

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

ÉTUDE EXPLORATOIRE DES DANGERS PROFESSIONNELS RELIÉS AUX
ACTIVITÉS DE PLONGÉE PROFESSIONNELLE DANS LE CONTEXTE
QUÉBÉCOIS

MÉMOIRE PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAÎTRISE EN INGÉNIERIE CONCENTRATION GÉNIE INDUSTRIEL

PAR
PANTEHA PARVIN

NOVEMBRE, 2023

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

Cette mémoire de 2^e cycle a été dirigée par :

Adel Badri, directeur de recherche, professeure	UQTR
Mhamed Mesfioui, codirecteur de recherche, professeure	UQTR

Jury d'évaluation du mémoire :

François Gauthier, professeure (membre interne)	UQTR
Mhamed Mesfioui, codirecteur de recherche (membre interne)	UQTR
Boucif Amar Bensaber, professeure (membre externe)	UQTR

RÉSUMÉ

Dans les pays industrialisés, la prévention des dangers professionnels a conduit à des résultats concrets. En particulier, au Québec, il y a eu une nette diminution des accidents du travail et des maladies professionnelles depuis la fin des années 1990.

Cependant, en ce qui concerne la santé et la sécurité des plongeurs professionnelles qui exercent des activités en milieu aquatique au Québec, il y a encore place à l'amélioration. Il semble que cette profession, en raison de l'exposition sous l'eau, soit considérée comme l'une des plus dangereuses, mais elle a été moins étudiée.

C'est pourquoi ce projet de recherche vise à identifier les dangers professionnels auxquels les plongeurs industriels du Québec sont confrontés. Pour atteindre cet objectif, le projet a été réalisé en deux phases distinctes. Au terme de la première phase, à partir de la revue de la littérature, un portrait initial des dangers professionnels liés aux activités de plongée professionnelle a été établi.

Le deuxième volet pratique repose sur la participation d'entreprises québécoises spécialisées en plongée professionnelle à une consultation. Cette consultation est réalisée à l'aide d'un questionnaire élaboré à partir du portrait initial des dangers professionnels établi à l'étape précédente. En conclusion, ce projet offre le portrait final des dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle dans contexte québécois.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de maîtrise. Le parcours académique qui m'a mené à la rédaction de ce document a été une expérience enrichissante, et je souhaite remercier chaleureusement les individus suivants :

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mon directeur de mémoire, le professeur Adel Badri, pour son soutien inestimable, ses précieux conseils et sa patience tout au long de ce processus. Votre expertise et votre engagement ont été une source d'inspiration, et j'ai énormément appris grâce à vous.

Je remercie aussi le professeur Mhamed Mesfioui, codirecteur de recherche, pour son temps, ses conseils et commentaires constructifs. Son pragmatisme m'a été profitable.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à mon mari, mes parents et mes amis pour leur soutien inconditionnel tout au long de cette aventure. Vos encouragements et votre compréhension ont été essentiels pour surmonter les défis que j'ai rencontrés.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	III
REMERCIEMENTS	IV
TABLE DES MATIÈRES.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	X
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTÉRATURE.....	2
1.1 Description des travaux de plongée professionnelle	3
1.1.1 Activités reliées à l'exploitation pétrolière offshore.....	4
1.1.2 Activités reliées à l'industrie de la construction et aux projets de génie	5
1.1.3 Activités dans des milieux contaminés et difficiles d'accès	5
1.1.4 Activités dans de réservoirs d'eau potable.....	6
1.1.5 Activités dans des chantiers maritimes	7
1.1.6 Activités de recherche scientifique	7
1.1.7 Activités militaires et policières.....	7
1.2 Exigences, équipements et modes de plongée professionnelle.....	8
1.2.1 Formations et certifications.....	8
1.2.2 Équipements de plongée professionnelle	13
1.2.3 Classification des modes de plongée.....	22
1.3 Utilisation des technologies en plongée	27
1.4 Plongée professionnelle dans le secteur de la construction	29

1.4.1	Tâches avant de commencer la plongée professionnelle	30
1.4.2	Tâches d'équipe durant la plongée professionnelle	30
1.4.3	Tâches reliées à la construction sous-marine	32
1.5	Législatives en lien avec le travail à proximité ou sous l'eau	37
1.6	Dangers professionnels associés aux activités de plongée professionnelle ...	40
1.6.1	Divers dangers professionnels pouvant causer des lésions professionnelles ..	40
1.6.2	Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle	50
2	CHAPITRE 2 : PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE ..	59
2.1	Problématique de recherche.....	59
2.1.1	Conditions de travail difficiles	60
2.1.2	Exposition accrue aux dangers professionnels.....	62
2.1.3	Contenu minimal des règlements et normes	63
2.2	Question de recherche.....	64
2.3	Objectifs de la recherche	64
2.3.1	Objectif de recherche	64
2.3.2	Objectifs spécifiques	64
3	CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	66
3.1	Étapes du projet de recherche	66
3.2	Recension des écrits.....	67
3.3	Élaboration du portrait initial de dangers professionnels	68
3.4	Consultation des entreprises québécoises	68
3.5	Élaboration du portrait de dangers professionnels	69
4	CHAPIRE 4 ANALYSE DE RESULTAT ET DISCUSSION	70

4.1	Présentation et analyse des données du questionnaire	70
4.1.1	Données relatives à la section de formation et expérience	71
4.1.2	Données relatives à la section de contexte de travail	72
4.1.3	Données relatives à la section d'équipement et mode de plongée	74
4.1.4	Données relatives à la section de la planification	75
4.1.5	Données relatives à la section de législation.....	76
4.1.6	Données relatives à la section de maladie et lésion	77
4.2	Portrait final de dangers professionnels reliés aux plongeurs professionnels québécois	81
4.3	Discussions de résultats	89
4.3.1	Examen des dangers reliés aux activités de plongée professionnelle et des sources de dangers.....	89
4.3.2	Limitations et travaux futurs	91
	CONCLUSION GÉNÉRALE	92
	BIBLIOGRAPHIE.....	93
	ANNEXE 1.....	103
	ANNEXE 2	105
	ANNEXE 3	110

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 Opérations de vérifications avant et après des travaux dans des milieux contaminés.....	6
Tableau 1-2 Programme de formation en plongée professionnelle au Québec	10
Tableau 1-3 Liste des certifications de plongée professionnelle (ELW.08)	11
Tableau 1-4 Équipements minimums de plongée professionnelle selon le mode de plongée	14
Tableau 1-5 Avantages et désavantages des gaz.....	26
Tableau 1-6 Types de gaz utilisés selon les modes de plongée	27
Tableau 1-7 Nombre des plongeurs professionnels actifs au Québec en 2018	29
Tableau 1-8 Les tâches d'équipe durant les travaux de plongée	31
Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle	51
Tableau 4-1 Tranche d'âge des plongeurs professionnels	72
Tableau 4-2 Temps de travailler loin du domicile et leur impact sur la performance mentale et physique des plongeurs professionnels.....	74
Tableau 4-3 Caractéristiques des modes de plongée en fonction de la profondeur	74
Tableau 4-4 Éléments inclus dans un plan de plongée en fonction des réponses obtenues à travers les questionnaires.....	76
Tableau 4-5 Sources de dangers professionnels.....	79
Tableau 4-6 le pourcentage de fréquence de symptômes et maladies associées à la plongée professionnelle.....	80

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 Domaines d'activités des plongeurs professionnels	4
Figure 1-2 Appareil respiratoire autonome	15
Figure 1-3 Combinaisons de plongée.....	16
Figure 1-4 Masque facial	17
Figure 1-5 Gilet stabilisateur.....	18
Figure 1-6 Détendeur du plongeur	19
Figure 1-7 Palmes de plongée	20
Figure 1-8 Ordinateur de plongée	20
Figure 1-9 Couteau de plongée	21
Figure 1-10 lampe de plongée.....	22
Figure 1-11 Plongée autonome	23
Figure 1-12 Plongée non-autonome	24
Figure 1-13 Plongée à saturation.....	25
Figure 1-14 Robot sous-marin autonome.....	28
Figure 1-15 Niveaux d'inspection sous-marine	36
Figure 1-16 Énergie stockée.....	43
Figure 2-1 Principaux éléments de la problématique de recherche	59
Figure 3-1 Étapes de projet de recherche.....	67
Figure 3-2 Étapes du volet théorique	68
Figure 4-1 Expérience de travail des plongeurs professionnels.....	71
Figure 4-2 Contexte de travail.....	72
Figure 4-3 Différents types d'activités que les plongeurs professionnels exercent	73
Figure 4-4 Moyennes des évaluations de conformité aux règlements	77
Figure 4-5 Dangers professionnels identifiés associés aux plongeurs professionnels ..	78

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACSS	Académie canadienne des sciences de la santé
ADCI	Association of Diving Contractors International
AEC	Attestation d'études collégiales
ATM	Atmosphère normale
ARAS	Appareil Respiratoire Autonome de Secours
CC	Courant Continu
CCGIC	Cours de connaissance générale de l'industrie de la construction
CCPC	Conseil de certification des plongeurs du Canada
CCQ	Commission de la construction du Québec
CFRA	Chef Fire and Rescue Adviser
CNESST	Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail
CSTC	Code de sécurité pour les travaux de construction
DCBC	Divers Certification Board of Canada
END	Essais Non Destructifs
EPD	Essais Partiellement Destructifs

EPI	Équipement de protection individuelle
IMQ	Institut maritime du Québec
LSST	Loi sur la santé et la sécurité de travail
MRC	Marine royale canadienne
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PSI	Pounds-force per Square Inch
RSST	Règlement sur la santé et la sécurité du travail
ROV	Remotely Operated underwater Vehicle
SST	Santé et sécurité du travail
UQTR	Université du Québec à Trois Rivières

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau, élément essentiel à la vie, joue un rôle fondamental dans de nombreuses activités industrielles. Cependant, l'exploration des dangers professionnels liés aux activités impliquant la plongée professionnelle est cruciale pour assurer la sécurité et l'intégrité physique des plongeurs professionnels.

La plongée professionnelle est une discipline exigeante, exécutée dans des environnements souvent hostiles et imprévisibles. Les plongeurs professionnels, qu'ils travaillent dans la construction sous-marine, la recherche scientifique ou d'autres domaines, sont confrontés à un large éventail de dangers. Les facteurs tels que la pression, la température de l'eau, la visibilité réduite, les courants et la présence d'équipements dangereux peuvent tous contribuer à un environnement de travail complexe et potentiellement périlleux.

Pour répondre à ces défis, cette recherche explorera les dangers professionnels auxquels les plongeurs professionnels font face au Québec. Cette étude vise à répondre à la question essentielle : Quels sont les dangers professionnels auxquels les plongeurs professionnels sont exposés dans le contexte québécois ?

Pour répondre aux précédentes questions, cette étude a été structurée comme suit : le premier chapitre a présenté la revue de littérature. Il a constitué la base du cadre théorique de cette étude. Le deuxième chapitre a cerné la problématique et les objectifs de la recherche. Le troisième chapitre a détaillé la méthodologie de recherche adoptée pour cette étude. Le quatrième chapitre a dressé et discuté un portrait final des dangers professionnels relié aux plongeurs professionnels québécois. Enfin et avant la conclusion, quelques limites de ce projet de recherche et les travaux futurs ont été également présentés.

1 CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTÉRATURE

L'objectif principal de ce chapitre est d'explorer et d'élaborer un portrait théorique des dangers de la santé et de la sécurité de travail (SST) dans le contexte de la plongée professionnelle. Ce chapitre comporte six sections. Tout d'abord, la première partie (1.1) introduit les domaines d'activités de la plongée professionnelle. Par la suite, la deuxième section (1.2) détaille les exigences, les équipements et les modes de plongée professionnelle permettant de préserver la santé et la sécurité des plongeurs professionnels. Ensuite, la troisième section (1.3) décrit la technologie des robots et la nécessité de son application dans l'industrie de la plongée professionnelle. Puis, la quatrième section (1.4) explique les responsabilités d'un plongeur professionnel dans le secteur de la construction. La cinquième section (1.5) détaille les règles liées aux travaux à proximité ou sous l'eau au Québec. Les contenus de ces 5 sections permettent d'identifier les facteurs à l'origine des dangers pour la santé et la sécurité dans le contexte de la plongée professionnelle. Enfin, la sixième section (1.6) établit le portrait initial des dangers de SST propres aux activités de plongée professionnelle.

1.1 Description des travaux de plongée professionnelle

Le plongeur professionnel est un spécialiste capable et qualifié pour effectuer des interventions et des tâches diverses en milieu hyperbare, où la pression est de loin supérieure à celle de l'atmosphère (lacs, cours d'eau, mer, puits de captage des eaux, centrales hydroélectriques, barrages, stations d'épuration, ports commerciaux, etc.) ([Levett et Milla, 2008](#)). Les plongeurs professionnels pratiquent leurs tâches dans différents domaines comme la construction et l'archéologie sous-marine, en effectuant des tâches de construction, d'exploration, de réparation, d'entretien, d'inspection, de renflouage ([Elsey et McFadzen, 2010](#)). Il peut également intervenir dans un contexte de recherches scientifiques. Il doit maîtriser et respecter les procédures pour accéder aux chantiers, travailler en profondeur et remonter en toute sécurité ([Browne et al., 2010](#)).

Les conditions de travail ne sont pas idéales pour les plongeurs professionnels. Dès que l'eau devient un environnement de travail, les dangers augmentent ([Niewiedział et al., 2018](#); [Levéé, 2020b](#)). Pendant les opérations sous-marines, les plongeurs sont confrontés à des conditions environnementales tels que des problèmes de pression, de vision, de débit d'eau et de glace en mouvement, de l'eau froide, de l'eau polluée ([Morales et al., 2009](#); [Levéé, 2020b](#)).

Le talent, la compétence et la polyvalence sont essentiels pour une carrière de plongeur professionnel. En effet, pour exercer ce métier, de nombreuses compétences telles que : la soudure, le découpage, le bétonnage, le travail dans un environnement hyperbare et les manœuvres de bateaux sont nécessaires. En plus, ils doivent être capables d'utiliser, de déplacer et d'entretenir un large éventail d'équipements de plongée. La capacité de résoudre des problèmes (faire face à des événements imprévus et à des situations différentes) et la capacité d'analyser et de prendre des décisions sont des caractéristiques importantes des plongeurs ([Commission de la Construction du Québec \[CCQ\], 2013](#)).

Il existe plusieurs domaines d'activités dans lesquels peuvent se retrouver les plongeurs professionnels, qui sont mentionnés dans la Figure 1.1. Ensuite, chacun de ces domaines est brièvement décrit ci-après.

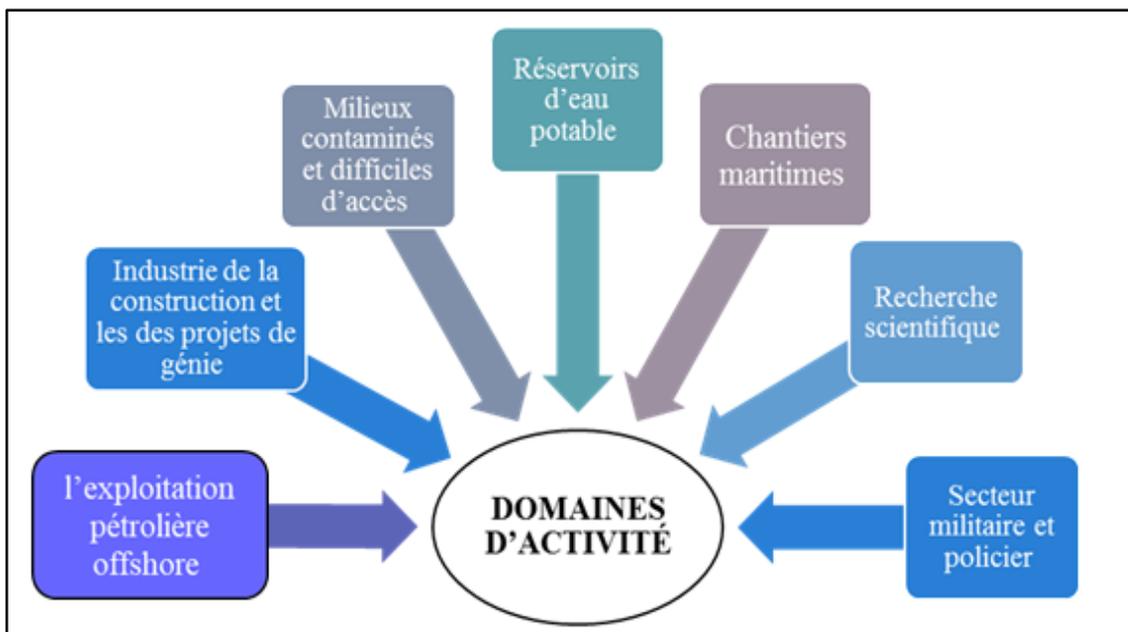


Figure 1-1 Domaines d'activités des plongeurs professionnels

1.1.1 Activités reliées à l'exploitation pétrolière offshore

Il s'agit de la branche de plongée professionnelle la plus répandue, avec des plongeurs professionnels travaillant pour soutenir l'exploration et la production de l'industrie pétrolière et gazière ([Ledezma et al., 2015](#)). Le travail dans l'industrie fait le lien généralement avec des plates-formes pétrolières et des structures équivalentes. Ce travail est fait pour construire, entretenir et inspecter les plates-formes de production et les conduites sous l'eau ([Ledezma et al., 2015](#)). L'exploitation pétrolière offshore fait face à des enjeux particuliers dus à un environnement rude ([Song et al., 2016](#)). Les plongeurs travaillent souvent en dehors des frontières nationales et dans des endroits éloignés de leurs lieux de résidence. Les opérations effectuées par les plongeurs de cette industrie sont généralement dangereuses et coûteuses ([Ledezma et al., 2015](#)). Actuellement, le

travail assisté par des véhicules autoguidés ou des robots autonomes offre des solutions plus sûres et plus efficaces ([Bogue, 2015](#)).

1.1.2 Activités reliées à l'industrie de la construction et aux projets de génie

L'activité englobe une grande partie de la plongée commerciale dans les eaux territoriales non pétrolières et gazières, ainsi qu'un large éventail d'opérations, notamment les travaux de génie civil dans une variété de déversoirs, de structures, de ponts et de réservoirs ([Reid, 2017](#)). Ces travaux se font tant autour de la côte que sur des sites intérieurs qui comprennent la construction et la réparation de quais, de ports et de voies navigables intérieures, l'entretien des navires ([Lamont, 1991](#)). L'intégrité des structures des ponts et des barrages doivent être régulièrement vérifiées. La technique de plongée peut s'effectuer de manière autonome ou non, selon le lieu et la profondeur de la plongée ([Maberry, 2000](#)). Les inspecteurs de travaux sous-marins doivent être capables de reconnaître et d'évaluer la détérioration de l'acier, du béton, du bois et des matériaux composites. Leurs connaissances concernant des mécanismes de détérioration, des chemins de charge et de la redondance structurelle l'aide à prendre des décisions sur place concernant leur sécurité et l'évaluation de leur état ([Abbott et Famularo, 2004](#)).

1.1.3 Activités dans des milieux contaminés et difficiles d'accès

C'est l'une des activités les plus dangereuses pour la plongée professionnelle. En effet, l'eau contaminée peut contenir des produits chimiques, biologiques ou radioactifs ([Steigleman, 2002](#)). Cette pollution peut être naturelle ou provenir de diverses sources, notamment de défauts, de fuites, de rejets industriels ou d'eaux usées ([Clark et al., 2001](#)). L'un des principes de base de la plongée en eaux polluées est de savoir exactement quels sont les polluants présents, car dans certaines circonstances, cela peut être fatal. Il n'existe pas des configurations des équipements ou des matériaux uniques qui protègent le plongeur dans toutes les conditions ou contre tous les contaminants ([Naval sea system command \[NAVSEA\], 2004](#)). Le Tableau 1.1 précise les quelques opérations de vérifications en lien avec des activités dans des milieux contaminés.

Tableau 1-1 Opérations de vérifications avant et après des travaux dans des milieux contaminés ([Comer, 2020](#))

Étape	Description
Détection	Avant d'opération, déterminer les concentrations et les divers types des pollutions.
Protection	Avant d'opération, déterminer la combinaison appropriée selon le type de contamination.
Désinfection	Après l'opération, effectuer la neutralisation chimique et physique de la contamination. La manière de procéder est variable en fonction des dangers, de l'emplacement et de l'équipement de la plongée.
Surveillance médicale	Après l'opération, il est recommandé d'assurer un suivi biologique et médical du plongeur.

Il existe encore plusieurs questions sans réponses claires sur la plongée dans des eaux contaminées. En particulier, lorsqu'il s'agit d'identifier la nature des polluants et les procédures médicales post-plongées nécessaires selon la nature de l'exposition ([NAVSEA, 2004](#)).

1.1.4 Activités dans de réservoirs d'eau potable

Les réservoirs de stockage d'eau sont généralement les actifs les plus visibles et les plus précieux d'un système de distribution d'eau. Il est impératif de nettoyer et de désinfecter régulièrement les réservoirs d'eau potable afin de fournir une eau sûre ([Schmitt, 2018](#)). Au fil du temps, le dépôt et la combinaison de particules et de minéraux avec des boues denses peuvent affecter la qualité de l'eau et la structure des réservoirs ([Artiola et al., 2012](#)). Par conséquent, l'entretien et l'inspection de ces structures protègent l'intégrité de ces systèmes hydrauliques. La méthode d'inspection en plongée permet à un plongeur d'atteindre directement toutes les surfaces internes et submergées. Cet accès dépend du niveau d'eau dans ces réservoirs. Pour cette opération d'inspection, le réservoir doit au moins être mis hors service afin de créer des conditions sécuritaires pour les plongeurs ([Lund, 1998](#)).

1.1.5 Activités dans des chantiers maritimes

Les plongeurs professionnels doivent parfois s’immerger dans l’eau pour réparer un navire, où ils travaillent et s’exposent à des produits chimiques ou des micro-organismes ([Pouget et al., 2015](#)). L’une des tâches effectuées par ces plongeurs sur un chantier naval est l’inspection sous-marine, où ils font, entre autres, du nettoyage, des inspections visuelles et des essais non destructifs des structures soudées ([Elshahawy et al., 2021](#)).

1.1.6 Activités de recherche scientifique

L’objectif d’un projet de recherche en plongée est l’avancement de la science. Les plongeurs scientifiques, par la nature de leurs activités, utilisent une expertise scientifique pour étudier l’environnement sous-marin et sont donc des scientifiques ou des scientifiques en formation. Les tâches du plongeur scientifique sont celles d’un observateur et d’un collecteur de données qui utilise la plongée sous-marine comme outil de recherche ([Lang, 2009](#)). Parmi les principales activités de ces plongeurs sont l’échantillonnage ciblé (y compris de nouvelles espèces), la surveillance quantitative, l’observation du comportement des animaux, les diverses analyses écologiques et l’évaluation de nouvelles techniques en cartographiant les zones sous-marines ([Kur et Mioduchowska, 2018](#)). Les plongeurs scientifiques au Québec qui sont membres de l’Association canadienne des sciences subaquatiques (ACSS) peuvent appliquer le règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) ([Levéé, 2019b](#)).

1.1.7 Activités militaires et policières

Les plongeurs militaires affectés à des missions de plongée doivent recevoir une formation spéciale en opérations navales. Les plongeurs militaires fournissent des services tels que le déminage, l’élimination des munitions non explosées, etc. Même lorsque cela est nécessaire, ces plongeurs jouent un rôle clé dans les opérations de recherche et de sauvetage avec les collaborations d’autres organismes gouvernementaux, tels que la marine royale canadienne (MRC) ([Leong et Jayasingam, 2021](#)).

Les facteurs de la plongée, tels que la charge de travail, tant physique que mentale, varient entre les différents groupes de plongeurs professionnels. Les dangers pour la santé varient selon ces groupes de plongeurs. Les plongeurs travaillant sur les quais ou dans le secteur de la construction et les plongeurs travaillant dans le secteur de l'offshore ou du pétrole sont plus exposés aux dangers de SST que les plongeurs de sauvetage ([Irgens et al., 2016](#)).

1.2 Exigences, équipements et modes de plongée professionnelle

1.2.1 Formations et certifications

La formation adéquate du plongeur reste la meilleure mesure prophylactique de la médecine de plongée, car la formation est la meilleure méthode pour lutter contre les accidents de plongée. L'éducation des entraîneurs, des plongeurs et du personnel médical devrait réduire l'incidence des accidents de plongée et améliorer le sort de ceux qui sont blessés ([DeGorordo et al., 2003](#)). L'une des dispositions les plus importantes de la plongée professionnelle est le haut niveau de compétences manuelles et opérationnelles, qui, avec la résistance psychologique, deviennent indispensables lors de l'exécution de tâches complexes sous l'eau. Les activités entreprises dans des conditions qui ont un tel effet sur les sens humains exigent du plongeur qu'il fasse des choix systématiques, qu'il prenne des décisions rapides ou qu'il choisisse la meilleure ou la seule façon d'accomplir la tâche ([Niewiedział et al., 2018](#)). Par conséquent, la formation et l'expérience jouent un rôle important dans la protection d'un plongeur professionnel ([Hammerton, 2017](#)). Pendant une plongée, le plongeur professionnel doit se familiariser avec tous les aspects de l'opération de plongée (la surveillance, la mise en place, le fonctionnement et l'entretien routinier de l'équipement, le fonctionnement du caisson et etc.) ([Beyerstein, 2006](#)). Les compétences et les certifications requises pour le plongeur professionnel sont détaillées ci-après.

