A, Regnard J, Wolf JP, Galland F, et al. Cardiovascular changes induced by cold water immersion during hyperbaric hyperoxic exposure. *Clin Physiol Funct Imaging*. sept 2007;27(5):268-74.
52. Boussuges A, Gole Y, Mourot L, Jammes Y, Melin B, Regnard J, et al. Haemodynamic changes after prolonged water immersion. *J Sports Sci*. avr 2009;27(6):641-9.
53. LaForte AJ, Lee LP, Rich GF, Skalak TC, Lee JS. Fluid restitution and shift of blood volume in anesthetized rabbits subject to cyclic hemorrhage. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. janv 1992;262(1):H190-9.

54. LaForte AJ, Lee LP, Rich GF, Skalak TC, Lee JS. Blood volume redistribution from a passive elastic permeable microcirculation due to hypovolemia. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. juin 1994;266(6):H2268-78.
55. Jeanningros O, Lagre F, Pontus N, Grenaux J, Wolf J, Regnard J. Hæmodynamic consequences of dive-induced weight loss and diuresis are greater after the second than after the first dive. *EUBS newsletter*. 1999;7:22.
56. O'Donnell DE, Hong HH, Webb KA. Respiratory sensation during chest wall restriction and dead space loading in exercising men. *Journal of Applied Physiology*. mai 2000;88(5):1859-69.
57. Florian JP, Simmons EE, Chon KH, Faes L, Shykoff BE. Cardiovascular and autonomic responses to physiological stressors before and after six hours of water immersion. *Journal of Applied Physiology*. 1 nov 2013;115(9):1275-89.
58. Janský L, Sránek P, Savlíková J, Uličný B, Janáková H, Horký K. Change in sympathetic activity, cardiovascular functions and plasma hormone concentrations due to cold water immersion in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996;74(1-2):148-52.
59. Mourot L, Cluzeau C, Regnard J. [Physiological assessment of a gaseous cryotherapy device: thermal effects and changes in cardiovascular autonomic control]. *Ann Readapt Med Phys*. mai 2007;50(4):209-17.
60. Pendergast DR, Moon RE, Krasney JJ, Held HE, Zamparo P. Human Physiology in an Aquatic Environment. *Compr Physiol*. 20 sept 2015;5(4):1705-50.
61. Deuster PA, Smith DJ, Smoak BL, Montgomery LC, Singh A, Doubt TJ. Prolonged whole-body cold water immersion: fluid and ion shifts. *J Appl Physiol* (1985). janv 1989;66(1):34-41.
62. Rochelle RD, Horvath SM. Thermoregulation in surfers and nonsurfers immersed in cold water. *Undersea Biomed Res*. déc 1978;5(4):377-90.
63. Šránek P, Uličný B, Janský L, Hošek V, Zeman V, Janáková H. Changes of body fluids and ions in cold-adapted subjects. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*. 1 oct 1993;4(3):195-203.
64. Patel HM, Mast JL, Sinoway LI, Muller MD. Effect of healthy aging on renal vascular responses to local cooling and apnea. *Journal of Applied Physiology*. juill 2013;115(1):90-6.
65. Hope A, Aanderud L, Aakvaag A. Dehydration and body fluid-regulating hormones during sweating in warm (38 degrees C) fresh- and seawater immersion. *J Appl Physiol* (1985). oct 2001;91(4):1529-34.
66. Park YS, Claybaugh JR, Shiraki K, Mohri M. Renal function in hyperbaric environment. *Appl Human Sci*. janv 1998;17(1):1-8.
67. Corriol JH. Effets cardio-vasculaires de la plongée en apnée. In: *La plongée en apnée*. 4ième édition. Paris: Masson; 2006. p. 72.
68. Pendergast D, Zamparo P, di Prampero PE, Capelli C, Cerretelli P, Termin A, et al. Energy balance of human locomotion in water. *Eur J Appl Physiol*. 1 oct 2003;90(3):377-86.
69. Prampero PE di. The Energy Cost of Human Locomotion on Land and in Water*. *Int J Sports Med*. avr 1986;07(2):55-72.
70. Zamparo P, Cortesi M, Gatta G. The energy cost of swimming and its determinants. *Eur J Appl Physiol*. 1 janv 2020;120(1):41-66.
71. Perini R, Milesi S, Biancardi L, Pendergast DR, Veicsteinas A. Heart rate variability in exercising humans: effect of water immersion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. mars 1998;77(4):326-32.
72. Schaefer KE, Allison RD, Dougherty JH, Carey CR, Walker R, Yost F, et al. Pulmonary and circulatory adjustments determining the limits of depths in breathhold diving. *Science*. 29 nov 1968;162(3857):1020-3.
73. Craig AB. Depth limits of breath hold diving (an example of Fennology). *Respir*

Physiol. juin 1968;5(1):14-22.

