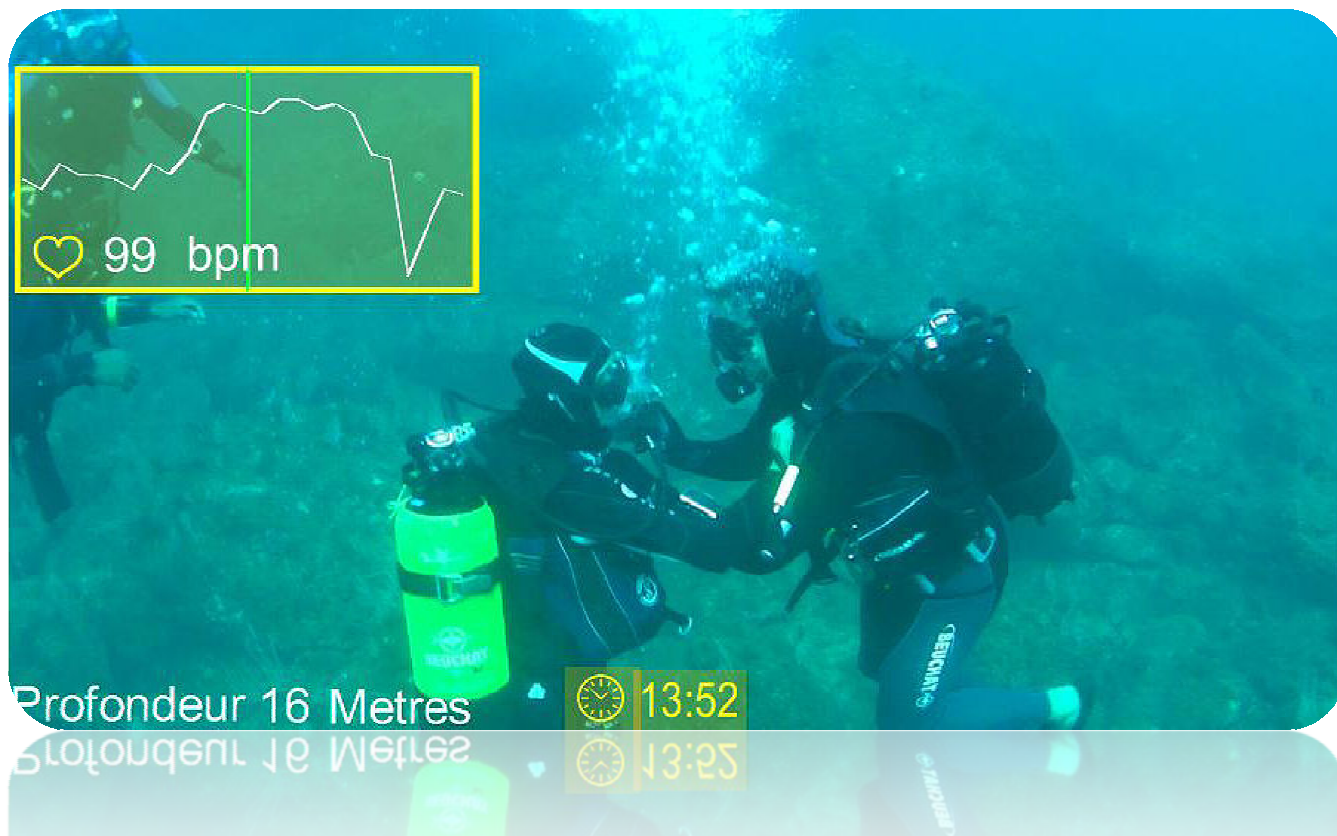


ÉTUDE PROSPECTIVE

BREVET D'ÉTAT D'ÉDUCATEUR SPORTIF 3ÈME DEGRÉ

PLONGÉE SUBAQUATIQUE



**PRISE DE CONSCIENCE ET CONTROLE DES
« AUTOMATISMES TERRIENS » CHEZ LE
PLONGEUR SUBAQUATIQUE**

Présenté par Rafael GONZALEZ

Septembre 2010

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier **tous les plongeurs** qui ont accepté de participer à cette étude.

Je remercie aussi :

Pour leur aide et soutien pendant la préparation du sujet :

Thierry Brunel Professeur Agrégé d'EPS - UFR STAPS Toulouse Université Paul Sabatier.

Daniel Curnier MCU - UFR STAPS Toulouse Université Paul Sabatier.

Elodie Varraine MCU - Département STAPS de Font Romeu – Université de Perpignan.

Claude Martin Directeur Technique National de la FFESSM.

Xavier Sandra ancien Directeur Technique National de la FFESSM.

Pierre Dunac Président du Comité Interrégional Pyrénées Méditerranée de la FFESSM.

Joëlle Raboutou Conseillère Technique Sport (Comité Interrégional Pyrénées Méditerranée).

Jean Paul Farrugia ancien Vice Président de la FFESSM.

Pour leur aide logistique et matérielle :

La société SCUBAPRO pour le prêt de deux ordinateurs Galileo.

La société SUUNTO pour le don de 5 ceintures Memory Belt.

Pascale et Gérard Puig pour les plongées effectuées au centre de plongée Réderis sub.

Maité Ranc et Gilles Lescure pour les plongées effectuées au centre de plongée Cap Cerbère.

La section handi-plongée du centre de rééducation fonctionnelle Bouffard Vercelli à Peyrefitte.

Pour leur aide technique et théorique

Olivier Bergamaschi et Yolande Esquirol (analyse de données).

Éric Fauvet, Renaud Cabrol, Guillaume Albinet, Patrice Eloi et Laurie Ruas (logistique plongée).

Éric Debernard, Eric et Magali Segafredo, Line et Patrick Ruas, Laurence Gaudy, Jean Sagols, Maité Ranc et Roland Gemser (Conseil, relecture).

Et bien évidemment pour leur soutien moral et leur patience :

Jade, Laïs, Laurie et Néo.

SOMMAIRE:

1. INTRODUCTION EXPOSÉ DES MOTIFS.....	5
2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE	5
3. ETAT DES TRAVAUX ANTERIEURS.....	6
4. APPORTS THEORIQUES.....	7
4-1. LE SYSTEME NERVEUX.....	7
4-1-1 Le Système Nerveux Central (SNC)	7
4-1-2 Le Système Nerveux Périphérique (SNP)	8
4-1-3 Le Système Nerveux Autonome (SNA).....	8
4-2. ADAPTATIONS DU SYSTÈME NERVEUX EN PLONGÉE	9
4-2-1 Gestion des émotions en plongée	10
5. LES AUTOMATISMES	11
6. LES AUTOMATISMES TERRIENS ET LA PLONGÉE	13
6-1. LA RESPIRATION :.....	13
6-2. L'EQUILIBRE	13
6-3. LES DEPLACEMENTS.....	13
6-4. LE PALMAGE	14
6-5. LES ACTIONS MOTRICES OU GESTES TECHNIQUES	14
6-6. LES ACTES COGNITIFS OU CONSCIENTS	15
6-7. AUTRES ASPECTS IMPORTANTS DU TRAITEMENT D'INFORMATIONS	16
6-7-1 Limitation du traitement d'informations	16
6-7-2 Ordre et type de traitement.....	17
6-7-3 Les informations prioritaires	18
6-7-4 La focalisation	18
6-7-5 Le conditionnement	19
6-8. TRAITEMENT DES INFORMATIONS ET PLONGÉE.....	20
7. LA VARIABILITE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE (VFC).....	24
7-1. VFC ET EMOTIONS	24

7-2.	ANALYSE ET INTERPRÉTATION DE LA VFC	25
7-3.	FACTEURS INFLUENÇANT LA VFC	26
7-4.	LA VFC ET LA PLONGÉE	26
8.	MÉTHODE UTILISÉE	27
8-1.	LE MATERIEL	27
8-1-1	<i>Enregistrement de la VFC</i>	27
8-1-2	<i>Récupération et analyse de la VFC</i>	27
8-1-3	<i>Enregistrement et analyse des plongées</i>	28
8-2.	SUJETS	28
8-3.	PLONGÉES	29
9.	LE PROTOCOLE	30
10.	ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS	30
10-1.	SÉLECTION DES FICHIERS À ANALYSER	30
10-2.	MÉTHODES D'ANALYSE	31
10-2-1	<i>Les variables cardiaques</i>	31
10-2-2	<i>Les questionnaires</i>	32
10-2-3	<i>Les vidéos</i>	32
11.	ANALYSE DES VARIABLES CARDIAQUES	34
11-1.	ANALYSE DE LA FC (FREQUENCE CARDIAQUE)	34
11-2.	ANALYSE DE LA LF (BASSES FREQUENCES)	36
12.	ANALYSE DES QUESTIONNAIRES	37
13.	ANALYSE VIDEO ET CLASSIFICATION DES COMPORTEMENTS	38
14.	INTERPRÉTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS	39
14-1.	PHASE D'ÉQUIPEMENT, MISE À L'EAU ET SURFACE	40
14-2.	PHASE D'IMMERSION ET ARRIVÉE AU FOND	41
14-3.	PHASE DE PLONGÉE (DANS DES CONDITIONS FAVORABLES)	42
14-4.	PHASE DE SITUATIONS	44
15.	LIMITES DE L'ÉTUDE	46
16.	PROPOSITIONS ET PERSPECTIVES D'APPLICATION	47

16-1.	L'UTILISATION DES DONNÉES CARDIAQUES EN PLONGÉE	48
16-1-1	<i>Améliorer les modèles de décompression grâce à la VFC.</i>	<i>48</i>
16-1-2	<i>Le biofeedback et l'affichage des ordinateurs de plongée.....</i>	<i>49</i>
16-2.	LA VFC DANS LA FORMATION DE CADRES	50
16-3.	L'UTILISATION DE LA VIDEO EN PLONGÉE	51
16-4.	LA VIDÉO DANS LA FORMATION DE CADRES.....	53
17.	CONCLUSION	54
18.	BIBLIOGRAPHIE.....	55
19.	ANNEXES	57
	DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU PROTOCOLE.....	57

1. INTRODUCTION EXPOSÉ DES MOTIFS

Lorsque l'être humain perce la surface de l'eau, il déclenche, sans s'en apercevoir, un nombre incalculable de réactions nerveuses. Ces réactions sont le fruit des tentatives d'adaptation de notre système nerveux « terrien » face aux nombreuses stimulations provoquées par le changement de milieu, de température, d'équilibre, de déplacement, de ventilation...

Nous définirons les automatismes terriens, comme l'ensemble des mécanismes d'adaptation basés sur une architecture de neurones aux interconnexions rigidement câblées, inscrites dans le programme génétique du développement du Système Nerveux. Programme construit pour permettre l'adaptation de l'être humain à une vie essentiellement terrienne et donc inadaptée au monde sous-marin.

Ces automatismes peuvent, dans certaines situations, prendre le dessus sur les capacités cognitives des plongeurs et limiter la prise de conscience et le contrôle de leurs gestes et réactions.

L'idée de cette étude est venue après de nombreuses années dédiées à l'observation et l'analyse des comportements, gestes et réactions incontrôlés et inadaptés des plongeurs lors des différentes phases de la plongée.

Ainsi on peut observer, trop fréquemment, des réactions purement « terriennes », et donc complètement inadaptées des plongeurs, même à des niveaux d'expertise élevés ; qui tentent inconsciemment de marcher pour se maintenir en surface ou se déplacer ; qui cherchent à se rattraper avec les mains lorsqu'ils sont soumis à un déséquilibre ; qui perdent le contrôle de leur ventilation sans en prendre conscience....

L'apprentissage actuel de la plongée repose essentiellement sur la réalisation et la répétition de gestes techniques appuyés par des connaissances théoriques, visant à automatiser certains comportements ou gestes techniques afin de préparer le plongeur à faire face aux différentes situations qu'il pourra rencontrer dans le cadre de ses futures prérogatives.

Cet apprentissage peut s'avérer suffisant pour un public présentant des capacités d'adaptation favorables au milieu subaquatique (passé aquatique, jeunes, sujets habitués à gérer des situations de stress...) et qui reste dans un contexte proche (environnement, condition physique, état mental..) de celui où il a été formé.

Cependant il n'est plus suffisant lorsqu'il s'agit de former un public moins préparé à affronter ce type de milieu (personnes âgées, sédentaires, stressées, expérience sportive terrienne..) ou d'aborder des plongées dans un contexte différent. Or, la « démocratisation » de la plongée amène de plus en plus ce type de public.

2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Nous pensons qu'il existe un lien étroit entre certains indices caractérisant la variabilité cardiaque lors de la plongée et la difficulté et/ou l'incapacité des plongeurs à gérer des situations courantes.

La variabilité de la fréquence cardiaque peut être un moyen efficace de contrôler l'activité sympathique au cours de la plongée, et de prouver ainsi son implication dans l'apparition des automatismes terriens.

Dans un premier temps, nous tenterons **de vérifier s'il existe une corrélation entre la variabilité de la fréquence cardiaque et les automatismes terriens et si cette corrélation peut être modulée par le niveau d'expertise et/ou les conditions environnementales (température de l'eau, visibilité, prof, courant).**

L'analyse des résultats devrait permettre le référencement des situations spécifiques ou des phases pendant la plongée où l'activation de la branche sympathique du système nerveux autonome est plus importante.

Une fois le référencement effectué, **nous tenterons d'apporter quelques pistes de réflexion, visant à introduire et démocratiser l'utilisation de la mesure de la VFC et de la vidéo dans la plongée, dans le but d'améliorer le contrôle intentionnel et conscient de l'individu et limiter ainsi les effets de l'activation « sympathique » sur notre organisme et les réactions automatiques « terriennes » inadaptées.**

3. ETAT DES TRAVAUX ANTERIEURS

Il y a actuellement peu d'études concernant l'influence du Système Nerveux Autonome sur la capacité des plongeurs à gérer l'ensemble des informations et gestes nécessaires à la réalisation d'une plongée dans des conditions de sécurité.

Une étude réalisée par J D Schipke¹ et M Pelzer montre les variations de la fréquence cardiaque sur un groupe de plongeurs, mais cette expérience se limite à la simple immersion en piscine chaude sans aucune tâche ni déplacement à accomplir.

Dans cette étude il a été montré que l'immersion provoque l'activation des branches sympathique et parasympathique et que cette activation est liée à la respiration subaquatique.

D'autres études abordent la sphère psychologique en analysant les effets du stress et d'autres facteurs psychologiques sur la prise de risque en plongée.²

Il existe aussi des nombreuses études sur la VFC dans le domaine médical et plus récemment dans le domaine de l'entraînement sportif.

Mais à notre connaissance aucune étude n'a jamais été menée pour tenter de corréler le lien entre certains comportements en plongée et les modifications physiologiques que le plongeur subit en plongée loisir.

Nous allons aborder cet aspect de la plongée pour tenter de comprendre les causes des nombreux comportements terriens souvent inconscients et inadaptés.

¹ J D Schipke et M Pelzer (*Effect of immersion, submersion, and scuba diving on heart rate variability*, Br J Sports Med 35: 174, 2001).

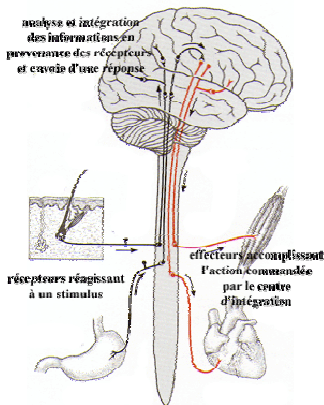
² Bonnet, A. (2003). Régulation émotionnelle et conduites à risque. Thèse de doctorat en Lettres et Sciences Humaines (mention Psychologie). Université de Provence, Aix-en-Provence.

4. APPORTS THEORIQUES

4-1. LE SYSTEME NERVEUX

Le système nerveux remplit trois fonctions essentielles :

1- À l'aide de ses millions de récepteurs, il détecte toutes modifications de son environnement interne et de son environnement externe. **Il achemine alors ces informations** vers le centre d'intégration; c'est sa **fonction sensitive**. En décrivant les différents types de récepteurs et leurs particularités anatomiques nous verrons dans cette partie de chapitre comment naît un influx nerveux et comment celui-ci est transmis au centre d'intégration.



2 - Il analyse et intègre les informations qu'il reçoit de ses récepteurs: il **perçoit** la nature de l'information, sa provenance, son intensité; puis il **compare** ces informations avec des **valeurs de référence** en mémoire ; ensuite il **décide** d'une réponse appropriée.

3 - Il **envoie alors un signal** à l'effecteur pour que celui-ci entre le plus rapidement possible en action compensatrice; c'est sa **fonction motrice**. Finalement nous verrons la nature de la réponse du centre d'intégration aux différents stimuli.

Nous décrirons particulièrement trois grands systèmes : Le Système Nerveux Central (SNC), Le Système Nerveux Périphérique (SNP) et Le Système Nerveux Autonome ou végétatif (SNA).

4-1-1 LE SYSTÈME NERVEUX CENTRAL (SNC)

C'est le cerveau et son prolongement naturel, la moelle épinière. Le rôle essentiel consiste à analyser et intégrer les informations qu'il reçoit de ses récepteurs: il **perçoit** la nature de l'information, sa provenance, son intensité; puis il **compare** ces informations avec des valeurs de référence en mémoire; ensuite il **décide** d'une réponse appropriée.