1.2.1.1 Formation sur la plongée professionnelle au Québec

Afin d'exercer la profession de plongeur professionnel dans le domaine de la construction, les plongeurs doivent ([CCQ, 2013](#)) :

- Être âgé d'au moins 18 ans ;
- Avoir réussi un programme d'études reconnu par la CCQ comme l'attestation d'études collégiales en plongée professionnelle (ELW.08) ;
- Avoir réussi le cours de santé et de sécurité général sur les chantiers de construction ;
- Avoir réussi le cours de connaissances générales de l'industrie de la construction (CCGIC).

Le conseil de certification des plongeurs du Canada (CCPC) délivrera les certificats au personnel de plongée professionnelle qui démontrent les compétences appropriées ([Gouvernement du Québec, 2004, norme CSA7275](#)) (Norme sur la compétence visant la plongée, l'utilisation de caissons hyperbares et la conduite de véhicules télécommandés). Le programme de formation des plongeurs professionnels et le certificat de plongeur professionnel au Québec ([Institut maritime du Québec \[IMQ\], 2019](#)), sont présentés par ordre dans le Tableau 1.2 et le Tableau 1.3.

Tableau 1-2 Programme de formation en plongée professionnelle au Québec
([IMQ, 2019](#))

Première session	
Cours	Durée (heures)
Faire une analyse de la méthode de travail	45
Réaliser des plongées en scaphandre autonome	75
Réaliser des plongées en scaphandre autonome jusqu'à 40 mètres	105
Réaliser des plongées en scaphandre non autonome	45
Réaliser des plongées en scaphandre autonome jusqu'à 30 mètres	105
Réaliser des travaux avec divers types d'outils et d'équipements	75
Deuxième session	
Cours	Durée (heures)
Utiliser les techniques de décompression	75
Respecter les règles de santé et de sécurité sur les sites de construction et hors construction.	60
Monter des équipements, fixer et ancrer des éléments de structure	60
Souder et découper des éléments structurels	105
Faire des plongées dans des environnements à risques spécifiques I	45
Collecter des informations en contrôlant des structures immergées	105
Troisième session	
Cours	Durée (heures)
Plonger dans des environnements à danger spécifique II	45
Réaliser des travaux de sauvetage et de récupération des biens immergés sous l'eau	105
Réaliser des travaux de construction, de maintenance et de réparation en milieu subaquatique	75
Réaliser des travaux de construction, de maintenance et de réparation en milieu subaquatique	75
Faire de la plongée en scaphandre non autonome jusqu'à 50 mètres	90
Réaliser des activités professionnelles dans un milieu d'intervention	60
Total des heures	1350

Tableau 1-3 Liste des certifications de plongée professionnelle (ELW.08) ([IMQ, 2019](#))

Certificats
Inspection des casques de plongée
Premiers soins de la CSST
Réanimation cardiorespiratoire
Secours immédiat avec oxygène
Conduit de petits bâtiments
Sécurité des travaux en centrale
Intervention sur des sites avec delta P
Connaissance générale de l'industrie de la construction
Santé et sécurité générale sur les chantiers de construction
Conseil de certification des plongeurs canadiens

1.2.1.2 Exigences générales reliées à la plongée professionnelle

Les compétences et l'expérience sont essentielles pour permettre aux plongeurs professionnels de comprendre les changements dans l'environnement marin, d'en identifier les origines et d'évaluer leurs implications sur leur santé physique, leurs performances et leur comportement sous l'eau ([Colodro-Plaza et al., 2015](#)). Ils doivent également être capables de contrôler les réponses psychophysiologiques selon les facteurs environnementaux et de gérer l'anxiété dans le but de préserver leur santé, leur sécurité et leur bien-être ([Colodro-Plaza et al., 2015](#)).

L'analyse de la profession a permis de définir un ensemble de connaissances, de compétences et d'attitudes requises pour réaliser de manière sécuritaire les tâches de plongées. Elles sont expliquées ci-dessous ([CCQ, 2013](#)) :

- Connaître les effets de l'environnement sous-marin sur le corps humain (système nerveux, respiratoire, cardiovasculaire, digestif, musculaire, etc.) ;
- Connaître les raisons et les effets des maladies et des accidents provoqués par des différents facteurs ;
- Maîtriser les mesures de sécurité relatives aux différents milieux de travail et connaître les lois et les règlements applicables au métier ;
- Connaître les caractéristiques de base des matériaux souvent utilisés dans son travail (résistance, dilatation, retrait, etc.) ;
- Effectuer différents calculs liés, par exemple, à la prise de mesures, au suivi du temps de plongée, à la planification de la décompression, au calcul du poids et du volume de charges, au calcul de la flottabilité des différents objets ;
- Connaître les principes de la physique afin de maîtriser le comportement des gaz, les principes de flottabilité lors de l'utilisation et du déplacement des différents types d'outils et d'équipements lourds, l'éloignement des sources de chaleur, l'utilisation optimale de la lumière sous l'eau ;
- Avoir une excellente aptitude physique afin de déplacer des objets lourds ;
- Avoir de l'autonomie, être méticuleux et posséder des compétences de leadership et rester calme dans des situations difficiles.

1.2.1.3 Certificat d'aptitude médicale pour plongeur professionnel

Partout dans le monde, les organisations qui emploient des plongeurs professionnels exigent presque universellement que ces derniers répondent à des normes médicales minimales pour la plongée. Généralement, ces normes sont basées sur l'environnement sous-marin, les dangers du travail (indépendamment de la composante sous-marine) et le degré de promiscuité litigieuse de la société dans laquelle l'organisation opère

([Southerland, 2006](#)). Comme la bonne santé physique et mentale est une condition préalable pour les personnes qui ont l'intention de plonger, le médecin doit évaluer leur état de santé mentale et physique afin de les autoriser à travailler en milieu hyperbare ([Krzyżak et Korzeniewski, 2021](#)).

Tous les deux ans, le plongeur professionnel doit réaliser un examen de santé effectué par un médecin de plongée, ou plus souvent si le médecin le juge nécessaire ([Gouvernement du Québec, 2013j, article 312.57](#)). En général, ces examens s'appliquent à tous les plongeurs. Dans certains cas, il faut tenir compte des antécédents médicaux d'une personne, de ses antécédents professionnels, de son âge, etc. Le médecin traitant doit porter un jugement approprié lorsqu'il décide d'effectuer des examens supplémentaires. Ces examens doivent être déterminés au cas par cas ([Association of Diving Contractors International \[ADCI\], 2016](#)). Les mesures suivantes sont requises pour les plongeurs professionnels qui seront exposés à des conditions hyperbares ([ADCI, 2016](#)) :

- Une analyse médicale initiale faite par un médecin qualifié ;
- Des suivis annuels de santé ;
- Un réexamen après une blessure ou une maladie liée à la plongée, au besoin, pour déterminer l'aptitude à reprendre la plongée.

1.2.2 Équipements de plongée professionnelle

La plongée professionnelle avec un équipement inadéquat ou sans entretien adéquat est à l'origine de certains accidents mortels de plongée ([Barsky, 2006](#); [Lüderwald et Zinka, 2008](#)). La plongée est une opération axée sur l'équipement et la surveillance à temps des aléas en lien avec leur utilisation ([Pasche et Bolstad, 1989](#)).

Les équipements minimums requis pour la plongée autonome ([Gouvernement du Québec, 2013f, article 312.35](#)) ou non-autonome ([Gouvernement du Québec, 2013g, article 312.36](#)) sont indiqués dans le Tableau 1.4 ci-dessous.

Tableau 1-4 Équipements minimums de plongée professionnelle selon le mode de plongée

Équipement de plongée en mode autonome	Équipement de plongée en mode non autonome
Un appareil respiratoire de plongée	Un appareil respiratoire de plongée non autonome
Un manomètre submersible	Un ombilical
Un appareil respiratoire autonome de secours (ARAS)	Un appareil respiratoire autonome de secours (ARAS)
Une combinaison de plongée isothermique humide appropriée aux conditions de travail	Une combinaison de plongée isothermique humide appropriée aux conditions de travail
Une ceinture de plomb largable munie d'une boucle à dégagement rapide ou un système de lestage à largage rapide	Un équipement de lestage non largable
Un profondimètre	Un profondimètre
Un harnais	Un harnais
Un couteau approprié au travail	Un couteau approprié
Une paire de palmes de plongée	Une paire de palmes de plongée
Une lampe de plongée	Une lampe de plongée.
Une veste de compensation de flottabilité gonflable	
Un masque de plongée	

a) Appareil respiratoire sous-marin

Le plongeur professionnel doit utiliser l'équipement approprié pour chacune des méthodes de plongée choisies ([Barsky, 2006](#)). Le type de gaz respiratoire, la gamme de profondeur opérationnelle de l'appareil de plongée et le principe de fonctionnement sont les critères déterminants pour classer les appareils respiratoires en fonction de la tâche ([Kłos, 2008](#)). L'un des modèles est l'appareil respiratoire sous-marin à circuit ouvert qui consiste à inspirer de l'air à partir d'un réservoir à haute pression et à l'expirer dans l'eau environnante ([Radford et al., 2005](#)). Les appareils autonomes sont conçus pour des

opérations de courtes durées dans des lieux peu profonds ([Maberry, 2000](#)). L'autre type est l'appareil respiratoire à circuit semi-fermé qui fonctionne de la même manière que l'appareil autonome, mais il diffère par un petit sac pliable fixé au système d'air pour former une boucle, et le dioxyde de carbone est éliminé chimiquement de l'air expiré avant d'être respiré à nouveau et l'excès de gaz est évacué dans l'eau environnante ([Radford et al., 2005](#)). L'appareil respiratoire à circuit entièrement fermé fonctionne selon un principe similaire au système à circuit semi-fermé, sauf que toute la respiration est retenue dans la boucle, l'oxygène est maintenu à une pression partielle constante tout au long de la plongée et l'oxygène de remplacement étant injecté dans la boucle ([Radford et al., 2005](#)). La Figure 1.2 montre un exemple d'appareil respiratoire autonome.



Figure 1-2 Appareil respiratoire autonome ([EMDX, 2004](#))

b) Combinaison de plongée

Les vêtements destinés à être portés dans l'eau exigent une conception particulière et une sélection des matériaux et du processus de développement global. En même temps, il est nécessaire d'assurer la fonctionnalité appropriée de ces vêtements en termes de critères de mouvement du corps, en fournissant une protection adéquate et un soutien ciblé à l'utilisateur et en réalisant la forme et la taille du modèle de vêtement qui seront adaptées aux variétés de corps humains ([Pettrak et al., 2020](#)).

La régulation de la température est très importante. La conductivité thermique élevée et la capacité de l'eau et du gaz respiratoire dense ainsi que l'eau froide font que le plongeur

fait face au danger de l'hypothermie. Des combinaisons d'expositions appropriées sont essentielles pour tous les plongeurs afin de minimiser la perte de chaleur ([Levett et Millar, 2008](#)).

Il existe deux types de combinaisons couramment utilisées pour la plongée : la combinaison humide et la combinaison étanche. Dans les eaux chaudes, généralement au-dessus de 50 degrés Fahrenheit, une combinaison humide offre une protection thermique adéquate. Cette combinaison est conçue pour être bien ajustée et est fabriquée en néoprène. La combinaison humide laisse une fine couche d'eau entre la combinaison et la peau du plongeur. Cette couche d'eau, qui est réchauffée par la chaleur du corps, agit comme un isolant pour garder le plongeur au chaud. L'efficacité d'une combinaison humide dépend de son épaisseur, de son ajustement, de la température de l'eau et de la profondeur de la plongée ([Browne et al., 2010](#)). Une combinaison étanche à volume variable est une combinaison extrêmement efficace en eau froide et la plongée sous la glace ([Özger, 2019](#)). Les combinaisons étanches sont également très utilisées dans les eaux contaminées ([Barsky, 2006](#)). La Figure 1.3 montre un exemple de combinaisons de plongée.



Figure 1-3 Combinaisons de plongée
([Scubapatro, 2019](#))

c) Masque facial

Les masques faciaux de plongée fournissent cet espace d'air afin que l'œil puisse se concentrer et voir. Pour cette raison, le masque facial est l'un des trois équipements

principaux de la plongée ([Özger, 2019](#)). Actuellement, il existe quatre types de masques. Il s'agit des masques intégraux, des masques à double verre, des masques à simple verre et des masques à amélioration numérique ([Özger, 2019](#)).

Les masques intégraux sont conçus pour couvrir le visage du plongeur en un seul volume, y compris les yeux, le nez et la bouche ([Caramanna et Leinikki, 2016](#)). Ces masques offrent un degré de protection plus élevé par rapport à l'environnement, principalement en termes d'isolation thermique améliorée lors de la plongée en eau froide ou sur la glace et une protection limitée lors de la plongée dans des eaux potentiellement polluées. Un autre aspect important des masques intégraux est qu'ils peuvent être équipés d'un système de communication sous-marine permettant aux plongeurs de se parler entre eux et avec l'équipe de surface ([Caramanna et Leinikk, 2016](#); [Özger, 2019](#)). Les masques à double verre sont utilisés par les plongeurs qui ont des problèmes de vue et doivent utiliser des lunettes prescrites. Le verre peut être transformé en lunettes prescrites. Les masques à verre simple sont les masques ordinaires les plus couramment utilisés. En termes de fonction, les masques à verre simple et double sont similaires ([Özger, 2019](#)). La Figure 1.4 illustre un exemple de masque facial.



Figure 1-4 Masque facial ([Oral et al., 2014](#))

d) Gilet stabilisateur

Les gilets stabilisateurs aident le plongeur à contrôler sa profondeur. Ils ont de nombreuses formes différentes, du collier au gilet, certains des compensateurs les plus

élaborés intégrant la bouteille et les poids ([Smith, 1995](#)). Les différentes valves d'un gilet stabilisateur doivent faire l'objet d'un entretien de routine pour s'assurer qu'elles fonctionnent correctement ([Smith, 1995](#)). Les compensateurs de flottabilité doivent être adaptés à la taille et au poids du plongeur. Un gilet stabilisateur défectueux ou insuffisant pour maintenir le visage du plongeur hors de l'eau lorsqu'il est en surface peut entraîner la noyade ([Acott, 1999](#)). La Figure 1.5 illustre un exemple de gilet stabilisateur.



Figure 1-5 Gilet stabilisateur ([Oral et al., 2014](#))

e) Détendeur du plongeur

Un détendeur est destiné à respirer d'une bouteille d'air en ramenant la pression élevée de l'air dans la bouteille de plongée à un niveau adapté à la respiration. Une partie du détendeur est connectée à la valve de la bouteille et une autre partie est mise dans la bouche du plongeur ([Levett et Millar, 2008](#)). En mode de plongée autonome, le détendeur fournit au plongeur de l'air respirable, en deux étapes, par la bouteille d'air. Le premier étage du détendeur est fixé directement à la valve de la bouteille haute pression. Ce premier étage réduit l'air haute pression (généralement 3 000 PSI) du réservoir à une pression intermédiaire (110 à 150 PSI au-dessus de la pression ambiante). Le deuxième étage du détendeur réduit l'air qui est à pression intermédiaire à la pression ambiante et le délivre au plongeur à la demande. Lorsque le plongeur inspire, une valve est activée et permet à l'air de circuler vers le plongeur ([Browne et al., 2010](#)).

Un régulateur défectueux peut entraîner à long terme des problèmes respiratoires chez les plongeurs ([Barsky, 2006](#)). La Figure 1.6 illustre un exemple de détendeur du plongeur.



Figure 1-6 Détendeur du plongeur ([Alexander, 2005](#))

f) Palmes de plongée

Bien que les tâches des différents groupes de plongeurs (professionnels et sportifs) varient considérablement, un facteur commun à la plongée sous-marine est l'utilisation des palmes pour la propulsion ([Pendergast et al., 2003](#)). Les palmes sont disponibles dans une grande variété de formes et de matériaux qui sont censés affecter leurs performances. Les palmes se distinguent également par leur élasticité. Plus les palmes sont rigides, plus leur utilisation est exigeante. L'avantage des palmes plus rigides est qu'elles sont plus rapides et plus concentrées dans les manœuvres. Plus les palmes sont souples, moins l'effort à fournir est important ([Rusoke-Dierich, 2018](#)). La performance des plongeurs utilisant des palmes est influencée par le coût énergétique de la nage, car il détermine leur consommation d'air respirable et donc leur temps de plongée, leur consommation de l'oxygène et leur état thermique, ainsi que leur fatigue potentielle ([Pendergast et al., 2003](#)). La Figure 1.7 illustre un exemple de palmes de plongée.



Figure 1-7 Palmes de plongée ([Hervé, 2016](#))

g) Ordinateur de plongée

Les ordinateurs de plongée affichent les données relatives à la plongée, tels que la profondeur, le temps et les obligations de décompression ([Sieber et al., 2012](#)). Grâce à cet appareil, le plongeur peut connaître sa profondeur en temps réel, ce qui lui permet de ne pas dépasser la profondeur maximale pour ne pas aller à des profondeurs dangereuses ([Azzopardi et Sayer, 2010](#)). En outre, le plongeur peut télécharger des photos et des cartes de chaque plongée. L'appareil permet au plongeur de surveiller facilement la pression d'air actuelle et de déterminer également la quantité d'air dans la bouteille, en la calculant à partir de la respiration moyenne à la profondeur enregistrée ([Cibis et al., 2017](#)). La Figure 1.8 montre un exemple d'ordinateur de plongée.



Figure 1-8 Ordinateur de plongée
([Recandtekscuba](#))

h) Couteau de plongée

Le couteau de plongée est utilisé principalement comme outil d'urgence, par exemple, en cas d'enchevêtrement. Il existe de nombreux styles de couteaux. Généralement, le couteau est fabriqué en métal résistant à la corrosion, généralement en acier inoxydable, et possède un bord dentelé pour scier à travers des lignes les plus larges et les plus résistantes ([Browne et al., 2010](#)). La Figure 1.9 illustre un exemple de couteau de plongée.



Figure 1-9 Couteau de plongée ([Hervé, 2017](#))

i) Lampe de plongée

Les lampes de plongée sont des lampes de poche sous-marines étanches et résistantes à la pression. Elles peuvent être très utiles lorsque la lumière naturelle ne pénètre pas dans l'eau jusqu'aux profondeurs de plongée, mais leur utilité est limitée dans les eaux boueuses ou sales ou la turbidité est importante ([Browne et al., 2010](#)). La Figure 10 montre un exemple de lampe de plongée.



Figure 1-10 lampe de plongée
([Planet-Plongee](#))

1.2.3 Classification des modes de plongée

a) Mode de plongée autonome

Ce mode dispose d'une réserve de gaz limitée, il n'a aucune communication avec la surface et dans la plupart des cas, il n'a aucun lien de sécurité entre la surface et le plongeur professionnel ([Imbert, 2006](#)). Les systèmes autonomes de plongée sont eux-mêmes classés en circuits ouverts ou circuits fermés. Les équipements de plongée à circuit ouvert fournissent au plongeur du gaz respirable provenant d'un conteneur de gaz comprimé (une bouteille autonome) et le plongeur expire directement dans l'environnement ([Munro et al., 2005](#)). Avec un appareil respiratoire à circuit fermé (communément appelé recycleur), le gaz expiré est récupéré, débarrassé du dioxyde de carbone, enrichi en oxygène puis renvoyé au plongeur par la boucle respiratoire. L'oxygène consommé par le plongeur via la consommation métabolique est le seul élément remplacé pour continuer à soutenir le plongeur ([Walker et Murphy-Lavoie, 2018](#)). La Figure 1.11 illustre un exemple d'une plongée autonome.



Figure 1-11 Plongée autonome ([Melhiser, 2019](#))

b) Mode de plongée non-autonome

La plongée non-autonome est utilisée lorsque la charge de travail exige des taux de respiration plus élevés que ceux fournis au plongeur autonome ([Robbins, 2006](#)). En utilisant l'air fourni de la surface, le plongeur reçoit une quantité pratiquement illimitée de gaz respiratoire provenant de réservoirs ou d'un compresseur en surface, par l'intermédiaire d'un ombilical en trois parties comprenant un tuyau de gaz respiratoires, un tuyau de pneumofathomètre (pneumo) et une ligne de communication (ligne de communication) ([Munro et al., 2005](#); [Humphrey et al., 2011](#)). Les ombilicaux d'alimentation en surface fournissent le gaz respiratoire, les communications, la profondeur du plongeur et un élément de résistance entre le tender et le plongeur ([Humphrey et al., 2011](#)). La Figure 1.12 illustre un exemple de plongée non-autonome. Cette méthode de plongée se compose de trois types, selon la profondeur et la nature du travail ([Maberry, 2000](#)) :

- Plongée avec narguilé sans décompression ;
- Plongée avec narguilé avec décompression ;

- Plongée avec narguilé avec gaz.



Figure 1-12 Plongée non-autonome ([McFall, 2019](#))

c) Mode de plongée à saturation

La plongée à saturation fait référence à une exposition prolongée à la profondeur pendant un certain temps pour permettre aux tissus d'être saturés par un gaz inerte, c'est-à-dire que les pressions des tissus et du gaz inerte ambiant sont égales ([Leitch, 1985](#)). En plongée à saturation, les plongeurs restent sous pression jusqu'à ce que la plupart de leurs tissus soient saturés de gaz respiratoire ([Leitch, 1985](#)). Les plongeurs passent une longue période en isolement, puisqu'ils sont exposés à une pression partielle d'oxygène accrue, à des gaz potentiellement toxiques, à des bactéries et à la formation de bulles d'air pendant la décompression ([Brubakk et al., 2011](#)). Les plongeurs sont comprimés à une profondeur de travail dans une chambre hyperbare, puis peuvent être transférés dans une cloche à plongeur fermée qui est abaissée à la profondeur de travail dans l'eau. Les plongeurs peuvent alors sortir de la cloche à plongeur et accomplir leur tâche tout en recevant du gaz respirable via un cordon ombilical ([Sayers et Moon, 2022](#)). La Figure 1.13 présente un exemple de plongée à saturation.



Figure 1-13 Plongée à saturation ([Ferguson, 2017](#))

d) Gaz respiratoire en plongée

Les principaux facteurs pertinents pour identifier le mode de plongée sont la profondeur, la durée de la tâche, la nature de la tâche et les coûts associés ([Maberry, 2000](#)). Cependant, pour chaque métier ayant ses propres outils, les méthodes peuvent différer d'un site de plongée à l'autre. Un autre facteur considérable est les mélanges gazeux couramment utilisés dans chaque mode de plongée professionnelle. Ils incluent l'air comprimé, le nitrox (le mélange azote-oxygène) ([Maberry, 2000](#)). Le nitrox n'est pas très utilisé dans la plongée professionnelle de construction ([Munro et al., 2005](#); [Arieli, 2007](#); [Šegrt Ribičić et al., 2019](#)). Les autres gaz courants sont l'héliox (hélium-oxygène) et le trimix (hélium, oxygène et azote) qui sont utilisés au-dessous de 50 mètres ([Levett et Millar, 2008](#)). Les avantages et désavantages des gaz sont présentés dans le Tableau 1.5.

Tableau 1-5 Avantages et désavantages des gaz ([Levett et Milla, 2008](#))

Gaz	Avantages	Désavantages
Air compressé	<ul style="list-style-type: none"> • Bon marché • Facilement disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Narcose à l'azote en dessous de 30 mètres de profondeur
Nitrox	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du temps de plongée • Réduction du temps de décompression 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de toxicité si un mélange inapproprié utilisé en profondeur
Heliox	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la narcose 	<ul style="list-style-type: none"> • Syndrome nerveux de haute pression en dessous de 200 mètres de profondeur • Coût
Trimix	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la narcose • Éviter l'hyperoxie 	<ul style="list-style-type: none"> • Mélange compliqué et possibilité d'erreur • Coût

Le Tableau 1.6 fournit une brève description des types de gaz utilisés selon les modes de plongée.

Tableau 1-6 Types de gaz utilisés selon les modes de plongée ([Maberry, 2000](#))

Mode de plongée	Gaz	Profondeur (Mètre/Pied)
Plongée autonome	Air	0-30.5/ (0-100)
	Nirox air enrichi	10-40/ (35-100)
	Héliox	
Plongée avec narguilé- sans décompression	Air	0-30.5 (0-100)
Plongée avec narguilé -avec décompression	Air	12-67 (40-220)
Plongée avec narguilé -avec gaz	Héliox	50-110/ (165-360)
Plongée à saturation	Air	0-15/ (0-50)
	Nitrox	14-58/ (45-190)
	Héliox	30-500/ (90-1600)
	Trimix	150-610/ (500-2000)

1.3 Utilisation des technologies en plongée

La tendance d'utilisation des technologies en plongée peut se subdiviser en deux catégories ([Maberry, 2000](#); [Olejnik et Siermontowski, 2016](#)). La première concerne les diverses solutions reliées aux appareils respiratoires sous-marin. La deuxième concerne les véhicules sous-marins ([Olejnik et Siermontowski, 2016](#)).