74. Patrician A, Dujic Ž, Spajic B, Drvis I, Ainslie PN. Breath-Hold Diving – The Physiology of Diving Deep and Returning. *Front Physiol.* 21 mai 2021;12:639377.
75. Lindholm P, Lundgren CE. The physiology and pathophysiology of human breath-hold diving. *Journal of Applied Physiology.* janv 2009;106(1):284-92.
76. Panneton WM, Gan Q. The Mammalian Diving Response: Inroads to Its Neural Control. *Frontiers in Neuroscience* [Internet]. 2020 [cité 19 sept 2023];14. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2020.00524>
77. Lindholm P, Lundgren CE. The physiology and pathophysiology of human breath-hold diving. *Journal of Applied Physiology.* janv 2009;106(1):284-92.
78. Konishi M, Kawano H, Xiang M, Kim HK, Ando K, Tabata H, et al. Diurnal variation in the diving bradycardia response in young men. *Clin Auton Res.* 1 avr 2016;26(2):135-40.
79. Fagius J, Sundlöf G. The diving response in man: effects on sympathetic activity in muscle and skin nerve fascicles. *The Journal of Physiology.* 1986;377(1):429-43.
80. Heusser K, Dzamonja G, Tank J, Palada I, Valic Z, Bakovic D, et al. Cardiovascular Regulation During Apnea in Elite Divers. *Hypertension.* avr 2009;53(4):719-24.
81. Kyhl K, Drvis I, Barak O, Mijacika T, Engström T, Secher NH, et al. Organ perfusion during voluntary pulmonary hyperinflation; a magnetic resonance imaging study. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology.* févr 2016;310(3):H444-51.
82. Schagatay E, Andersson JPA, Hallén M, Pålsson B. Selected Contribution: Role of spleen emptying in prolonging apneas in humans. *Journal of Applied Physiology.* avr 2001;90(4):1623-9.
83. Baković D, Valic Z, Eterović D, Vuković I, Obad A, Marinović-Terzić I, et al. Spleen volume and blood flow response to repeated breath-hold apneas. *Journal of Applied Physiology.* oct 2003;95(4):1460-6.
84. Lodin-Sundström A, Schagatay E. Spleen contraction during 20 min normobaric hypoxia and 2 min apnea in humans. *Aviat Space Environ Med.* juin 2010;81(6):545-9.
85. Hentsch U, Ulmer HV. Trainability of underwater breath-holding time. *Int J Sports Med.* déc 1984;5(6):343-7.
86. Palada I, Bakovic D, Valic Z, Obad A, Ivancev V, Eterovic D, et al. Restoration of hemodynamics in apnea struggle phase in association with involuntary breathing movements. *Respiratory Physiology & Neurobiology.* 30 avr 2008;161(2):174-81.
87. Dujic Z, Uglesic L, Breskovic T, Valic Z, Heusser K, Marinovic J, et al. Involuntary breathing movements improve cerebral oxygenation during apnea struggle phase in elite divers. *Journal of Applied Physiology.* déc 2009;107(6):1840-6.
88. Corriol JH. Incidents et accidents de la plongée en apnée. In: *La plongée en apnée.* 4ième édition. Paris: Masson; 2006. p. 111.
89. Ernsting J. The effect of brief profound hypoxia upon the arterial and venous oxygen tensions in man. *J Physiol.* nov 1963;169(2):292-311.
90. Lindholm P, Lundgren CEG. Alveolar gas composition before and after maximal breath-holds in competitive divers. *Undersea Hyperb Med.* 2006;33(6):463-7.
91. Schagatay E, Richardson MX, Lodin-Sundström A. Size matters: spleen and lung volumes predict performance in human apneic divers. *Front Physiol.* 2012;3:173.
92. Hildebrandt W, Ottenbacher A, Schuster M, Swenson ER, Bärtsch P. Diuretic effect of hypoxia, hypocapnia, and hyperpnea in humans: relation to hormones and O₂ chemosensitivity. *J Appl Physiol* (1985). févr 2000;88(2):599-610.
93. Edmonds C. Scuba divers' pulmonary oedema. A review. *Diving Hyperb Med.* déc 2009;39(4):226-31.
94. Henckes A, Lion F, Cochard G, Arvieux J, Arvieux CC. Pulmonary oedema in scuba-diving: frequency and seriousness about a series of 19 cases. *Ann Fr Anesth Reanim.* sept

2008;27(9):694-9.