Certaines informations seront traitées de manière automatique et d'autres de manière volontaire ou consciente. Pour cela, différents centres, parmi les plus importants :

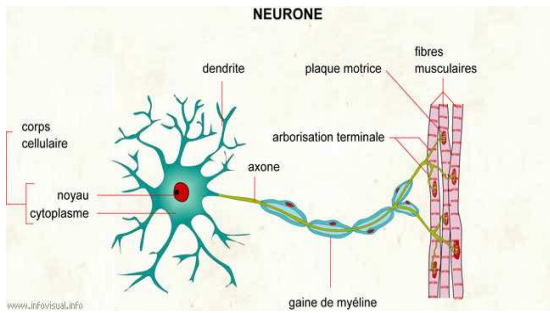
Le cerveau, organe central supervisant le système nerveux : siège des activités cognitives supérieures (l'intelligence, la réflexion) qui se déroulent dans les parties les plus antérieures du cerveau : les lobes frontaux (droit et gauche), particulièrement par leurs interactions avec le système limbique (thalamus, hippocampe cerveau) qui joue un rôle majeur dans la gestion des émotions.

Le cervelet, qui gère la motricité: coordination des mouvements, apprentissage supervisé et automatisé des mouvements (mémoire procédurale motrice), régulation du gain des réflexes. Mais aussi la cognition et l'affectivité: contrôle des fonctions exécutives, végétatives et émotionnelles.

Le tronc cérébral, responsable de plusieurs fonctions dont la régulation de la respiration et du rythme cardiaque, la localisation des sons, etc. C'est également un centre de passage des voies motrices et sensitives, ainsi qu'un centre de contrôle de la douleur.

La moelle épinière joue un rôle de transmission des messages nerveux entre le cerveau et le reste du corps mais elle assure aussi une fonction propre d'intégration et d'émission de signaux nerveux, notamment dans les réflexes. Grâce à elle, la transmission d'une faible activité neuronale est possible, de la même manière, une transmission d'activité excessive pourra être amortie.

4-1-2 LE SYSTÈME NERVEUX PÉRIPHÉRIQUE (SNP)



Le SNP fait circuler l'information entre les organes et le système nerveux central (SNC) grâce à un complexe système de câblage, **les Nerfs**. Ces « câbles » permettent donc de véhiculer les informations recueillies par des milliers de récepteurs ou capteurs comme les chémorécepteurs (composition chimique), extérocepteurs (organes des sens) de propriocepteurs (membres, tendons, articulations ...) et..., répartis dans tout notre organisme (peau, vaisseaux...).

Les nerfs sont composés de neurones interconnectés entre eux, formant ainsi de multiples réseaux. On appelle le lieu où deux neurones se connectent La Synapse. Elles assurent donc le transfert des informations à travers tout le corps en transformant le signal électrique en signal biochimique...

Le corps du neurone (axone) est entouré d'une gaine de **myéline**, substance constituée principalement de lipides dont les couches alternent avec des couches de protides. De façon générale, la myéline sert à isoler et à protéger les fibres nerveuses, comme le fait le plastique autour des fils électriques.

Le signal que les nerfs transmettent (appelé potentiel d'action) est de nature électrique. Il est engendré par des mouvements d'ions entrant et sortant de l'axone via des canaux spécifiques, ce qui entraîne une dépolarisation membranaire qui se transmet de proche en proche, par sauts d'un nœud à l'autre. Les nœuds sont des zones dépourvues de myéline où les mouvements d'ions ont lieu, ce qui permet une transmission rapide des signaux électriques. Ces signaux naissent au niveau du corps cellulaire du neurone et se terminent à la synapse, où ils sont transmis au neurone suivant par un phénomène biochimique.

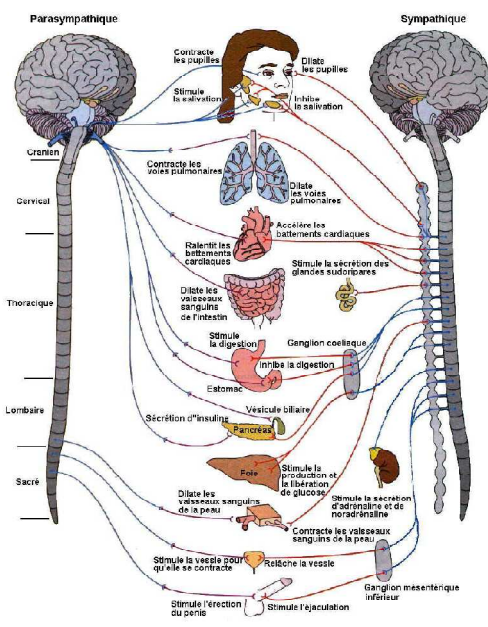
Nous distinguons un **réseau dit Sensitif** qui mène les informations sensibles des capteurs vers le SNC et un **réseau Moteur** qui envoie les **Ordres moteurs** du SNC vers le récepteur.

Ainsi comme votre ordinateur, notre SNC analyse en permanence des informations qui le renseignent sur l'état général de notre corps ainsi que sur son environnement.

Évidemment toute perturbation du flux nerveux (manque d'oxygénation des neurones, altération de la gaine de myéline...) entraînerait des problèmes d'ordre sensitif et/ou moteur.

4-1-3 LE SYSTÈME NERVEUX AUTONOME (SNA)

Au début de l'évolution de l'humanité, nos ancêtres étaient soumis à des situations extrêmes (se défendre contre un ours, chasser...) et n'avaient que deux possibilités: fuir ou combattre.



Le système nerveux autonome possède un versant permettant l'adaptation de l'organisme à ces situations appelé Sympathique, avec un rôle **excitateur** ou **accélérateur**.

Mais il possède aussi un versant organisé pour la régénération de son potentiel appelé Parasympathique dont le rôle est principalement inhibiteur lorsque ce versant est sollicité.

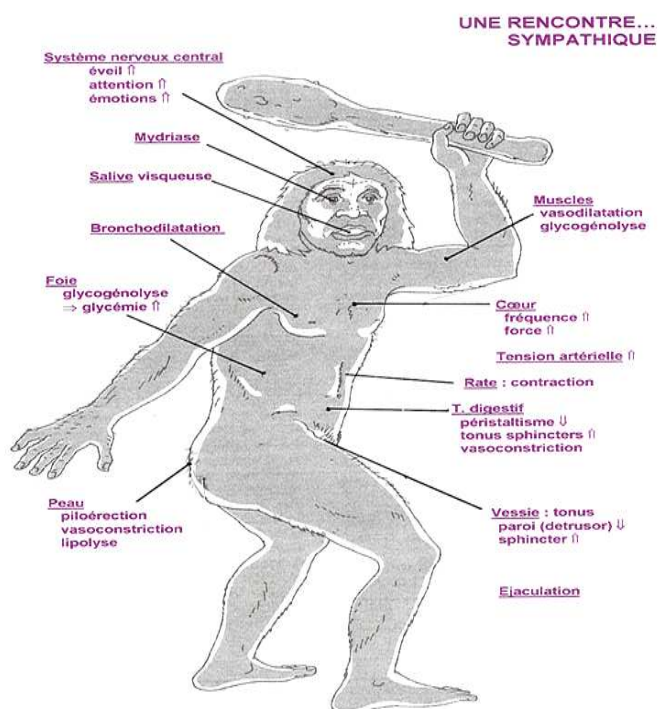
Tout le système nerveux autonome est sous le contrôle de l'hypothalamus, une structure très primitive de notre encéphale. L'hypothalamus peut réagir à des informations inconscientes qui lui

parviennent par le sang ou par la voie nerveuse et, également, à des informations provenant des centres supérieurs conscients (cortex).

Suite à une baisse de pression sanguine dans le système circulatoire, l'hypothalamus activera automatiquement le système sympathique afin d'accélérer le cœur et resserrer les vaisseaux sanguins, ce qui aura pour effet de rétablir la pression. Dans cet exemple, l'hypothalamus réagit automatiquement à des informations provenant de l'intérieur de l'organisme.

Mais l'hypothalamus peut également réagir à des informations conscientes provenant du cortex. Imaginez, par exemple, qu'un policier vous arrête pour excès de vitesse. Il s'approche de votre voiture, votre cœur bat plus vite, signe que votre système sympathique est plus actif.

Que se passe-t-il ? Le cortex analyse la situation, vous êtes conscient que vous rouliez trop vite et que la note risque d'être salée. Vous êtes inquiet (ce n'est vraiment pas le moment d'avoir une contravention !). L'hypothalamus perçoit votre inquiétude comme un **signal de danger** et il active le versant sympathique même si la chose est inutile.



En effet, face à cette situation, vous n'allez quand même pas attaquer le policier ou vous enfuir à toutes jambes, il est donc inutile de préparer l'organisme à une grande dépense d'énergie. Mais l'hypothalamus est une structure primitive. Il ne comprend que deux choses ; ou bien il y a danger et alors, il faut activer le versant sympathique ; ou tout va bien et il active alors le versant parasympathique. L'hypothalamus n'est pas assez intelligent pour comprendre ce qui se passe.

Paradoxalement et contrairement aux croyances générales notre système nerveux autonome a très peu évolué au cours des siècles, on peut dire qu'il continue à gérer nos fonctions primaires comme il le faisait à l'époque des hommes primitifs !

Certes notre cerveau a évolué culturellement et socialement, le nombre de connexions est plus important qu'auparavant mais... Le contrôle de nos réactions émotionnelles n'a quasiment pas évolué...

4-2. ADAPTATIONS DU SYSTÈME NERVEUX EN PLONGÉE

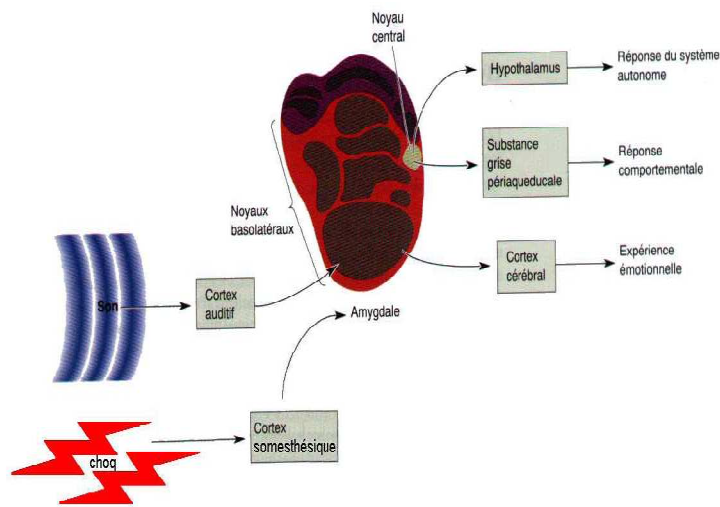
Comme nous l'avons déjà signalé, notre système nerveux est avant tout programmé pour s'adapter à une vie essentiellement terrienne.

Le passage du milieu terrien au milieu subaquatique est, et sera toujours, (sauf changements génétiques futurs de l'espèce humaine) un moment « traumatisant » pour notre système nerveux, qui va devoir s'adapter et gérer un nombre inimaginable d'informations, pour la plupart nouvelles, dans un temps relativement court.

Voyons comment notre SN s'y prend pour gérer toutes ces informations...

4-2-1 GESTION DES ÉMOTIONS EN PLONGÉE

En plongée, nous sommes en permanence confrontés aux réactions émotionnelles, de par l'image que la plongée véhicule en tant que « sport à risque » et de par les nombreuses situations « stressantes » auxquelles nous sommes confrontés. La première étant bien évidemment l'évolution dans un milieu hostile pour lequel notre SNA n'a pas été préparé au cours de son évolution !



Un plongeur qui évolue dans un milieu hostile pour notre SNA, sensible aux perturbations externes, (état de la mer, encadrement..) a de grandes chances d'être en plus ou moins grande partie sous le contrôle de son SNA l'entraînant dans des comportements inconscients et inadaptés.

Ce contrôle sera d'autant plus important que le nombre d'éléments perturbateurs sera important et marquant pour le plongeur concerné.

En cas de danger, notre amygdale reçoit les informations de danger et les traite avant même que notre cortex ne soit informé. Ce qui

implique dans tous les cas de figure une réponse autonome et inconsciente.

Face à une situation de danger, la première réaction sera sous le contrôle du SNA et aura de grandes chances d'être inadaptée.

De nombreux exemples nous le montrent au quotidien : en cas de panne d'air par exemple, où la rapidité et hypertonicité de notre bras pour attraper le détendeur de secours nous fait souvent le rater ou encore le donner sans précision, sans parler du déséquilibre ou de la perte de contrôle de la ventilation qui nous met automatiquement en apnée ou encore notre incapacité à analyser la situation pour en donner une réponse adaptée (pourquoi se précipiter si la situation demande plutôt de rester calme...?).

Ce type de réaction peut arriver même chez un plongeur entraîné et expérimenté, car nos réactions émotionnelles sont variables d'un jour à l'autre et dépendent d'énormément de facteurs.

La surprise est bien sûr un des principaux facteurs de stress, mais on peut aussi parler du degré de dangerosité que l'on se fait de la situation, qui dépend lui-même du contexte, de nos expériences passées, de l'image qu'on se fait de ce type de situation.

Mais une partie très importante est liée à notre état (ventilation, équilibre, concentration..) au moment où survient le problème car, **plus notre SN va être occupé, ou préoccupé, à d'autres tâches, plus la réaction sera autonome et échappera à notre contrôle conscient.**

Seule l'intervention de la volonté peut permettre de limiter les effets néfastes d'une réaction autonome et incontrôlée.

Certes, comme nous l'avons signalé plus haut, un circuit plus long informerait le cortex et donc les zones de contrôle volontaire. Cependant, il faudrait d'abord être conscient de cette réaction dont un des aspects déjà soulignés est d'inhiber notre capacité consciente !

On peut différencier deux grands types de réactions émotionnelles :

- **Avant la plongée, une réaction plus modérée et moins remarquable véhiculée par des stimuli subjectifs (peur de l'eau, première plongée profonde, manque de confiance, état de la mer, se sentir observé ou évalué...) qui se traduisent par une sorte de combat interne entre le SNA et le contrôle conscient ou volontaire de l'action.**

Ce type de réaction peut être fortement limité et même contrôlé grâce à un travail préalable : l'utilisation de techniques de respiration et relaxation mais aussi de visualisation et projection mentale spécifiques à la plongée.

Ou encore, par la mise en place de routines comportementales permettant sa mise en application sur le lieu de plongée. Vérification du matériel, stratégie d'équipement...

- **Pendant la plongée, une réaction plus « explosive » est possible en cas de danger imminent. La vitesse, la puissance, et la prise en charge de notre réaction sont sous le contrôle total de notre SNA dans ses premiers instants pour laisser ensuite, si la situation le permet, plus de place au contrôle volontaire.**

Pour les adeptes des techniques militaires qui consistent à mettre les élèves dans des situations à fort « contenu émotionnel » (arracher le masque, fermer la bouteille, solliciter un effort important, garder le détendeur de l'assistant..) outre le danger évident ou traumatismes émotionnels que ce type de pratiques peuvent entraîner, on peut aussi mettre en avant d'autres problèmes moins palpables.

Car si la réussite face à des situations difficiles peut renforcer le sentiment de confiance, elle n'assure pas pour autant la reproduction de la même réponse dans un contexte différent, ou lorsque l'élève ne se retrouve pas dans les mêmes conditions.

Le vrai danger vient du fait que l'élève va se construire un référentiel d'actions essentiellement basées sur la situation vécue et non pas sur l'ensemble d'éléments qui lui ont réellement permis de faire face à cette situation et qui dépend essentiellement du contexte environnemental et physio-psychologique.

5. LES AUTOMATISMES

Bien évidemment même si génétiquement notre cerveau n'a pas tant évolué que ça, il n'en est pas moins capable de s'adapter à notre environnement actuel.

Ceci est possible grâce à la capacité qu'a notre cerveau de modifier ses réseaux neuronaux en mobilisant des neurones inutilisés, en créant et en modifiant des connexions. On appelle cette capacité la Plasticité cérébrale.

Tout d'abord, les chemins neuronaux correspondant à toutes les grandes fonctions, telles que manger, marcher, courir, comprendre, voir, etc.... se mettent en place avant la naissance sous forme d'un câblage inactif. Puis ces réseaux préexistants sont activés ou remodelés par l'apprentissage et par l'environnement qui nous entoure.

Lorsqu'une nouvelle information arrive au cerveau, un chemin neuronal spécifique est créé, soit à partir de synapses préexistantes soit en mettant en contact des neurones qui ne l'étaient pas auparavant. Puis, si cette information revient, elle empruntera le même chemin. C'est le phénomène de consolidation ou automatisation.

Il est important de souligner que l'influx nerveux passera d'autant plus facilement que le chemin est emprunté souvent.

Ainsi grâce à l'apprentissage et à la pratique quotidienne, nous arrivons à automatiser la plus grande partie de nos fonctions motrices ainsi qu'une grande gamme de gestes ou actions motrices.

Mais parler d'automatisme ne doit pas se limiter à l'aspect purement gestuel.

La respiration, le rythme cardiaque, l'équilibre, etc., sont gérés aussi de manière automatique et ceci dans le but de permettre à notre organisme de s'adapter en permanence à son environnement.

Tout ceci est possible grâce à une infinité de récepteurs qui informent en temps réel les centres de traitement et analyse « Automatiques ». Ainsi, ces centres spécialisés intègrent les données et les comparent avec des valeurs de référence établies selon notre patrimoine génétique et notre environnement et peuvent très rapidement et avec un minimum de ressources envoyer un ordre moteur pour s'adapter à la situation.