Les constructions sous-marines, qu'il s'agisse d'installations portuaires, de plates-formes de forage ou de pompage en mer, de fondations de parcs éoliens en mer, de barrages-réservoirs ou d'écluses doivent être inspectées régulièrement pour détecter à temps les dommages ([Yang et al., 2016](#)). De même, les coques des navires doivent être inspectées pour détecter les fuites. La plupart de ces zones sont difficiles à atteindre fréquemment et coûteuses à surveiller. Habituellement, ces inspections sont effectuées par des plongeurs et/ou des véhicules télécommandés. Les plongeurs doivent recevoir une formation spéciale et les missions de plongée sont souvent dangereuses ([Jacobi, 2015](#)).

Principalement en raison de la présence limitée de plongeurs en eaux très profondes, il n'est pas possible de réaliser des explorations et des travaux à de grandes profondeurs sans l'aide d'équipements spécialisés ([Maberry, 2000](#); [Olejnik et Siermontowski, 2016](#)). C'est la principale raison pour laquelle la famille des véhicules sous-marins s'est tant développée. Le secteur de la plongée professionnelle dispose d'une large gamme de véhicules tels que les robots sous-marins qui travaillent en se connectant physiquement depuis la surface de l'eau et ils sont contrôlés par des opérateurs de navires ([Olejnik et Siermontowski, 2016](#)). Les robots modernes sont utilisés dans la construction des plateformes pétrolières et gazières, durant les opérations d'inspection, de maintenance, de sauvetage et de récupération ([Bogue, 2015](#)). Ces robots varient considérablement en termes de profondeur de plongée, de taille, de complexité et de capacité de travail ([Bogue, 2015](#)). La plupart des robots sont équipés de caméscopes et de lumières, et comprennent souvent des radars ([Cong et al., 2021](#)). Des capteurs de qualité de l'eau, des systèmes d'échantillonnage et des caméras de haute résolution sont également installés sur ces robots ([Yoerger et al., 2018](#)). Ces véhicules sous-marins autonomes sont utilisés dans des opérations telles que la sécurité maritime, l'océanographie, l'inspection et la maintenance sous-marines, l'évaluation du changement climatique et la surveillance de l'habitat marin ([Jain.A et al., 2018](#)). La Figure 1.14 montre un exemple de robot sous-marin autonome.

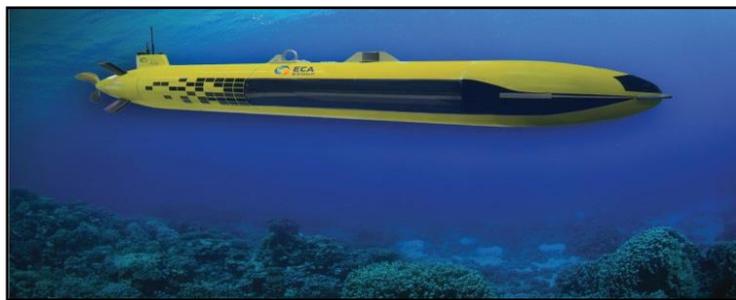


Figure 1-14 Robot sous-marin autonome ([Toulon, 2018](#))

1.4 Plongée professionnelle dans le secteur de la construction

En 2018, 127 plongeurs professionnels ont travaillé dans l'industrie de la construction à travers le Québec et 65 % d'entre eux ont travaillé dans une autre région que celle où ils habitent. Les perspectives d'emploi au Québec sont favorables pour les plongeurs professionnels, car la demande en main-d'œuvre est en nette augmentation ([Commission de la construction du Québec \[CCQ\], 2020](#)). Le Tableau 1.7 présente le nombre de plongeurs professionnels actifs par région du Québec.

Tableau 1-7 Nombre des plongeurs professionnels actifs au Québec en 2018
([CCQ, 2020](#))

Région	Nombre
Abitibi-Témiscamingue	0
Bas-Saint-Laurent-Gaspésie	7
Côte-Nord	5
Estrie	6
Île de Montréal	13
Laval-Laurentides-Lanaudière	20
Mauricie-Bois-Francs	4
Montréal	27
Outaouais	1
Québec	27
Saguenay-Lac-Saint-Jean	9
Extérieur et Baie-James	8
TOTAL	127

1.4.1 Tâches avant de commencer la plongée professionnelle

Le plan de plongée est une partie essentielle de toute opération de plongée professionnelle. En général, il doit être défini avant de commencer une opération afin d'assurer un fonctionnement sûr et efficace ([ADCI, 2016](#)). Le plan de plongée doit être préparé par le chef de plongée ([Gouvernement du Québec, 2013h, article 312.31](#)).

Ce plan contient des détails importants comme la description des lieux de plongée, des caractéristiques du fond marin et la nature du travail à effectuer, le profondeur et la durée de plongée, la vitesse d'écoulement et, si nécessaire, les mesures préventives à prendre pour éliminer le danger d'air comprimé peuvent s'infiltrer dans la circulation sanguine par une éraflure ou un orifice naturel, le mode de plongée ainsi que l'équipement et le matériel nécessaires, l'identification des dangers et la prise de précautions pour les éliminer ou les contrôler, les mesures préventives dans un environnement contaminé fermé ([Hay, 2010; Levée, 2020d](#)). Ce plan contient aussi les codes pour communiquer et appeler à la surface par des signaux de ligne, les actions à prendre en cas d'urgence, la décharge et le transport du plongeur blessé, en particulier, si nécessaire, le transport aérien, les coordonnées des services médicaux d'urgence et les coordonnées des services d'urgence, comme la police et les autorités portuaires ([Levée, 2019c](#)).

Les points à prendre en compte dans le plan de plongée sont précis selon le contexte de chaque projet de plongée. Lorsque le travail est effectué dans un port, il faut prévenir les autorités pour que les bateaux ne puissent pas entrer dans la zone de travail. L'équipe de plongée professionnelle doit établir des procédures de sécurité conformes aux réglementations gouvernementales et les rendre accessibles à tous ses plongeurs sur les lieux de travail ([ADCI, 2016](#)).

1.4.2 Tâches d'équipe durant la plongée professionnelle

Les plongeurs professionnels doivent travailler en équipe ([Gouvernement du Québec, 2013c, article 312.7](#)). Une équipe de plongée doit compter au moins 3 plongeurs qui se partagent les fonctions de chef de plongée, de plongeur, de plongeur de soutien ou

d'assistant du plongeur ([Gouvernement du Québec, 2013c, article 312.7](#)). Dans certains cas, il peut être nécessaire d'avoir plus de membres ([Levée, 2019](#)). Par exemple, la plongée sous la glace nécessite une équipe de quatre personnes et la plongée profonde nécessite une équipe de cinq personnes ([Levée, 2019](#)). Les missions de tous les équipiers sont indiquées dans le RSST ([Levée, 2019](#)). Les différentes tâches de l'équipe de plongée sont résumées dans le Tableau 1.8.

Tableau 1-8 Les tâches d'équipe durant les travaux de plongée ([CCQ, 2013](#))

Rôle	Tâches	Exemples d'activités
1	Effectuer une plongée	<ul style="list-style-type: none"> • Descendre et remonter à la surface • Mobiliser/démobiliser l'équipement • Sécuriser la zone de travail
2	Assister le plongeur lors d'une plongée	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier le fonctionnement de l'équipement et les outils de plongée • Assister le collègue et s'assurer du bon fonctionnement des équipements de soutien • Fournir les matériaux et l'outillage au collègue
3	Diriger les opérations et guider le plongeur au cours de la plongée	<ul style="list-style-type: none"> • Diriger le mouvement des équipements • Contrôler le fonctionnement des différents systèmes et équipements • S'assurer de la qualité des travaux
4	Entretien et réparer	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer les besoins en réparation • Réparer le système d'éclairage et les composants de l'ombilical • Entretien et réparer les outillages défectueux

1.4.3 Tâches reliées à la construction sous-marine

La plupart des opérations de plongée ont lieu dans différents types de débordements, de structures, de ponts et de réservoirs, etc. La construction et la réparation des postes d'amarrage, des ports et des voies navigables, l'entretien des navires nécessitent l'exécution de diverses compétences ([Lamont, 1991](#); [Elsley et McFadzen, 2010](#)). D'autre part, les plongeurs professionnels impliqués plus dans les activités de réparation et de construction, où leur habileté manuelle et leurs capacités mentales deviennent cruciales pour accomplir des projets complexes ([Gerwick Jr, 2007](#)). Un exemple de ces projets complexes est le processus de construction et d'assemblage de structures dans des sites sous-marins ou marins. L'installation de structures marines, les projets de pipelines (réacheminement, abandon et réparation), les colonnes montantes marines (installation et réparation) et les projets civils (par exemple, la pose de matelas de béton, l'élimination des affouillements de ponts) sont d'autres exemples de ces projets complexes ([Morales et al., 2009](#)). Dans la construction sous-marine et dans de nombreuses autres activités, la dextérité manuelle et les capacités cognitives des plongeurs professionnels sont essentielles et précieuses. L'environnement et la tâche mettent à l'épreuve les capacités (physiques et physiologiques) des plongeurs et peuvent compromettre l'efficacité des opérations ([Stanley et Scott, 1995](#)).

Certaines activités de construction sous-marine sont expliquées ci-après.

a) Bétonnage sous-marin

Il est techniquement exigeant d'adopter des méthodes efficaces et viables de bétonnage sous-marin car il implique une logistique complexe. Les travaux de bétonnage sous-marin sont considérés comme les travaux les plus difficiles et s'ils ne sont pas exécutés correctement, avec un mélange et une procédure appropriés, ils peuvent entraîner un dépassement important des coûts et des délais ([Mehta et al., 2015](#)). Le choix des mélanges de béton sous-marins comprend une sélection minutieuse des matériaux de construction. Ce choix des mélanges joue un rôle important dans l'efficacité globale du béton obtenu

en termes de qualité et de coût ([Al-Tamimi, 2019](#)). Les caissons et les batardeaux sont les techniques utilisées pour la construction de structures sous-marines.

- Le caisson est composé d'une structure étanche à l'eau utilisée pour la construction d'un barrage en béton, sur les fondations d'une jetée de pont ou pour la réparation de navires. Ils sont coulés dans l'eau pendant le processus d'excavation des fondations afin d'exclure l'eau qui finit par devenir une partie essentielle de la sous-structure ([Abdrabbo et Gaaver, 2012](#)).
- Le batardeau représente une structure temporaire construite pour isoler le chantier de l'eau. On peut simplement déverser le sol dans l'eau jusqu'à ce qu'il crée un remblai assez haut pour servir de retenue. Une fois la zone de construction est isolée, il suffit de pomper l'eau. Puisque le sol est quelque peu perméable, il faut constamment pomper l'eau qui parvient à s'infiltrer. Le sol non compacté et saturé n'est pas très solide. Un effondrement pourrait être extrêmement dangereux pour tous les travailleurs sous les batardeaux ([Anderson, 2001](#)).

b) Soudage et coupage sous-marin

Le soudage et le coupage sous-marin sont généralement subdivisés en deux catégories : le soudage et le coupage à sec et le soudage et le coupage humide ([Çakır et al., 2004](#); [Łabanowski et al., 2008](#)). Le soudage sous l'eau est maintenant devenu un outil important dans l'industrie de la fabrication pour joindre l'acier sur les plates-formes offshore, les structures sous-marines, les pipelines, les navires et dans de nombreuses autres applications. Les structures sous-marines, après s'être corrodées, risquent de s'effondrer dans les profondeurs de l'eau et la défaillance maximale se produit à faible profondeur. Les travaux de réparation et de soudage à ces niveaux constituent donc un défi technologique de taille ([Łabanowski et al., 2008](#); [Chhniyara, 2014](#)). Il existe un danger d'électrocution du plongeur au moment des opérations de soudage. Les précautions à prendre consistent d'assurer une isolation électrique adéquate de l'équipement de soudage, à couper l'alimentation électrique dès que l'arc est éteint et à limiter la tension du circuit ouvert. Des précautions doivent être aussi prises pour éviter la création de

poches de gaz, durant le soudage qui est potentiellement explosif ([Majumdar, 2006](#)). Différentes méthodes de soudage et de découpe sont décrites ci-dessous.

- Soudage en chambre : Il peut être réalisé de plusieurs manières comme la pression de l'eau ambiante dans une simple chambre sèche à fond ouvert qui peut contenir la tête et les épaules du plongeur en tenue de plongée complète (Soudage en chambre sèche) ; le soudage à la pression de l'eau ambiante dans une petite chambre transparente, remplie de gaz, avec le plongeur dans l'eau et plus que le bras du plongeur dans la chambre (soudage par points à sec) ; le soudage dans un appareil sous pression dans lequel la pression est maintenue à environ une atmosphère, quelle que soit la pression de l'eau ambiante extérieure (soudage à sec à une atmosphère) et le soudage à l'intérieur d'une chambre à fond fermé et à sommet ouvert à une atmosphère (soudage des batardeaux) ([Majumdar, 2006](#); [Verma & Garg, 2012](#)).
- Soudage hyperbare : Il est effectué à la pression ambiante dans une chambre où l'eau a été remplacée par de l'air ou un mélange gazeux, selon la profondeur. Les soudures sèches sous-marines sont de meilleure qualité que celles obtenues dans des conditions humides, mais elles nécessitent un équipement de soutien important et les coûts associés sont relativement élevés ([Łabanowski et al., 2008](#)). Cette méthode permet aux plongeurs de souder en salopette qui rend possible la réalisation d'une soudure de grande qualité jusqu'à de très grandes profondeurs. Ce type de soudage est la meilleure façon pour réaliser les réparations d'une canalisation d'oléoduc (pipeline), d'une structure sous-marine ou d'une coque de navire. L'avantage d'un soudage hyperbare est qu'il n'y a pas de trempe très rapide sur la soudure, ce qui permet d'améliorer sa qualité ([Kononenko, 2014](#)).
- Soudage en pleine eau : Il est réalisé à la pression ambiante avec le soudeur-plongeur dans l'eau et sans barrière mécanique entre l'eau et l'arc de soudage (voie humide). Dans un environnement aqueux, la vitesse de refroidissement des soudures humides est beaucoup plus élevée que celle des soudures sèches. La porosité peut être formée par l'hydrogène moléculaire, le monoxyde de carbone ou la vapeur d'eau

([Łabanowski et al., 2008](#)). Ce type de procédé est de loin le plus facile et le plus économique à réaliser, mais actuellement, il est rarement utilisé à des profondeurs supérieures à 40 mètres. La plupart des soudures en pleine eau sont réalisées durant les travaux de maintenance, les petits travaux de construction et de réparation et les travaux de renforcement de structures ([Rowe et al., 2002](#)).

- Découpage : Les domaines d'application des techniques de découpage sous-marin sont multiples. Parmi ceux-ci figurent les applications en eaux peu profondes, comme la construction, l'entretien et la réparation des installations portuaires, des canaux et des navires. Les applications en eaux profondes comprennent les installations en mer et les opérations de sauvetage ([Bach et al., 2003](#)). Il peut être effectué à l'aide de différentes méthodes de découpage comme le découpage à la flamme (système oxyde de pétrole - essence), le découpage au plasma, le découpage au jet d'eau à haute pression, le découpage par explosion et le découpage mécanique ([Cao, 2009](#)).

c) Tâches d'inspection et d'entretien des structures sous-marines

De nombreuses structures existantes, entièrement ou partiellement immergées dans l'eau (ponts, barrages, conduites, plates-formes pétrolières, etc.) sont exposées à un environnement potentiellement corrosif. Les travaux d'inspection de ces structures occupent donc une place importante pour assurer leur qualité et leur intégrité ([Kornelsen, 2010](#)).

Diverses raisons peuvent expliquer la nécessité d'une inspection. Les défaillances les plus courantes, tel que les fissures et les fuites d'eau peuvent avoir des conséquences dévastatrices si elles ne sont pas diagnostiquées à temps, puisque toutes les installations maritimes vieillissent et présentent des effets comme la corrosion ou des

dysfonctionnements ([Van den Abeele et Goes, 2011](#)). En général, elles doivent être inspectées fréquemment ([Jacobi, 2015](#)).

Les inspecteurs doivent être capables de reconnaître et d'évaluer la détérioration de l'acier, du béton, du bois et des matériaux composites ([Abbott et Famularo, 2004](#)). Les techniques d'inspection peuvent inclure, selon le contexte, des inspections visuelles directes ou en utilisant des véhicules téléguidés, des caméras sous-marines, de l'imagerie sous-marine, des équipements d'échantillonnage des matériaux ou autres équipements d'inspection spécialisés ([Browne et al., 2010](#)).

Les niveaux d'inspection sont indicatifs du niveau d'effort requis pour diverses inspections. Ces niveaux pourraient, plus correctement, être appelés niveaux d'effort ou d'intensité d'inspection, mais sont communément appelés niveaux d'inspection. Trois niveaux d'inspection ont été adoptés pour l'inspection des structures sous-marines ([Hayward et al., 1993](#)). Ces niveaux d'inspection sont définis dans la Figure 1.15.



Figure 1-15 Niveaux d'inspection sous-marine ([Browne et al., 2010](#))

- Niveau I : Elle sert à détecter les dommages majeurs évidents ou les détériorations dues à des contraintes excessives, à une corrosion sévère ou à une attaque biologique importante. Ce type d'inspection n'implique pas le nettoyage d'un élément structurel et fournit des données initiales pour une stratégie d'inspection. Lorsqu'il est effectué par des plongeurs, l'effort du niveau 1 est un aperçu « à la nage » et il peut inclure des observations tactiles (selon la clarté de l'eau) ([Rizzo, 2013](#)).

- Niveau II : Elle est utilisée pour identifier les zones de la structure qui sont usées ou endommagées et qui sont cachées en raison de la dégradation de la surface. À ce niveau d'inspection, il faut nettoyer les éléments ou les parties de la structure, ce qui prend beaucoup de temps. Ainsi, il faut se limiter aux zones critiques et importantes de la structure ([Kelly, 1999](#)).
- Niveau III : Elle est souvent utilisée lorsque les examens de niveaux I et II ne peuvent pas déterminer définitivement l'état des structures sous-marines. Cette inspection fait appel aux essais non destructifs (END). Elle peut également nécessiter l'utilisation d'essais partiellement destructifs (EPD) telles que l'échantillonnage des matériaux ou les essais de dureté. Ce type d'inspection nécessite généralement un nettoyage au préalable. L'utilisation des méthodes END est généralement limitée aux zones importantes, aux zones suspectes ou aux parties critiques de la structure. Ces inspections nécessitent une expérience et une formation considérables par rapport aux inspections de niveaux I ou II et doivent être effectuées par des professionnels qualifiés ([Browne et al., 2010](#)).

1.5 Législatives en lien avec le travail à proximité ou sous l'eau

Malgré le fait que la plongée soit une profession à haut risque, elle a longtemps utilisé uniquement les exigences citées dans le Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC) ([Gouvernement du Québec, 2021, chapitre S-2.1, r. 4](#)). En fait, entre 1982 et 2001, il y a eu un nombre important d'accidents mortels reliés à la plongée professionnelle, soit 20 fois plus que dans toute l'industrie de la construction ([Desy, 2010, Levée, 2019a](#)). Ces accidents indiquent, entre autres, une insuffisance de la formation et des qualifications des plongeurs. En raison du manque de formation appropriée, les plongeurs récréatifs se sont considérés comme plongeurs professionnels et ont élaboré de nouvelles techniques de travail ([Levée, 2019a](#)).

En 2010, la section spécifique aux travaux effectués en plongée a été ajoutée au RSST ([Gouvernement du Québec, 2013b, section XXVI.I](#)) afin d'ajouter plus d'exigences et clarifier certaines normes. Bien que le RSST s'applique généralement à tous les établissements, la section XXVI. I s'applique aux sites de construction ([Desy, 2010](#)).

Le RSST fournit des règles plus détaillées aux opérations en plongée dans la section XXVI. I. L'un des rôles de l'employeur est de faire en sorte que chacun des membres de l'équipe de plongée soit formé et informé de ses tâches et responsabilités ([Gouvernement du Québec, 2013i, article 312.4](#)). Le plongeur doit signaler au directeur de plongée tout problème de santé susceptible de rendre le plongeur inapte à plonger et conserver le rapport du plongeur à jour pendant au moins 5 ans ([Gouvernement du Québec, 2013d, article 312.5](#); [Joosten, 2020](#)). La section XXVI. I comprend également toutes les normes et exigences de sécurité pour la plongée, les mesures préventives, les obligations de chaque membre de l'équipe de plongée, les équipements requis, les méthodes d'enregistrements ([Joosten, 2020](#)).

La section XXVI. I du RSST exige que tous les travaux de plongée soient effectués en équipe d'au moins trois personnes ([Gouvernement du Québec, 2013c, article 312.7](#); [Joosten, 2020](#)). Les travaux de plongée doivent être faits en mode non autonome dans le cas de travaux effectués sur un site de construction et durant les travaux de soudage ou de découpage, les travaux de plongée profonde ou les travaux nécessitant la manipulation de charges sous l'eau à l'aide d'un appareil de levage ([Gouvernement du Québec, 2013a, article 312.6](#)). En vertu de la section 312.25 du RSST, le temps cumulatif de plongée d'un plongeur ne doit pas excéder 4 heures par cycle de 24 heures ([Joosten, 2020](#)).

En outre, chaque membre de l'équipe de plongée doit être formé et certifié en plongée professionnelle par un établissement d'enseignement agréé, ou être certifié pour les opérations de plongée par un tel établissement ([Gouvernement du Québec, 2013e, article 312.8](#)). Chaque membre de l'équipe de plongée doit également être formé et certifié en matière de premiers secours sur le lieu de travail, avec une expertise en quasi-noyade ([Joosten, 2020](#)).

Le 23 juin 2015, le règlement modifiant le CSTC (chapitre S-2.1, r.) en ce qui concerne les travaux qui sont effectués au-dessus ou à proximité de l'eau a été adopté. Le 8 juillet 2015 ([Gauvin, 2015](#)). Ce règlement change les articles 1.1, 2.4.4 et 2.10.13 du CSTC et il précise la définition des travaux au-dessus ou à proximité de l'eau, confère à l'entrepreneur la possibilité de transport et de sauvetage sur l'eau ainsi que d'autres mesures de sécurité générales. Il met également à jour les exigences relatives aux vêtements individuels de flottaison et aux gilets de sauvetage ([Gauvin, 2015](#)).

Le règlement inclut aussi la nouvelle section XI. Cette section traite des dispositions relatives aux mesures préventives liées aux travaux au-dessus ou à proximité de l'eau sur un chantier de construction, telles que ([Gauvin, 2015](#)) :

- La préparation et le contenu de la description des travaux et des caractéristiques du plan d'eau concernés, ainsi que la préparation et le contenu des plans de transport et de sauvetage sur l'eau ;
- Les besoins en formation des personnes qui préparent les plans d'eau et les travaux, de celles qui développent les plans de transport et de sauvetage et de celles qui sont responsables de leur mise en œuvre, ainsi que des intervenants en sauvetage sur l'eau ;
- Les exigences relatives à l'équipement de sauvetage requis par un plan de sauvetage et ses accessoires, si nécessaire, et, si le plan prévoit l'utilisation d'une embarcation, les exigences supplémentaires possibles ;
- Les obligations d'installer des bouées de sauvetage lors des travaux au-dessus ou à proximité de l'eau et les exigences relatives à l'installation de bouées de sauvetage et la présence d'un système d'alarme sonore sur le site pour déclencher des opérations de sauvetage.

1.6 Dangers professionnels associés aux activités de plongée professionnelle

Selon les sections précédentes, il est évident de conclure que lors de leurs différentes tâches les plongeurs sont confrontés à divers dangers professionnels ([Levett et Millar, 2008](#)).

Plusieurs facteurs sont impliqués dans le développement des dangers professionnels de la santé et de la sécurité. Certains de ces dangers sont les résultats de facteurs environnementaux tels que le travail en milieu hyperbare, la mauvaise visibilité en plongée sous-marine, la plongée en eau froide ou en présence de la glace ([Niewiedział et al., 2018](#)).

En outre, les facteurs humains tels que le manque de formation adéquate, une condition physique insuffisante et l'absence de compétence et d'expérience sont des facteurs de dangers professionnels ([DeGorordo et al., 2003](#); [Majumdar, 2006](#)). Il ne faut pas non plus négliger la défaillance ou l'inadéquation de l'équipement en ce qui concerne les dangers, qui peuvent même, dans certains cas, entraîner la mort du plongeur ([Barsky, 2006](#)).

Pendant les opérations sous-marines, les plongeurs professionnels savent que lorsqu'ils coupent avec une flamme, le gaz peut provoquer l'accumulation de grosses bulles dans un espace ou une poche qui peuvent exploser. Dans le pire des cas, l'explosion pourrait entraîner des blessures graves au plongeur ([Majumdar, 2006](#)).

La sécurité de la plongée sous-marine exige l'organisation d'un plan de plongée, l'application des règles avant le début de l'opération, l'établissement d'une communication et d'une coordination entre les membres de l'équipe de plongée ainsi que l'utilisation d'un équipement approprié ([Honkasalo, 1992](#)).