95. Mahon RT, Kerr S, Amundson D, Parrish JS. Immersion pulmonary edema in special forces combat swimmers. *Chest*. juill 2002;122(1):383-4.

96. Weiler-Ravell D, Shupak A, Goldenberg I, Halpern P, Shoshani O, Hirschhorn G, et al. Pulmonary oedema and haemoptysis induced by strenuous swimming. *BMJ*. 5 août 1995;311(7001):361-2.

97. Shupak A, Weiler-Ravell D, Adir Y, Daskalovic YI, Ramon Y, Kerem D. Pulmonary oedema induced by strenuous swimming: a field study. *Respir Physiol*. juin 2000;121(1):25-31.

98. Edmonds C, Lippmann J, Lockley S, Wolfers D. Scuba divers' pulmonary oedema: recurrences and fatalities. *Diving Hyperb Med*. mars 2012;42(1):40-4.

99. Smart DR, Sage M, Davis FM. Two fatal cases of immersion pulmonary oedema - using dive accident investigation to assist the forensic pathologist. *Diving Hyperb Med*. juin 2014;44(2):97-100.

100. Koehle MS, Lepawsky M, McKenzie DC. Pulmonary oedema of immersion. *Sports Med*. 2005;35(3):183-90.

101. Peacher DF, Pecorella SRH, Freiburger JJ, Natoli MJ, Schinazi EA, Doar PO, et al. Effects of hyperoxia on ventilation and pulmonary hemodynamics during immersed prone exercise at 4.7 ATA: possible implications for immersion pulmonary edema. *J Appl Physiol* (1985). juill 2010;109(1):68-78.

102. Cochard G, Henckes A. Rôle du stress psychologique dans l'oedème pulmonaire d'immersion. *Bulletin de Medsubhyp*. 2016;26(2):25-31.

103. Wilmshurst PT. Pulmonary oedema induced by emotional stress, by sexual intercourse, and by exertion in a cold environment in people without evidence of heart disease. *Heart*. juill 2004;90(7):806-7.

104. Slade JB, Hattori T, Ray CS, Bove AA, Cianci P. Pulmonary edema associated with scuba diving : case reports and review. *Chest*. nov 2001;120(5):1686-94.

105. Miller CC, Calder-Becker K, Modave F. Swimming-induced pulmonary edema in triathletes. *Am J Emerg Med*. oct 2010;28(8):941-6.

106. Kiyani E, Aktas S, Toklu AS. Hemoptysis provoked by voluntary diaphragmatic contractions in breath-hold divers. *Chest*. déc 2001;120(6):2098-100.

107. Tetzlaff K, Friege L, Koch A, Heine L, Neubauer B, Struck N, et al. Effects of ambient cold and depth on lung function in humans after a single scuba dive. *Eur J Appl Physiol*. juill 2001;85(1-2):125-9.

108. Henckes A, Lafay V. L'oedème pulmonaire d'immersion. In: *Coeur et Plongée*. Paris: Ellipses; 2017. p. 217-35.

109. Levey AS, Eckardt KU, Tsukamoto Y, Levin A, Coresh J, Rossert J, et al. Definition and classification of chronic kidney disease: A position statement from Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO). *Kidney International*. 1 juin 2005;67(6):2089-100.

110. National Kidney Foundation. K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification. *Am J Kidney Dis*. févr 2002;39(2 Suppl 1):S1-266.

111. KDIGO 2012 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease. *Kidney International Supplements*. 2013;3:1-150.

112. HAS. Guide du parcours de soins – Maladie rénale chronique de l'adulte (MRC). 2021;

113. Société Francophone de Néphrologie, Dialyse et Transplantation. Ma maladie rénale chronique [Internet]. 2022. Disponible sur:

<https://www.sfndt.org/sites/www.sfndt.org/files/medias/documents/livre-blanc-dialyse-domicile.pdf>