Ces automatismes nous permettent aussi d'effectuer plusieurs tâches en même temps sans trop solliciter nos ressources, comme par exemple, lorsque nous conduisons.

Notre système nerveux gère automatiquement, notre respiration, rythme cardiaque, intègre les informations visuelles et sonores de notre environnement, adapte la pression et les mouvements de nos mains sur le volant, de nos jambes sur les pédales...

Évidemment toutes ces tâches ont du être apprises et répétées pour qu'elles deviennent automatiques et cette conduite automatique n'est possible et efficace que dans des conditions favorables : parcours connu, faible trafic, bonne visibilité, pas de stress ni de fatigue...

D'autre part cette conduite « automatique » peut s'avérer inadaptée dans certaines circonstances comme, par exemple, lorsque l'on prend le chemin du travail même un jour de repos ou encore quand on oublie de contrôler la vitesse au passage d'un radar !

Elle peut être aussi dangereuse en cas de situation de danger imminent, car la réaction première qui va suivre sera sous le contrôle de notre système émotionnel qui comme on a déjà vu, n'est pas forcément adapté à ce type d'activités ! La réaction est alors, certes très rapide, mais particulièrement brusque et certainement inadaptée (coup de volant ou freinage dans un virage, coup de volant pour éviter un chien sans contrôler si la voie est libre...).

Certains automatismes sont quasiment aussi rapides que les réflexes, et il est difficile de les différencier. Ainsi, par exemple, le gardien de but qui arrête une balle. On dit qu'il a de bons réflexes. Or, ce sont des automatismes.

A retenir: Les informations traitées automatiquement se passent du contrôle conscient mais il est possible d'y intervenir avec la volonté. D'autre part, les valeurs de référence sont variables et peuvent évoluer dans le temps (entraînement, fatigue, environnement...).

Là encore, nous sommes confrontés à une évidence, nous sommes des terriens et quasiment tous nos automatismes sont eux aussi terriens...

C'est à dire que les valeurs qui servent de référence à nos centres de traitement automatiques ont été conçues essentiellement à partir d'une vie terrienne, les réseaux des réponses motrices empruntés sont eux aussi « terriens ».

La respiration, la marche, l'équilibre., sont gérés tout au long de notre vie de façon automatique. Il est rare d'en prendre conscience et de les réguler volontairement, sauf lorsqu'on pratique certaines activités ou disciplines, où le contrôle volontaire devient primordial.

Si l'on savait vraiment marcher, nous serions capables de marcher droit dans toutes circonstances, dans le noir ou sur un fil ! Car cet apprentissage est en grande partie issu de l'observation des adultes (mimétisme) et non par prise de conscience des appuis et repères nécessaires...

6. LES AUTOMATISMES TERRIENS ET LA PLONGÉE

6-1. LA RESPIRATION :

La respiration terrienne est automatique. Au repos, elle est courte et peu profonde. À l'effort l'inspiration devient plus puissante au détriment de l'expiration, et la fréquence augmente.

La résistance du détenteur, la densité de l'air, les efforts plus importants favorisent l'ancrage de l'automatisation de cette respiration terrienne avec une inspiration plus forte et saccadée dans des conditions d'effort.

Contrairement aux croyances, la pratique de la plongée (sans un travail spécifique sur la respiration) n'automatise pas une respiration adaptée à la plongée.

Lorsque nous réalisons une tâche qui demande de la concentration, la respiration se bloque automatiquement (ex : Mise en place du parachute de palier), le moindre coup de palme déclenche l'inspiration forcée, la focalisation sur une tâche, le stress...

6-2. L'EQUILIBRE

La gestion de notre position se fait grâce aux informations provenant de l'oreille interne (position), de nos yeux et de nos récepteurs internes (proprioceptifs), particulièrement au niveau des pieds, mais elle est aussi liée à nos mouvements du haut et du bas du corps.

Dans l'eau, les mouvements liquidiens de l'oreille interne sont largement réduits par rapport à ceux enregistrés sur terre. Ainsi, les informations envoyées par notre oreille interne sont quasiment nulles pour nous aider à contrôler notre position car trop peu perceptibles comparées aux valeurs de référence terriennes !

Les informations visuelles manquent souvent d'éléments de référence pour déterminer notre position, en pleine eau, nos repères visuels sont souvent mobiles et peu remarquables.

Tout changement de flottabilité ou de position est interprété et traité de la même manière qu'une perte d'équilibre (chute) sur terre.

6-3. LES DEPLACEMENTS

Notre, cerveau, à travers son canal visuel, se réfère souvent à la position des autres plongeurs comme moyen de contrôle de position et changement de profondeur. Or, ce n'est pas un repère fiable.

La notion de vitesse, d'accélération, de ralentissement dépend des informations enregistrées par les mouvements liquidiens de l'oreille interne, par l'appréciation du canal visuel (vitesse de défilement des objets proches et déplacement à côté d'un objet) et ses valeurs de référence, et par les informations de type kinesthésique (écoulement air – eau sur la peau).

Même problème donc que celui rencontré pour la gestion de la position...

Les accélérations ne sont pas ou très difficilement ressenties.

Il est déjà très difficile de savoir à quelle vitesse on se déplace sur terre ; comme suivre un petit objet qui se déplacerait à une vitesse constante.

Contrôler et déduire une vitesse dans l'eau est quasiment impossible. On peut ressentir un déplacement (flottabilité) avec de l'entraînement, mais de là à calculer la vitesse !

Suivre un objet aussi petit que les bulles (15 mètres /minute) demande une concentration trop importante pour être un repère utilisable dans toutes les conditions de plongée... de plus il est quasiment impossible de garder une vitesse constante en plongée du fait des variations de flottabilité (respiration, gilet).

Notre cerveau perçoit plus facilement le déplacement en appréciant la distance qui nous sépare d'un objet (même s'il est en mouvement).

Cette capacité, plus accessible, de notre cerveau peut être utile pour se construire des repères sur le sens du déplacement et l'accélération par exemple en se basant sur le rapprochement ou éloignement du fond, du bateau, du chapelet de bulles (toutes bulles confondues).

6-4. LE PALMAGE

Le mouvement du palmage demande la création et l'utilisation des réseaux neuronaux spécifiques.

Le déplacement de la jambe, la position du corps et l'extension de la cheville sont des mouvements non automatiques et contraires aux mouvements automatiques terriens (marche, position...).

Est-il possible d'automatiser le palmage pour se déplacer dans et sous l'eau ?

Certainement oui. Avec beaucoup d'entraînement spécifique, mais jamais autant que l'automatisme de la marche (origine génétique) qui reprendra le dessus dès que notre conscience portera son attention ailleurs.

L'exemple le plus marquant est celui des plongeurs qui suivent un entraînement en piscine hebdomadaire. Ils effectuent très souvent des longueurs de bassin à la palme...

Cet entraînement devient plus important lors de la préparation d'un niveau et pourtant nombreuses sont les situations où, pendant les stages en mer, on voit des mouvements plutôt proches de la marche que du palmage....

Certes, le changement de flottabilité, la température de l'eau, le stress des situations, pourraient expliquer cela, mais il ne faut pas négliger le manque d'entraînement cognitif.

Faire des longueurs en piscine facilite certainement l'automatisation du mouvement, mais pas celle du traitement d'informations qui permet de garder le contrôle du mouvement.

6-5. LES ACTIONS MOTRICES OU GESTES TECHNIQUES

Comme pour le palmage, reproduire des situations d'enchaînement gestuel (Vidage de masque, assistance..) permet certainement d'automatiser une ou plusieurs tâches motrices, rendant leur répétition ultérieure plus rapide et facile.

Mais cet enchaînement gestuel acquis, n'est pas forcément reproductible dans un contexte différent sous les effets des éléments perturbateurs inconnus, et il n'est pas forcément adapté à la situation.

Un bon automatisme devrait par exemple, permettre l'adaptation à un panel de situations d'assistance possibles et être plus fort que d'autres automatismes contraires.

Pour apprendre à réaliser le travail de l'assistance par exemple.

A combien de situations possibles d'assistance peut-on être confronté ?

Combien de solutions possibles s'offrent à moi ?

Combien d'informations faut-il gérer pendant une assistance ?

Combien d'informations perturbatrices rentrent-elles en action lors d'une assistance ?

Combien de répétitions, de situations différentes et de temps passé pour automatiser correctement la réaction à une situation d'assistance ?

6-6. LES ACTES COGNITIFS OU CONSCIENTS

On parle d'acte cognitif lorsque nous réalisons des tâches qui demandent un traitement conscient, ou tout simplement des actes sur lesquels on doit se concentrer pour les réaliser.

A travers la volonté, nous pouvons interférer et contrôler la majorité de fonctions régulées normalement par nos centres automatiques.

Cette action de la volonté est nécessaire par exemple dans la phase d'apprentissage afin d'intégrer les nouvelles données et créer ainsi de nouvelles connexions et réseaux neuronaux.

Elle est aussi indispensable lors de la réalisation d'une tâche complexe demandant une grande précision d'exécution, ou dans la gestion de multiples tâches, même si celles-ci ont majoritairement été automatisées.

Reprenons l'exemple de la conduite, nous avons vu qu'elle pouvait être automatique mais que ce mode de conduite pouvait nous induire en erreur, voire être dangereux.

Pour bien conduire il faudrait contrôler en permanence la route, la distance qui nous sépare des autres voitures, le comportement des autres conducteurs, des piétons... mais aussi les instruments de bord ou encore notre tenue du volant, la position de notre corps...

Une conduite consciente, demande donc de porter une attention particulière et répétitive à certains éléments dont l'automatisation totale et adaptée à toutes circonstances reste quasi impossible à atteindre...

La réalisation de tâches complexes ou nouvelles est très gourmande en ressources (oxygène, glycogène...). Ceci pourrait expliquer l'impossibilité d'effectuer deux tâches cognitives et complexes en même temps (sauf apparemment pour les femmes) et la fatigue ressentie après un effort cognitif important.

Pour résumer, on peut dire que cette capacité à gérer nos grandes fonctions de façon volontaire permet à notre organisme de contrer certains automatismes inadaptés ou de gérer des tâches non automatisées.

A retenir: Les informations traitées volontairement peuvent prendre le dessus sur certains automatismes ou limiter ses effets directement ou indirectement.

Les systèmes cognitif et émotionnel sont étroitement liés, il est donc possible d'utiliser notre conscience pour limiter les effets indésirables du stress.

L'utilisation des techniques comme la visualisation ou imagerie mentale permet d'activer des zones activées normalement par la perception. Une sorte d'échauffement du circuit nerveux nécessaire à la bonne réalisation de l'action.

Ce type de pratique peut permettre à l'apprenant de modifier son état émotionnel en formant des images mentales bien précises. L'utilisation dans notre activité est plus qu'accessible et ne demande pas de compétences particulières. Nous apporterons quelques applications pratiques un peu plus loin.

6-7. AUTRES ASPECTS IMPORTANTS DU TRAITEMENT D'INFORMATIONS

Notre SN est limité dans le nombre d'informations qu'il peut traiter en un temps donné. Il traite les informations selon un ordre de priorité variable.

On peut comparer notre SN à un ordinateur. Quand vous démarrez votre ordinateur et avant de lui demander quoi que ce soit, il est déjà en train d'effectuer des tâches d'arrière plan, nécessaires au bon fonctionnement de la machine.

Il fait tourner certains logiciels, les services « Windows », il vérifie la température, la vitesse du processeur.

Ceci n'empêche pas son utilisation. Cependant, si l'ordinateur est surchargé par des tâches d'arrière plan et qu'on sollicite une tâche gourmande en ressources, l'ordinateur aura besoin de ressources disponibles pour l'effectuer, à défaut desquelles il aura du mal à réagir à nos clics de souris !

Notre SN fonctionne sur le même principe. Marcher, respirer, réguler la température sont des tâches d'arrière plan qui accaparent un certain nombre de ressources.

Ainsi, si par exemple notre processeur chauffe un peu trop, ou si l'antivirus effectue une analyse ou encore si plusieurs nouveaux logiciels se lancent simultanément au démarrage, il devient difficile de réaliser des tâches, même simples, comme naviguer sur internet.

Si nous réalisons un effort, ou, si nous ressentons les effets du stress, les tâches d'arrière plan deviennent plus gourmandes et limitent nos ressources cognitives.

Autre exemple : vous êtes en train de jouer avec votre ordinateur et soudain la fenêtre de votre jeu se ferme ; vous voyez apparaître une fenêtre d'alerte de votre antivirus, pare-feu ou d'un logiciel qui surveille la température de votre processeur.

L'information étant prioritaire, elle va prendre le dessus sur toutes les tâches que vous êtes en train de réaliser, car il a été détecté un risque imminent ; et en fonction de la programmation, il vous est demandé « quoi faire », à moins qu'un logiciel ne s'en occupe automatiquement en fermant lui-même le jeu par exemple, ou en commandant l'arrêt de la machine...

Si durant la réalisation d'une tâche cognitive, notre SN enregistre un risque potentiel, il va bloquer nos tâches cognitives en cours d'exécution et tenter de résoudre le problème automatiquement.

On retrouve ce type de fonctionnement par exemple lors d'une perte d'équilibre, d'une forte douleur, d'un dépassement important des valeurs de CO² artériels ...

6-7-1 LIMITATION DU TRAITEMENT D'INFORMATIONS

Comme l'ordinateur, notre SN est limité aussi dans le traitement d'informations. Cela dépend essentiellement de nos connexions neuronales (nombre de connexions, synapses) et du type d'informations traitées. On peut réaliser certes plusieurs tâches quasiment en même temps, mais au delà d'un certain nombre, on risque de faire un « bug » tel un PC Windows !

Nous savons que les tâches dites conscientes ou cognitives demandent une concentration importante et utilisent donc énormément de ressources.

Ceci peut s'expliquer par le fait que notre système nerveux doit utiliser de nouveaux chemins en créant de nouvelles connexions neuronales, mais aussi chercher dans notre mémoire des informations qui puissent nous aider à réaliser cette nouvelle tâche.

Force est de remarquer que dans certaines circonstances (fatigue, stress...) il est difficile de réaliser des actions qui demandent une concentration importante voire même des tâches cognitives simples qui deviennent très complexes dans un état de fatigue élevé ou en plongée sous les effets de la narcose (ex : après une course épuisante, demandez rapidement la date de naissance ou un calcul simple aux coureurs).

Si on réalise un effort ou si nous sommes sous les effets du stress par exemple, l'activation d'un plus grand nombre de capteurs, la sollicitation plus importante de nos centres nerveux et le déficit de l'oxygénation de nos neurones expliquent la limite constatée de notre capacité cognitive.

C'est comme si notre cerveau ne parvenait plus à emprunter les réseaux neuronaux du fait de l'encombrement du réseau provoqué par le flux important d'informations transmises et accaparé par des tâches gérées automatiquement.

Même au repos notre SN est en train de traiter de nombreuses informations et accapare donc un certain nombre de réseaux pour gérer ces tâches automatiques.

Cependant si le nombre de tâches automatiques augmente (effort, stress, changement de température, déséquilibre...) elles vont limiter considérablement les ressources disponibles pour toute action cognitive.

Ainsi dans une action d'apprentissage ou lors de la réalisation d'une ou plusieurs tâches cognitives, il est primordial que le système nerveux ne soit pas encombré par des informations « parasites », le but étant de lui permettre de disposer du maximum de ressources.

L'autre problème lié au traitement d'informations est l'ordre dans lequel notre cerveau traite les informations.

6-7-2 ORDRE ET TYPE DE TRAITEMENT

Lorsqu'il s'agit de réaliser une tâche quelconque, notre cerveau va traiter les informations selon un ordre précis qui peut dépendre de notre volonté (nous décidons donc de cet ordre) ou qui peut dépendre de notre « cerveau autonome ».

Pour mieux comprendre cette notion, nous allons prendre une situation très courante de nos jours. Imaginez-vous au volant de votre voiture... votre téléphone sonne et vous surprend, vous attendiez un coup de fil très important, mais votre esprit était ailleurs.

Votre première réaction sera sous le contrôle du système limbique car la sonnerie représente un stimulus d'urgence de part l'image que vous vous faites de ce coup de fil.

Si vous laissez votre « cerveau autonome » gérer les informations il va sûrement envoyer l'ordre de vous précipiter pour décrocher en ignorant les règles de sécurité.

Il ne faut pas oublier que durant le Pléistocène, il n'y avait pas trop de voitures ni de téléphones portables ! Donc, votre cerveau va gérer cette situation comme n'importe quelle autre situation d'urgence.

6-7-3 LES INFORMATIONS PRIORITAIRES

Lorsque nous réalisons une tâche avec un traitement conscient ou même automatique, il est tout à fait possible que ces informations passent au second plan si des informations « prioritaires » interviennent.

On constate que face à un stimulus lié à une connotation de danger ou d'urgence le déclenchement de nos centres autonomes est quasiment incontrôlable et l'information devient prioritaire sur toutes les autres, provoquant une sorte de verrouillage mécanique et psychique.

Néanmoins, il est possible dans certaines situations de reprendre le contrôle volontaire de l'action même si cela demande un entraînement bien spécifique et qui n'est jamais vraiment acquis.

Dans les informations prioritaires on retrouve la douleur, le déséquilibre (chute), ainsi que toute information interprétée comme dangereuse pour notre survie.

Prenons un exemple concret :

Je suis en plongée, je me retourne pour contrôler ma palanquée, et tout d'un coup, je perds l'équilibre à cause de mon bloc mal fixé.