1.6.1 Divers dangers professionnels pouvant causer des lésions professionnelles

Cette section décrit les lésions professionnelles liées aux activités de plongée professionnelle ainsi que les dangers professionnels à l'origine de ces dernières.

a) Décompression ([Bove, 2014](#); [Olejnik et Siermontowski, 2016](#); [Cibis et al., 2017](#); [Baek et al., 2021](#))

En présence de pressions élevées associées à la profondeur de la plongée, l'azote, ou un autre gaz inerte du mélange respiratoire, se dissout dans le sang qui sera distribué à tous les tissus du corps. La quantité de gaz qui peut ainsi être transférée du mélange respiratoire dans l'organisme pendant un séjour à la profondeur de travail est immédiatement liée à sa pression partielle. Le gaz inerte (par exemple l'azote) n'est pas consommé par l'organisme humain, ce qui signifie que le gaz est cumulé dans l'organisme du plongeur et doit être éliminé au cours de la remontée, appelé désaturation ou, plus communément, décompression par le système respiratoire. Si ce processus n'est pas réalisé convenablement, des bulles de gaz se forment à différents endroits de l'organisme, provoquant ainsi des symptômes cliniques. Il s'agit notamment de syndromes cardio-pulmonaires, cérébraux, de l'oreille interne, cutanés spinaux, etc. D'ailleurs les plongeurs subissent souvent une embolie gazeuse intraveineuse sans signe clinique détecté à l'échographie.

b) Barotraumatisme ([Grace, 2002](#); [Nussbergera et al., 2007](#); [Bove, 2014](#); [Cibis et al., 2017](#))

Le barotraumatisme peut se produire lors de la descente ou de la remontée du plongeur. Avec l'augmentation de la pression pendant la descente, le volume de gaz est diminué dans les cavités corporelles contenant de l'air, tels que les poumons, l'oreille moyenne, les sinus paranasaux et le tractus gastro-intestinal. Si la pression dans ces organes n'est pas égale à la pression ambiante, des lésions tissulaires seront provoquées et qui résultent des forces générées par la différence de pression entre la pression ambiante et la cavité corporelle. La compression des poumons à des volumes inférieurs au volume résiduel pendant les plongées profondes avec apnée peut entraîner une hémorragie pulmonaire. Le trouble lié à la plongée le plus fréquemment rencontré chez les plongeurs est le barotraumatisme de l'oreille moyenne. Le barotraumatisme peut également concerner les sinus paranasaux, le masque de plongée et les poches d'air associées aux remplissages

dentaires. Des lésions du nerf facial ont été signalées comme une complication du barotraumatisme de l'oreille moyenne. La forme la plus grave de barotraumatisme touche les poumons.

c) Hypoxie et hyperoxie ([Grace, 2002](#); [Garofalo et al., 2005](#); [Thomson et Paton, 2014](#))

Le danger d'hypoxie survient lorsque la pression partielle de l'oxygène à l'intérieur de la boucle respiratoire est inférieure à 0,16 ATM. Il entraîne l'incapacité à satisfaire les besoins métaboliques en oxygène. Il peut également provoquer des lésions irréversibles au cerveau. En revanche, l'hyperoxie est l'augmentation excessive d'oxygène dans les tissus de l'organisme qui a des effets physiques, biochimiques, physiologiques et cellulaires.

d) Collisions ([Ihama et al., 2009](#); [Lomax, 2019](#))

Les collisions peuvent survenir pour plusieurs raisons dont :

- Les opérations de plongée peuvent être perturbées par d'autres activités telles que le déplacement de navires, le levage de matériaux pendant les opérations sous-marines, etc. Autrement dit, si des interventions dangereuses entourent ou provoquent des conditions non sécuritaires pour les plongeurs, l'activité doit être arrêtée. Les collisions provoquent de nombreuses blessures graves telles que des déchirures profondes, des coupures, des fractures osseuses et ils peuvent finalement entraîner la mort.
- De nombreux matériaux reprennent leur forme d'origine lorsqu'ils sont étirés, pliés ou déformés, même des années après la déformation, ce qui est souvent très soudain et violent. Ceci peut entraîner des blessures pouvant causer la mort du plongeur et qui travaille à proximité.

À titre d'exemple, dans le dessin « A » de la Figure 1.16, un pieu en acier sur une structure de culée a été déformé avant d'être entouré d'une chape en béton coulé. Si le pieu représenté était coupé, il serait projeté avec violence vers la gauche, en raison de l'énergie stockée. Le dessin « B » de la même Figure 1.16 montre une canalisation sous-marine, Une partie de l'enveloppe et un élévateur. L'élévateur a été déformé lorsqu'il a été installé dans les colliers de serrage de l'élévateur. Si les colliers de serrage de l'élévateur sont coupés ou desserrés, l'élévateur reprend fortement sa forme initiale.

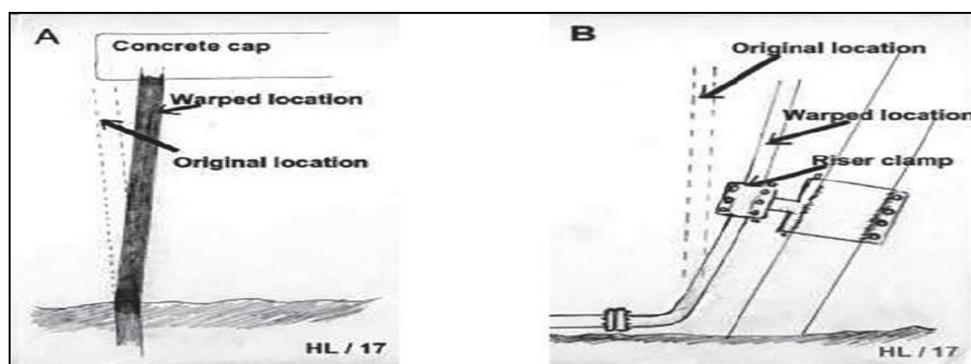


Figure 1-16 Énergie stockée ([Lomax, 2019](#))

e) Entraînements ou coincements ([Chef Fire and Rescue Adviser \[CFRA\], 2011](#); [Mallios et al., 2016](#); [Reshma et Ramesh, 2017](#))

Les différentes situations et raisons qui conduisent à l'apparition des dangers d'entraînement ou de coincement se présentent comme suit :

- Conditions météorologiques saisonnières : Comme les vents forts et les tempêtes qui entraînent des vagues importantes et la possibilité de perdre l'équilibre pendant le travail ou les changements soudains dans les courants d'eau ou la plongée sous la glace.
- Environnements : Le manque de visibilité, l'absence de prévision précise des facteurs environnementaux tels que la profondeur et le débit de l'eau. La physiologie humaine

et les systèmes de survie (l'approvisionnement en gaz respiratoires) ayant une résilience limitée. Les plongeurs doivent par nature s'engager dans des activités dangereuses, comme les activités d'exploration et les visites de sites de débris marins. Ces tâches sont souvent associées à des dangers de coincement.

- Le bruit : Il cause des problèmes de communication entre les équipiers. L'intensité du bruit lors d'un travail dans l'eau peut être due à la vitesse d'écoulement et aux caractéristiques du milieu aquatique, mais aussi aux facteurs environnementaux (bateaux électriques et autres systèmes). Si le bruit est si élevé que l'on n'entend pas les sons naturels, les personnes risquent de ne pas entendre ou de mal comprendre des informations de sécurité importantes. Il est donc important d'assurer un suivi continu de la santé des plongeurs.
- Espaces confinés : L'accès fermé ou restreint à des espaces confinés présente des dangers importants, ainsi que des difficultés d'entrée et de sortie et un enchevêtrement potentiel.

f) Aspiration ([Govindaraju et Palanisamy, 2017](#))

La différence de pression peut provoquer un accident d'aspiration ou d'éjection, qui se produit lorsque l'eau se déplace d'une zone de haute pression vers une zone de pression plus basse. Dès que l'écoulement commence, les forces exercées peuvent être très importantes, même à de faibles profondeurs. Cette différence de pression est invisible pour le plongeur et frappe sans avertissement soudain. Lorsque le plongeur est exposé à ce problème, il est pratiquement impossible de s'échapper.

g) Toxicité ([Bove, 2014](#); [Cibis et al, 2017](#); [Sayers et Moon, 2022](#))

La toxicité de l'oxygène et la narcose à l'azote sont associées aux gaz inhalés lors de la plongée sous-marine. L'azote a des propriétés narcotiques liées à la pression, rencontrées initialement à 30-40 m de profondeur avec une aggravation progressive à des profondeurs plus importantes. La narcose à l'azote est similaire à l'intoxication par l'alcool et peut

entraîner des troubles de jugement, des vertiges, des comportements à risque et des troubles de coordination. La toxicité de l'oxygène apparaît lors de la respiration et elle dépend du niveau de pression et du temps pour lequel on est exposé. Cette toxicité apparaît lors de la respiration à pression élevée et elle dépend du niveau de pression et du temps pour lequel le plongeur est exposé. Les poumons peuvent être affectés sur une période d'exposition continue plus longue, le danger le plus grave pour les plongeurs est la toxicité neurologique centrale de l'oxygène qui peut se manifester par une crise de grand mal sans avertissement similaire aux agents anesthésiques volumiques. Cela peut entraîner une noyade.

h) Hypothermie et hyperthermie ([Busutil et Obafunw, 1995](#); [Nussbergera et al., 2007](#); [Levett et Millar, 2008](#))

Ces dangers sont dus à une diminution ou à une augmentation de la température corporelle. La plongée en eau chaude comporte un danger d'hyperthermie. Les performances physiques sont considérablement réduites à des températures plus élevées, donc le plongeur se fatigue rapidement, ce qui déclenche des réactions de panique. L'hypothermie est provoquée par la plongée en eau froide. Le choc froid provoqué par le refroidissement des nerfs et des muscles superficiels, notamment dans les membres, entraîne une défaillance de la nage et la noyade.

i) Hypercapnie ([Dunworth et al., 2017](#); [Sayers et Moon, 2022](#))

La rétention de dioxyde de carbone, ou l'hypercapnie est un danger connu de la plongée qui peut entraîner des déficiences mentales et physiques conduisant à des accidents potentiellement mortels. Souvent, ces accidents se produisent en raison d'un taux élevé de dioxyde de carbone inspiré. Par exemple, en cas de défaillance du système d'élimination du dioxyde de carbone lors de plongées, une pression partielle élevée de

dioxyde de carbone inspiré peut rapidement conduire à des niveaux dangereux de dioxyde de carbone.

j) Chocs électriques ([Busuttil et Obafunwa, 1995](#); [Blumenthal, 2014](#))

Lors du soudage sous l'eau, l'un des dangers de la soudure sous-marine est le danger de choc électrique. Il existe une possibilité d'électrocution si l'équipement de soudage n'a pas été bien adapté à l'environnement marin. Avant d'utiliser l'équipement sous l'eau, il faut s'assurer qu'il est bien isolé, couper l'alimentation électrique immédiatement après l'extinction de l'arc et limiter la tension en circuit ouvert des postes de soudage.

k) Chutes ([Honkasalo, 1992](#); [Nussbergera et al., 2007](#))

Les chutes sur les embarcations ou sur la terre ferme avec des équipements lourds peuvent entraîner des blessures graves. La chute d'objets, d'équipements, des débris ou des matériaux instables délogés affectés par certaines conditions environnementales et météorologiques présentent tous des dangers non négligeables.

l) Postures de travail ([CFRA, 2011](#); [Laurino et al., 2015](#); [Shalaby et al., 2021](#))

La position du corps, la puissance du mouvement et le rythme de travail sont tous des facteurs qui peuvent avoir un impact sur les plongeurs professionnels. Ces facteurs peuvent être aggravés par la température de l'eau, car un environnement froid, par exemple, rendra le corps moins souple. D'autre part, les plongeurs sont soumis à de nombreuses pressions sur leur corps, qui ont une variété d'effets physiologiques sur tous les systèmes, y compris le système circulatoire, le système respiratoire, le système nerveux, le système musculaire, le cerveau et le squelette et plus la pression sur ces dispositifs est grande, plus les effets causés par la plongée sont importants. En outre, ils sont exposés à un stress aigu qui se résume à un stress chronique lié au travail. Certaines manifestations du stress apparaissent chez les plongeurs sous la forme d'une détérioration des performances motrices et des capacités spatio-temporelles.

m) Explosions ([Busutti et Obafunwa, 1995](#); [Majumdar, 2006](#); [Baek et al., 2021](#))

L'hydrogène généré par l'électrolyse et la décomposition thermique pendant le fonctionnement sous l'eau et l'oxygène utilisé qui ne sont pas correctement évacués et s'accumulent dans un espace clos peuvent s'enflammer et exploser. La flamme peut être présente dans les cas de travaux de soudage ou de coupage.

n) Contaminations biologiques et chimiques ([Barsky, 2006](#); [Humphrey et al., 2013](#); [Tamara, 2012](#))

De nombreux plongeurs professionnels ne sont pas conscients des dangers de la plongée en eau polluée. L'eau contaminée est définie comme une eau qui contient des substances chimiques ou biologiques qui présentent un danger chronique ou aigu pour la santé du personnel exposé.

Ces contaminants peuvent se trouver dans les sédiments et les colonnes d'eau. La contamination peut être d'origine naturelle ou provenir de diverses sources, notamment des fuites d'hydrocarbures et des rejets industriels. Certaines masses d'eau ne semblent pas être polluées, mais présentent des niveaux élevés de contamination biologique ou chimique.

La principale différence dans la gestion d'une matière dangereuse sous l'eau est que dans de nombreux cas, la matière dangereuse en fuite flotte dans l'eau autour du plongeur. Cela signifie que si le plongeur est correctement équipé, la matière peut pénétrer dans sa bouche par le détendeur de son casque. Elle peut également pénétrer dans ses yeux par des fuites dans la cagoule d'un masque à bande ou le col d'un casque, et toucher sa peau à travers sa combinaison de plongée.

o) Problèmes physiologiques et cardiaques ([Cibis et al., 2017](#); [Sayers et Moon, 2022](#))

Pendant l'immersion dans l'eau, la pression hydrostatique provoque des différents problèmes physiologiques. L'une des plus courantes est une redistribution du sang vers le cœur et les poumons. Cette redistribution du sang est augmentée par l'immersion dans

l'eau froide, qui provoque une vasoconstriction périphérique active. Cette redistribution du sang provoque également un engorgement de la vascularisation pulmonaire, ce qui diminue la capacité vitale des poumons ainsi que la compliance pulmonaire. La mort cardiaque subite en immersion est principalement le résultat d'un infarctus du myocarde ou d'une dysrythmie cardiaque. La plongée provoque une chaîne de stress (exercice, froid, apnée et réflexes de plongée) qui peut affecter les fonctions cardiaques. Sans aucun doute, une maladie cardiaque préexistante augmente le danger de mort subite. Alors que la présence de troubles génétiques prédispose les jeunes à la mort cardiaque, les troubles cardiaques chez les plus âgés sont plus souvent associés à une hypertension, une dysrythmie ou des événements déclencheurs. Des problèmes cardiaques mineurs peuvent précéder des problèmes majeurs chez les plongeurs.

p) Problèmes psychologiques ([Niewiedział et al., 2018](#); [Shalaby et al., 2021](#))

L'exposition répétée aux conditions inhabituelles de l'environnement sous-marin provoque des changements psychologiques et l'ampleur de ces changements dépend de facteurs neuropsychologiques et de la disposition psychosomatique du plongeur. Cette corrélation est en outre associée à l'expérience individuelle de la plongée. Un manque d'expérience préalable de la plongée contribue à abaisser le seuil de résilience émotionnelle dans l'eau. Par ailleurs, la résilience mentale du plongeur dépend des propriétés psychologiques de l'individu, dont les traits de personnalité, le style d'action individuel, les ressources et l'efficacité des processus cognitifs-perceptifs-moteurs et le niveau de motivation. L'une des dispositions psychologiques les plus importantes en plongée professionnelle est le haut niveau d'aptitudes manuelles et opérationnelles, qui, avec la résilience psychologique, devient indispensable lors de l'exécution des tâches complexes sous l'eau. Les activités engagées dans des conditions qui ont un tel effet sur les sens humains, exigent du plongeur qu'il fasse des choix systématiques, qu'il prenne

des décisions rapides, ou qu'il choisisse la meilleure ou la seule façon possible d'accomplir convenablement la tâche.

q) Stress au travail ([Sayer, 2006](#); [Rumpoko et al., 2019](#))

De nombreux facteurs, tant physiques que psychologiques, peuvent provoquer un sentiment de stress chez les plongeurs. Les facteurs tels que des conditions d'environnement de milieu de travail où la première expérience d'une opération peut exciter les plongeurs et augmenter leur rythme cardiaque. D'autre part, le stress physique fait partie du métier de plongeur. Certains facteurs de stress en plongée peuvent être considérés comme des genres de travail, par exemple, le passage de l'eau salée ou contaminée, les plongeurs doivent également faire face à un stress mental. La peur des facteurs inconnus, l'inconfort dans la position de plongée (dû à l'incertitude du plan de plongée ou du niveau de préparation) peuvent causer du stress mental. Afin de gérer le stress environnemental et le stress mental associés à la plongée professionnelle, il faut un niveau raisonnable de forme physique. Un plongeur en bonne forme physique est souvent plus apte à gérer le stress mental qu'un plongeur incompetent.

r) Noyades ([Barsky, 2006](#); [Bove, 2014](#); [Cibis et al., 2017](#))

La noyade peut se produire en raison d'une détresse respiratoire due à l'immersion dans l'eau. Le plongeur est incapable de ventiler ses poumons en raison d'une rétention réduite d'oxygène et de dioxyde de carbone. La victime souffrira d'hydrocarbures, d'hypoxie et d'acidose, et inhalera de l'eau à plusieurs reprises, ce qui entraînera la mort. La noyade est le résultat d'une cause majeure associée à une diminution du niveau de conscience et à une perte des réflexes des voies respiratoires supérieures.

La noyade est la cause la plus fréquente de décès. C'est un événement final, mais divers facteurs en sont la cause.

1.6.2 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle

Dans cette partie, le portrait initial des dangers professionnels est présenté dans le Tableau 1.9. Ce portrait comprend une synthèse des lésions professionnelles reliées aux activités de plongée professionnelle, les familles de dangers, les dangers professionnels qui causent ces lésions et les mesures de prévention.

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Décompression/ Barotraumatisme	Dangers physiques	Condition physique inappropriée	<ul style="list-style-type: none"> Être en forme et en santé Suivre les procédures et les tables de plongée adaptées au mode de plongée et au mélange respiratoire Contrôler les paramètres de la plongée Planifier les repos et les déplacements 	Grace (2002); Nussbergera et al. (2007); Bove (2014), Olejnik and Siermontowski (2016); (Cibis et al. (2017); Baek et al. (2021)
		Pression de l'eau		
		Profondeur de l'eau		
	Dangers de humains	Irrespect de consigne		
Manque de formation et d'expérience				
Hypoxie et Hyperoxie	Dangers mécaniques	Défiance de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier la qualité en respectant les limites des concentrations d'O₂ dans le mélange Inspection de l'équipement 	Busuttill and Obafunwa (1995); CCQ (2013)
Collisions	Dangers mécaniques	Énergie stockée	<ul style="list-style-type: none"> Avoir un plan de plongée pour assurer la sécurité de la zone de plongée 	Ihama et al. (2009); Lomax (2019); Lippmann (2021)
	Dangers de humains	Manque de formation et d'expérience		
	Dangers de méthodes de travail	Absence de plan de plongée		

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Entraînement et coïncement	Dangers physiques	Conditions météorologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêter la plongée lorsque des vagues ou en présence des champs de glace provoque une perte de contrôle des mouvements du plongeur • Analyse précise des facteurs environnementaux avant l'opération; • Organiser et maintenir la communication avec le groupe de l'équipe 	CFRA (2011) ; CCQ (2013) ; Mallios et al. (2016) ; Reshma and Ramesh (2017)
		Présence de la vague		
		Présence de la glace		
		Mauvaise visibilité		
		Bruit		
	Espace clos			
Dangers de humains	Manque de communication avec les membres de l'équipe			
	Manque de formation et d'expérience			
Aspiration	Dangers physiques	Différence de pression	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des inspections des postes de travail • Cadenasser l'équipement qui risque de produire des différences de pressions 	CCQ (2013) ; Govindaraju and Palanisamy (2017) ; Levée (2019b)
	Dangers de méthodes de travail	Contenu minimal de règlements		

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Toxicité	Dangers mécaniques	Défiance de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser d'ordinateurs de plongée et de tables et algorithmes pour contrôler le temps selon de profondeur • Porter une attention à la vitesse de remontée et aux paliers de décompression pour différentes combinaisons de profondeur, de temps et de mélange de gaz respiratoire 	Levett and Millar (2008) ; Bove (2014) ; Cibis et al. (2017) ; Sayers and Moon (2022)
		Gaz/mélange de gaz respiratoire		
	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience		
		Irrespect de consigne		
	Dangers physiques	Profondeur de l'eau		
		Pression de l'eau		
Hypothermie et hyperthermie	Dangers mécaniques	Défiance de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Porter un habillement de plongée approprié 	Busuttill and Obafunwa (1995) ; Grace (2002) ; Nussbergera et al. (2007) ; Levett and Millar (2008)
	Dangers physiques	Température de l'eau		

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références				
Hypercapnie	Dangers mécaniques Dangers de méthodes de travail	Défaillances de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier le compresseur et le système de filtration • Assurer de la qualité du mélange 	CCQ (2013); Dunworth et al. (2017); Sayers and Moon (2022)				
		Manque d'inspection de l'équipement			Chocs électriques (électrocution)	Dangers mécaniques	Défaillances de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un outil ou un équipement ne dépassant pas 110 volts en c.c. ou 42 volts en c.a., isolé, muni d'un détecteur de fuite la masse s'il est alimenté en c.a., et mis à la terre • Utiliser équipement isole approprié • Respecter la norme CAN/CSA W117.2
Chocs électriques (électrocution)	Dangers mécaniques	Défaillances de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un outil ou un équipement ne dépassant pas 110 volts en c.c. ou 42 volts en c.a., isolé, muni d'un détecteur de fuite la masse s'il est alimenté en c.a., et mis à la terre • Utiliser équipement isole approprié • Respecter la norme CAN/CSA W117.2 	Busuttill and Obafunwa (1995); CCQ (2013); Majumdar (2006); Blumenthal (2014)				
		Manque de formation et d'expérience				Dangers humains	Irrespect de consigne	
	Dangers humains	Irrespect de consigne						

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Chutes	Dangers de méthodes de travail	Manque de planification et supervision	<ul style="list-style-type: none"> Élaborer une procédure de levage et utiliser une nacelle de scaphandrier S'assurer d'une bonne communication entre le plongeur et l'opérateur de l'appareil de levage Éliminer les conditions qui rendent les surfaces glissantes Éliminer les équipements qui ne sont pas utilisés des zones de travail 	Honkasalo (1992) ; Myers and Durborow (2012) ; CCQ (2013) ; Nussbergera et al. (2007) ; Levée (2019c)
	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience		
		Manque de communication avec les membres de l'équipe		
	Dangers physiques	Condition météorologique		
Postures de travail	Dangers ergonomiques	Charge d'équipement	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser l'équipement de manière appropriée Utiliser un engin de levage et un panier lorsque la station de plongée est à plus de 2 m au-dessus de l'eau 	CFRA (2011) ; CCQ (2013) ; Laurino et al. (2015) ; Shalaby et al. (2021)
	Dangers humains	Rythme de travail		
		Condition physique		
	Dangers physiques	Stress et fatigue		
	Dangers physiques	Température de l'eau		

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Explosions	Dangers mécaniques	Défaillances de l'équipement de soudage et de coupage	<ul style="list-style-type: none"> • Des précautions doivent être prises pour éviter la création de poches de gaz, qui sont potentiellement explosives • Utiliser équipement isolé approprié 	Busuttil and Obafunwa (1995) ; Majumdar (2006) ; CCQ (2013) ; Baek et al. (2021)
	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience		
Contaminations	Dangers chimiques	L'eau contaminée	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les contaminants (biologiques/chimique) • Établir une méthode de décontamination selon les règlements • Utiliser un équipement approprié 	NAVSEA (2004) ; Barsky (2006) ; Humphrey et al. (2013) ; Tamara (2012)
	Dangers humains	Irrespect de consigne		
	Dangers mécaniques	Défiance de l'équipement		

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Problèmes cardiaques et physiologiques	Danger's physiques	Condition physique et mentale inappropriée	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi un examen de santé et un test d'aptitudes physiques par un médecin (tous les 2 ans ou plus souvent si recommandé) • Se soumettre à une réévaluation médicale après une maladie ou un accident • Être évalué quotidiennement par le chef d'équipe sur l'aptitude à la plongée 	CCQ (2013); Cibis et al. (2017); Sayers and Moon (2022)
	Dangers médicaux	Manque de suivi des examens médicaux		
Problèmes psychologiques	Dangers de méthodes de travail	Absence de supervision	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi les formations correspondantes • Capacité d'adaptation à l'environnement de travail 	Niewiedzial et al. (2018); Shalaby et al. (2021)
	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience		
Stress (physique et mentale)	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi les formations correspondantes • Capacité d'adaptation à l'environnement de travail 	Sayer (2006); (CCQ (2013); Rumpoko et al. (2019)
		Incapacité à gérer et à agir dans les situations difficiles		
		Manque d'adaptation au milieu de travail (travail au loin du domicile)		

Tableau 1-9 Portrait initial de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelle-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Noyade	Dangers physiques	Étant donné que la noyade et la perte de conscience sont des événements finaux et constituent les causes les plus fréquentes de décès, les différents facteurs énumérés pour les autres dangers sont donc les causes suivantes	<ul style="list-style-type: none"> • Être en forme et en santé • Utiliser un équipement approprié • Suivi les formations correspondantes • Faire des opérations de plongée en équipe • Prévision des conditions météorologiques 	Barsky (2006); Bove (2014); Cibis et al. (2017)

2 CHAPITRE 2 : PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

Introduction

L'objectif principal de ce chapitre est de préciser la problématique et les objectifs de la recherche. Le chapitre est composé de trois sections principales. D'abord, la première section (2.1) identifie les quatre éléments principaux de la problématique à traiter. Ensuite, la deuxième section (2.2) précise les questions de recherche auxquelles le mémoire essaie d'apporter des réponses. Enfin, la troisième section (2.3) précise les objectifs de recherche que le mémoire vise atteindre.