114. Réseau Epidémiologique et Information en Néphrologie (REIN). Rapport annuel 2021 [Internet]. Agence de la Biomédecine; 2021. Disponible sur: https://www.agence-biomedecine.fr/IMG/pdf/rapport_rein_2021_2023-06-26.pdf
115. Kokot F, Grzeszczak W, Zukowska-Szczechowska E, Wiecek A. Water immersion-induced alterations of plasma atrial natriuretic peptide level and its relationship to the renin-angiotensin-aldosterone system and vasopressin secretion in acute and chronic renal failure. *Clin Nephrol.* mai 1989;31(5):247-52.
116. Bie P. Natriuretic Peptides and Normal Body Fluid Regulation. *Compr Physiol.* 18 juin 2018;8(3):1211-49.
117. Doenyas-Barak K, Garra N, Beberashvili I, Efrati S. Immersion-enhanced fluid redistribution can prevent intradialytic hypotension: A prospective, randomized, crossover clinical trial: Correcting redistribution for IDH prevention. *Hemodialysis International.* juillet 2018;22(3):377-82.
118. Ponce P, Moreira P. Water immersion in an anuric cirrhotic patient. *Nephron.* 1986;43(2):144-7.
119. Bichet DG, Groves BM, Schrier RW. Mechanisms of improvement of water and sodium excretion by immersion in decompensated cirrhotic patients. *Kidney International.* déc 1983;24(6):788-94.
120. Jahn H, Schmitt R, Schohn D, Dale G. Hemodynamic modifications induced by head out water immersion in nonuremic and uremic subjects. *Contrib Nephrol.* 1984;41:189-98.
121. Morimoto N, Tanabe M, Imono A, Otani M, Shioji S, Hirasawa S, et al. Immersion pulmonary edema in a patient on maintenance dialysis: A case report. *Semin Dial.* mars 2020;33(2):178-81.
122. Oh YJ, Jung JY, Kim SS, Chae KS, Rhu J, Lee C. The association of kidney function with repetitive breath-hold diving activities of female divers from Korea, Haenyeo. *BMC Nephrol.* 23 févr 2017;18:75.
123. Mrakic-Spota S, Vezzoli A, Rizzato A, Della Noce C, Malacrida S, Montorsi M, et al. Oxidative stress assessment in breath-hold diving. *Eur J Appl Physiol.* déc 2019;119(11-12):2449-56.
124. Koirala N, Anvari E, McLennan G. Monitoring and Surveillance of Hemodialysis Access. *Semin Intervent Radiol.* mars 2016;33(1):25-30.
125. Quencer KB, Oklu R. Hemodialysis access thrombosis. *Cardiovasc Diagn Ther.* déc 2017;7(Suppl 3):S299-308.
126. Lee A. Swimming on Peritoneal Dialysis: Recommendations from Australian PD Units. *Perit Dial Int.* 1 nov 2019;39(6):527-31.
127. Recommandations de bonne pratique pour le suivi médical des pratiquants d'activités subaquatiques sportives et de loisir. Société de Physiologie et de Médecine Subaquatique et Hyperbare - Société Française de Médecine de l'Exercice et du Sport. 2020;
128. Heiwe S, Jacobson SH. Exercise training for adults with chronic kidney disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [Internet]. 2011;(10). Disponible sur: <https://www.readcube.com/articles/10.1002%2F14651858.cd003236.pub2>
129. Bernier-Jean A, Beruni NA, Bondonno NP, Williams G, Teixeira-Pinto A, Craig JC, et al. Exercise training for adults undergoing maintenance dialysis. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [Internet]. 2022;(1). Disponible sur: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD014653/full>
130. Samara A, Kouidi E, Fountoulakis K, Alexiou S, Deligiannis A. The effects of aquatic exercise on functional capacity and health-related quality of life in hemodialysis patients. *Nephrology Dialysis Transplantation.* 2016;31 (Suppl 1): i472.
131. Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19 juin -22 juillet 1946; signé le 22

juillet 1946 par les représentants de 61 Etats. (Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé, n°. 2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948.