Mes capteurs (pieds, corps, yeux, oreille interne) envoient un signal aux centres automatiques et émotionnels qui vont intégrer cette perte d'équilibre inattendue comme un danger potentiel et activer automatiquement les muscles de mes bras et jambes pour tenter de me rattraper, (réponse préprogrammée naturellement).

Pendant tout ce temps, les tâches cognitives que j'étais en train de réaliser vont être bloquées !

De plus, en voulant me rattraper avec mes bras et jambes de manière inadaptée, je tape sur le coralligène et me coupe !

Bien sûr, avec un entraînement spécifique sur le contrôle du déséquilibre, j'aurais pu être en mesure d'accepter la position de déséquilibre, ce qui m'aurait permis d'utiliser mon réseau cognitif pour empêcher le mouvement désordonné de mes bras tout en jouant sur mon poumon ballast pour compenser la modification de flottabilité à la source du déséquilibre, et le tout, en contrôlant ma palanquée.

6-7-4 LA FOCALISATION

Paradoxalement, nous pouvons aussi à travers notre cerveau conscient, transformer n'importe quelle information en prioritaire, toutefois, nous serons limités par des contraintes d'ordre physique ou physiologique.

Le meilleur exemple reste l'apnée. Avec l'entraînement, nous pouvons réussir à nous concentrer sur une information quelconque et la faire devenir prioritaire sur toutes les autres jusqu'au point de provoquer un bug dans la machine et provoquer une syncope !

Cette gestion consciente et volontaire d'une ou plusieurs informations en les rendant prioritaires peut cependant être dangereuse. On peut appeler ce phénomène la **focalisation** ou fixation d'idées. Nous allons utiliser un maximum de réseaux pour traiter cette information et laisser en tâche d'arrière plan toutes les grandes fonctions qui continueront à être gérées automatiquement mais pas forcément correctement.

Tel un conducteur qui cherche une place de parking ou une adresse et qui oublie de continuer à contrôler le reste d'éléments indispensables à une conduite sécuritaire, nous rencontrons souvent le même problème en plongée avec des guides qui focalisent sur l'orientation ou plutôt sur le parcours de plongée et qui oublient ou

laissent au deuxième plan le contrôle de leur vitesse, leur palanquée, l'exploration... Ou encore plus marquant, lors de la mise en place d'un parachute de palier qui entraîne souvent des apnées, des changements de profondeur...

En plongée lors qu'on se focalise sur le parachute ou sur les instruments notre « cerveau autonome » continue à réaliser les autres tâches d'arrière plan (déplacement, respiration...) comme sur terre.

6-7-5 LE CONDITIONNEMENT

Le **conditionnement** est un mécanisme d'apprentissage qui est au centre des théories Béhavioristes. Ivan Pavlov, qui l'expérimenta avec un chien, le décrit comme une technique permettant à un stimulus neutre, d'induire une réponse qu'il n'induit pas naturellement.

Dans le conditionnement Skinnerien ou « Opérant », on se sert de la récompense (renforcement positif) ou de la punition (renforcement négatif). Un animal associe ce stimulus et sa conséquence. Ces associations permettent à un individu de s'adapter à son environnement (comme les animaux) en le rendant capable de déclencher un comportement biologiquement important pour lui à partir d'autres signes.

Sans aller aussi loin que Pavlov et sans la prétention de créer un nouveau courant behaviouriste, on peut parler d'une sorte de conditionnement occasionné par nos formations ...

Lors des séances de formation techniques, l'élève est souvent placé en situation d'évaluation et comme dans le conditionnement Skinnerien, le moniteur se sert de la récompense (renforcement positif) ou de la punition (renforcement négatif).

Bien sûr, l'élève ne reçoit pas une boulette de viande, mais le retour du moniteur peut faire objet de récompense ou de punition, surtout si ce même moniteur est censé évaluer des compétences.

Quelquefois, au lieu de conditionnement, nous pouvons aussi employer le terme de formatage à l'automatisation non adaptable !

Comment se produit ce conditionnement... prenons un exemple, le moniteur enseigne à son élève se préparant à réagir face à des situations demandant une assistance dans le but de valider son niveau.

En général l'élève doit réagir à un stimulus déclenché par le signe ou comportement du moniteur.

A chaque séance l'élève apprend à réagir à un signe ou comportement donné en apportant une **réponse stéréotypée**. Les premières séances, l'élève suit le moniteur. Ils s'arrêtent face à lui et déclenche le signe. Plus tard, le moniteur va peut-être introduire des signes durant la plongée pour prendre l'élève par surprise dans le but de travailler sur des situations proches de la réalité.

Quelques conséquences du conditionnement...

- **L'élève réalise sa plongée dans l'attente d'un signe du moniteur ; le facteur « surprise » n'existe plus vraiment car l'élève porte toute son attention sur les moindres faits et gestes de son moniteur et se tient prêt à intervenir.**

Mais une fois la formation terminée, l'élève portera-t-il la même attention aux autres membres de la palanquée ? Pas vraiment, car les stimuli du conditionnement créés, étaient le Moniteur lui-même et nullement la situation...!

Pour chaque signe une réaction plus ou moins stéréotypée est demandée avec un enchaînement de gestes à la clé, puis on la répète jusqu'à sa correcte réalisation.

Pour tel signe, telle réaction, ainsi en cas de problème le conditionnement entraine la reproduction du même schéma moteur même si le contexte n'est plus le même et la réponse inadaptée.

Exemple : simulez une perte de connaissance à 40 mètres à un élève en fin de formation Niveau IV... devinez sa réaction... il y a plus de 90% de chances que l'élève fasse une DTH... !

- **L'application des consignes et la réussite de l'exercice avant tout ! L'élève va tenter de reproduire l'exercice même s'il n'est pas prêt il peut dépasser ses limites sans s'en rendre compte (RSE, apnée, panne d'air...).**

Exemple : Descente dans le bleu et vidage de masque... l'élève arrive au fond essoufflé il n'est pas en condition de réaliser le vidage de masque mais sur le signe du moniteur il exécute !!

- **Les plongées techniques conditionnent le comportement des élèves et les rends moins naturels et moins logiques dans leurs plongées, le comportement devient moins cohérent dans leurs réactions.**

Difficile dans ce contexte d'apprendre à bien réagir ou de construire des réponses personnelles et adaptées.

- **La formation aux épreuves des examens conditionne les objectifs de formation des moniteurs.**

Au lieu de donner priorité à l'acquisition et à l'amélioration de compétences déterminées par les futures prérogatives, les plongées de formation se basent sur la répétition des conditions d'évaluation avec comme objectif subjectif l'automatisation de réponses stéréotypées pour chaque épreuve.

Dans nos formations (même de moniteurs) trop souvent les élèves sont conditionnés par le comportement du moniteur.

Ils jouent très souvent un rôle passif, ils écoutent le briefing et le débriefing mais participent peu, ils reçoivent des consignes, ils plongent toujours dans l'attente de devoir réagir au moment où le moniteur le décide et ont le sentiment d'être évalués en permanence.

Résultat, pas ou peu d'analyse personnelle des plongées, pas d'objectif d'amélioration personnel, juste le souci d'essayer de plaire au moniteur.

.

6-8. TRAITEMENT DES INFORMATIONS ET PLONGÉE

Au risque de se répéter., notre activité se déroule dans un milieu pour lequel notre Système Nerveux n'a jamais été vraiment préparé. Ceci nous met face à certains handicaps...

- ✓ Notre SN va devoir gérer une quantité importante de stimuli interprétés comme « dangereux » stimulant fortement notre système autonome d'infos perturbatrices.
- ✓ Toutes les informations qu'on reçoit vont être traitées et comparées à des valeurs de référence qui ne sont pas du tout adaptées au milieu, entraînant des réponses inadaptées.
- ✓ Même si des chemins neuronaux spécifiques se créent lors des formations, le nombre d'heures passées sous l'eau reste assez limité. De ce fait ces chemins sont rarement empruntés rendant difficile la bonne consolidation des nouvelles connexions, donc l'automatisation.

- ✓ Le nombre d'informations traitées à chaque instant est relativement important et réduit énormément nos ressources disponibles pour effectuer des tâches conscientes.
- ✓ Les plongeurs focalisent souvent sur une seule information (parachute, parcours, suivre les autres...) laissant leur cerveau automatique gérer le reste.

Les formations étant souvent axées essentiellement sur l'apprentissage technique, seuls les nouveaux gestes appris et répétés créent des réseaux neuronaux spécifiques mais souvent peu ou pas adaptables car essentiellement gestuels.

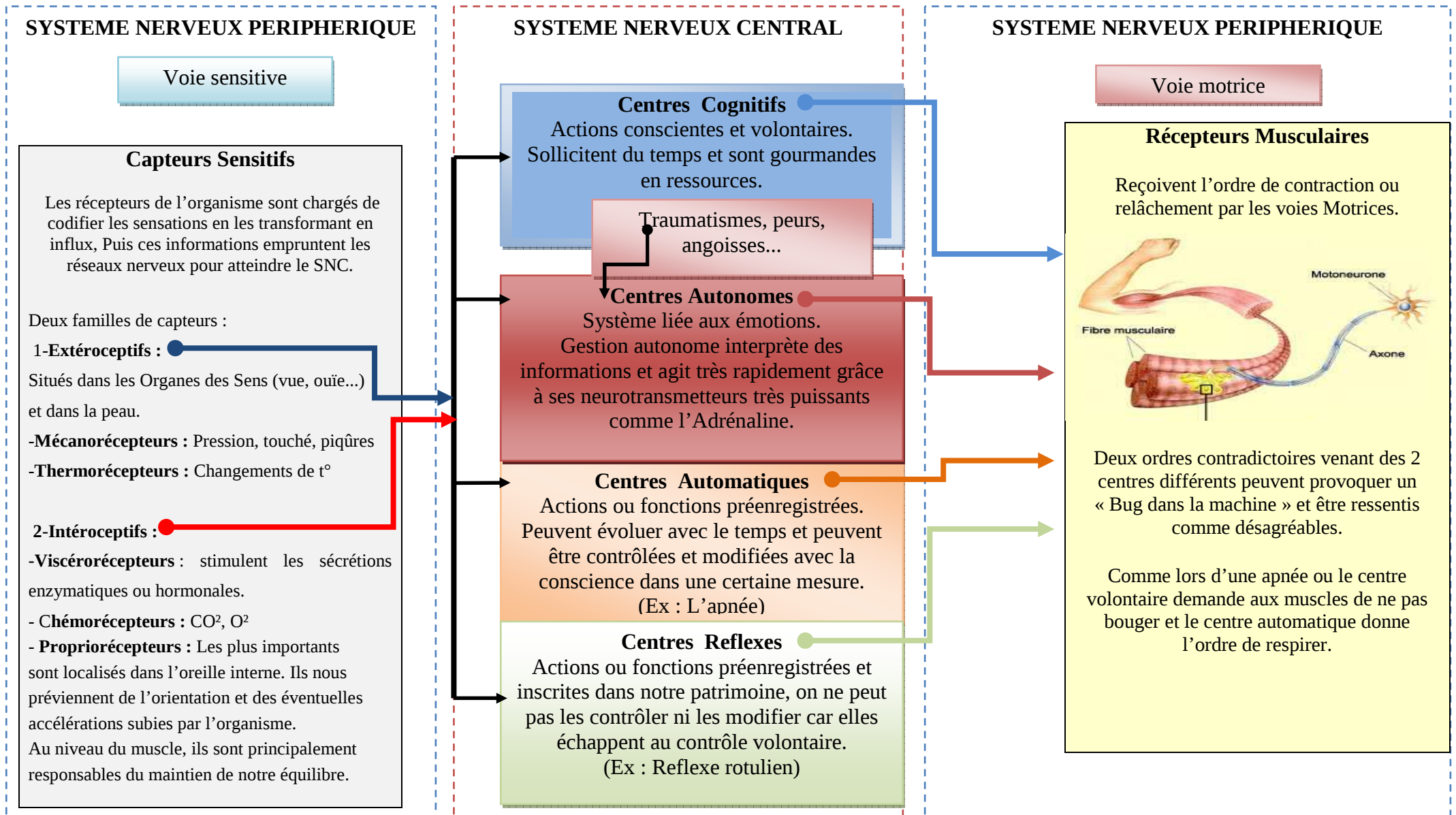
- ✓ Les réseaux neuronaux qui régissent les grandes fonctions « automatiques » comme la respiration, l'équilibre, le déplacement... sont la conséquence d'une évolution longue de plusieurs milliers d'années et il est **impossible** de reprogrammer ou automatiser une gestion différente de ces fonctions automatiques.
- ✓ Cependant il est tout à fait possible d'automatiser la capacité à utiliser le « cerveau conscient » pour modeler ces informations et utiliser des réseaux connexes en limitant ainsi l'action des centres autonomes.

La pratique et répétition du travail conscient de toutes ces informations nous permet de créer des réseaux spécifiques pour la gestion de ces fonctions.

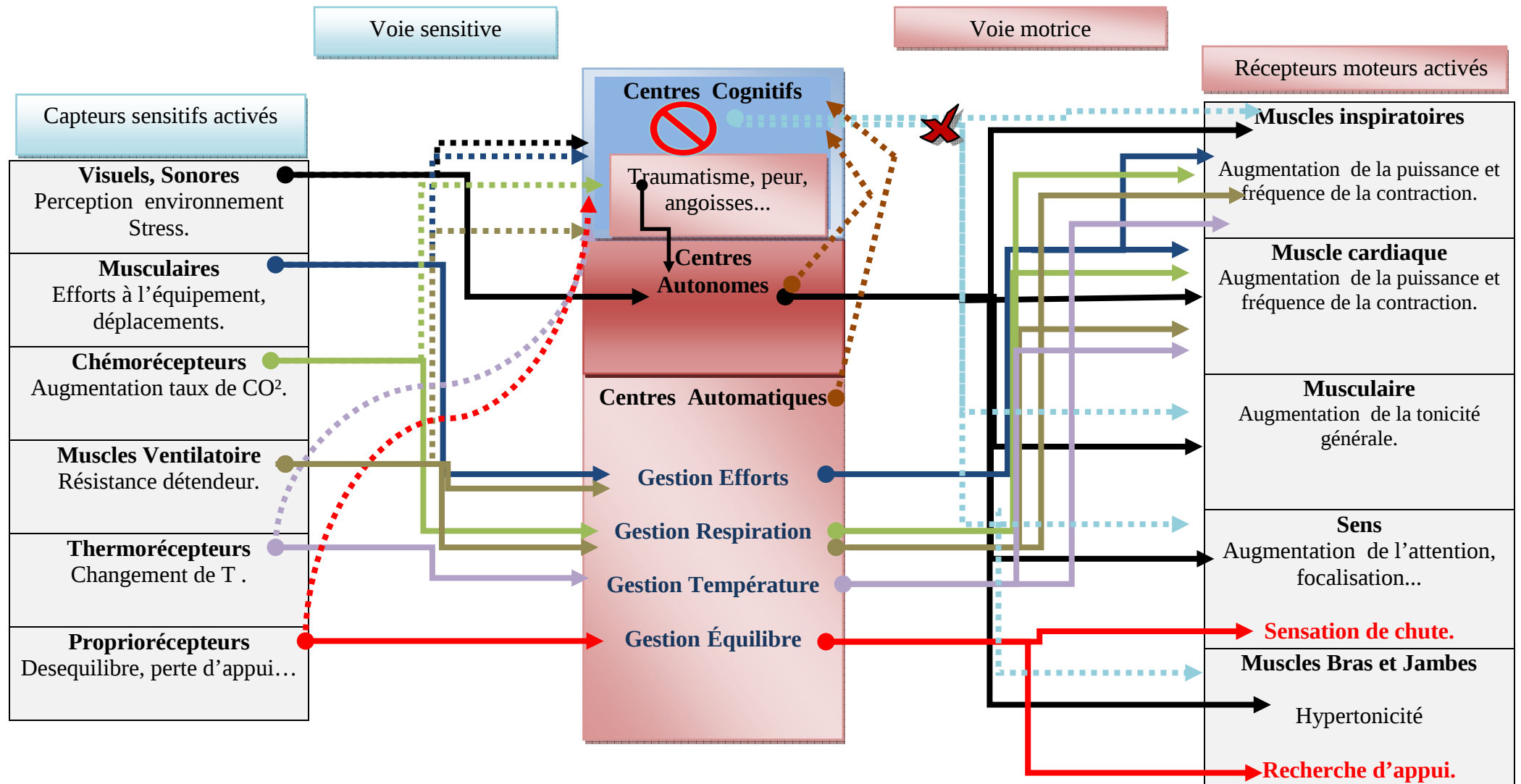
Ce travail peut même être effectué sur terre et faciliter ainsi la consolidation de ces nouveaux réseaux.

Le traitement d'informations en plongée doit être en permanence géré par notre cerveau conscient, Nous devons contrôler consciemment tout en évitant de focaliser sur une information quelque soit son importance.

Le bon contrôle d'une action en plongée passe par la gestion de toutes les informations qui composent cette action.



Représentation imagée des informations gérées automatiquement par notre Système Nerveux durant les phases d'équipement et de mise à l'eau mal gérés.



L'image ci-dessus représente l'état du Système Nerveux du plongeur après la situation qu'on vient d'analyser. Les flèches en pointillé représentent les réseaux neuronaux partant et arrivant aux centres de traitement cognitif. Elles représentent un réseau inactif ou bloqué. On voit que le système cognitif est connecté aux récepteurs moteurs mais ses réseaux sont bloqués car inhibés entre autres par le SNA et par l'état de saturation du réseau. Cette inhibition bloque notre Système Cognitif et limite ou empêche aussi la réception des informations sensibles.