2.1 Problématique de recherche

La Figure 2.1 présente les trois principaux éléments de la problématique de recherche qui seront abordés dans les sous-sections suivantes.

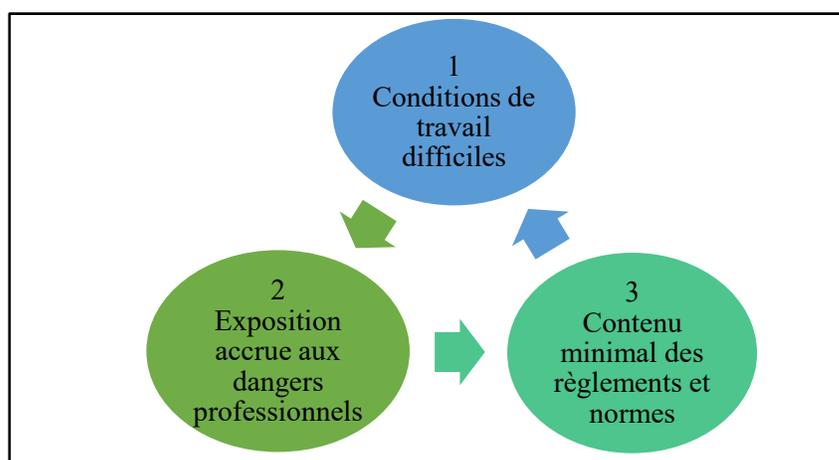


Figure 2-1 Principaux éléments de la problématique de recherche

2.1.1 Conditions de travail difficiles

a) Problèmes reliés aux conditions environnementales

Le contexte de travail réel des plongeurs professionnels est assez différent de celui vécu pendant la formation. Alors, les nouveaux candidats sont souvent attirés par la plongée et par les possibilités récréatives qu'elle offre ([CCQ, 2013](#)). Par ailleurs, 65 % des plongeurs du Québec en 2018 ont déclaré des temps de travail dans une zone autre que celle dans laquelle ils ont l'habitude de travailler. Par conséquent, le fait d'être souvent loin de chez soi pendant des périodes relativement longues peut rendre difficile l'adaptation à la vie familiale, ce qui affecte la santé psychologique et la performance de ce plongeur ([CCQ, 2013](#)). Ces plongeurs opèrent dans des conditions de travail très exigeantes et dans des environnements extrêmes et dangereux ([Laurino et al., 2015](#)). En raison des conditions bien définies liées à l'environnement sous-marin, ils sont confrontés à des dangers liés à la plongée. Les facteurs humains peuvent devenir fatals dans ces conditions. Ils sont confrontés également à des dangers tels que l'entraînement, le coincement, l'hypothermie ([Bove, 2014](#)).

b) Problèmes reliés aux facteurs humains

Les deux critères les plus utilisés pour évaluer les plongeurs professionnels sont l'expérience professionnelle et les conditions physiques ([Ozyigit.T et Egi.S, 2014](#)). Une bonne condition physique est essentielle pour gérer l'équipement, le stress environnemental et le stress mental associés à la plongée profonde. Les exigences en matière de condition physique dépendent des besoins opérationnels ([Southerland, 2006](#)). Les troubles qui réduisent la capacité d'exercice, comme les problèmes cardio-pulmonaires, peuvent amplifier les autres dangers physiologiques liés à la plongée ([Bove, 2014](#)).

Il est certain que l'expérience fait de meilleurs plongeurs. Par ailleurs, tous les petits et grands événements qui peuvent mal tourner sont arrivés à un plongeur au moins une fois ([Smith, 1995](#)). Le manque d'expérience préalable en matière de plongée contribue à une

réduction du seuil de flexibilité émotionnelle dans l'eau, ce qui a un impact négatif sur la psychologie du plongeur ([Niewiedzial et al., 2018](#)). L'expérience de plongée profonde est un facteur essentiel quant au développement professionnel du plongeur ([Dokken, 2006](#)). Lorsque les choses tournent mal, un plongeur expérimenté est plus susceptible de prendre des bonnes décisions sans paniquer. Il est donc possible de considérer le manque d'expérience comme étant un facteur amplificateur de danger ([Smith, 1995](#)).

c) Problèmes reliés au choix et à l'utilisation des équipements et des outils

La plongée opérationnelle s'est déplacée vers des profondeurs considérablement plus importante au cours des dernières années, exigeant de nouveaux équipements et procédures afin d'être en mesure d'effectuer l'opération requise avec un maximum de sécurité pour les plongeurs impliqués. Compte tenu de l'importance de la plongée hyperbare, le développement technique liée à cette activité n'est pas satisfaisant ([Pasche et Bolstad, 1989](#)). Les équipements et outils qu'une équipe de plongeurs professionnels peut utiliser pour effectuer des activités significatives, y compris le système respiratoire, les outils manuels, les habits de plongée, etc. sont assez variés. L'équipe de plongée doit également être vérifiée et qualifiée ([CCQ, 2013](#)). Étant donné que la défaillance de l'équipement a été considérée comme l'une des causes de décès des plongeurs, la formation initiale, l'inspection et l'essai de l'équipement jouent un rôle particulièrement important pour la protection des plongeurs ([Barsky, 2006](#)). Dans les domaines à haut risque comme la plongée, l'analyse des défaillances de l'équipement est une exigence fondamentale pour le succès des travaux. Les leçons tirées de l'analyse des défaillances sensibilisent les concepteurs, les fabricants et les utilisateurs à des problèmes potentiels similaires ([Schneider.N et al., 2008](#)). Cependant, les dangers sont toujours présents. Ainsi, et par exemple, malgré les différents modèles disponibles pour des ordinateurs de plongée, il n'existe pas de méthodes standards pour les valider, bien que le besoin ait été identifié ([Cibis et al, 2017](#)). Il n'existe aucun ensemble d'équipements qui protège le plongeur contre une variété de dangers chimiques et de fortes sources de contamination ([NAVSEA,](#)

[2004](#)). Malgré l'optimisation du mélange de gaz, tous les gaz de plongée ont des effets toxiques potentiellement dangereux ([Levett et Millar, 2008](#)).

2.1.2 Exposition accrue aux dangers professionnels

L'exposition à l'environnement sous-marin a des effets particuliers sur la physiologie et peut entraîner des troubles de fonctionnement des organes et même la mort du plongeur ([Laurino et al., 2015](#)). Pour comprendre et gérer correctement ces troubles, il est nécessaire de bien connaître les caractéristiques d'un environnement à haute pression ([Laurino et al., 2015](#)). La noyade est la cause la plus fréquente de décès. C'est un événement final, mais divers facteurs en sont la cause. Des événements tels qu'une formation inadéquate, une perte de conscience, une narcose à l'azote, des convulsions dues à une intoxication à l'oxygène, une embolie gazeuse, des maladies préexistantes, un traumatisme, un coincement, une incapacité physique, une défaillance de l'équipement, etc. ([Barsky, 2006](#)).

Les conséquences physiologiques d'un séjour prolongé dans un environnement à haute pression comprennent les effets suivants : narcose, accident de décompression, hypothermie, embolie et barotraumatisme ([Bove, 2014](#)). De plus, d'autres conséquences psychophysiologiques d'un isolement de longue durée ont été rapportées ([Laurino et al., 2015](#)). L'environnement sous-marin est très défavorable à l'activité psychophysiologique d'un individu. En raison des nombreuses pressions associées à une exposition sous-marine, le plongeur doit posséder des caractéristiques psychophysiques et physiologiques spécifiques afin d'évoluer en toute sécurité dans cet environnement unique ([Niewiedzial et al., 2018](#)).

En outre, les plongeurs sont exposés à un stress aigu, qui se transforme en stress chronique lié au travail et ces conditions peuvent augmenter le risque d'accidents de travail. Certaines manifestations du stress chez les plongeurs apparaissent sous la forme d'une altération des fonctions motrices et des capacités de mémoire ([Laurino et al., 2015](#)).

La mort cardiaque subite est une autre cause de décès chez les plongeurs. La plongée provoque des épisodes de stress qui peuvent affecter la fonction cardiaque. Ces facteurs peuvent être exacerbés par une diminution du volume sanguin secondaire à la diurèse due à l'immersion ([Cibis et al., 2017](#)). Il est certain qu'une maladie cardiaque préexistante augmente le risque de mort subite. Les troubles cardiaques chez les personnes âgées sont souvent associés à une pression artérielle élevée, à des dysrythmies ou à des événements stimulants. Les problèmes cardiaques mineurs peuvent être le prélude à des problèmes majeurs pour les plongeurs ([Cibis et al., 2017](#)).

Il existe également des risques tels que les chocs électriques et les explosions pouvant se produire lors des opérations telles que le soudage et le découpage sous-marins ([Chhniyara, 2014](#)).

2.1.3 Contenu minimal des règlements et normes

Entre 1982 et 2001, les plongeurs ont subi des accidents mortels sur leur lieu de travail, soit 20 fois plus que le secteur de la construction au Québec. Malgré le niveau de dangers du secteur de la plongée professionnelle, il n'existe qu'une norme et un règlement qui sont actuellement applicables soit, la norme CSA Z275.4 et le RSST. La norme CSA Z275.4 est assez spécifique et elle ne traite que les compétences visant la plongée, l'utilisation de caissons hyperbares et la conduite de véhicules télécommandés. En plus, seule la section XXVI. I du RSST est applicable à ce secteur.

Même si la norme CSA Z275 était en place, il n'y avait aucun mécanisme pour garantir sa mise en œuvre, et les articles des le Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC) étaient également très peu précis ([Levéé, 2019a](#)). La question de la formation des plongeurs professionnels a reçu moins d'attention ces dernières années ([Levéé, 2019a](#)). Dans les environnements industriels, on fait parfois intervenir des plongeurs récréatifs qui, faute de formations et de compétences suffisantes, ont provoqué des accidents de travail ([Levéé, 2019a](#)). D'autre part, le fait de ne pas prêter une attention à l'importance de l'équipement de plongée (y compris l'équipement de sauvetage), et l'absence d'un plan

de plongée qui comprend l'ensemble du processus de travail, y compris les actions avant le début, pendant et après le travail, les opérations de plongée ont été les plus dangereuses ([Levéé, 2019b](#)).

Dans les travaux sous-marins (tels que la construction maritime) qui sont très mobiles et confiés à plusieurs employeurs, le contrôle ne peut pas reposer exclusivement sur le constructeur, mais dépend également du client qui commande les travaux ([Landry, 2010](#)). Ainsi, lorsque les exigences gouvernementales sont mal appliquées, il y a un danger sérieux qu'un contrat soit accepté de la part d'un entrepreneur qui peut ne pas reconnaître ou refuser de contrôler les dangers d'un travail spécifique ([Landry, 2010](#)).

2.2 Question de recherche

À l'identification des éléments de la problématique, une question principale de recherche est soulevée :

- Quels sont les dangers professionnels auxquels sont exposés les plongeurs professionnels travaillant au Québec

2.3 Objectifs de la recherche

Ce projet de recherche tente d'atteindre l'objectif suivant :

2.3.1 Objectif de recherche

- Ce travail de recherche a pour but de mener une étude exploratoire afin de mieux comprendre les dangers professionnels auxquels font face les plongeurs professionnels au Québec.

2.3.2 Objectifs spécifiques

Pour atteindre l'objectif principal :

- Élaboration d'un portrait des dangers professionnels liés aux activités de plongée professionnelle dans le contexte réel de travail, en consultant les entreprises du domaine connexe au Québec.

3 CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

L'objectif principal de ce chapitre est de décrire la méthodologie de recherche appliquée. Il se compose de cinq sections principales. La première section (3.1) présente l'approche méthodologique suivie. Ensuite, dans les quatre autres sections (3.2, 3.3, 3.4 et 3.5), chaque étape de la démarche méthodologique est détaillée.

3.1 Étapes du projet de recherche

L'approche méthodologique se compose de deux volets théorique et pratique. La partie initiale, qui soutient le cadre théorique, est principalement basée sur une revue de la littérature et est principalement consacrée à l'identification de tous les dangers professionnels associés aux activités de plongée professionnelle. Ce sont ces dangers qui devraient être pris en compte dans l'analyse des dangers dans les entreprises québécoises à consulter. Cette partie se termine par l'établissement d'un portrait théorique des dangers professionnels. Le deuxième volet, le volet pratique, a pour but de développer un portrait pratique de dangers professionnels en consultant des entreprises québécoises qui œuvrent dans les travaux de plongée professionnelle. Le détail de chacun de ces volets est décrit dans la Figure 3.1.

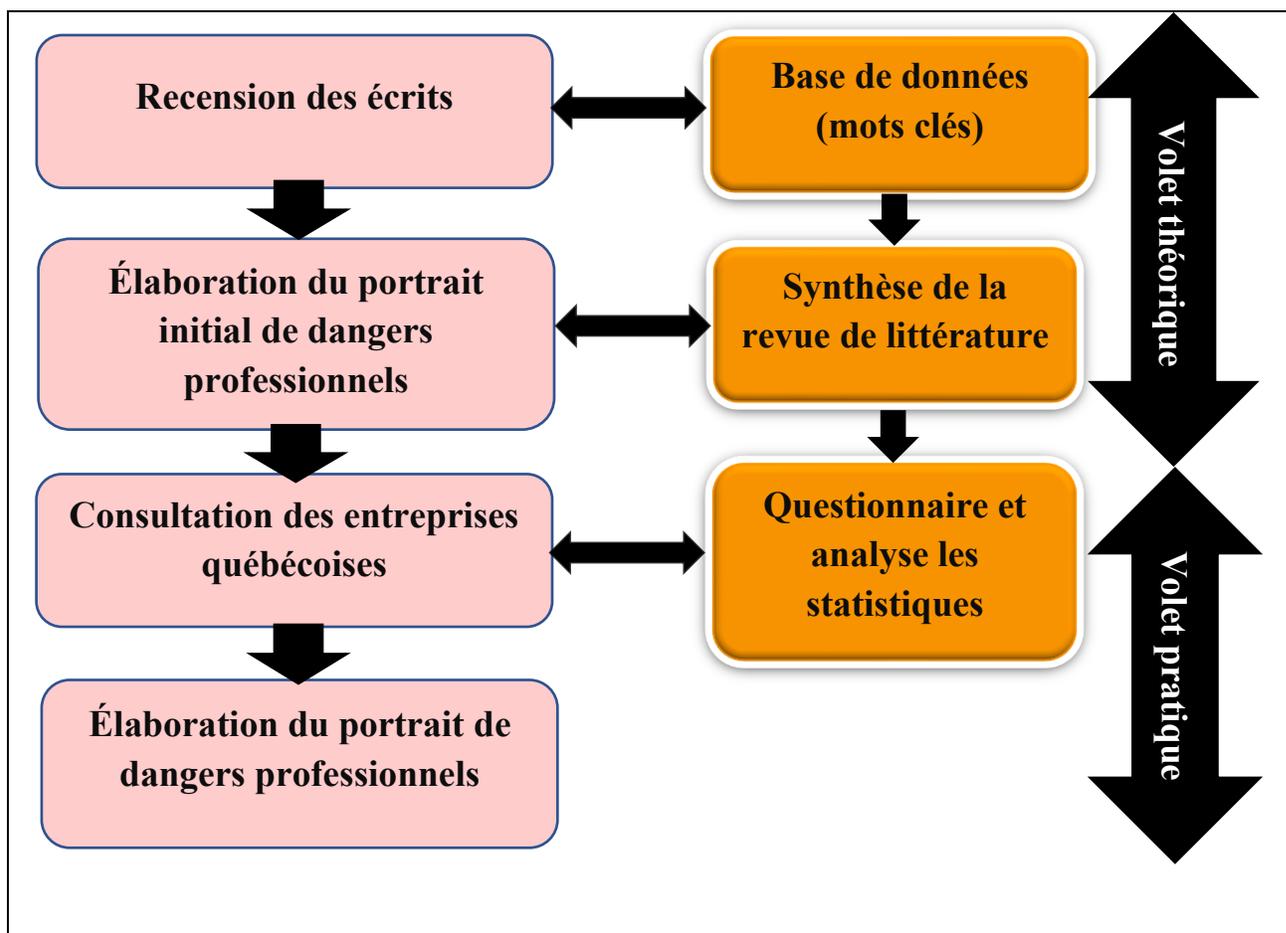


Figure 3-1 Étapes de projet de recherche

3.2 Recension des écrits

La démarche méthodologique est axée sur un cadre théorique, qui est basé principalement sur la revue de la littérature (Chapitre 1). La base de données Scopus, le moteur de recherche Google, le site web de l'IRSST et celui de la CNESST, le site web de Commission de la construction du Québec (CCQ) ainsi que le site web de l'ASP construction sont utilisés pour réaliser la recension des écrits.

Parmi les mots clés utilisés en anglais et français, on cite : « SST », « scaphandrier », ou « plongeur professionnel », « Équipement de plongée », « dangers professionnels »,

« prévention de danger », « construction sous-marine » et « Occupational Health and Safety », etc.

Les documents recherchés incluent des articles de revues scientifiques, des articles de conférences, des rapports de recherche, des mémoires, des normes et des règlements et des documents législatifs.

3.3 Élaboration du portrait initial de dangers professionnels

Le but de cette étape est d'identifier tous les dangers liés aux activités de plongée professionnelle. Le portrait initial de dangers professionnels est développé à partir la revue de littérature (Chapitre 1). En fait, tous ces dangers sont recensés en se basant sur des renseignements recueillis selon les activités pratiquées associés aux plongée professionnelle, les équipements utilisés et d'autres exigences métiers. Le portrait contient une variété de dangers qui menacent potentiellement les plongeurs professionnels durant leurs différents travaux et pour chacun d'eux, les mesures de prévention ont également été recueillies. La Figure 3.2 détaille les étapes du volet théorique.

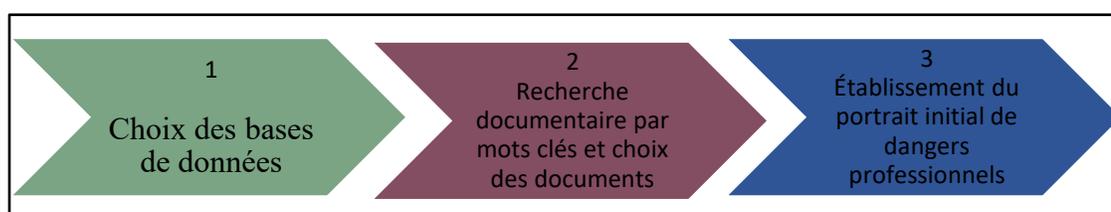


Figure 3-2 Étapes du volet théorique

3.4 Consultation des entreprises québécoises

Le deuxième volet pratique est basé sur la participation d'entreprises québécoises spécialisées dans les travaux associés aux plongée professionnelle à une consultation par questionnaire. Cette consultation est réalisée à l'aide d'un questionnaire élaboré à partir du portrait initial de dangers professionnels réalisé à l'étape précédente. Le questionnaire comporte 50 questions dont 86 % sont de type fermé (Annexe 3). Les questions sont

séparées selon qu'elles s'adressent aux gestionnaires ou à ceux qui s'adressent aux employés. Le répondant doit cocher une ou plusieurs réponses dans une liste à choix proposée. Dans certains cas, le répondant est amené à appuyer son choix par des explications. Le questionnaire a été validé par le comité de l'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQTR (Annexe 1).

3.5 Élaboration du portrait de dangers professionnels

À cette étape, une analyse statistique des données recueillies est effectuée sur la base des réponses aux questionnaires. Les résultats de l'analyse des données obtenues permettent de déterminer les dangers professionnels confirmés par des experts dans le domaine de la plongée professionnelle au Québec. Finalement, l'analyse des résultats obtenus permet d'identifier et d'élaborer le portrait des dangers professionnels reliés aux activités de plongeurs professionnels québécoises.

4 CHAPIRE 4 ANALYSE DE RESULTAT ET DISCUTTION

Le principal objectif de ce chapitre est de présenter et de discuter des résultats de la recherche. Ce chapitre est divisé en quatre sections principales. Tout d'abord, dans la section 4.1, Les données collectées à partir des différents groupes de questions des questionnaires remplis par des spécialistes du domaine de la plongée professionnelle au Québec ont été examinées et analysées. Ensuite, dans la section 4.2, Les résultats de l'analyse de base permettent d'identifier et d'élaborer le portrait des dangers professionnels reliés aux plongeurs professionnels québécois. Enfin, la section 4.3, la dernière étape de ce chapitre, sera consacrée à la discussion des résultats, à la formulation des conclusions de l'étude, à la présentation des limites de ce projet de recherche.

4.1 Présentation et analyse des données du questionnaire

Le questionnaire a été élaboré en format électronique par une application conçue en interne à l'UQTR. Le formulaire d'information et de consentement associé au projet a été également inclus dans le questionnaire (Annexe 2). Chaque entreprise ciblée peut avoir des gestionnaires et des membres de l'équipe de plongeurs professionnels qui peuvent chacun répondre à un questionnaire. Avant de répondre au questionnaire, le répondant été redirigé vers un lien internet menant vers ce formulaire. Le temps estimé pour répondre au questionnaire est de 30 minutes.

49 questionnaires reçus ont été vérifiés afin de s'assurer que les réponses soient complètes. Parmi ceux-ci, juste 12 questionnaires complétés ont été retenus pour l'analyse des données, tandis que les 37 questionnaires avec des réponses incomplètes ont été rejetés. L'analyse statistique des données a été effectuée en utilisant le logiciel MS Excel®. Les résultats de ces analyses statistiques ont été présentés sous forme de tableaux et de figures, illustrant la distribution de la fréquence des sources de danger et des dangers professionnels associés aux plongeurs professionnels.

4.1.1 Données relatives à la section de formation et expérience

Dans cette section, les expériences des membres de l'équipe de plongeurs professionnels sont observées dans les données recueillies. En analysant les données recueillies, les données révèlent que 48 % répondant ont plus de 5 ans, 27 % ont entre 0-2 ans tandis que 25 % ont 3-5 ans. La Figure 4.1 expose le nombre d'années d'expérience des plongeurs professionnels.

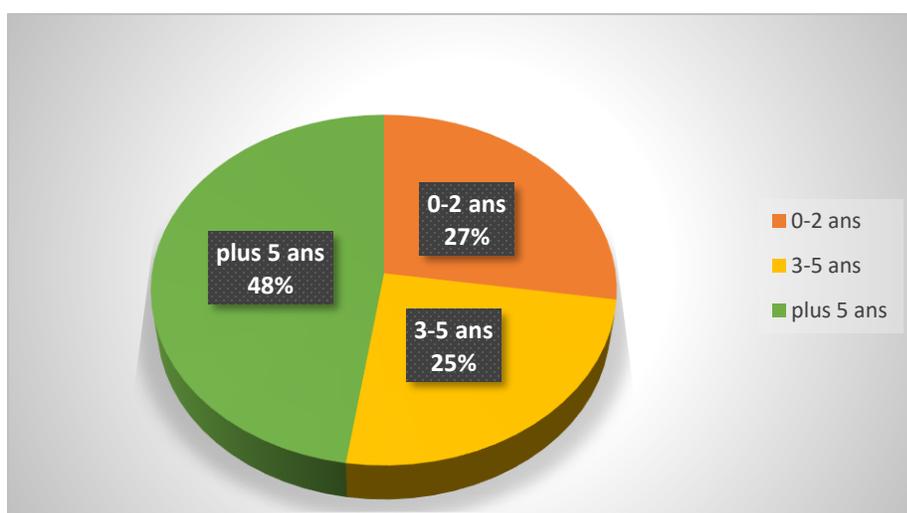


Figure 4-1 Expérience de travail des plongeurs professionnels

Selon les informations obtenues, on constate que la majorité des plongeurs professionnels (62 %) se situent dans la tranche d'âge de 20 à 35 ans, tandis que seulement 3 % des participants sont âgés de 50 ans et plus. Le Tableau 4.1 illustre la répartition des tranches d'âge des plongeurs professionnels.