132. World Health Organization. Global recommendations on physical activity for health [Internet]. 2010. Disponible sur: www.who.int/publications/i/item/9789241599979
133. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008 to the Secretary of Health and Human Services: (525442010-001) [Internet]. 2008. Disponible sur: <http://doi.apa.org/get-pe-doi.cfm?doi=10.1037/e525442010-001>
134. Bauman A, Lewicka M, Schöppe S. The Health Benefits of Physical Activity in Developing Countries. Organisation Mondiale de la Santé. 2005.
135. Cook I, Alberts M, Lambert EV. Relationship between adiposity and pedometer-assessed ambulatory activity in adult, rural African women. *Int J Obes (Lond)*. août 2008;32(8):1327-30.
136. Nocon M, Hiemann T, Müller-Riemenschneider F, Thalau F, Roll S, Willich SN. Association of physical activity with all-cause and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. juin 2008;15(3):239-46.
137. Steyn K, Sliwa K, Hawken S, Commerford P, Onen C, Damasceno A, et al. Risk factors associated with myocardial infarction in Africa: the INTERHEART Africa study. *Circulation*. 6 déc 2005;112(23):3554-61.
138. Sofi F, Capalbo A, Cesari F, Abbate R, Gensini GF. Physical activity during leisure time and primary prevention of coronary heart disease: an updated meta-analysis of cohort studies. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. juin 2008;15(3):247-57.
139. Warburton DER, Katzmarzyk PT, Rhodes RE, Shephard RJ. Evidence-informed physical activity guidelines for Canadian adults. *Can J Public Health*. 2007;98 Suppl 2:S16-68.
140. Warburton DE, Charlesworth S, Ivey A, Nettlefold L, Bredin SS. A systematic review of the evidence for Canada's Physical Activity Guidelines for Adults. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 11 mai 2010;7:39.
141. Paterson DH, Warburton DE. Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 11 mai 2010;7:38.
142. INSERM. Activité physique : Contextes et effets sur la santé [Internet]. 2008 [cité 5 oct 2023]. Disponible sur: <https://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/80>
143. LOI n° 2022-296 du 2 mars 2022 visant à démocratiser le sport en France (1). 2022-296 mars 2, 2022.
144. HAS. L'activité physique: votre meilleure alliée santé [Internet]. 2022. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/p_3385126/fr/l-activite-physique-votre-meilleure-alliee-sante
145. Recommandations de bonne pratique Prise en charge en santé au travail des travailleurs intervenant en conditions hyperbares. Société de Physiologie et de Médecine Subaquatique et Hyperbare - Société Française de Médecine du Travail. 2018;
146. Diving Medical Guidance to the Physician. Undersea and hyperbaric medical society; 2021.
147. Dialysis and Diving [Internet]. Disponible sur: <https://dan.org/health-medicine/health-resources/diseases-conditions/dialysis-and-diving/>
148. Bennett PN, Bohm C, Harasemiw O, Brown L, Gabrys I, Jegatheesan D, et al. Physical activity and exercise in peritoneal dialysis: International Society for Peritoneal Dialysis and the Global Renal Exercise Network practice recommendations. *Perit Dial Int*. 1 janv 2022;42(1):8-24.
149. Hill NR, Fatoba ST, Oke JL, Hirst JA, O'Callaghan CA, Lasserson DS, et al. Global Prevalence of Chronic Kidney Disease - A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2016;11(7):e0158765.

150. Kovesdy CP. Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022. *Kidney Int Suppl* (2011). avr 2022;12(1):7-11.

ANNEXES

QUESTIONNAIRE

Enquête insuffisance rénale et sports aquatiques

Les effets, bénéfiques comme négatifs, de l'immersion et des pratiques sportives aquatiques sur la fonction rénale sont à ce jour mal connus. C'est pourquoi nous souhaiterions faire un état des lieux de la pratique sportive aquatique et subaquatique des personnes souffrant d'insuffisance rénale, quel que soit l'âge, le stade de la maladie et le contexte (notamment dialyse, greffe rénale...) afin de mieux appréhender la réalité des éventuelles difficultés rencontrées et bienfaits ressentis dans ces activités.

Nous vous remercions par avance de votre participation à cette enquête qui nous aidera à mieux accompagner les malades dans leur pratique sportive et à affiner les recommandations existantes sur ce sujet.

Cette étude est menée dans le cadre d'une thèse de Médecine par Quentin Lohéac (Interne en Médecine d'Urgence au Centre Hospitalier Universitaire de Brest), et dirigée par les Dr Anne Henckes (Docteur en Médecine, Responsable de l'unité de Médecine Hyperbare du Centre Hospitalier Universitaire de Brest, Présidente de la Commission Médicale de la Fédération Française d'Étude et de Sports Sous-Marins), Dr Pierre-Yves Egretou (Docteur en Médecine, Réanimateur Néphrologue au Centre Hospitalier de Morlaix et Médecin Hyperbare) et Dr Thomas Briand (Docteur en Médecine d'Urgence au Centre Hospitalier de Morlaix).

Les données recueillies dans ce questionnaire seront totalement anonymisées et ne permettront pas de vous identifier. Ces données seront utilisées uniquement dans le cadre de notre étude puis supprimées.

Les personnes sous protection judiciaire (tutelle, curatelle, sauvegarde de justice) ou sous privation de liberté (détenu) ne peuvent pas participer à cette étude.

Une fois votre accord de participation validé vous pourrez accéder au questionnaire. Une fois le questionnaire complété il ne vous sera plus possible de revenir dessus ou modifier vos réponses.