Les Flèches pleines représentent les réseaux neuronaux empruntés par les systèmes autonomes et automatiques, chaque couleur représente un type d'information et l'ordre qu'elle déclenche, elles sont nombreuses et on pourrait imaginer l'aggravation de la situation par l'augmentation de la quantité de flèches (nombre de capteurs activés) et leur épaisseur (puissance du signal).

7. LA VARIABILITE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE (VFC)

La variabilité de la fréquence cardiaque, définie comme la variation de l'intervalle de temps séparant deux battements cardiaques consécutifs (intervalle R-R de l'électrocardiogramme), est considérée comme le reflet de l'activité du Système Nerveux Autonome (SNA).

Il est démontré depuis longtemps que le SNA influence le système cardiovasculaire, et notamment la fréquence des battements cardiaques³. Depuis, la recherche s'est souvent attachée à quantifier l'activité autonome par le biais de l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque.⁴ En effet, le cœur, et plus précisément le Nœud Sinusal, est influencé par les deux branches du SNA (sympathique et parasympathique), qui respectivement vont diminuer et augmenter la FC.

C'est donc par l'analyse des variations battement par battement, que l'activité de ces deux branches est identifiable⁵. Il faut tout de même préciser que ce n'est pas l'activité absolue (tonus parasympathique et sympathique) qui est évaluée mais seulement l'influence des deux systèmes sur le Nœud Sinusal.

Le recours à l'analyse de la VFC est donc aujourd'hui accepté comme une méthode fiable, simple, non invasive et reproductible d'exploration du contrôle nerveux autonome.⁶

Le SNA module l'activation de ses deux branches en réponse à différentes stimulations externes, et en particulier lors de la réalisation d'un exercice physique ou d'un travail cognitif.

La VFC, est aussi présentée sous les termes de « variabilité sinusale » ou encore « d'arythmie respiratoire ». Elle est en relation étroite avec la respiration, au travers de l'action du générateur central de la ventilation et les influences mécaniques périphériques.

7-1. VFC ET EMOTIONS

La variabilité du rythme cardiaque est matérialisée dans deux états :

Chaotique (aléatoire), lorsque nous sommes sous l'influence du **stress**, de l'**anxiété** ou de la **colère**.

Cohérent (ordonné), lorsque nous ressentons des émotions positives, telles que le bien-être, la compassion ou la reconnaissance.

La variabilité cardiaque est de plus en plus utilisée comme indicateur de la capacité à réguler les émotions⁷.

³ Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, et col. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 1981; 213-220.

⁴ Persson P B. Spectrum analysis of cardiovascular times series. *Am J Physiol* 1997; 273: R1201-R1210.

⁵ Souza Neto E P, Neidecker J, Lehot J J. Comprendre la variabilité de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque. *Annales françaises d'anesthésie et de réanimation* 2003 ; 22 :425-452.

⁶ Van Ravenswaaij-Arts CM, Kollee LA, Hopman JC, Stoeltinga GB, van Geijn HP. Heart rate variability. *Annals of internal medicine* 1993; 118 (6): 436-447.

Le rythme cardiaque reflète donc notre état émotionnel, qui affecte à son tour les aptitudes du cerveau à organiser l'information, prendre une décision, résoudre un problème ou encore exprimer sa créativité. S'entraîner à générer en soi cette **cohérence** est au cœur du processus de **gestion du stress**.

L'amélioration de la capacité à réguler les émotions au moyen du biofeedback pourrait avoir un intérêt dans l'apprentissage de la plongée.

Les techniques de relaxation et de méditation paraissent également modifier la variabilité cardiaque et pourraient être utilisées, mais les techniques les plus efficaces sont celles qui combinent le contrôle respiratoire, la relaxation au biofeedback de variabilité cardiaque.

7-2. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DE LA VFC

Les variables temporelles (SD, pNN50, RMSSD, ...) et spectrales (VLF, LF, HF, LF/HF), marqueurs quantitatifs de l'influence autonome cardiaque, se calculent dans deux principales conditions expérimentales, correspondant à des fins différentes.

En effet, comme le précise l'étude de la Task Force⁸, les enregistrements peuvent se faire soit sur 24 heures, et dans ce cas les variables, et notamment les variables temporelles, seront utilisées à des fins de prédiction de mortalité dans différentes situations cliniques (post infarctus, insuffisance cardiaque, ...), soit sur des délais plus courts, 5 minutes d'enregistrement sont préconisées, et dans ce cas les variables et plus particulièrement les variables spectrales, seront utilisées pour comprendre les régulations physiologiques du SNA dans différentes situations (exercice physique, injection de substances pharmacologiques ...).

L'analyse temporelle, qui exprime la variabilité en fonction du temps, ainsi que l'analyse spectrale, qui exprime la variabilité en fonction de la fréquence de variation, nécessitent toutes deux le recueil de l'ensemble des battements cardiaques pendant la durée de l'expérience. Plus précisément, les méthodes mathématiques permettant d'obtenir les variables s'opèrent sur les séries temporelles représentées par les intervalles RR successifs en ms.

Pendant de nombreuses années, l'enregistrement de l'ECG (classique ou Holter) était la seule méthode disponible pour réaliser le recueil de données. Le développement technologique a permis l'émergence récente d'une nouvelle génération de CFM, permettant d'enregistrer, non plus la FC moyennée sur 5 secondes, mais directement les intervalles RR en ms.

La VFC est donc exprimée et quantifiée par différents indices.

Les premiers sont de simples indices statistiques, tels que le SDNN (en ms ; écart type de la série d'intervalles R-R considérée, rendant compte de la variabilité globale) ou le RMSSD (en ms ; écart-type des différences entre deux battements successifs, rendant compte de la composante rapide de variabilité, donc du tonus vagal)

Les seconds, plus qualitatifs, sont ceux obtenus grâce à l'analyse spectrale (transformée rapide de Fourier, FFT) de l'évolution des R-R en fonction du temps. Cette analyse fréquentielle permet de générer un périodogramme illustrant la répartition de densité spectrale ($\text{msec}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$) en fonction de la fréquence des oscillations présentes dans le tracé initial.

⁷ Servant D. , J.C. Lebeau , Y. Mouster, M. Hautekeete, R. Logier, M. Goudemand *La variabilité cardiaque : Un bon indicateur de la régulation des émotions* 6 Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive Volume 18, numéro 2- p 45-48 (juin 2008).

⁸ Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Circulation* 1996; 93 (5): 1043-1065.

La densité spectrale en hautes fréquences (HF entre 0,1 et 0,4 Hz) est utilisée pour quantifier l'activité parasympathique médiée par le phénomène d'arythmie respiratoire.

Les basses fréquences (LF entre 0,004 et 0,15 Hz), quant à elles, renvoient à l'activité sympathique, avec malgré tout, une composante vagale.

Le rapport $HF/(LF+HF)$ fait ainsi référence au concept de "balance sympathovagale", en exprimant la part parasympathique de celle-ci.

Bien que d'autres méthodes d'analyses soient également utilisées (fractales, ondelettes...), nous nous limiterons à l'analyse de la Fréquence Cardiaque (FC) et des Bases Fréquences (LF).

Le but de notre étude n'est pas l'analyse fine de la variabilité cardiaque en plongée mais tout simplement la mesure des variations de l'activité sympathique sur des phases clés de la plongée.

7-3. FACTEURS INFLUENÇANT LA VFC

Même lorsqu'elle est mesurée en environnement strictement contrôlé, la variabilité intra individuelle quotidienne de la FC est d'environ 2 à 4 battements par minute.

La déshydratation augmente la FC à l'effort. Au cours d'un effort prolongé à intensité constante, la FC peut augmenter jusqu'à 15 % lors d'efforts de 5 à 60 minutes. C'est ce que l'on appelle la dérive cardiaque.

À une même puissance de travail, la FC est plus élevée en environnement chaud (jusqu'à 10 bpm) que lorsque le même exercice est réalisé en environnement tempéré.

En environnement froid, la fréquence cardiaque à l'effort est similaire à celle mesurée en environnement tempéré, mais la consommation d'oxygène est plus élevée.

La technologie actuelle permet la mesure précise et fiable de la fréquence cardiaque dans de multiples conditions environnementales.

Toutefois, les connaissances concernant les applications pratiques de ces mesures sont limitées et même si l'utilisation du Cardio-fréquencemètre est largement répandue, de nombreux facteurs méthodologiques, physiologiques et environnementaux peuvent perturber la réponse cardiaque individuelle.

7-4. LA VFC ET LA PLONGÉE

La seule étude menée sur la VFC en plongée subaquatique montre une augmentation de l'activité parasympathique et une diminution du rythme cardiaque, probablement provoqués par le ralentissement du rythme ventilatoire durant la plongée test (sujet à genoux au fond d'une piscine de 4 mètres de profondeur).

Cependant cette étude a été réalisée dans une piscine chauffée à 27° et sur des plongeurs confirmés posés au fond de la piscine ne réalisant aucun effort et sans aucun stress.

Pour ainsi dire rien à voir avec les conditions de plongée qu'on peut retrouver sur nos côtes.

Mesurer la VFC de manière précise et fiable en conditions réelles de plongée est relativement difficile, d'une part par le manque de matériel adapté, mais aussi en raison de l'incidence des nombreux facteurs capables d'influencer la VFC et qui rendent son interprétation très difficile.

Exemples de facteurs : Le stress, les efforts, le port d'une combinaison serrée, le changement de température, les problèmes de flottabilité ou de perte d'équilibre et surtout la ventilation lors d'une plongée « normale ».

Des paramètres indépendants à l'activité peuvent aussi influencer la VFC. Ainsi par exemple une LF élevé (synonyme d'activité sympathique) peut être provoquée par un état de fatigue important qui n'a rien à voir avec la plongée.

Pour cette raison, nous avons décidé de ne pas prendre la valeur finale de la VFC comme base d'analyse mais plutôt l'évolution de celle-ci au cours d'une plongée.

Pour tenir compte des particularités de la plongée nous avons pris la VFC des sujets sur le bateau avant la plongée (10 à 15 minutes avant l'équipement) comme valeur de référence, puis mesuré l'évolution de celle-ci en la comparant aux valeurs enregistrées dans chacune des 4 phases suivantes (moments clés de la plongée) :

- ✓ Équipement, mise à l'eau et surface.
- ✓ Immersion, descente et premières minutes au fond.
- ✓ Plongée (dans des conditions favorables).
- ✓ Situations ou exercices.

8. MÉTHODE UTILISÉE

Les caractéristiques du matériel utilisé ainsi que la description détaillée du protocole figurent dans les annexes.

8-1. LE MATERIEL

8-1-1 ENREGISTREMENT DE LA VFC

L'enregistrement de la VFC a été réalisé en partie avec la montre Polar S810 et en partie avec les ceintures cardio Suunto Memory Belt.

Nous avons eu l'occasion, à la fin de notre étude, de tester les nouveaux ordinateurs Galileo capables d'enregistrer la fréquence cardiaque durant la plongée (utilisée pour le calcul de la décompression).

Mais ceux-ci n'intègrent pas l'enregistrement de la mesure R-R, et n'enregistrent la fréquence cardiaque qu'une fois dans l'eau.

8-1-2 RÉCUPÉRATION ET ANALYSE DE LA VFC

Tous les enregistrements réalisés ont été transférés sur un PC équipé de Windows XP à l'aide des émetteurs et logiciels fournis avec les cardio-fréquencemètres.

L'analyse de la VFC a été réalisé avec le logiciel Kubios HRV capable de lire directement les fichiers HRM (Polar) et les fichiers SDF (Suunto).

8-1-3 ENREGISTREMENT ET ANALYSE DES PLONGÉES

Pour filmer les plongeurs nous avons utilisé trois modèles différents (à des périodes différentes).

Un appareil photo Canon PowerShot A85 et son caisson étanche à 45 mètres.

Un caméscope DV et son Caisson Ikelite étanche à 45m équipé d'un grand angle.

Un caméscope Sanyo Xacty HD2000 avec une carte SD de 16 Go et un caisson Époque HD 1000 étanche à 40 m équipé d'un grand Angle.

Pour certaines plongées, l'interface PC de l'ordinateur de plongée Galileo a été utilisée pour enregistrer les caractéristiques des dernières plongées de l'étude (profondeur, temps, météo, état de la mer, visibilité, température de l'eau, rythme cardiaque, rythme ventilatoire...).

L'analyse vidéo a été réalisée à l'aide de logiciels Kinovea et Dartfish. Spécialement conçus pour l'analyse vidéo sportive.

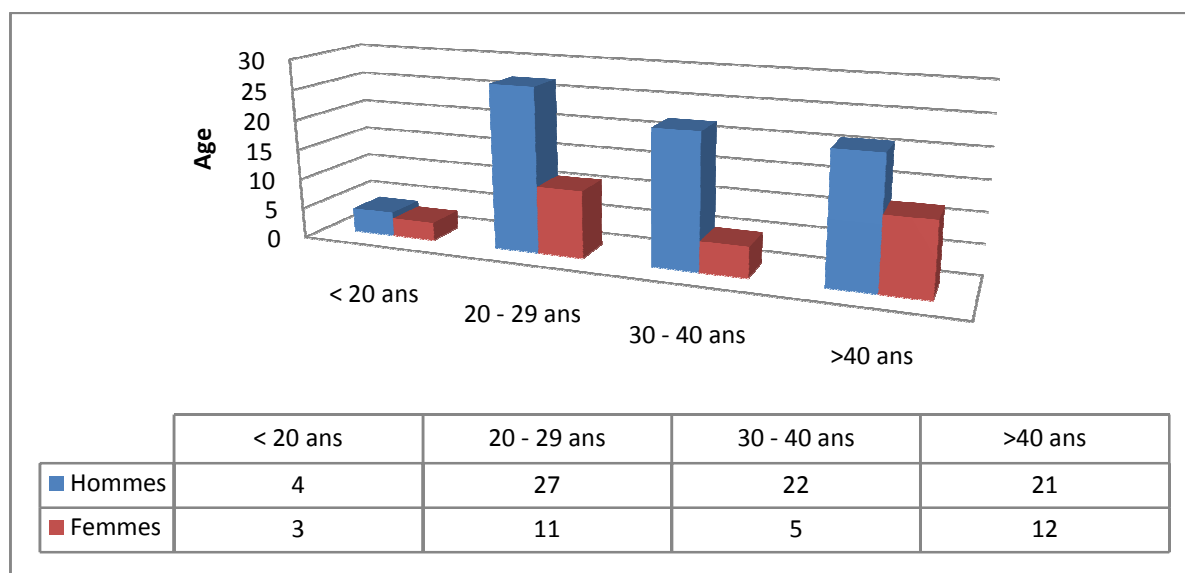
8-2. SUJETS

Un total de 105 sujets a participé à l'étude. Les sujets ont été sélectionnés au hasard parmi les clients ou stagiaires présents au club de plongée.

Aucun critère d'exclusion n'a été appliqué au moment de la sélection, l'objectif de cette étude étant de réaliser un maximum d'enregistrement dans des conditions de plongée diverses et avec des niveaux de plongeurs variés.

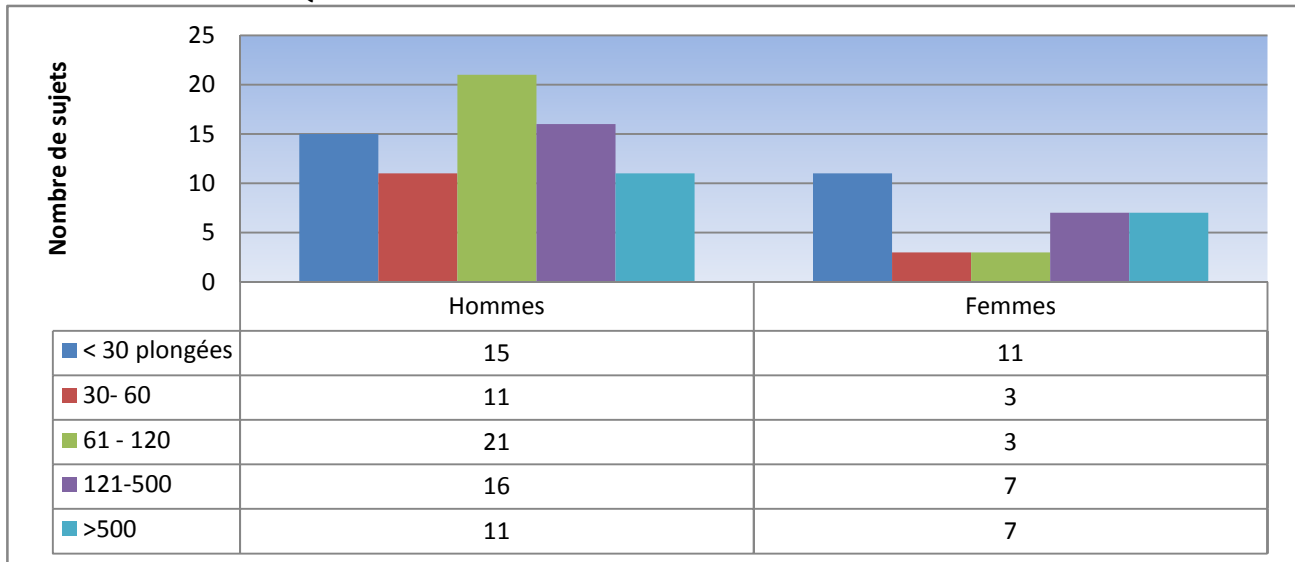
L'âge des participants va de 10 ans pour la plus jeune à 61 ans pour le plus âgé.