Tableau 4-1 Tranche d'âge des plongeurs professionnels

Tranche d'âge le plongeur professionnelle	Pourcentage (%)
20-35 ans	62%
35-50 ans	35%
50 ans et plus	3%

4.1.2 Données relatives à la section de contexte de travail

Dans cette section, on examine les données relatives au type de milieu de travail et aux activités auxquelles se livrent les plongeurs professionnels au Québec. Les statistiques montrent que l'industrie de la construction, les milieux contaminés et difficiles d'accès, ainsi que les réservoirs d'eau sont les milieux de travail les plus courants où ils effectuent leurs tâches. La Figure 4.2 présente les divers contextes de travail auxquels les plongeurs professionnels sont confrontés.

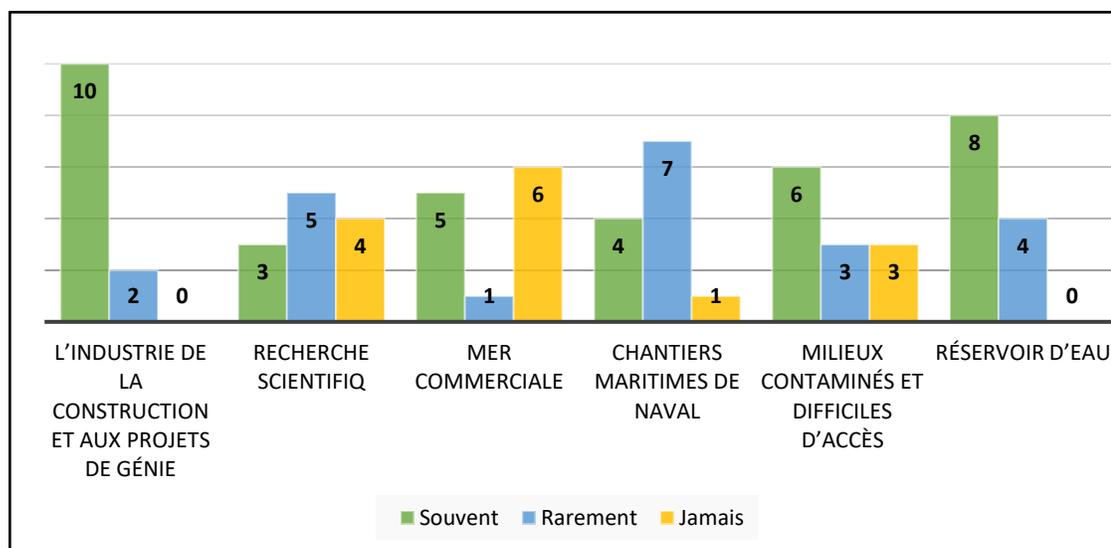


Figure 4-2 Contexte de travail

De plus, parmi les différentes activités qu'ils effectuent et les interventions dans les différents types de milieu de travail, selon les réponses obtenues, on peut conclure que l'inspection (19 %), l'entretien/nettoyage (19 %) et le coupage/soudage (17 %) est les

responsabilités les plus couramment exécutées par les plongeurs professionnels. La Figure 4-3 présente les différentes activités des plongeurs professionnels.

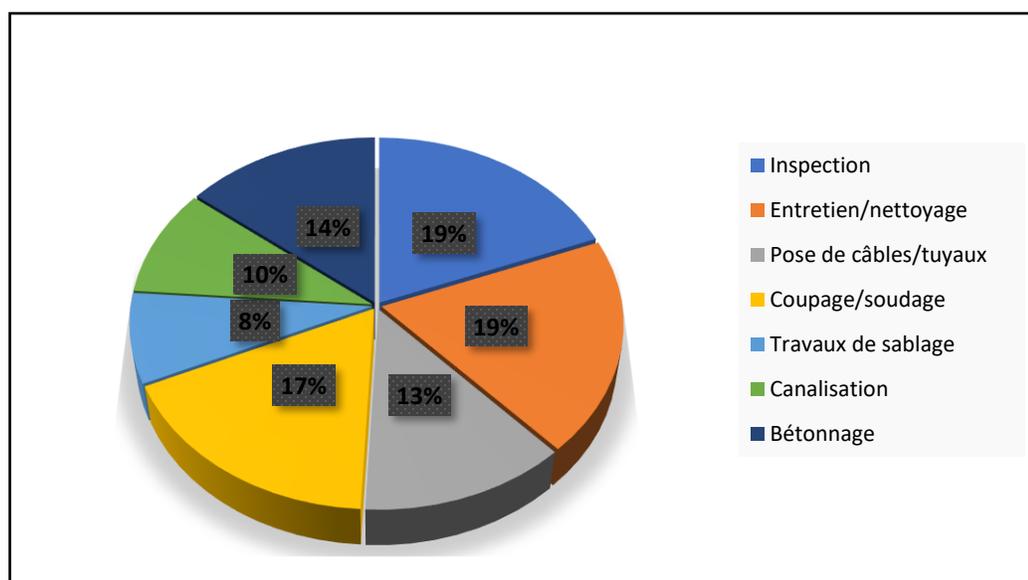


Figure 4-3 Différents types d'activités que les plongeurs professionnels exercent

Selon les réponses recueillies, 67 % d'entre eux ont été éloignés de leur lieu de résidence pendant une période de 3 à 6 mois, tandis que 25 % ont travaillé loin de leur lieu de résidence pendant plus de 6 mois. Ce type de situation a eu un impact sur les performances physiques et mentales de plus de 50 % des plongeurs. Le Tableau 4-2 présente la durée pendant laquelle les plongeurs professionnels ont été éloignés de leur lieu de résidence pendant l'exercice de leur activité.

Tableau 4-2 Temps de travailler loin du domicile et leur impact sur la performance mentale et physique des plongeurs professionnels

Temps de travailler loin du domicile	Pourcentage (%)	Impact distance sur leur performance mentale et physique(pourcentage)
0-3 mois	8%	0%
3-6 mois	67%	50%
Plus de 6 mois	25%	67%

4.1.3 Données relatives à la section d'équipement et mode de plongée

Le choix de la méthode de plongée et du type de gaz respiratoire dépend du type de travail et de la profondeur. Selon les résultats de notre questionnaire envoyé aux entreprises québécoises, la plongée en scaphandre autonome est la méthode de plongée la plus souvent utilisée, utilisant généralement l'air et le gaz nitreux comme gaz respiratoires. Cette méthode de plongée s'emploie principalement à des profondeurs allant de 30 à 180 mètres en mer. Le Tableau 4.3 illustre le mode de plongée en fonction de la profondeur autorisée en mer. Il est également à noter que, selon les réponses reçues concernant l'inspection des équipements et des outils, ceux-ci sont vérifiés régulièrement chaque jour ouvrable avant leur utilisation et l'entretien est effectué une fois par an ou tous les six mois.

Tableau4-3 Caractéristiques des modes de plongée en fonction de la profondeur

Mode de plongée	Gaz air	Gaz nitrox	Gaz héliox	Gaz trimix	Profondeur
Plongée autonome	4	4	1	3	0-50 m
Plongée non-autonome	11	10	5	4	30-180 m
Saturation	1	1	5	4	100-300 m

4.1.4 Données relatives à la section de la planification

Selon les réponses obtenues, il est évident que dans les travaux sous-marins, 100 % du temps, le plongeur suit le plan de plongée qui a été établi avant la réalisation des travaux. Le plan de plongée est établi et signé par le chef d'équipe ou le gestionnaire de projet. Le travail est réalisé en équipe de plongée, comprenant de 4 à 6 personnes en fonction du type de travail. Avant de commencer le travail, tous les membres de l'équipe passent des tests médicaux. Pendant les travaux, une surveillance depuis la surface est assurée, et une communication est maintenue entre les membres de l'équipe. De plus, la plongée est effectuée en respectant les tables de plongée. Le tableau 4-4 illustre les éléments inclus dans un plan de plongée en fonction des réponses obtenues à travers les questionnaires.

Tableau 4-4 Éléments inclus dans un plan de plongée en fonction des réponses obtenues à travers les questionnaires

Plan de plongée
Identification et Informations de base comprendre Date et heure de la plongée, nom du plongeur responsable de la plongée, Lieu de la plongée;
Autorisation et permis de travail pour effectuer la plongée dans un lieu spécifique, en particulier s'il s'agit d'un projet professionnel;
Facteurs de plongée tels que la profondeur, la durée de la plongée, la vitesse d'écoulement de l'eau, ainsi que les conditions météorologiques spécifiques au lieu;
Tables de plongée approuvées pour planifier les plongées et éviter les risques liés à la décompression;
Mode de plongée, des équipements et des matériaux nécessaires en fonction des exigences du projet;
Équipe de plongée, le nombre de membres de l'équipe requis pour le projet et définir les rôles et les responsabilités de chaque membre. Il faut s'assurer que chaque membre est qualifié et certifié;
Identification des dangers et la prise de précautions pour les éliminer ou les contrôler;
Plan d'urgence qui comprend les coordonnées des services médicaux d'urgence, ainsi que les coordonnées des services d'urgence, tels que la police et les autorités portuaires et les actions à prendre en cas d'urgence.

4.1.5 Données relatives à la section de législation

La réglementation applicable aux plongeurs professionnels au Québec peut varier en fonction de différents facteurs, notamment le type de plongée, l'environnement, le but de

la plongée et la certification des plongeurs. Il est important de noter que les réglementations varient en fonction de la nature de la plongée, de la région et des autorités régulatrices concernées. Les plongeurs professionnels doivent se conformer aux réglementations spécifiques à leur situation. Selon les données du questionnaire, il est évident que tous les travailleurs et gestionnaires sont bien formés aux lois et règlements applicables, notamment la RSST section XXVI, la norme CSA, les consignes liées à la Commission de la Construction du Québec (CCQ), et la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST). Selon les informations obtenues, la conformité de 50 % des entreprises aux normes, règlements et lois en matière de santé et de sécurité au travail (SST) a été évaluée par des experts en inspection, tant internes qu'externes. La Figure 4-4 illustre les moyennes des évaluations de conformité aux règlements.

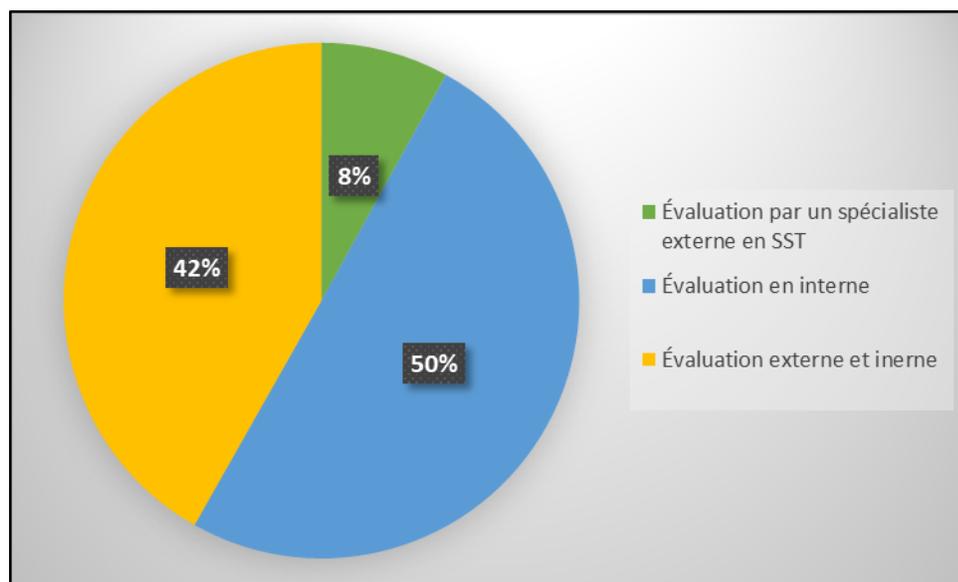


Figure 4-4 Moyennes des évaluations de conformité aux règlements

4.1.6 Données relatives à la section de maladie et lésion

Dans cette section, les réponses des plongeurs professionnels à la question concernant la fréquence des lésions professionnelles (telles qu'indiquées dans la figure suivante), ont été

analysées. La Figure 4-5 présente la fréquence des dangers professionnelles auxquels ils sont exposés.

Selon les données obtenues, 100 % des participants ont indiqué que la posture de travail est un danger toujours présent pour les plongeurs professionnels. Ils souffrent de problèmes de squelette tels que des maux de tête, des douleurs au dos, des troubles du tunnel carpien et des hernies discales. 85 % des répondants ont déclaré qu'ils sont confrontés au danger de collisions. Ensuite, les risques liés à la décompression et au barotraumatisme, provoqués par les variations de pression de l'eau, préoccupent également 75 % des participants. D'autres dangers, tels que le stress et les coincements (75 %), sont également fréquemment signalés et bien connus des plongeurs professionnels.

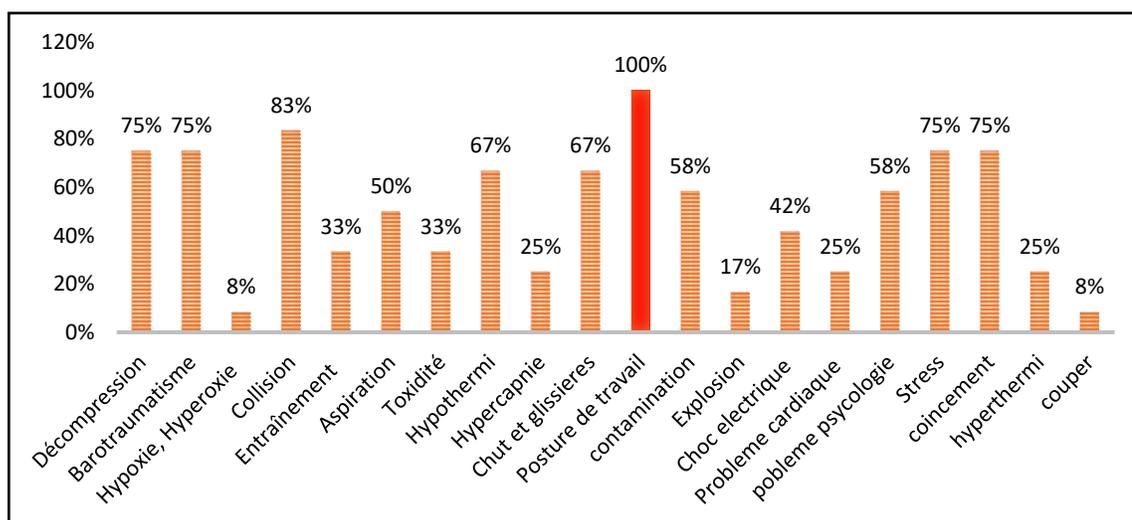


Figure4-5 Dangers professionnelles identifiés associés aux plongeurs professionnels

En ce qui concerne les sources de dangers, d'après les résultats de l'analyse des réponses des participants, la source la plus courante identifiée est la condition physique et mentale inappropriée, y compris la sensation de fatigue et les problèmes personnels (18 %). Ensuite, les facteurs environnementaux, le non-respect des consignes, et l'incapacité à gérer et à agir dans des situations difficiles (11 %), ainsi que le manque de formation et

d'expérience (10 %), ont également été mentionnés. Le tableau suivant présente les pourcentages des réponses des participants concernant les sources de dangers professionnelles. Le Tableau 4-5 présente les sources de dangers identifiées et la contribution de chacune d'entre elles à la génération de dangers professionnels.

Tableau 4-5 Sources de dangers professionnels

Sources de dangers	Pourcentage (%)
Condition physique et mentale inappropriée (fatigue, problème personnel)	18%
Facteurs environnementaux tels que la profondeur de l'eau, la pression, la température de l'eau, bruit, mauvaise visibilité, espace clos ou d'autres facteurs	11%
Le non-respect des consignes	11%
Incapacité à gérer et à agir dans les situations difficiles	11%
Manque de formation et d'expérience	10%
Conditions météorologie	7%
Manque de communication entre les membres de l'équipe	7%
Défaillance d'équipement	7%
Manque d'adaptation au milieu de travail (travail au loin du domicile)	5%
Rythme élevé de travail	3%
Absence de plan de plongée	3%
Contaminations	3%
Contenu minimal de règlements	2%
Charge d'équipement	2%

D'après les réponses recueillies dans notre questionnaire, il est remarquable que les symptômes des douleurs musculaires et articulaires, présentant une fréquence de 21 %, et les maladies du conduit auditif en 18 % soient les affections les plus courantes parmi les plongeurs professionnels. Ces symptômes sont liés aux risques inhérents à la posture de

travail et aux variations de pression, tels que la décompression et le barotraumatisme. En plus, selon la figure précédente, les dangers mentionnés aussi sont parmi les plus couramment observés dans le domaine de la plongée professionnelle. Le Tableau 4-6 illustre les symptômes et le pourcentage de fréquence de chaque symptôme parmi les plongeurs professionnels.

Tableau 4-6 le pourcentage de fréquence de symptômes et maladies associées à la plongée professionnelle

Symptômes et maladies	Fréquence (%)
Sensation de douleur ou de raideur dans les muscles et les articulations.	22%
Maladies du conduit auditif (comme douleur ou perte auditive)	18%
Migraine/mal de tête/étourdissements	10%
Dépression	8%
Tousser/souffle court/respiration sifflante	6%
Oubli	6%
Difficulté de concentration	4%
Maladie mentale	4%
Rhumatisme	2%
Problèmes digestifs	2%
Maladie d'articulation	2%
Maladie colonne vertébrale lombaire	2%
Arthrose	2%
Blessure à la tête avec perte de conscience/évanouissement	2%
Anxiété/confusion	2%
Trouble urinaire	2%
Impulsivité	2%

4.2 Portrait final de dangers professionnels reliés aux plongeurs professionnels québécois

Le portrait des dangers professionnels reliés aux activités des plongées professionnelles au Québec est élaboré en se fondant sur le portrait initial présenté précédemment au chapitre 1 (voir tableau 1.9). L'élaboration de ce portrait a été réalisée en analysant de manière plus détaillée les réponses obtenues à partir du questionnaire, tout en tenant compte des avis fournis par des experts. Le Tableau 4-7 exprime le portrait final résultant de ce processus.

Les modifications apportées au tableau suivant incluent notamment l'élimination des risques qui ont été mentionnés par moins de 25 % des répondants. Les risques supprimés comprennent l'hypoxie et l'hyperoxie (8%), l'explosion (17%) et la noyade (0%), ce qui permet de focaliser l'attention sur les dangers les plus préoccupants.

Tableau 4-7 Portrait de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelles au Québec

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Décompression/ Barotraumatisme	Dangers physiques	Condition physique inappropriée	<ul style="list-style-type: none"> Être en forme et en santé Suivre les procédures et les tables de plongée adaptées au mode de plongée et au mélange respiratoire Contrôler les paramètres de la plongée Planifier les repos et les déplacements 	Grace (2002) ; Nussbergera et al. (2007) ; Bove (2014) ; Olejnik and Siermontowski (2016) ; Cibis et al. (2017)
		Pression de l'eau		
		Profondeur de l'eau		
	Dangers de humains	Irrespect de consigne		
Manque de formation et d'expérience				
Collisions	Dangers mécaniques	Énergie stockée	<ul style="list-style-type: none"> Avoir un plan de plongée pour assurer la sécurité de la zone de plongée 	Ihama et al. (2009) ; Lomax (2019) ; Lippmann (2021)
	Dangers de humains	Manque de formation et d'expérience		
	Dangers de méthodes de travail	Absence de plan de plongée		

Tableau 4-7 Portrait de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelles au Québec -suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Entraînement et coincement	Dangers physiques	Conditions météorologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêter la plongée lorsque des vagues ou en présence des champs de glace provoquent une perte de contrôle des mouvements du plongeur • Analyse précise des facteurs environnementaux avant l'opération; • Organiser et maintenir la communication avec le groupe de l'équipe 	CFRA (2011) ; CCQ (2013) ; Mallios et al. (2016) ; Reshma and Ramesh (2017)
		Présence de la vague		
		Présence de la glace		
		Mauvaise visibilité		
		Bruit		
	Espace clos			
Dangers de humains	Manque de communication avec les membres de l'équipe			
	Manque de formation et d'expérience			
Aspiration	Dangers physiques	Différence de pression	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des inspections des postes de travail • Cadenasser l'équipement qui risque de produire des différences de pressions 	CCQ (2013) ; Govindaraju and Palanisamy (2017) ; Levée (2019b)
	Dangers de méthodes de travail	Contenu minimal de règlements		

Tableau 4-7 Portrait de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelles au Québec -suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Toxicité	Dangers mécaniques	Défiance de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser d'ordinateurs de plongée et de tables et algorithmes pour contrôler le temps selon de profondeur Porter une attention à la vitesse de remontée et aux paliers de décompression pour différentes combinaisons de profondeur, de temps et de mélange de gaz respiratoire 	Levett and Millar (2008) ; Bove (2014) ; Cibis et al. (2017) ; Sayers and Moon (2022)
		Gaz/mélange de gaz respiratoire		
	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience		
		Irrespect de consigne		
	Dangers physiques	Profondeur de l'eau		
		Pression de l'eau		
Hypothermie et hyperthermie	Dangers mécaniques	Défiance de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> Porter un habillement de plongée approprié 	Busuttil and Obafunwa (1995) ; Grace (2002) ; Nussbergera et al. (2007) ; Levett and Millar (2008)
	Dangers physiques	Température de l'eau		

Tableau 4-7 Portrait de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelles au Québec -suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Hypercapnie	Dangers mécaniques Dangers de méthodes de travail	Défaillances de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier le compresseur et le système de filtration • Assurer de la qualité du mélange 	CCQ (2013) ; Dunworth et al. (2017) ; Sayers and Moon (2022)
		Manque d'inspection de l'équipement		
Chocs électriques (électrocution)	Dangers mécaniques	Défaillances de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un outil ou un équipement ne dépassant pas 110 volts en c.c. ou 42 volts en c.a., isolé, muni d'un détecteur de fuite la masse s'il est alimenté en c.a., et mis à la terre 	Busuttil and Obafunwa (1995) ; CCQ (2013) ; Majumdar (2006) ; Blumenthal (2014)
		Manque de formation et d'expérience		
	Dangers humains	Irrespect de consigne		

Tableau 4-7 Portrait de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelles au Québec-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Chutes	Dangers de méthodes de travail	Absence de plan de plongée	<ul style="list-style-type: none"> Élaborer une procédure de levage et utiliser une nacelle de scaphandrier S'assurer d'une bonne communication entre le plongeur et l'opérateur de l'appareil de levage Éliminer les conditions qui rendent les surfaces glissantes Éliminer les équipements qui ne sont pas utilisés des zones de travail 	Honkasalo (1992) ; Myers and Durborow (2012) ; CCQ (2013) ; Nussbergera et al. (2007) ; Levée (2019c)
	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience		
		Manque de communication avec les membres de l'équipe		
	Dangers physiques	Condition météorologique		
Postures de travail	Dangers ergonomiques	Charge d'équipement	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser l'équipement de manière appropriée Utiliser un engin de levage et un panier lorsque la station de plongée est à plus de 2 m au-dessus de l'eau 	CFRA (2011) ; CCQ (2013) ; Laurino et al. (2015) ; Shalaby et al. (2021)
	Dangers humains	Rythme de travail		
		Condition physique		
	Dangers physiques	Stress et fatigue		
	Dangers physiques	Température de l'eau		

Tableau 4-7 Portrait de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelles au Québec-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références
Contaminations	Dangers chimiques	Eau contaminée	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les contaminants (biologiques/chimique) • Établir une méthode de décontamination selon les règlements • Utiliser un équipement approprié 	NAVSEA (2004) ; Barsky (2006) ; Humphrey et al. (2013) ; Tamara (2012)
	Dangers humains	Irrespect de consigne		
	Dangers mécaniques	Défiance de l'équipement		

Tableau 4-7 Portrait de dangers professionnels reliés aux activités de plongée professionnelles au Québec-suite

Lésions professionnelles	Famille de dangers	Sources de dangers	Mesures de prévention	Références												
Problèmes cardiaques et physiologiques	Danger's physiques	Condition physique et mentale inappropriée	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi un examen de santé et un test d'aptitudes physiques par un médecin (tous les 2 ans ou plus souvent si recommandé) 	CCQ (2013) ; Cibis et al. (2017) ; Sayers and Moon (2022)												
	Dangers médicaux	Manque de suivi des examens médicaux			Problèmes psychologiques	Dangers de méthodes de travail	Absence de plan de plongée	<ul style="list-style-type: none"> • Se soumettre à une réévaluation médicale après une maladie ou un accident 	Niewiedzial et al. (2018) ; Shalaby et al. (2021)	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience	<ul style="list-style-type: none"> • Être évalué quotidiennement par le chef d'équipe sur l'aptitude à la plongée 	Stress (physique et mentale)	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi les formations correspondantes • Capacité d'adaptation à l'environnement de travail
Problèmes psychologiques	Dangers de méthodes de travail	Absence de plan de plongée	<ul style="list-style-type: none"> • Se soumettre à une réévaluation médicale après une maladie ou un accident 	Niewiedzial et al. (2018) ; Shalaby et al. (2021)												
	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience	<ul style="list-style-type: none"> • Être évalué quotidiennement par le chef d'équipe sur l'aptitude à la plongée 		Stress (physique et mentale)	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi les formations correspondantes • Capacité d'adaptation à l'environnement de travail 	Sayer (2006) ; CCQ (2013) ; Rumpoko et al. (2019)	Incapacité à gérer et à agir dans les situations difficiles	Manque d'adaptation au milieu de travail (travail au loin du domicile)					
Stress (physique et mentale)	Dangers humains	Manque de formation et d'expérience	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi les formations correspondantes • Capacité d'adaptation à l'environnement de travail 	Sayer (2006) ; CCQ (2013) ; Rumpoko et al. (2019)												
		Incapacité à gérer et à agir dans les situations difficiles														
		Manque d'adaptation au milieu de travail (travail au loin du domicile)														

4.3 Discussions de résultats

Les résultats de l'analyse de nos données fournissent des informations utiles sur l'identification des dangers, les facteurs qui les engendrent et les conséquences des dangers sur les personnes exposées aux dangers professionnels. Il convient de noter que toute la discussion des résultats du présent projet de recherche est élaborée en se référant à ceux de la revue de littérature.