Vos informations personnelles

Age : Sexe : Poids : Taille : Tour
de taille :

Votre insuffisance rénale

1- Quel est le stade de votre maladie rénale chronique ? (clairance en ml/min/ 1,73m²)

- fonction rénale normale (clairance \geq 90)
- insuffisance rénale légère (clairance 60- 89)
- insuffisance rénale modérée (clairance 30-59)
- insuffisance rénale sévère (clairance 15-29)
- insuffisance rénale terminale (clairance < 15 ml ou dialyse)
- je ne sais pas

2-Quelles sont les valeurs de votre dernière analyse de sang ?

- clairance rénale (selon Cockcroft et/ou MDRD) :
- créatinine ($\mu\text{mol/l}$) ?
- urée (mmol/l) ?

3-Quelle est votre diurèse résiduelle quotidienne ? (le volume que vous urinez par jour)

4-Êtes-vous (ou avez-vous été) en dialyse ? Oui – Non

Si oui :

-quel est (ou quel a été) votre mode de dialyse ?

- O- Dialyse classique (hémodialyse)
- O- Dialyse péritonéale
- O- Les deux

-en quelle année avez-vous débuté la dialyse ?

-avez-vous depuis arrêté la dialyse ? Oui – Non

O- Si oui, en quelle année ?

5-Avez-vous (ou avez-vous eu) une fistule artério-veineuse ? Oui - Non

Si oui, :

-en quelle année avez-vous eu cette fistule ?

-avez-vous eu des complications liées à votre fistule ? Oui – Non

O- Si oui, lesquelles ?

6-Avez-vous (ou avez-vous eu) une greffe artério-veineuse ? Oui - Non

7-Avez-vous (ou avez-vous eu) un cathéter de dialyse (hors cathéter de dialyse péritonéale) ?

Oui - Non

Si oui :

-quel est son type ?

-en quelle année a-t-il été posé ?

-s'il a été retiré, en quelle année a-t-il été retiré ?

8-Avez-vous (ou avez-vous eu) une dialyse péritonéale ? Oui - Non

Si oui :

-en quelle année a été posé le cathéter de dialyse péritonéale ?

-si ce cathéter a été retiré en quelle année a-t-il été retiré ?

9-Avez-vous eu une greffe de rein ? Oui - Non

Si oui :

-en quelle année avez-vous eu cette greffe rénale ?

-avez-vous dû recommencer les séances de dialyse ? Oui – Non

O- Si oui, en quelle année avez-vous dû reprendre les séances de dialyse ?

Votre état de santé

1-Êtes-vous suivi pour d'autres problèmes de santé, avez-vous d'autres pathologies ? Oui – Non

Si oui, lesquelles ?

2-Avez-vous eu des opérations chirurgicales ? Oui – Non
Si oui, lesquelles ?

3- Quels sont vos traitements habituels ?

4-Avez-vous déjà eu des problèmes cardiaques ? Oui – Non

Si oui, pouvez-vous préciser :

- O- Angine de poitrine, angor
- O- Infarctus du myocarde
- O- Stents coronariens
- O- Pontage coronarien
- O- Insuffisance cardiaque
- O- Anomalies de valve(s) cardiaque
- O- Souffle au cœur (sans précisions)
- O- Arythmie cardiaque (cœur irrégulier)
- O- Autre : précisez :

5-Avez-vous du diabète ? Oui – Non

Si oui :

-de quel type de diabète s'agit t-il ?

- O- Diabète type 1 (diabète des « jeunes »)
- O- Diabète type 2 (diabète « gras », venu avec l'âge)
- O- Autre

-avez-vous des injections d'insuline ? Oui- Non

6-Êtes-vous suivi pour des problèmes respiratoires ?

Si oui, lesquels ?

7- Avez-vous déjà eu un œdème aigu pulmonaire (OAP) ? Oui - Non

Votre pratique d'activités sportives aquatiques depuis la découverte de votre insuffisance rénale :

1-Pratiquez-vous l'une des activités suivantes :

- O- Plongée avec équipement respiratoire / en scaphandre autonome
- O- Plongée en apnée /chasse sous-marine
- O- Natation / Nage avec palmes
- O- Voile
- O- Surf / Bodyboard
- O- Canoë / Kayak / Paddle
- O- Marche aquatique (Longe côte)
- O- Aquagym
- O- Autre

2-Pratiquez-vous d'autres activités sportives non aquatiques ? Oui – Non

Si oui, lesquelles :

3-Durant vos activités aquatiques portez-vous parfois une combinaison ? Oui - Non

Si oui :

-quel type de combinaison portez-vous ? Shorty - Intégrale néoprène - Semi étanche - Étanche

- quelle est l'épaisseur de votre (vos) combinaison(s) en néoprène (mm) ?