GRAPHIQUE 1 – REPARTITION DES SUJETS SELON L'AGE ET LE SEXE



Le niveau et le nombre de plongées sont aussi très variés, il va du simple débutant en plongée à l'encadrant expérimenté.

GRAPHIQUE 2 – REPARTITION DES SUJETS SELON LE NIVEAU D'EXPERTISE ET LE SEXE



8-3. PLONGÉES

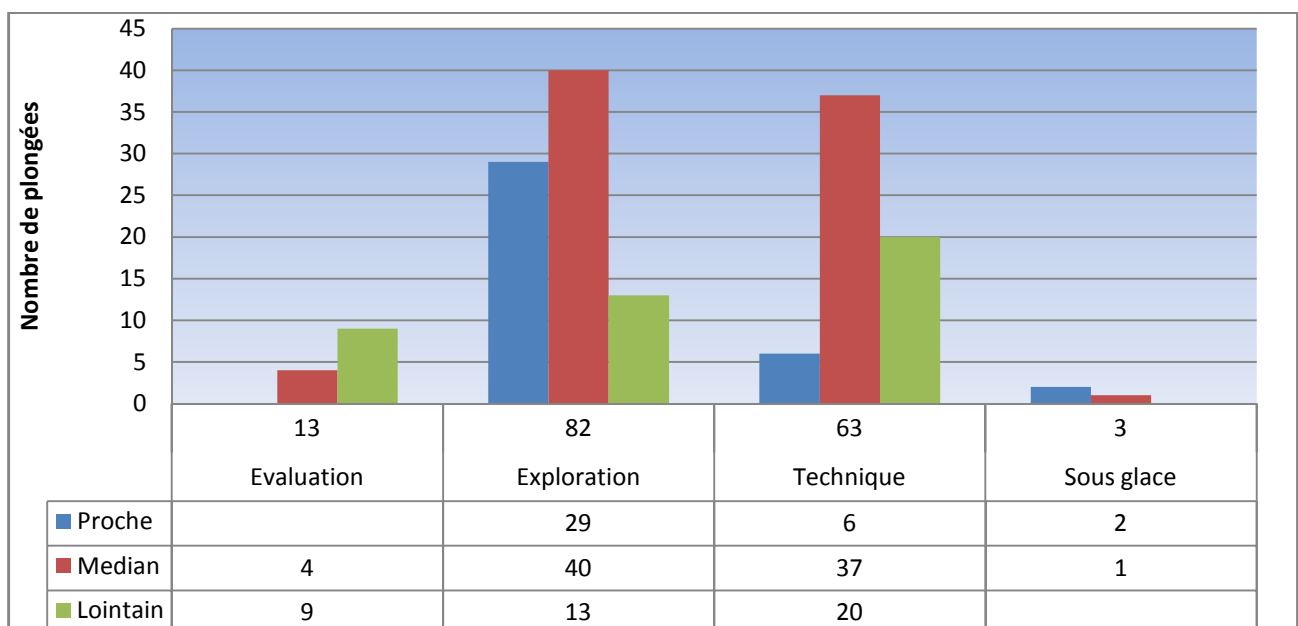
Un total de 161 plongées a été effectué dans le cadre de l'étude. Elles ont eu lieu essentiellement dans le bassin méditerranéen et plus concrètement sur la côte vermeille.

Deux plongées ont eu lieu au pays basque (Hendaye) durant le stage de formation de BEES2° et 3 autres dans les Pyrénées (Station de Ski des Angles) dans le cadre de l'activité de plongée sous glace.

Le premier enregistrement « cardio » des plongées a démarré au mois d'Octobre 2007 et le dernier a été effectué en Septembre 2010.

Toutes les situations de plongée (exploration, technique, évaluation) et espaces d'évolution sont représentés. Les caractéristiques des plongées (T°, visibilité, courant, vent..) sont très variées.

GRAPHIQUE 3 –REPARTITION DES PLONGÉES SELON L'OBJET DE LA PLONGÉE ET L'ESPACE D'EVOLUTION



9. LE PROTOCOLE

L'étude a été menée sur des plongeurs de passage ou en stage de formation. Le recrutement de volontaires s'est réalisé directement au club de plongée avant le départ pour la plongée.

Après avoir été informés sur le déroulement de l'expérience, les plongeurs sont équipés du cardio-fréquencemètre. Il leur est demandé de ne pas tenir compte de la vidéo et de faire leur plongée sans changer leurs habitudes.

L'enregistrement des données cardiaques débute généralement 15 à 30 minutes avant la plongée et se fini 15 à 30 minutes après la plongée.

Les sujets sont filmés à partir du moment où ils commencent à s'équiper et jusqu'à la fin de la plongée.

Le tout est chronométré pour s'assurer de la bonne corrélation entre l'enregistrement des données du cardio-fréquencemètre et de la vidéo.

On note sur une plaquette immergeable l'heure et la minute à chaque étape importante de la plongée (équipement, mise à l'eau, immersion, fond, situations..) et on filme la « montre contrôle » au même moment pour assurer le bon timing et faciliter le repérage sur la vidéo lors de l'analyse.

Après la plongée, lorsque cela a été possible, les sujets ont rempli un questionnaire sur la prise de conscience puis ils ont eu un débriefing sur leur plongée en visionnant la vidéo. Ensuite ils doivent remplir la deuxième partie du questionnaire sur la perception.

Les sujets n'ayant pas pu rester après la plongée ont emporté la vidéo et reçu le questionnaire par mail.

Les données recueillies sont transférées sur le PC puis analysées pour mettre en évidence les pics de variations remarquables durant la plongée et les comparer à la situation enregistrée par la vidéo.

Les données cardiaques, les caractéristiques de la plongée et de la vidéo ainsi que les données du plongeur et les réponses du questionnaire sont enregistrées sur une base de données Accès.

10. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

10-1. SÉLECTION DES FICHIERS À ANALYSER

Pour les besoins de l'étude nous avons besoin des fichiers regroupant les 4 critères suivants :

- ✓ Enregistrement cardio complet et lisible avec Kubios HRV.
- ✓ Données sur les conditions de plongée et timing du déroulement de la plongée.
- ✓ Vidéos permettant l'analyse du comportement des plongeurs.
- ✓ Questionnaire complet.

Sur un total de 200 enregistrements effectués seulement 161 fichiers cardio ont pu être récupérés et transmis au PC (cardio noyée, usure de piles trop rapide en plongée, mauvaise communication entre la ceinture et la montre).

Des 161 fichiers cardio, seulement 77 présentent des enregistrements complets permettant l'analyse.

Suite aux problèmes rencontrés pour filmer les plongées (film flou, caméscopes noyés, mauvaise visibilité..) nous n'avons pas pu enregistrer toutes les plongées, et un grand nombre de films réalisés est inutilisable pour l'analyse.

Au final nous avons retenu **48 fichiers** qui permettent l'analyse de la VFC et de la vidéo.

Les 48 fichiers ont été divisés en **quatre groupes** en fonction du niveau d'expertise (nombre de plongées).

- Débutants (<30 plongées), n=8.
- Intermédiaire (entre 30 et 60 plongées), n=9.
- Confirmés (>60 plongées et < 120 plongées), n=19.
- Experts (> 120 plongées), n=12.

10-2. MÉTHODES D'ANALYSE

Toutes les analyses ont été réalisées avec les logiciels Accès et Excel.

10-2-1 LES VARIABLES CARDIAQUES

Nous avons retenu 2 variables cardiaques pour l'analyse avec Kubios HRV :

- **FC** - Mean HR en 1/min, correspond à la Fréquence Cardiaque en battements par minutes (**indice des efforts réalisés ou de stress important**).
- **LF** - Low Frequences en n.u, correspond aux Basses Fréquences (Bande de fréquences : 0.04 - 0.15 Hz) (**reflet de l'activité sympathique**).

Nous avons sélectionné 5 phases communes à chaque plongée :

- ✓ **Valeur de référence** : Avant la plongée (**Av**) 10 à 15 minutes avant l'équipement.
- ✓ Équipement (**Eq**), mise à l'eau et surface.
- ✓ Immersion (**Im**), descente et premiers minutes au fond.
- ✓ Plongée (**Pl**) dans des conditions favorables.
- ✓ Situations (**Sit**) ou exercices.

La valeur de chaque variable cardiaque est mesurée sur une fenêtre temps de 5 minutes (R-R Intervalle Time séries), intégrant chacune des 5 phases de plongée citées.

CALCULS ET ANALYSES

- Calcul de l'écart type (**Delta**) entre la valeur de référence (Av) et chaque phase de plongée (Eq, Im, Pl et Sit).
- Calcul des moyennes des Delta de FC et LF (Eq, Im, Pl et Sit) de tous les sujets.
- Calcul des moyennes des Delta de FC et LF (Eq, Im, Pl et Sit) de chaque groupe.
- Comparaison des Delta FC et LF selon le niveau d'expertise.
- Comparaison des Delta FC et LF selon la phase de plongée.

10-2-2 LES QUESTIONNAIRES

Deux questionnaires (cf. annexes) par sujet et par plongée.

Q1 - Un questionnaire sur la Prise de Conscience (PC) qui mesure la capacité du sujet à être conscient (ressentir ou penser) de sa respiration et ses gestes et mouvements.

Échelle de Notation :

- 1 = Aucune idée.
- 2 = A peine.
- 3 = Un peu conscient.
- 4 = Assez conscient.
- 5 = Parfaitement conscient.

Deux Items :

- **Resp-** Conscience de la respiration.
- **Pm** – Conscience du palmage et des mouvements des mains.

4 phases communes à chaque plongée :

- ✓ **Eq** -Équipement, mise à l'eau et surface.
- ✓ **Im** -Immersion, descente et premières minutes au fond.
- ✓ **Pl** - Plongée dans des conditions favorables.
- ✓ **Sit** - Situations ou exercices.

Q2 - Un questionnaire sur l'Écart perçu ou observé (EP) qui mesure l'écart existant entre l'« image » que le sujet avait de lui avant la plongée et après avoir eu le retour du moniteur et/ou l'analyse vidéo.

Échelle de Notation :

- 1 = Aucune différence.
- 2 = A peine.
- 3 = Pas mal de différence.
- 4 = Beaucoup.
- 5 = Énormément.

Mêmes Items et phases de plongée que Q1.

CALCULS ET ANALYSES

- Calcul de la différence (**Dif**) entre les valeurs des Items de Q1 et Q2 (Resp et Pm) pour chaque phase de plongée (Eq, Im, Pl et Sit).
- Calcul des moyennes des Dif de Resp et Pm (Eq, Im, Pl et Sit) de tous les sujets.
- Calcul des moyennes des Dif de Resp et Pm (Eq, Im, Pl et Sit) de chaque groupe.
- Comparaison des Dif de Resp et Pm selon le niveau d'expertise.
- Comparaison des Dif de Resp et Pm selon la phase de plongée.

10-2-3 LES VIDÉOS

Le but de l'analyse vidéo était de repérer et référencer les différents comportements observables pouvant être classés comme « automatismes terriens ».

Pour qu'un comportement soit référencé comme automatisme terrien il doit répondre à deux critères :

1. L'individu n'a pas la totale conscience du comportement, geste position ou mouvement au moment de la réalisation.
2. Le comportement ou geste n'est pas adapté à la situation de plongée.

Nous avons référencé les automatismes en fonction des différentes phases de la plongée (Eq, Im, Pl et Sit). Pour chaque phase nous avons découpé sur la vidéo les séquences représentatives des comportements terriens et classé dans une ou plusieurs des 9 catégories suivantes.

- Précipitation.
- Focalisation.
- Efforts.
- Respiration.
- Déséquilibre.
- Tonicité Musculaire.
- Mouvements Mains Inadaptés.
- Position.
- Palmage inadapté.

Pour analyser l'importance de l'action des automatismes terriens chez un sujet donné et sa possible corrélation avec les données cardiaques, nous avons attribué une valeur à chaque sujet pour chacune des quatre phases de plongée.

La valeur attribuée vise à mesurer l'importance de la présence d'automatismes terriens au cours de la plongée.

Échelle de Notation « Présence d'automatismes terriens » :

- 1 = Pas d'automatismes.
- 2 = Quelques automatismes.
- 3 = Pas mal d'automatismes.
- 4 = Beaucoup d'automatismes.
- 5 = Énormément d'automatismes.

4 phases communes à chaque plongée :

- ✓ **Eq** -Équipement, mise à l'eau et surface.
- ✓ **Im** -Immersion, descente et premières minutes au fond.
- ✓ **Pl** - Plongée dans des conditions favorables.
- ✓ **Si** - Situations ou exercices.

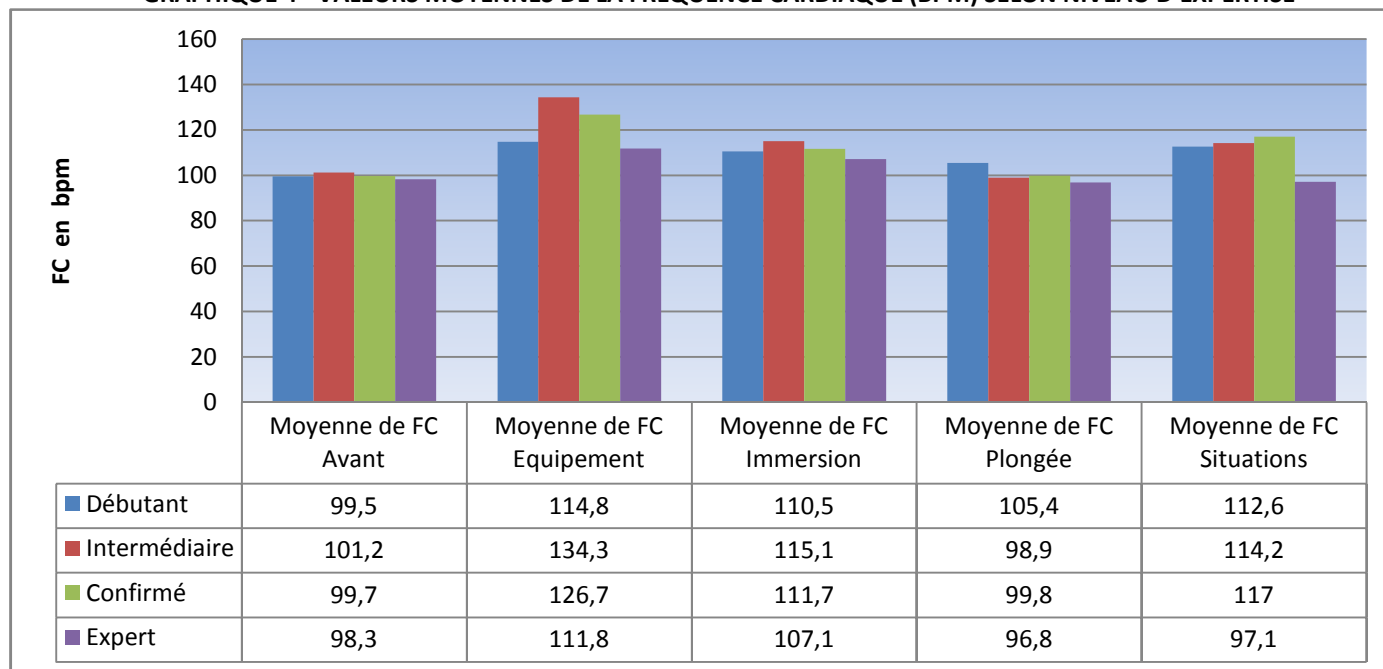
CALCULS ET ANALYSES

- Calcul des moyennes des automatismes de chaque phase (Eq, Im, Pl et Sit) pour tous les sujets.
- Calcul des moyennes des automatismes de chaque phase (Eq, Im, Pl et Sit) selon le niveau d'expertise.

11. ANALYSE DES VARIABLES CARDIAQUES

11-1. ANALYSE DE LA FC (FREQUENCE CARDIAQUE)

GRAPHIQUE 4 - VALEURS MOYENNES DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE (BPM) SELON NIVEAU D'EXPERTISE



D'une manière générale, la FC augmente lors de la phase *Équipement*, elle diminue légèrement à l'immersion jusqu'à atteindre sa valeur minimale pendant la phase *Plongée*. La réaction face à une situation délicate ou exercice peut provoquer l'augmentation de celle-ci.

On constate aussi que les valeurs de la FC mesurées sur le bateau avant la plongée (avec la combinaison de plongée) en position assise, sont relativement élevées par rapport à une FC de repos « normale » (60 à 70 chez un sujet moyen).

On a enregistré des valeurs maximales relativement importantes sur plusieurs sujets, et plus concrètement pendant la phase *Équipement* (150 à 160 bpm) et pendant la phase *Situations* (150 à 170 bpm).

La source de ces valeurs, après analyse de la vidéo, n'est pas seulement liée à l'effort (sauf un cas d'essoufflement) mais plutôt au stress de la situation (examen ou situation d'assistance inattendue ou réelle).