4.3.1 Examen des dangers reliés aux activités de plongée professionnelle et des sources de dangers

Il est évident que toutes les participantes sont impactées par au moins l'un des principaux dangers professionnels énoncés dans le portrait initial (revoir Tableau 1-9), constat étayé par la revue de littérature. Parmi les dangers, les problèmes liés au squelette, les collisions, les risques associés à la décompression et au barotraumatisme, le stress, ainsi que les situations de coincement, sont les plus fréquemment rapportés. Les résultats confirment que l'exposition à l'environnement sous-marin a des effets particuliers sur la physiologie et peut entraîner des troubles de fonctionnement des organes ([Laurino.M et al., 2015](#))

De plus, les répondants n'ont pas mentionné de dangers professionnels en plus de ceux présentés dans le portrait initial et basés sur la revue de littérature. Par conséquent, les dangers professionnels mentionnés par moins de 25 % des répondants ont été exclus du portrait final (voir le Tableau 4-7).

En matière de sources de dangers professionnelles, les plus fréquemment signalées sont une mauvaise condition physique et mentale ainsi que le manque de capacité à gérer les situations de travail. Comme mentionné dans la revue de la littérature, les deux critères les plus couramment utilisés pour évaluer les plongeurs professionnels sont leur expérience professionnelle et leurs conditions physiques ([Ozyigit.T & Egi.S, 2014](#)). Aussi 62 %, les participants, ont entre 20 et 35 ans, et 42 % des plongeurs ont moins de 5 ans d'expérience professionnelle. Ces chiffres confirment que le manque d'expérience

préalable en matière de plongée contribue à une réduction du seuil de flexibilité émotionnelle dans l'eau, ce qui a un impact négatif sur la psychologie du plongeur ([Niewiedział et al., 2018](#)).

Ainsi, le manque de capacité à gérer les situations peut être une conséquence du manque d'expérience, ce qui constitue également une source de danger. Lorsque les choses tournent mal, un plongeur expérimenté est plus susceptible de prendre des bonnes décisions sans paniquer. Il est donc possible de considérer le manque d'expérience comme étant un facteur amplificateur de danger ([Smith.N, 1995](#)).

De plus, des majorités de participants ont répondu que tous les équipements considérés sont être inspectés régulièrement et entretenus correctement pour assurer leur fiabilité avant de commencer le travail. De plus, les équipements d'urgence sont toujours être disponibles au cas où ils seraient nécessaires. Bien que les statistiques fournies aient indiqué que le non-respect des consignes est l'une des sources fréquentes de risques, participants n'ont pas mentionné des déclarations concernant l'annonce de restrictions et de limitations lors de la mise en œuvre des réglementations ni le non-respect des contrôles d'exécution de celles-ci.

92 % des participants suivent des formations continues ou des cours de perfectionnement, bien que seulement 36 % d'entre eux aient répondu que ces formations ont lieu chaque année tandis que cette élément joue un rôle particulièrement important pour la protection des plongeurs([Barsky, 2006](#)).

D'autre part, plus de 60 % des plongeurs professionnels ont rapporté qu'ils travaillent loin de leur domicile pendant plus de 6 mois. Cet période relativement longues peut rendre difficile l'adaptation à la vie familiale, ce qui affecte la santé psychologique et la performance de ce plongeur ([CCQ, 2013](#)).

4.3.2 Limitations et travaux futurs

L'évaluation et l'exploration des dangers professionnels auxquels sont confrontés les plongeurs professionnels ont été effectuées, indépendamment de la relation entre ces dangers, la nature de l'activité, le lieu de travail et les équipements liés à la profession.

De plus, une limite notable réside dans la réception de questionnaires incomplets, ce qui influence l'analyse des données relatives à l'exploitation des dangers professionnels des activités industrielles. Des échantillons réduits peuvent restreindre la capacité de généraliser les résultats au-delà de la population spécifique étudiée. Par conséquent, la petite taille de l'échantillon peut diminuer la puissance statistique de l'étude, c'est-à-dire la capacité à détecter de véritables effets.

Par ailleurs, l'indisponibilité des données sur les accidents, ainsi que des statistiques relatives aux personnes blessées ou décédées en raison de lésions professionnelles, en raison de la confidentialité entourant ces informations industrielles, constitue un obstacle. Cette absence de données peut potentiellement compromettre la précision de l'évaluation des dangers.

Il serait bénéfique de prendre en compte ces limites lors de l'interprétation des résultats et d'envisager des méthodes alternatives pour collecter des informations plus complètes. Une approche proactive visant à améliorer la participation des entreprises dans le domaine concerné pourrait également être explorée. Cela pourrait impliquer des efforts supplémentaires pour sensibiliser les entreprises à l'importance de leur contribution, garantir la confidentialité des données, et peut-être même offrir des incitatifs pour encourager leur coopération. En intégrant ces ajustements, il est possible d'améliorer la qualité et la pertinence des données recueillies, renforçant ainsi la validité et la robustesse de l'évaluation des risques professionnels dans le contexte des plongeurs professionnels.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de ce projet de recherche était d'identifier les dangers professionnels liés aux activités de plongée professionnelle. À la fin de la revue de littérature, un portrait des dangers professionnels auxquels sont confrontés les plongeurs professionnels a été dressé grâce aux recherches réalisées et à la revue de littérature. Ensuite, le portrait final des dangers professionnels a été élaboré sur la base des avis d'experts en envoyant un questionnaire aux entreprises cibles.

Ce projet de recherche est l'occasion à présenter et à reconnaître les dangers en matière de sécurité et de santé auxquels sont confrontés les plongeurs professionnels en milieu industriel au Québec. Cependant, pour améliorer davantage l'efficacité de ce portrait, il serait opportun de tenir compte des limites identifiées dans ces études de recherche dans le cadre de recherches futures.

Bibliographie

- Abbott, B., & Famularo, S. (2004). Development of a Diving Training Program for Engineer-Divers Conducting Underwater Inspections. In *Ports 2004: Port Development in the Changing World* (pp. 1-8).
- Abdrabbo, F., & Gaaver, K. (2012). Challenges and uncertainties relating to open caissons. *DFI Journal-The Journal of the Deep Foundations Institute*, 6(1), 21-32.
- Acott, C. (1999). Equipment malfunction in 1,000 diving incidents. 29(3), 122-126.
- Al-Tamimi, A. K. (2019). 14 - Design and evaluation of underwater concrete. In S. Mindess (Ed.), *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)* (pp. 325-343). Woodhead Publishing.
- Alexander.Z. (2005). *Scuba* Retrieved 2020-08-30 from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scuba_03.jpg
- Anderson, H. V. (2001). Underwater construction using cofferdams.
- Artiola, J. F., Rock, C., & Hix, G. (2012). Water storage tank disinfection, testing, and maintenance. *The University of Arizona Cooperative Extension*.
- Association of Diving Contractors International[ADCI]. (2016). *DIVER MEDICAL REQUIREMENTS*. Retrieved 2020-03-01 from https://www.adc-int.org/files/C11634_ADC%20Consensus%20Standard.pdf
- Azzopardi, E., & Sayer, M. (2010). A review of the technical specifications of 47 models of diving decompression computer. *Underwater Technology*, 29(2), 63-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.3723/ut.29.063>
- Bach, F.-W., Versemann, R., Bienia, H., & Kremer, G. (2003). *CAMX-A High Performance Cutting Technique for Underwater Use*. osti.gov
- Baek, H.-K., Kim, K.-B., & Choi, H.-C. (2021). A Research on safety rules for safe scuba diving. *Review of International Geographical Education Online*, 11(8), 365-376.
- Barsky, S. (2006). Hidden dangers. Contaminated water diving: the risks divers don't want to acknowledge. *DIVING AND HYPERBARIC MEDICINE-SOUTH PACIFIC UNDERWATER MEDICINE SOCIETY*, 36(1), 35.
- Beyerstein.G. (2006). COMMERCIAL DIVING: SURFACE-MIXED GAS, SUR-DO 2, BELL BOUNCE, SATURATION. PROCEEDINGS OF ADVANCED SCIENTIFIC DIVING WORKSHOP, U.S.A.
- Blumenthal, R. (2014). Electrocution and lightning. *Handbook of Forensic Medicine*, 477-494.
- Bogue.R. (2015). Underwater robots: A review of technologies and applications [Review]. *Industrial Robot*, 42(3), 186-191.
- Bove, A. (2014). Diving medicine. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 189(12), 1479-1486.
- Browne, T., Collins, J., Garlich, J., O'Leary, J., Stromberg, D., & Heringhaus, K. C. (2010). *Underwater bridge inspection* (FHWA-NHI-10-027). <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/44391>

- Brubakk, A. O., Ross, J. A., & Thom, S. R. (2011). Saturation diving; physiology and pathophysiology. *Comprehensive physiology*, 4(3), 1229-1272.
- Busuttil, A., & Obafunwa, J. (1995). A review of the forensic investigation of scuba diving deaths. *Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society*, 35(2), 87-95.
- Çakır, O., Kiyak, M., & Altan, E. (2004). Comparison of gases applications to wet and dry cuttings in turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154, 35-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.190>
- Cao, L. (2009). Commonly Used Methods of Underwater Cutting and Diamond Wire Saw Cutting. In *ICPTT 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications* (pp. 1268-1280).
- Caramanna, G., & Leinikki, J. (2016). Full-face masks for diving applications: an overview. Diving for Science 2016: Proceedings of the AAUS 35th Scientific Symposium,
- Chef Fire and Rescue Adviser [CFRA]. (2011). Fire and Rescue Service Operational Guidance. In (pp. 6,7,8,9,10).
- Chhniyara, A. (2014). Underwater Welding. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)* 4(1), 63-71.
- Cibis, T., McEwan, A., Sieber, A., Eskofier, B., Lippmann, J., Friedl, K., & Bennett, M. (2017). Diving Into Research of Biomedical Engineering in Scuba Diving. *IEEE Rev Biomed Eng*, 10, 323-333.
- Clark, R. B., Frid, C., & Attrill, M. (2001). *Marine pollution* (Vol. 5). Oxford university press Oxford.
- Colodro-Plaza, J., Garcés de los Fayos-Ruiz, E., López-García, J., & Colodro-Conde, L. (2015). Individual differences in diving: Intelligence, personality, and underwater adaptation. *Military Psychology*, 27(3), 129-141.
- Comer, R. (2020). *Contaminated Water Diving Exercise*. Association of Diving Contractors International (ADCI). Retrieved 2020-06-20 from <https://www.underwatermagazine.com/2020/06/contaminated-water-diving-exercise/>
- Commission de la construction du Québec [CCQ]. (2013). *Rapport d'analyse de profession*. Retrieved 2020-04-10 from <https://www.ccq.org/fr-CA/Recherche/search-page#q=scaphandrier&first=10&sort=relevancy>
- Commission de la construction du Québec [CCQ]. (2020). *carrières struction*. Retrieved 2021-04-30 from <https://www.ccq.org/fr-CA/Recherche/search-page#q=scaphandrier&first=10&sort=relevancy>
- Cong, Y., Gu, C., Zhang, T., & Gao, Y. (2021). Underwater robot sensing technology: A survey. *Fundamental Research*, 1(3), 337-345.
- DeGorordo, A., Vallejo-Manzur, F., Chanin, K., & Varon, J. (2003). Diving emergencies. *Resuscitation*, 59(2), 171-180.
- Dekker, C. (2022). *6 Shocking Underwater Welding Dangers & Powerful Safety Solutions*. Retrieved 2022-02-13 from <https://waterwelders.com/underwater-welding-dangers-safety/>

- Desy, M. A. (2010). *Quebec: Stretching Out a Buoy to Professional Divers* The Canadian Association of Diving Contractors.
http://www.cadc.ca/mags/CADC_FALL10_FINAL.pdf
- Dokken, Q. (2006). Application of deep diving technology to scientific exploration. PROCEEDINGS OF ADVANCED SCIENTIFIC DIVING WORKSHOP, TEXAS , U.S.A.
- Dunworth, S. A., Natoli, M. J., M, C., Cherry, A. D., Peacher, D. F., Potter, J. F., Wester, T. E., Freiburger, J. J., & Moon, R. E. (2017). Hypercapnia in diving: a review of CO₂ retention in submersed exercise at depth. *Undersea Hyperb Med*, 44(3), 191-209.
- Else, D., & McFadzen, J. (2010). *Hiring the Professional Diving Contractor*. The official magazine of the Canadian Association of CADC Diving Contractors. Retrieved 2022-01-10 from
http://www.cadc.ca/mags/CADC_FALL10_FINAL.pdf
- Elshahawy, M., Younes, H. A. W., & Al Hamlawi, I. (2021). Underwater Inspection Using ROV. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE.
- EMDX. (2004). *File:Plongee-RecycleurInspiration 20040221-153656.jpg*. Retrieved 2020-03-15 from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plongee-RecycleurInspiration_20040221-153656.jpg
- Ferguson, S. (2017). *Saturation Diving*. Retrieved 2022-03-15 from <https://dan.org/alert-diver/article/saturation-diving/>
- Garofalo, F., Iannelli, L., Manfredi, S., & Santini, S. (2005). A sliding observer for closed-circuit underwater breathing apparatus. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 97-102.
- Gauvin, F. (2015). *Des modifications pour les travaux de construction au-dessus ou à proximité de l'eau*. Retrieved 2021-01-30 from
<https://www.centrepatronalsst.qc.ca/publications/infos-sst-bonjour/nouvelles-generales/des-modifications-pour-les-travaux-de-construction-au-dessus-ou-a-proximite-de-l-eau/>
- Gerwick Jr, B. (2007). *Construction of marine and offshore structures* (3rd Edition ed.). CRC press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780849330520>
- Gouvernement du Québec. (2004). *Norme de compétence pour les opérations de plongée-norme CSA Z275*. Retrieved 2021-05-20 from
<https://www.scc.ca/fr/standardsdb/standards/18556>
- Gouvernement du Québec. (2013a, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail-document en ligne, Article 312.6*. Retrieved 2022-02-15 from
<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013b). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, section TRAVAIL EFFECTUÉ EN PLONGÉE XXVI.I*. Retrieved 2022-02-15 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>

- Gouvernement du Québec. (2013c, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, Article 312,7*. Retrieved 2022-02-15 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013d, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, Article 312.5*. Retrieved 2022-02-15 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013e, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, Article 312.8*. Retrieved 2022-2-28 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013f, 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, Équipement de plongée en mode autonome, Article 312,35*. Retrieved 2022-01-25 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013g, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, Équipement de plongée en mode non autonome, Article 312,36*. Retrieved 2022-01-28 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013h, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, Article 312,31*. Retrieved 2022-02-15 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013i, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, article 312.4*. Retrieved 2022-02-28 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2013j, Novembre 2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – document en ligne, Article 312.57*. Retrieved 2020-02-01 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Gouvernement du Québec. (2021). *Loi sur la santé et la sécurité du travail – chapitre S-2.1, r. 4, Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC)*. Retrieved 2022-02-15 from <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%204>
- Govindaraju, V., & Palanisamy, G. (2017). Need of robotic systems in non-destructive testing applications. ND E 2017 Conf. & Exhibition of the Indian Soc. for NDT (ISNT),
- Grace, R. (2002). Discussion of “Commercial Diving Operations in Construction” by Steven Maberry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(1), 90-90.
- Hammerton, Z. (2017). Determining the variables that influence SCUBA diving impacts in eastern Australian marine parks. *Ocean & coastal management*, 142, 209-217.
- Hay, G. (2010). *The Practical Aspects of Cold Weather Diving in Canada*. The Canadian Association of Diving Contractors. Retrieved 2022-03-10 from http://www.cadc.ca/mags/CADC_FALL10_FINAL.pdf

- Hayward, G., Pearson, J., & Stirling, G. (1993). An intelligent ultrasonic inspection system for flooded member detection in offshore structures. *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 40(5), 512-521.
- HERVÉ. (2016). *Tous les conseils pour bien choisir ses palmes de plongée*. Savoir-plonger.fr. Retrieved 2021-07-02 from <https://savoir-plonger.fr/tous-les-conseils-pour-bien-choisir-ses-palmes-de-plongee/>
- Honkasalo, A. (1992). Finnish divers' view of occupational risks and risk taking. *Applied ergonomics*, 23(3), 202-206.
- Humphrey, A., Grossman, S., C, & McBurne, J. (2013). Environmental response team standard operating procedures for contaminated water diving operations. JOINT INTERNATIONAL SCIENTIFIC DIVING SYMPOSIUM, NEW JERSEY , U.S.A.
- Humphrey, A., Grossman, S., McBurney, J., & Sheldrake, S. (2011). Use of surface-supplied gas for scientific diving. American Academy of Underwater Sciences 30th Scientific Symposium,
- Ihama, Y., Ninomiya, K., Noguchi, M., Fuke, C., & Miyazaki, T. (2009). Fatal propeller injuries: three autopsy case reports. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 16(7), 420-423.
- Imbert, J. P. (2006). Commercial Diving: 90 mSW Operational Aspects. http://hoehlentauchen.ch/PDF-dateien/90m_SI_2006-12.pdf
- Institut maritime du Québec [IMQ]. (2019). *CONDITIONS D'ADMISSION*. Institut Maritime du Québec. Retrieved 2020-10-09 from <https://www.imq.qc.ca/cfpp/condition-d-admission.php>
- Irgens, Å., Troland, K., Djurhuus, R., & Grønning, M. (2016). Diving exposure and health effects in divers working in different areas of professional diving. *International Maritime Health*, 67(4), 235-242. <https://doi.org/10.5603/IMH.2016.0042>
- Jacobi, M. (2015). Autonomous inspection of underwater structures. *Robotics and Autonomous Systems*, 67, 80-86. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.10.006>
- Jain.A, Chandra.N.R, & Kumar.M. (2018). Design and Development of an Open-frame AUV: ANAHITA. 2018 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicle Workshop (AUV), Porto, Portugal.
- Joosten.A. (2020). *Survol législatif en matière de travaux à proximité de l'eau et en plongée*. Retrieved 2021-01-26 from <https://www.preventionautravail.com/droits-et-obligations/794-loi-travaux-plongee.html>
- Kelly, S. W. (1999). Underwater inspection criteria. *Naval Facilities Engineering Service Center, Port Hueneme, CA*.
- Kłos, R. (2008). Classification of the underwater diving equipment. *Polish Maritime Research*, 15(1), 80-85.
- Kononenko, V. Y. (2014). Underwater welding and cutting in CIS countries. *Paton Welding Journal*, 6-7.

- Kornelsen, K. (2010). *Offshore Commercial Diving on the East Coast*. The official magazine of the Canadian Association of Diving Contractors(CADC). Retrieved 202-04-10 from http://www.cadc.ca/mags/CADC_FALL10_FINAL.pdf
- Krzyżak, J., & Korzeniewski, K. (2021). Medical assessment of fitness to dive. Part I. *International maritime health*, 72(1), 36-45.
- Kur, J., & Mioduchowska, M. (2018). Scientific diving in natural sciences. *Polish Hyperbaric Research*, 65(4), 55-62.
- Łabanowski, J., Fydrych, D., & Rogalski, G. (2008). Underwater Welding—a review. *Advances in materials Science*, 3.
- Lamont, D. R. (1991). Inshore Diver Safety - A Review Of Recent Developments. Subtech '91, Aberdeen, UK.
- Landry, B. (2010). Diving Health and Safety Standards and Legislation in Canada. *The official magazine of the Canadian Association of CADC Diving Contractors Magazine*, (2022-03-20), 30-32. http://www.cadc.ca/mags/CADC_FALL10_FINAL.pdf
- Lang, M. A. (2009). Scientific Diving Program Management and Scientific Diver Education. 1st International Workshop Research in Shallow Marine and Fresh Water Systems, Washington, DC, USA.
- Laurino, M., Guerriero, L., Allegrini, P., Menicucci, D., Mastorci, F., Magrin, D., Allotta, B., Bedini, R., & Gemignani, A. (2015). Psycho-physiological tele-monitoring of human operators in commercial diving: The Life Support System in the SUONO project. 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, Italy.
- Laurino, M., Guerriero, L., Allegrini, P., Menicucci, D., Mastorci, F., Magrin, D., Allotta, B., Bedini, R., & A, G. (2015). Psycho-physiological tele-monitoring of human operators in commercial diving: The Life Support System in the SUONO project. 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, Italy.
- Ledezma, F. D., Amer, A., Abdellatif, F., Outa, A., Trigui, H., Patel, S., & Binyahib, R. (2015). A Market Survey of Offshore Underwater Robotic Inspection Technologies for the Oil and Gas Industry. SPE Saudi Arabia Section Annual Technical Symposium and Exhibition,
- Leitch, D. (1985). Complications of saturation diving. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 78(8), 634-637.
- Leong, T. Y., & Jayasingam, S. (2021). Retention of Military Divers in The Royal Malaysian Navy Diving Organisation. *International Journal of Business and Management*, 5(2), 06-16.
- Levéé, V. (2019a). *Évolution réglementaire*. Levée, V. Retrieved 2021-01-26 from <https://www.preventionautravail.com/reportages/766-l-eau-comme-milieu-de-travail.html>
- Levéé, V. (2019b). *L'eau comme milieu de travail*. Retrieved 2021-03-30 from <https://www.preventionautravail.com/reportages/766-l-eau-comme-milieu-de-travail.htm>

- Levée, V. (2019). *Les plongeurs en équipe*. Levée.V. Retrieved 2020-07-13 from <https://www.preventionautravai.com/reportages/766-l-eau-comme-milieu-de-travail.html>
- Levée, V. (2019c). *Un plan de plongée est essentielle*. Levée.V. Retrieved 2021-07-13 from <https://www.preventionautravai.com/reportages/766-l-eau-comme-milieu-de-travail.html>
- Levett, D., & Millar, I. (2008). Bubble trouble: a review of diving physiology and disease. *Postgraduate medical journal*, 84(997), 571-578.
- Lippmann, J. (2021). Fatalities involving divers using surface-supplied breathing apparatus in Australia, 1965 to 2019. *Diving and hyperbaric medicine*, 51(1), 53-62. <https://doi.org/10.28920/dhm51.1.53-62>
- Lomax, H. (2019). *Avoiding the Hazards in Commercial Diving*. Retrieved 2020-06-12 from <https://www.underwatermagazine.com/2019/07/avoiding-the-hazards-in-commercial-diving/>
- Lüderwald, S., & Zinka, B. (2008). Fatal diving accidents: two case reports and an overview of the role of forensic examinations. *Forensic science international*, 180(2-3), e1-e5.
- Lund, T. (1998). New Methods Improve Water Tank Inspection. *Opflow*, 24(8), 1-5.
- Maberry, S. (2000). Commercial Diving Operations in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE*, 126, 433-439.
- Majumdar, J. D. (2006). Underwater welding-present status and future scope. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 3(1), 38-47.
- Mallios, A., Ridao, P., Ribas, D., Carreras, M., & Camilli, R. (2016). Toward autonomous exploration in confined underwater environments. *Journal of Field Robotics*, 33(7), 994-1012.
- McFall, G. (2019). *Student Experiencing Surface Supplied Diving*. Retrieved 2022-03-15 from <https://www.oma.noaa.gov/find/media/images/student-experiencing-surface-supplied-diving>
- Mehta, J., Pitroda, J., & Bhavsar, J. (2015). Open caisson: underwater construction technique and placement. *Int. Conf. Eng. Issues Opportunities Challenges Dev., Bardoli, India*.
- Melhisier, O. (2019). *Under Pressure - Scuba Diving Risks*. Retrieved 2022-03-15 from <https://www.tripsavvy.com/depth-and-pressure-scuba-diving-2963200>
- Morales, R., Keitler, P., Maier, P., & Klinker, G. (2009). An underwater augmented reality system for commercial diving operations. *OCEANS 2009, Biloxi, MS, USA*.
- Munro, C., Eleftheriou, A., & McIntyre, A. (2005). Diving systems. *Methods for the study of marine benthos*, 112-159.
- Myers, M. L., & Durborow, R. M. (2012). *Aquacultural safety and health*. IntechOpen London, England.
- Naval sea system command[NAVSEA]. (2004). GUIDANCE FOR DIVING IN CONTAMINATED WATERS. *Technical Manual# SS521-AJ-PRO-010*.