Si vous pratiquez la plongée avec équipement respiratoire/en scaphandre autonome :

1-Quel est votre niveau de plongée ?

2-Environ combien de plongées réalisez-vous par an ?

3-Concernant les caractéristiques de vos plongées :

- quelle est en moyenne leur durée ?

- quelle est en moyenne la profondeur maximale au cours d'une sortie ?

-où plongez-vous en général ?

O- uniquement ou majoritairement dans les eaux chaudes

O- uniquement ou majoritairement sur les côtes de France métropolitaine

O- eaux chaudes et côtes de France métropolitaine

4- Quel(s) type(s) de matériel utilisez-vous lors de vos plongées ?

O- Air

O- Recycleur

O- Nitrox

O- Trimix

Si vous pratiquez la plongée en apnée / la chasse sous-marine

1-Quelle est votre type de pratique de l'apnée (depuis la découverte de votre maladie rénale) ?

O- Chasse sous-marine /exploration

O- Apnée sportive :

O- Statique

O- Dynamique

O- Profondeur

2- Quel est votre niveau de plongée en apnée ?

O- Débutant

O- Intermédiaire

O- Confirmé

3-Quelle est la fréquence de votre pratique ?

O- quelques fois dans l'année

O- une à deux fois par mois

O- une à deux fois par semaine

O-autre

4-Où plongez-vous ?

O- Piscine uniquement

O- Mer ou carrière uniquement

O- Piscine et milieu naturel (mer ou carrière)

5-Si vous faites-vous des sorties en milieu naturel :

- quelle est en moyenne leur durée ?

- quelle est en moyenne la profondeur maximale au cours d'une sortie ?

Si vous pratiquez la natation / nage avec palmes

1-Combien de temps nagez-vous en moyenne lors d'une séance ?

2-Quelle est la distance moyenne parcourue lors de vos séances ?

3-Quelle est la fréquence de votre pratique ?

- O- quelques fois dans l'année
- O- une à deux fois par mois
- O- une à deux fois par semaine
- O-autre

4-Où nagez-vous ?

- O- Piscine
- O- Milieu naturel (mer/ lac/ rivière)
- O- Les deux

Si vous pratiquez la voile / surf / bodyboard / canoë / kayak / paddle

1-Combien de temps pratiquez-vous en moyenne lors d'une séance ?

2-Quelle est la fréquence de votre pratique ?

- O- quelques fois dans l'année
- O- une à deux fois par mois
- O- une à deux fois par semaine
- O-autre

3- Où pratiquez-vous ?

- O- uniquement ou majoritairement dans les eaux chaudes
- O- uniquement ou majoritairement sur les côtes de France métropolitaine
- O- eaux chaudes et côtes de France métropolitaine

Si vous pratiquez la marche aquatique

1-Combien de temps dure votre séance en moyenne ?

2-Quelle est la fréquence de votre pratique ?

- O- quelques fois dans l'année
- O- une à deux fois par mois
- O- une à deux fois par semaine
- O-autre

3-Quelle est votre profondeur d'immersion ? Chevilles – Genoux – Bassin – Poitrine – Cou

4- Où pratiquez-vous ?

- O- uniquement ou majoritairement dans les eaux chaudes
- O- uniquement ou majoritairement sur les côtes de France métropolitaine
- O- eaux chaudes et côtes de France métropolitaine

Si vous pratiquez l'aquagym

1-Combien de temps dure votre séance en moyenne ?

2-Quelle est la fréquence de votre pratique ?

- O- quelques fois dans l'année
- O- une à deux fois par mois
- O- une à deux fois par semaine
- O-autre

3-Quelle est votre profondeur d'immersion ? Chevilles – Genoux – Bassin – Poitrine – Cou

Pratique des sports aquatiques

1-Votre pratique était-elle différente avant la survenue de votre maladie rénale ? Oui – Non

2- Votre pratique a-t-elle été modifiée lors de la survenue de votre maladie rénale ? Oui – Non

3- Votre pratique a-t-elle été modifiée avec l'évolution de votre maladie rénale ?
Oui - Non - Pas d'évolution à ce jour de la maladie rénale

4- Votre pratique a-t-elle été modifiée suite au début de la dialyse ?
Oui - Non - Pas de dialyse

5- Votre pratique a-t-elle été modifiée suite à la greffe ?
Oui - Non - Pas de greffe

Problèmes rencontrés durant la pratique d'activités aquatiques

1-Avez-vous déjà eu des problèmes de voie d'abord (fistule artério-veineuse, cathéter de dialyse) lors de la pratique d'activités aquatiques ? Oui - Non
Si oui, quel était le type de votre problème et lors de quelle(s) activité(s) ?