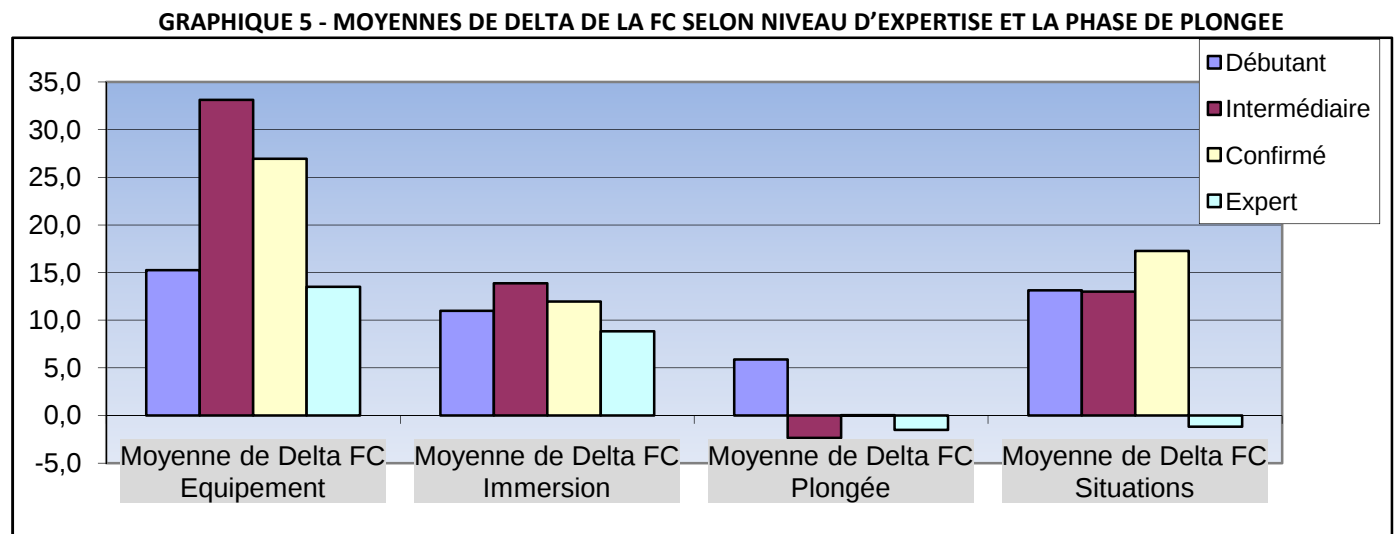
Pour finir, il est important de signaler que la valeur la plus faible des moyennes de FC correspond à la phase de plongée et qu'elle est quasiment identique quelque soit le niveau d'expertise.

Ceci pourrait être lié aux adaptations de notre système cardiovasculaire au milieu subaquatique. En effet, l'immersion entraîne une baisse significative du rythme cardiaque appelé « bradycardie reflexe ⁹ ».

⁹ Broussole B - Physiologie et médecine de la plongée. (p158)-Paris : Ellipses, 1992.

Les variations de la FC sous l'eau dans des conditions normales d'évolution seraient plus mesurées que pour un même effort sur terre.

Pour la suite de l'analyse de la FC nous prendrons comme référence la moyenne de l'écart type (Delta) afin de limiter l'influence des valeurs extrêmes sur le résultat final.



Le graphique 5, montre les moyennes de l'écart type entre la FC *Avant la plongée* et chacune des autres phases. Plus l'écart est important plus l'augmentation de la FC est significative.

La plus grande augmentation de rythme cardiaque pendant la plongée correspond à la phase *Équipement*. Cette augmentation est très marquée chez les groupes *Intermédiaire* et *Confirmé*.

Paradoxalement l'augmentation chez les *Débutants* est nettement inférieure que celle des deux groupes précédemment cités et à peine supérieure à celle du groupe *Expert*. L'explication est simple et très logique, les *Débutants* bénéficient très souvent d'aide pour s'équiper et réalisent donc moins d'efforts. D'autre part, certaines plongées chez les *Débutants* ont eu lieu en partant de la plage.

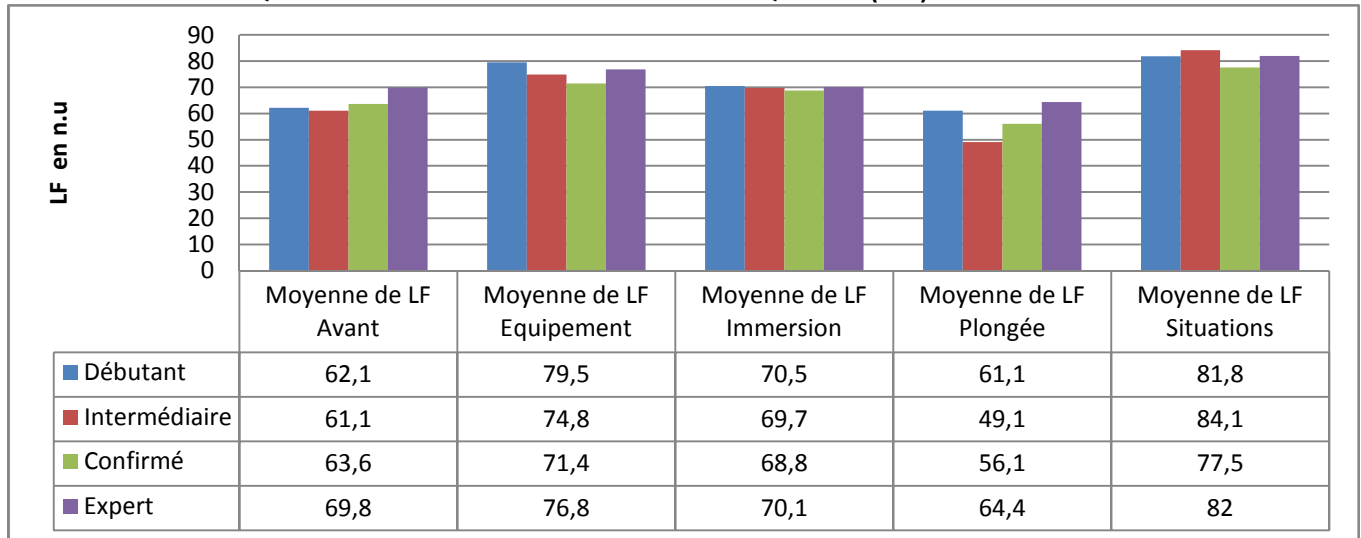
La logique du niveau d'expertise (plus le sujet est expert moins il réalise d'efforts en plongée) est bien respectée (toutes phases comprises). On constate aussi que les valeurs du groupe *Débutant* sont au dessus des autres groupes en situation de plongée normale.

Seule la valeur du groupe *Confirmé* pendant la phase *Situations* vient contrarier cette logique. Ceci est dû à la différence existante entre les situations ou exercices demandés. Dans le cas du groupe *Confirmé* on retrouve des exercices comme la DTH (remontée à la palme d'un camarade) qui entraînent des efforts bien plus importants qu'une simple assistance avec l'aide du gilet par exemple.

Pour finir on remarquera que la FC pendant la phase *Plongée*, atteint des valeurs inférieures aux valeurs de référence (*Avant la plongée*). Malgré le fait que l'immersion du corps dans l'eau entraîne la baisse automatique du rythme cardiaque (bradycardie), cette baisse ne survient que plusieurs minutes après l'immersion.

11-2. ANALYSE DE LA LF (BASSES FREQUENCES)

GRAPHIQUE 6 - VALEURS MOYENNES DES BASSES FRÉQUENCES (N.U) SELON NIVEAU D'EXPERTISE



La LF augmente de manière significative lors de la phase *Situations* pour tous les groupes. Le stress provoqué par la confrontation à une situation délicate ou exercice (évaluation) peut expliquer ce pic.

Comme la FC, la LF a tendance à augmenter pendant l'équipement et la mise à l'eau pour descendre progressivement et atteindre sa valeur la plus faible en plongée.

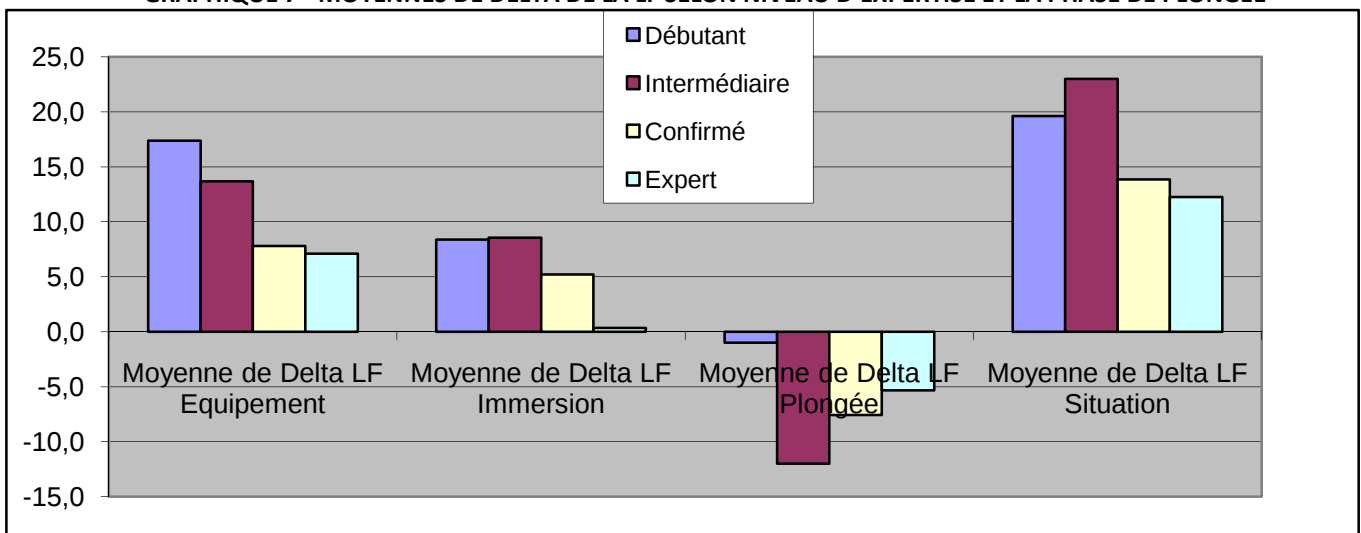
On constate aussi que les valeurs de la LF du groupe *Expert* sont relativement élevées.

Contrairement à la FC, il est difficile d'établir une comparaison avec des valeurs moyennes au repos, ou de définir une normalité car il existe différents types de profil selon les personnes. Certaines personnes ont un système neurovégétatif très fort avec une « puissance élevée » c'est-à-dire une valeur élevée de LF, d'autres ont des valeurs plutôt basses.

La source de ces valeurs élevées n'est donc pas forcément un signe de stress, elles peuvent être causées par un état de fatigue important ou autres sources non mesurables.

Pour la suite de l'analyse de la LF nous prendrons comme référence la moyenne de l'écart type (que nous nommerons « **Delta** ») afin de limiter l'influence des valeurs extrêmes sur le résultat final.

GRAPHIQUE 7 - MOYENNES DE DELTA DE LA LF SELON NIVEAU D'EXPERTISE ET LA PHASE DE PLONGEE



Le graphique 7, montre les moyennes de l'écart type entre la LF *Avant la plongée* et chacune des autres phases. Plus l'écart est important plus l'augmentation de la LF est significative.

La plus grande augmentation de LF pendant la plongée correspond à la phase *Situations*. Cette augmentation est très marquée chez les groupes *Débutant* et *Intermédiaire*.

La phase *Équipement*, elle aussi, entraîne une augmentation significative de LF. La logique du niveau d'expertise est respectée dans ces deux phases mais elle est plus mitigée à *l'Immersion* et surtout en *Plongée*.

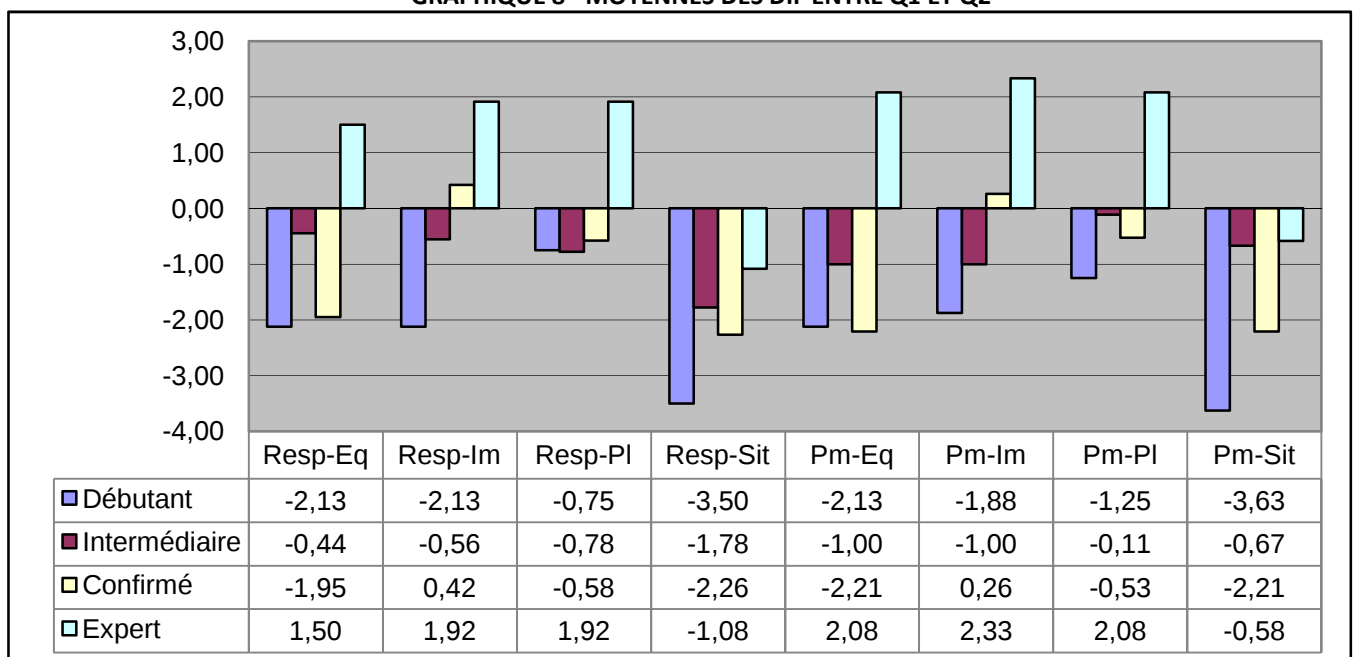
L'écart du groupe *Intermédiaire* est nettement inférieur au groupe *Expert* pendant la plongée, ce qui confirme la difficulté à établir une norme sur la simple valeur de la LF.

Les conditions de plongée, la respiration, la température de l'eau, la profondeur, ou encore le stress induit par la responsabilité de guider une palanquée, sont autant de variables qui pourraient avoir une incidence sur la LF et expliquer cet écart.

Pour finir on remarquera que la LF pendant la *Plongée* atteint des valeurs inférieures aux valeurs de référence (*Avant la plongée*).

12. ANALYSE DES QUESTIONNAIRES

GRAPHIQUE 8 - MOYENNES DES DIF ENTRE Q1 ET Q2



Le tableau nous montre les moyennes par niveau d'expertise des scores des deux questionnaires après calcul de la différence entre la *Prise de Conscience* et *l'Écart Perçu*. Plus la valeur est basse plus la *Prise de Conscience Globale* est faible.

Les valeurs correspondent à l'estimation de la prise de conscience des sujets dans les différentes phases de plongée pour la *Respiration* et pour les mouvements des mains et des jambes (*Palmage* et *Mains*).

Encore une fois les valeurs les plus significatives correspondent à la phase de *Situations* (*Resp* et *Pm*). Toutes les valeurs sont négatives, ce qui implique un niveau de PC relativement bas, même dans le groupe *Expert*.

La phase *Équipement*, elle aussi, a des valeurs significatives basses, ce qui confirme les valeurs de la FC et de la LF déjà présentées.

Par contre, la logique du niveau d'expertise n'est pas vraiment respectée dans les phases *Situations* et *Équipement*. Le groupe *Intermédiaire* a souvent des valeurs plus élevées que le groupe *Confirmé*, ce qui impliquerait un niveau de PC plus important.

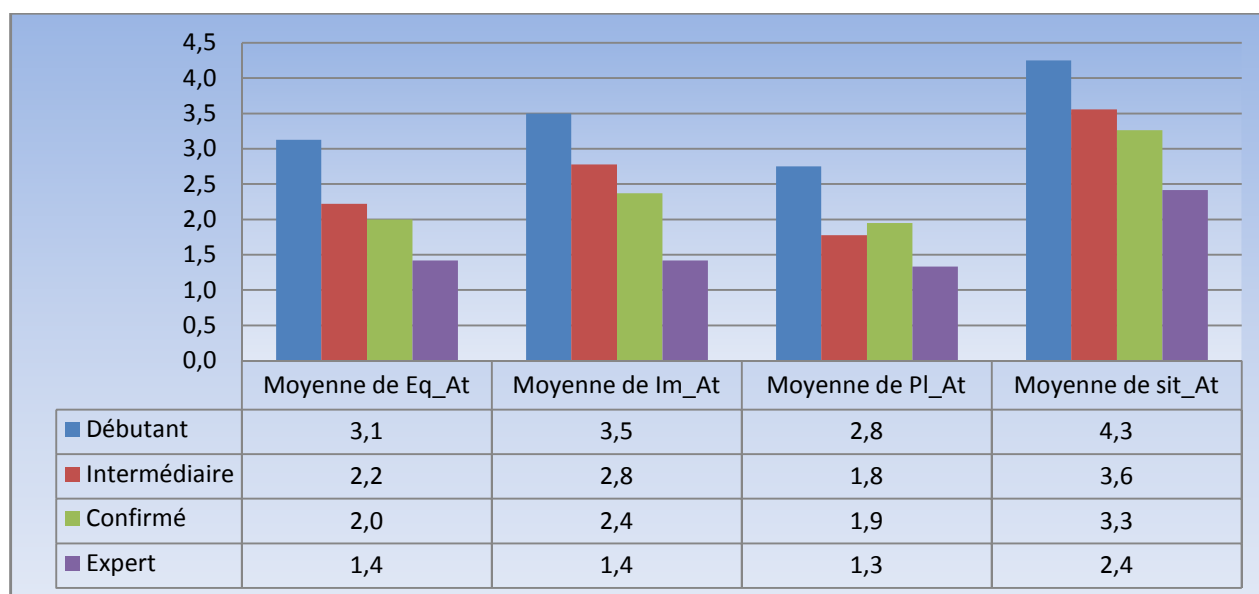
Le groupe Expert montre bien une PC bien plus élevée que les autres groupes, confirmant ainsi la logique du niveau d'expertise.