- Washington, DC: Naval Sea Systems Command, 12-13.
<https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/Contaminated%20Water%20Dive%20Man%20Rev2.pdf?ver=2019-12-02-075531-380>
- Niewiedział, D., Kolańska, M., Dąbrowiecki, Z., Jerzemowski, M., Siermontowski, P., Kobos, Z., & Olszański, R. (2018). Psychological Aspects of Diving in Selected Theoretical and Research Perspectives. *Polish Hyperbaric Research*, 62(1), 43-54.
- Nussbergera, P., Knesslb, P., Wölfelc, C., & Tortid, S. (2007). Médecine de plongée: un abrégé.
- Olejnik, A., & Siermontowski, P. (2016). Will an underwater robot ever replace the diver? A rather poor progress or a great success? *Polish Hyperbaric Research*, 54(1), 7-18.
- Oral, O., Dirgar, E., & Erdoğan, M. Ç. (2014). DIVING SUITS; AREAS OF USE AND PROPERTIES. 395-399. <http://www.textotex.com/>
- Özger , N. (2019). *Augmenting underwater experience: Design of a diving mask* (Publication Number) IZMIR UNIVERSITY OF ECONOMICS-Izmir-Turkey]. acikbilim.yok.gov.tr
- Ozyigit.T, & Egi.S. (2014). Commercial diver selection using multiple-criteria decision-making methods. *Undersea and hyperbaric medicine*, 41(6), 565-572.
- Pasche, A., & Bolstad, G. (1989). Diving Equipment And Procedures. Subtech '89,
- Pendergast, D., Mollendorf, J., Logue, C., & Samimy, S. (2003). Evaluation of fins used in underwater swimming. *Undersea Hyperb Med*, 30(1), 57-73.
- Petrak, S., Naglič, M. M., & Geršak, J. (2020). 10 - Sizing and fit for swimsuits and diving suits. In N. Zakaria & D. Gupta (Eds.), *Anthropometry, Apparel Sizing and Design (Second Edition)* (pp. 255-287). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102604-5.00010-X>
- Planet-plongee. *Lampes et phares de plongée* Retrieved 2022-03-26 from <https://www.planet-plongee.fr/156-lampes-et-phares-de-plongee>
- Pougnnet, R., Allio, I., & Pougnnet, L. (2015). Prevention of infectious diseases in harbour divers: how environmental parameters can help. *International Maritime Health*, 66(3), 186-187.
- Radford, C. A., Jeffs, A. G., Tindle, C. T., Cole, R. G., & Montgomery, J. (2005). Bubbled waters: The noise generated by underwater breathing apparatus. *Marine and freshwater behaviour and physiology*, 38(4), 259-267.
- Recandtekscuba. *I450T DIVE COMPUTER*. Retrieved 2022-03-01 from <https://www.recandtekscuba.com/i450t-dive-computer>
- Reid, R. L. (2017). Diving into Engineering. *Civil Engineering Magazine Archive*, 87(7), 46-53.
- Reshma, N., & Ramesh, T. K. (2017). Underwater diving and diver health concerns a survey. 2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy), Kollam, India.
- Rizzo, P. (2013). NDE/SHM of underwater structures: a review. *Advances in Science and Technology*, 83, 208-216.

- Robbins, R. (2006). USAP Surface-Supplied Diving. *PROCEEDINGS OF ADVANCEDSCIENTIFIC DIVING WORKSHOP*, 203-207.
- Rowe, M., Liu, S., & Reynolds, T. (2002). The effect of ferro-alloy additions and depth on the quality of underwater wet welds. *WELDING JOURNAL-NEW YORK-*, 81(8), 156-S.
- Rumpoko, S., Sitiasih, V., & Sudarmanto, E. (2019). Anxiety and Performance of Scuba Diver. 2nd International Conference on Sports Sciences and Health 2018 (2nd ICSSH 2018),
- Rusoke-Dierich, O. (2018). Basic Diving Equipment. In *Diving Medicine* (pp. 15-19). Springer.
- Sayer, M. D. (2006). Deep scientific diving in Europe: identifying the need. *PROCEEDINGS OF ADVANCED SCIENTIFIC DIVING WORKSHOP*,
- Sayers, M., & Moon, R. (2022). Diving☆. In S. M. Janes (Ed.), *Encyclopedia of Respiratory Medicine (Second Edition)* (pp. 209-218). Academic Press.
- Schmitt, E. (2018). Regular tank cleaning is key to water quality. *Opflow*, 44(7), 10-13.
- Schneider, N., Grzelachowski, B., & Czarnecki, J. v. (2008). Critical Malfunction of Diving Equipment. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 8(4), 333-336.
- Scubapatro. (2019). *Diving in a Semi-Dry Wetsuit*. Retrieved 2020-11-30 from <https://www.scubapro.com/blog/article/diving-semi-dry-wetsuit>
- Šegrt Ribičić, I., Valić, M., Božić, J., Obad, A., Glavaš, D., Glavičić, I., & Valić, Z. (2019). Influence of oxygen enriched gases during decompression on bubble formation and endothelial function in self-contained underwater breathing apparatus diving: a randomized controlled study. *Croatian Medical Journal*, 60(3), 265-272.
- Shalaby, M., Sakoury, M., Mostafa, A., Al-jameel, S., & Alghamdi, A. (2021). The Effect of Diving for Different Years on CD34+ Stem Cells and Some Physiological Variables for Commercial Divers. *Int. J. Hum. Mov. Sport. Sci*, 9, 1146-1156. Retrieved 20 février 2022, from
- Shalaby, M., Sakoury, M., Mostafa, A., Al-jameel, S., & Alghamdi, A. (2021). The Effect of Diving for Different Years on CD34+ Stem Cells and Some Physiological Variables for Commercial Divers. *Int. J. Hum. Mov. Sport. Sci*, 9, 1146-1156.
- Sieber, A., Kuch, B., Enoksson, P., & Stoyanova-Sieber, M. (2012). Development of a head-up displayed diving computer capability for full face masks. *Underwater Technology*, 30(4), 195-199.
- Smith, N. (1995). Scuba diving: how high the risk. *J Insur Med*, 27, 15-24.
- Song, G., Khan, F., Wang, H., Leighton, S., Yuan, Z., & Liu, H. (2016). Dynamic occupational risk model for offshore operations in harsh environments. *Reliability Engineering & System Safety*, 150, 58-64.
- Southerland, D. (2006). *Medical Fitness at 300 FSW*. <https://www.ptil.no/contentassets/03de2df46ec6451ba635bbb2b2466509/proceedings-of-advanced-scientific-diving-workshop---smithsonian-2006.pdf#page=203>

- Stanley, J. V., & Scott, C. (1995). The effects of the underwater environment on perception, cognition and memory. 'Challenges of Our Changing Global Environment'. Conference Proceedings. OCEANS'95 MTS/IEEE, San Diego, CA, USA.
- Steigleman, W. (2002). *Survey of current best practices for diving in contaminated water*.
- Tamara, S. (2012). PNEUMATIC CIRCUIT OF UNDERWATER EQUIPMENT FOR INTERVENTIONS IN CONTAMINATED WATERS. *Fascicle of Management and Technological Engineering*, XI(XXI), 108-114.
- Thomson, L., & Paton, J. (2014). Oxygen toxicity. *Paediatric respiratory reviews*, 15(2), 120-123.
- Toulon. (2018). *ECA Group announces a new sale of its autonomous underwater vehicle AUV A18*. Retrieved 2022-03-16 from <https://www.edrmagazine.eu/eca-group-announces-a-new-sale-of-its-autonomous-underwater-vehicle-auv-a18>
- Van den Abeele, F., & Goes, P. (2011). Non destructive testing techniques for risk based inspection. *Sustainable Construction and Design*, 2(2), 161.
- Verma, K., & Garg, H. K. (2012). Underwater welding-Recent trends and future scope. *International Journal on Emerging Technologies*, 3(2), 115-120.
- Walker, I. J. R., & Murphy-Lavoie, H. M. (2018). *Diving Rebreathers*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL). <http://europepmc.org/abstract/MED/29494076>
- <http://europepmc.org/books/NBK482469>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482469>
- Yang, Y., Hirose, S., Debenest, P., Guarnieri, M., Izumi, N., & Suzumori, K. (2016). Development of a stable localized visual inspection system for underwater structures. *Advanced Robotics*, 30(21), 1415-1429.
- Yoerger, D. R., Curran, M., Fujii, J., German, C., Gomez-Ibanez, D., Govindarajan, A., Howland, J. C., Llopiz, J. K., Wiebe, P., & Hobson, B. (2018). Mesobot: An autonomous underwater vehicle for tracking and sampling midwater targets. 2018 IEEE/OES autonomous underwater vehicle workshop (AUV).

ANNEXE 1

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE ÉMIS PAR L'UQTR

Le 12 mai 2023

Madame Panteha
Parvin Étudiante
Département de génie industriel

Madame,

Le secrétariat de l'éthique accuse réception des documents corrigés nécessaires à la réalisation de votre protocole de recherche intitulé **Étude exploratoire des dangers professionnels reliés aux activités industrielles à proximité de l'eau ou en plongée** en date du 8 mai 2023.

Vous trouverez ci-joint votre certificat, émis par le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains, portant le numéro CER-23-297-07.10. Sa période de validité s'étend du 12 mai 2023 au 12 mai 2024.

Nous vous invitons à prendre connaissance de votre certificat qui présente vos obligations à titre de responsable d'un projet de recherche.

Nous vous souhaitons la meilleure des chances dans vos travaux et vous prions d'agréer, Madame, nos salutations distinguées.

LA SECRÉTAIRE DU COMITÉ



FANNY LONGPRÉ
Adjointe au doyen
Décanat de la recherche et de la création

FL/na

p. j. Certificat d'éthique

1. M. Adel Badri, professeur au Département de génie industriel

ANNEXE 2

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Titre du projet de recherche :	Étude exploratoire des dangers de santé et de sécurité au travail reliés aux activités industrielles à proximité de l'eau et en plongée
Mené par :	Panteha Parvin, Département de Génie industriel, maîtrise en ingénierie — concentration génie industriel, UQTR
Sous la direction de :	Adel Badri, Département de Génie industriel, UQTR, Directeur de recherche
Membres de l'équipe de recherche :	Mhamed Mesfioui, Département de mathématique et informatique, UQTR, codirecteur de recherche
<i>Et, si c'est le cas :</i>	
Source de financement :	CRSNG Découverte, UQTR (FIR LAB-LISST)
Déclaration de conflit d'intérêts :	N/A

Préambule

Votre participation à la recherche, qui vise à mieux comprendre les dangers professionnels reliés aux activités industrielles à proximité de l'eau et en plongée, serait grandement appréciée. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire ce formulaire. Il vous aidera à comprendre ce qu'implique votre éventuelle participation à la recherche de sorte que vous puissiez prendre une décision éclairée à ce sujet.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable de ce projet de recherche ou à un membre de son équipe de recherche. Sentez-vous libre de leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair. Prenez tout le temps dont vous avez besoin pour lire et comprendre ce formulaire avant de prendre votre décision.

Résumé et objectif(s) du projet de recherche

Les métiers de la construction font partie des professions dangereuses, et lorsque les opérations sont effectuées sous l'eau, ou en d'autres termes, lorsque l'eau devient un environnement de travail, la gravité des dangers professionnels de la santé et de la sécurité augmente pour toutes les personnes travaillant dans diverses industries à proximité ou sous l'eau.

L'objectif principal de cette recherche est de réaliser une étude exploratoire visant à mieux comprendre les dangers professionnels auxquels les plongeurs professionnels font face à proximité et sous l'eau. Pour atteindre cet objectif, il faut élaborer un portrait de dangers professionnels et améliorer celui-ci dans le contexte de travail réel des plongeurs québécois, à travers une consultation des entreprises œuvrant dans le domaine de la plongée professionnelle. Cette consultation est réalisée à l'aide d'un questionnaire.

Par la suite une analyse statistique des données recueillies est effectuée sur la base des réponses aux questionnaires. Les résultats de l'analyse des données obtenues permettent de déterminer les dangers professionnels confirmés par des experts dans le domaine de la plongée professionnelle et aussi de souligner les recommandations formulées par ces experts québécois.

Nature et durée de la participation

Votre participation à ce projet de recherche consiste à remplir un questionnaire en ligne. Il faut compter environ 20 à 30 minutes pour le remplir. La participation peut se faire en dehors des heures de travail et de l'environnement de travail.

Risques et inconvénients

Aucun risque n'est associé à votre participation. Le seul inconvénient est le temps qu'une personne passe à répondre au questionnaire. La durée maximale pour remplir le questionnaire sera d'environ 20 à 30 minutes.

Avantages ou bénéfices

En répondant au questionnaire, les participants contribuent à l'identification des dangers professionnels liés aux activités industrielles à proximité et sous l'eau.

Confidentialité

Les données collectées par cette étude sont totalement confidentielles et ne conduiront pas à votre identification. Les résultats de l'étude seront publiés sans fournir d'informations identifiantes. Seuls les chercheurs et étudiants impliqués dans la recherche auront accès aux données, et les données recueillies à l'Université du Québec à Trois-Rivières resteront confidentielles. Tous ont signé un engagement de confidentialité. Les données sont conservées conformément à la réglementation sur la tenue de registres et les salles de consultation des ingénieurs (c. L -9, r.14) de l'Ordre des Ingénieurs du Québec (OIQ). Ils seront détruits dans un délai de 10 ans et ne seront pas utilisés à des fins autres que celles décrites dans ce document.

Les informations personnellement identifiables contenues dans le dossier sont supprimées ou modifiées pour rendre les informations personnellement identifiables illisibles. Les documents papier sont détruits de telle manière qu'il n'est plus possible de reconstituer les informations. Pour les disques durs, les méthodes de destruction/élimination doivent détruire les données de façon permanente et irréversible. Des données identificatoires seront conservées par codage avec liste appariement séparément des données de recherche. Les questionnaires remplis n'enregistrent aucune information qui fera le lien entre la personne contactée et ses réponses.

Participation volontaire

Votre participation à cette étude se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non, de refuser de répondre à certaines questions ou de vous retirer en tout temps sans préjudice et sans avoir à fournir d'explications. Le refus de participer n'aura pas de conséquences sur l'emploi du participant. Le consentement donné pour participer au projet ne vous prive d'aucun droit au recours judiciaire en cas de préjudice lié à la recherche.

Responsable de la recherche

Pour obtenir de plus amples renseignements ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Panteha Parvin par courriel : panteha.parvin@uqtr.ca.

Surveillance des aspects éthiques de la recherche

Cette recherche est approuvée par un comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières et un certificat portant le numéro [no de certificat] a été émis le [date d'émission].

Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, veuillez communiquer avec le secrétariat de l'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières, par téléphone 819-376-5011 poste 2139, sans frais 1-800-365-0922 poste 2139 ou par courrier électronique à cereh@uqtr.ca.

CONSENTEMENT**Engagement de la chercheuse ou du chercheur**

Moi, Panteha Parvin, m'engage à procéder à cette étude conformément à toutes les normes éthiques qui s'appliquent aux projets comportant des participants humains.

Consentement du participant

Je, [nom du participant], confirme avoir lu et compris la lettre d'information au sujet du projet [*titre*]. J'ai bien saisi les conditions, les risques et les bienfaits éventuels de ma participation. On a répondu à toutes mes questions à mon entière satisfaction. J'ai disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ou non à cette recherche. Je comprends que ma participation est entièrement volontaire et que je peux décider de me retirer en tout temps, sans aucun préjudice.

En cliquant sur le bouton de participation, vous indiquez

- avoir lu l'information
- être d'accord pour participer

Oui, j'accepte de participer

ANNEXE 3

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
MODÈLE DU QUESTIONNAIRE D'APPRÉCIATION

Questions relatives au gestionnaire			
Formation et expériences			
1. Dans quelle tranche d'âge se situent les membres de l'équipe de travail ? Donnez le nombre approximatif selon la tranche d'âge			
<input type="checkbox"/>	20 à 35 ans	Nombre :
<input type="checkbox"/>	35 à 50 ans	Nombre :
<input type="checkbox"/>	+50 ans	Nombre :
2. Combien d'années de plongée les membres de l'équipe de travail possèdent-ils ? Donnez le nombre approximatif selon la tranche d'années d'expérience.			
<input type="checkbox"/>	0 à 2 ans	Nombre :
<input type="checkbox"/>	3 à 5 ans	Nombre :
<input type="checkbox"/>	Plus de 5 ans	Nombre :
3. Quels types de certifications de plongée possèdent les membres de l'équipe de plongée ? Mentionnez l'ordre du plus haut degré			
<input type="checkbox"/>		
4. Vous participez également à des formations continues ?			
<input type="checkbox"/>	OUI		
<input type="checkbox"/>	NON		
Si oui, veuillez indiquer la fréquence :			
Contexte de travail			
5. Quel est le domaine de la plongée professionnelle ?	Souvent	Rarement	Jamais
Construction	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Recherche scientifique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mer commerciale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chantiers maritimes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Milieux contaminés et difficiles d'accès	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Réservoirs d'eau potable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
6. Pour quels types d'activités se déroulent la plupart des opérations de plongée ?					
<input type="checkbox"/> Inspection <input type="checkbox"/> Entretien/nettoyage <input type="checkbox"/> Pose de câbles/tuyaux <input type="checkbox"/> Coupage/soudage <input type="checkbox"/> Travaux de sablage <input type="checkbox"/> Canalisation <input type="checkbox"/> Bétonnage <input type="checkbox"/> Autre Nommez les activités.....					
7. Dans quels types d'endroits se déroulent la plupart des opérations de plongée ?					
<input type="checkbox"/> Eaux froides <input type="checkbox"/> Eaux chaudes <input type="checkbox"/> Eaux contaminées <input type="checkbox"/> Eaux salées <input type="checkbox"/> Autre Nommez les endroits.....					
8. Le lieu de travail est-il souvent éloigné du domicile ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non			
9. Si oui, combien de temps travaillez-vous loin du domicile ?					
<input type="checkbox"/> Moins de 3 mois <input type="checkbox"/> 3 mois à 6 mois <input type="checkbox"/> Plus de 6 mois					
10. La distance entre le travail et le domicile affecte-t-elle vos performances mentales et physiques ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non			
Mode de plongée et équipement					
11. Précisez la portée et les profondeurs approximatives.	Air	Nitrox	Héliox	Trimix	Profondeur maximale
12. Plongée autonome	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13. Plongée non autonome	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14. Saturation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

	Toujours	Parfois	Jamais
15 Avez-vous un ordinateur avec vous pendant la plongée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Plongez-vous en vous basant sur les estimations de l'ordinateur ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Des équipements d'urgence sont-ils installés ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Le matériel adéquat est-il disponible pour chaque type d'environnement de travail ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Disposez-vous d'une fiche de vérification et maintenance des équipements et outillages de plongée ?			
Équipement et outillage	fréquence de vérification	fréquence de maintenance	
.....	
.....	
.....	
.....	
Planification			
20.L'entreprise dispose-t-elle d'un plan de plongée avant la réalisation du projet ?		<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
21. Le plan de plongée contient-il les détails suivants ?			
<input type="checkbox"/> Lieu de plongée et les points à prendre en compte selon le contexte de chaque projet de plongée			
<input type="checkbox"/> Possède une autorisation et un permis de travail			
<input type="checkbox"/> Les facteurs de plongée tels que la profondeur, la durée de plongée, la vitesse d'écoulement			
<input type="checkbox"/> Le mode de plongée et l'équipement et le matériel nécessaires			
<input type="checkbox"/> Équipe de plongée			
<input type="checkbox"/> Identification des dangers et la prise de précautions pour les éliminer ou les contrôler			
<input type="checkbox"/> Les coordonnées des services médicaux d'urgence et les coordonnées des services d'urgence, comme la police, les autorités portuaires			
<input type="checkbox"/> Les actions à prendre en cas d'urgence			
<input type="checkbox"/> Autre Nommez les détails.....			

22. Qui établit de plan de plongée ?		
23. Le travail se réalise-t-il en équipe ? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, indiquez combien de personnes composent l'équipe et quel est le rôle de chaque membre de l'équipe : -----		
24. Les travailleurs bénéficient-ils des examens médicaux avant la plongée ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
25. Existe-t-il des tests médicaux particuliers pour les plongeurs de plus de 50 ans ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
26. Plongez-vous selon des tables de plongée approuvées ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
27. Y a-t-il une surveillance depuis la surface ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
28. Avez-vous un plongeur de secours ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
29. Avez-vous un Co-plongeur ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
30 Y a-t-il un plan d'urgence dans le plan de plongée ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
31. Le registre de plongée est-il complet et signé par les plongeurs à la fin de l'opération ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
32 Existe-t-il une communication entre les membres du groupe de plongée pendant la plongée ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Législation		
33. Les travailleurs sont-ils formés sur les lois et règlements applicables ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
34 Le gestionnaire est-il formé sur les lois et règlements applicables ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
35. Quelles sont les normes en matière de SST qui sont connues et mises en application ? Les citer brièvement.		

36. Comment l'entreprise vérifie-t-elle sa conformité aux normes, règlements et lois en SST ?			
<input type="checkbox"/> Évaluation par un spécialiste externe en SST			
<input type="checkbox"/> Évaluation en interne			
<input type="checkbox"/> Autre type d'évaluation.....			
Quelle est la fréquence d'évaluation ?fois/an			
37. L'entreprise réalise-t-elle des inspections systématiques (planifiée à l'avance) du milieu de travail en lien avec la SST ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
38. L'entreprise dispose d'un registre des inspections réalisées ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
39. L'entreprise utilise des grilles d'inspection ou des listes de vérification ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
40. Quelle est la démarche de l'entreprise pour assurer le respect des instructions contenues dans des grilles d'inspection ou des listes de vérification ?			
Lésions professionnelles			
41. Décrivez, selon votre opinion personnelle, la fréquence de chacune des lésions professionnelles suivantes :			
	Souvent	Rarement	Jamais
Décompression	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Barotraumatisme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hypoxie, Hyperoxie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Collision	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entraînement et Coincement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aspiration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Toxicité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hypothermie, hyperthermie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hypercapnie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Blessure de chute et glissade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Postures de travail	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Contamination	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Explosion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chocs électriques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Problèmes cardiaques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Problèmes psychologiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stress	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42 Connaissez-vous d'autres lésions non répertoriées ici ? -----			
43 À votre avis, parmi les lésions mentionnées, lequel est le plus courant ? -----			
44 Selon vous, quelles sont les sources de dangers les plus répandues dans les lésions professionnelles ?			
<input type="checkbox"/> Condition physique et mentale inappropriée <input type="checkbox"/> Conditions météorologiques <input type="checkbox"/> Facteurs environnementaux tels que la profondeur de l'eau, la pression, la température de l'eau, bruit, mauvaise visibilité, espace clos ou d'autres facteurs <input type="checkbox"/> Manque de formation et d'expérience <input type="checkbox"/> Manque de communication entre les membres de l'équipe <input type="checkbox"/> Rythme élevé de travail <input type="checkbox"/> Le non-respect des consignes <input type="checkbox"/> Contenu minimal de règlements <input type="checkbox"/> Défaillance de l'équipement <input type="checkbox"/> Charge d'équipement <input type="checkbox"/> Absence de plan de plongée <input type="checkbox"/> Contaminations <input type="checkbox"/> Manque d'adaptation au milieu de travail (travail au loin du domicile) <input type="checkbox"/> Incapacité à gérer et à agir dans les situations difficiles <input type="checkbox"/> Autres facteurs (nommez-les) : -----			

Questions relatives aux employés

Symptômes et maladie

<p>45. Lesquels des symptômes suivants ont-ils été observés ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sensation de douleur ou de raideur dans les muscles et les articulations. <input type="checkbox"/> Tousser/souffle court/respiration sifflante <input type="checkbox"/> Problèmes digestifs <input type="checkbox"/> Maladies du conduit auditif (comme douleur ou perte auditive) <input type="checkbox"/> Difficulté de concentration <input type="checkbox"/> L'oubli <input type="checkbox"/> Migraine/mal de tête/étourdissements <input type="checkbox"/> Blessure à la tête avec perte de conscience/évanouissement <input type="checkbox"/> Anxiété/confusion <input type="checkbox"/> Dépression <input type="checkbox"/> Maladie mentale <input type="checkbox"/> Autre Nommez les symptômes 			
46. Après avoir utilisé d'outils vibrants ou rotatifs, vous avez une sensation de picotement dans un ou plusieurs doigts ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
47 Avez-vous été exposé à des bruits forts au travail ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
<p>48 Avez-vous été en arrêt de travail pour cause de :</p> <p><input type="checkbox"/> Tendon <input type="checkbox"/> Ostéomyélite <input type="checkbox"/> Étirement <input type="checkbox"/> Entorse <input type="checkbox"/> Autres issues (si oui, nommez-le)</p> <p>Si oui, veuillez indiquer la fréquence :</p>			
49. À votre avis, parmi les symptômes et les maladies mentionnées, lequel est le plus courant ?			
50. Quelles actions ont été décidées pour les réduire ou les éliminer ?			