2-Avez-vous déjà eu un malaise lors de votre pratique ? Oui - Non
Si oui, quel était le type de votre (ou vos) malaise(s) et lors de quelle(s) activité(s) ?

3-Avez-vous déjà ressenti un essoufflement lors de votre pratique ? Oui - Non
Si oui quand et comment est survenu cet essoufflement ; et lors de quelle(s) activité(s) ?

4-Avez-vous déjà rencontré d'autres problèmes lors de votre pratique d'activités aquatiques ? (Déshydratation ? Œdème pulmonaire ? Infection ? Traumatisme ? autre ?)
Si oui, lors de quelle(s) activité(s) ?

9-Si vous avez eu des problèmes lors de votre pratique en avez-vous parlé :
O- à votre médecin traitant
O- à votre néphrologue
O- à un médecin du sport

6-Avez-vous déjà été hospitalisé au décours immédiat de la pratique d'activités aquatique ?
Oui - Non

7-Si des problèmes sont survenus suite à une activité aquatique était-ce dans un contexte de port de combinaison ? Oui – Non - Les deux - Pas de problèmes survenus

8-Ces évènements survenus lors de vos activités ont-ils par la suite modifié votre pratique ?

10-Quel est selon vous le point de vue de vos référents médicaux sur votre pratique de sports aquatiques ?

11-Quel est le point de vue de votre entourage (famille/amis) sur votre pratique de sports aquatiques ?

12-Si vous poursuivez actuellement la pratique d'activités aquatiques quelles en sont les raisons ?

13- Quels sont selon vous les bénéfices de la pratique d'une activité aquatique lorsque l'on est insuffisant rénal ?

14- Quels sont selon vous les risques de la pratique d'une activité aquatique lorsque l'on est insuffisant rénal ?

15-Si vous avez arrêté (actuellement ou par le passé) la pratique d'activités aquatiques quelles en sont les raisons ?

16-Vous êtes-vous orientés vers une autre activité physique ? Oui - Non
Si oui, laquelle ?

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me le demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque. »

LOHEAC (Quentin) – Effets de l’immersion dans la population des insuffisants rénaux français.
Th. : Méd. : Brest 2023

RESUME :

Introduction : L’immersion déclenche des modifications physiologiques. La pression hydrostatique ambiante entraîne un transfert sanguin rapide depuis les membres vers la circulation pulmonaire et splanchnique, et un transfert plus lent d’eau interstitielle et cellulaire dans le secteur plasmatique. Il en résulte une hypervolémie relative. La réponse rénale est une diurèse d’immersion. L’adaptation de la fonction rénale est limitée par une pathologie rénale préexistante.

Objectifs : Évaluation de la survenue d’évènements lors ou au décours d’activités aquatiques dans une population de patients insuffisants rénaux chroniques.

Méthode : Étude observationnelle rétrospective nationale. Population : patients insuffisants rénaux chroniques pratiquants de sports aquatiques. Questionnaire diffusé par voie informatique.

Résultats : 33 patients inclus : 15 avec suppléance par greffe rénale et dialyse, 4 greffe rénale seule et 7 dialyse seule. Évènements : 1 cas d’infection de voie d’abord avec péritonite, 9 cas de dyspnée d’effort, 1 cas de déshydratation.

Conclusion : La pratique de sports aquatiques par des patients insuffisants rénaux chroniques comporte des risques réels (dyspnée d’effort, œdème pulmonaire d’immersion, troubles du rythme cardiaque, ischémie myocardique, déshydratation, troubles électrolytiques, infection et thrombose de l’abord vasculaire). Ces risques sont variables selon le degré d’insuffisance rénale, les éventuelles comorbidités mais aussi le type et les conditions de pratique. Une vision globale permettrait une pratique sportive adaptée et individualisée. Les bénéfices sont d’ordre physiques, psychologiques et sociaux.

MOTS CLES :

INSUFFISANCE RENALE CHRONIQUE
IMMERSION
SPORTS AQUATIQUES

JURY :

Président : Mme le Professeur E. CORNEC-LE GALL

Membres : Mme le Docteur A. HENCKES

M. le Docteur P-Y. EGRETEAU

M. le Professeur J. REGNARD

M. le Professeur G-E. QUERELLOU

DATE DE SOUTENANCE :

17 octobre 2023