L'écart de la phase *Situations* est sûrement dû à la différence existante entre les situations ou exercices demandés, plus complexes pour le groupe *Confirmé* (profondeur, visibilité, température, nombre de tâches à gérer...).

L'écart de la phase *Équipement* peut s'expliquer par le fait que les plongeurs *Confirmés*, de par leur rôle de guide, vont avoir tendance à focaliser leur attention sur les élèves en surface et donc « s'oublier » pendant l'équipement et la mise à l'eau, bien évidemment il est loisible de proposer une autre interprétation éventuelle...

13. ANALYSE VIDEO ET CLASSIFICATION DES COMPORTEMENTS

GRAPHIQUE 9 - MOYENNES DES VALEURS DE LA PRESENCE D'AUTOMATISMES TERRIENS SELON LE NIVEAU D'EXPERTISE



Le graphique 9, nous montre la présence plus au moins importante des automatismes terriens pour chacune des 4 phases de plongée et selon le niveau d'expertise. Plus la valeur est élevée plus le nombre d'automatismes terriens constaté a été important.

Encore une fois c'est dans la phase *Situations* que les valeurs sont les plus élevées. Nous sommes toujours dans la même logique, face à une situation « délicate » l'action du SNA prend le dessus et contrôle la réaction des plongeurs.

Cette fois-ci c'est la phase Immersion qui arrive en deuxième place (sauf pour le groupe *Expert* qui garde les mêmes valeurs) avec des valeurs légèrement supérieures à la phase équipement.

La logique du niveau d'expertise est largement respectée, bien que les valeurs du groupe *Intermédiaire* pendant la plongée soient légèrement inférieures à celles du groupe *Confirmés*.

On peut facilement constater que plus le niveau d'expertise est élevé plus la présence d'automatismes terriens est faible.

Le groupe *Expert* garde des valeurs relativement constantes dans les trois premières phases et subit une augmentation significative dans la phase *Situations*. On voit bien que lorsque le SNA prend le contrôle de la situation, même à un niveau d'expertise élevé, les automatismes terriens sont plus forts que les automatismes développés au cours des plongées.

14. INTERPRÉTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

L'analyse de données nous a permis de montrer **qu'il existe une corrélation entre les valeurs cardiaques, la baisse de la prise conscience et la présence des automatismes terriens. Et que cette corrélation est modulée par le niveau d'expertise.**

En effet, on peut de manière générale avancer que plus le niveau d'expertise est élevé, plus les variables cardiaques et les automatismes terriens sont faibles et la PC est importante.

Le manque de données ne nous a pas permis d'établir des corrélations significatives entre l'augmentation de variables cardiaques et l'âge des plongeurs et/ou les conditions de plongée.

Cependant il est évident que dans des conditions de plongée difficiles, soit dues à la météo (vagues, vent, courant, froid, visibilité) soit au type de plongée, (profonde, dérivante..) la charge émotionnelle est plus importante et les sources de stress plus nombreuses.

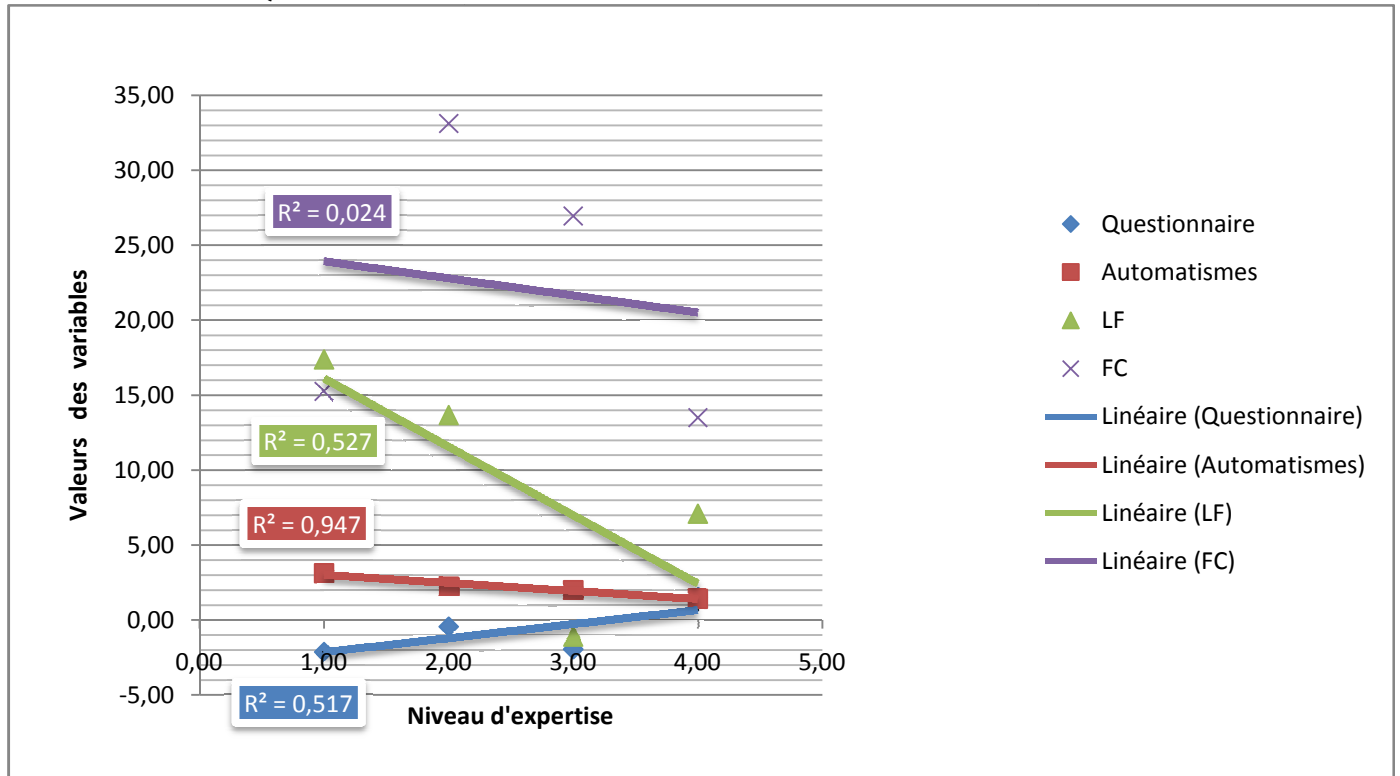
Plus les conditions sont perçues comme difficiles par le plongeur plus les comportements terriens sont importants.

Concernant le lien entre l'âge et les automatismes terriens il est plus difficile d'établir une quelconque corrélation, souvent les individus les plus âgés sont aussi les plus expérimentés et ont à priori une meilleure maîtrise de l'environnement.

Cependant il existe des sujets qui commencent la plongée à un âge avancé. Dans ce cas, si le sujet n'a pas un passé aquatique il n'est pas rare que celui-ci éprouve énormément de difficultés à s'adapter au milieu subaquatique tellement ses automatismes terriens sont ancrés dans son réseau nerveux...

14-1. PHASE D'ÉQUIPEMENT, MISE À L'EAU ET SURFACE

GRAPHIQUE 10 – CORRELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTES VARIABLES SELON LE NIVEAU D'EXPERTISE



Le graphique 10 nous montre la corrélation entre chacune des variables (Questionnaires, LF, FC et Automatismes) selon le niveau d'expertise lors de la phase *Équipement*.

La corrélation est relativement significative exceptée pour la FC ($R^2 = 0,024$). Comme déjà expliqué lors de l'analyse du graphique 5, les *Débutants* bénéficient très souvent d'aide pour s'équiper et réalisent donc moins d'efforts.

La courbe de tendance des automatismes ($R^2 = 0,947$) est ici très significative. Plus le niveau d'expertise est faible et plus la présence d'automatismes terriens est élevée.

La phase d'équipement occupe la première place dans l'augmentation de la FC et la deuxième dans l'augmentation de la LF et la baisse de la PC.

Cette augmentation peut atteindre des valeurs relativement importantes en situation de stress ou de changements de température importants. En général les situations de stress s'accompagnent aussi d'une augmentation significative de la LF et d'une baisse encore plus importante de la PC.

C'est dans cette phase qu'on réalise le plus grand nombre d'efforts et qu'on soumet notre SN aux plus grands changements dans un temps relativement court. C'est aussi dans cette phase où l'on constate le plus grand nombre de signes extérieurs de stress (facilement observables).

Nous pensons que ces comportements seraient donc directement liés à l'augmentation de la FC et de la LF, reflet de l'intervention du SNA et plus concrètement de sa branche Sympathique qui va « prendre en charge la suite des événements ».

Cette prise en main du SNA provoque inexorablement une diminution de capacités cognitives et donc de la PC, comme nous le montrent les réponses des questionnaires.

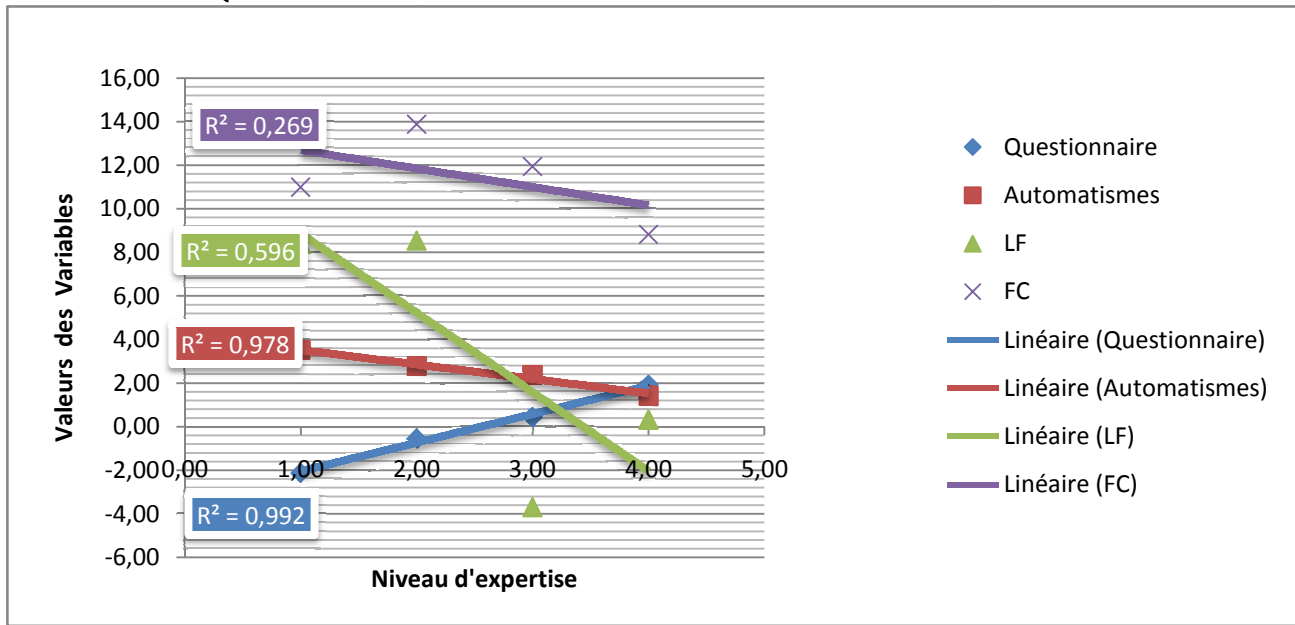
Il n'est pas étonnant que cette phase soit la plus « traumatisante » pour un grand nombre de plongeurs.

A notre avis l'apprentissage de la gestion de cette phase devrait accaparer une grande partie du temps accordé aux formations; Or dans la réalité, c'est souvent la moins abordée.

La mauvaise gestion de cette phase est souvent source d'incidents ou accidents de plongée, essoufflement, perte de palanquée, consommation excessive, panique, accident de décompression...

14-2. PHASE D'IMMERSION ET ARRIVÉE AU FOND

GRAPHIQUE 11 – CORRELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTES VARIABLES SELON LE NIVEAU D'EXPERTISE



Le graphique 11 nous montre la corrélation entre chacune des variables (Questionnaires, LF, FC et Automatismes) selon le niveau d'expertise lors de la phase *Immersion*.

La corrélation est relativement significative pour toutes les variables exceptée pour la FC ($R^2 = 0,269$). Comme pour la phase *Équipement*, les *Débutants* présentent une augmentation de FC moins importante toujours liée à l'aide reçue en début de plongée et des conditions de plongée (départ du bord).

Dans la phase *Immersion* les valeurs cardiaques présentent une diminution significative par rapport à la valeur de référence, ce qui pourrait nous faire penser que dans cette phase le plongeur est relativement maître des ses actes.

Pourtant le nombre d'automatismes terriens constatés est plus important que celui de la phase *Équipement*.

La diminution de FC et de LF peut s'expliquer par l'immersion totale du corps dans l'eau qui, comme nous avons déjà expliqué, entraîne une baisse automatique de ces deux valeurs. Ainsi, on peut considérer que les valeurs sont finalement très proches de celles constatées pendant la phase *Équipement*.

Il est donc tout à fait normal que dans cette phase les automatismes terriens soient plus présents, car la gestion de l'immersion et de la descente demande des compétences techniques bien plus importantes que la phase *équipement*.

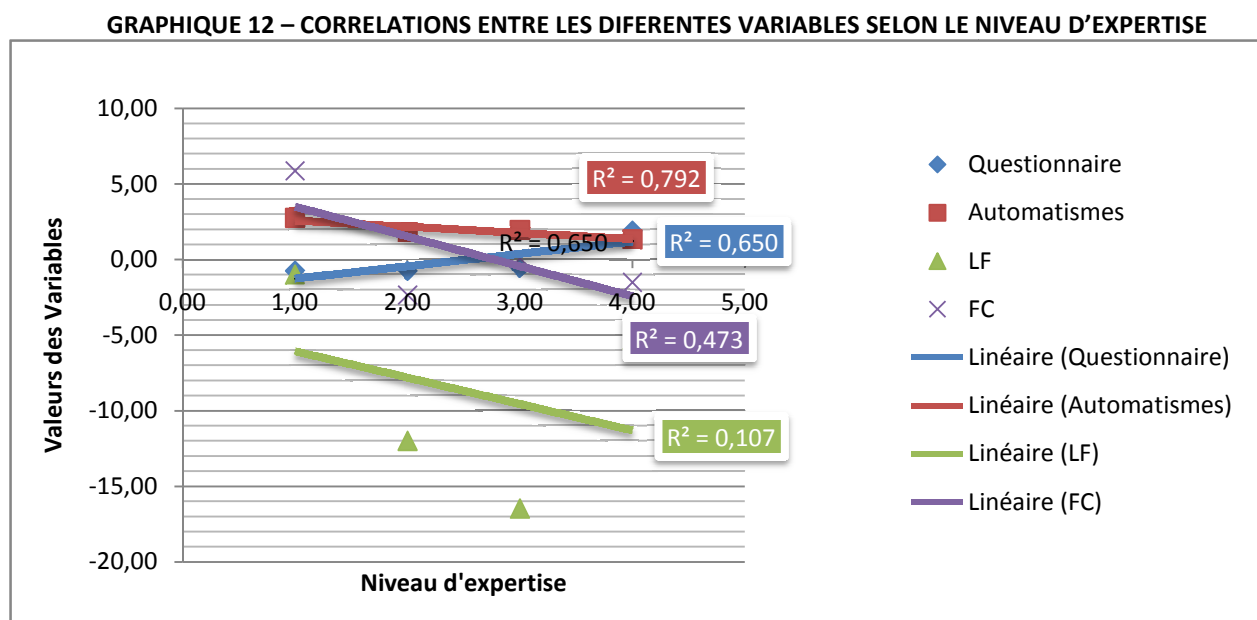
De plus, si l'augmentation de la FC (et donc du rythme ventilatoire) à la phase *Équipement* a été importante, on ne peut pas s'attendre à ce que notre rythme cardiaque et notre respiration retrouvent des valeurs normales quelques secondes après.

Plus les valeurs cardiaques et le rythme ventilatoire sont élevés et plus il faudra du temps à notre organisme pour s'adapter et revenir à des valeurs normales. Où autrement dit, plus ces valeurs seront élevées plus il faudrait prendre du temps en surface pour les ramener à des valeurs normales avant de s'immerger.

Paradoxalement, il n'est pas rare d'observer le comportement contraire lors des plongées. Plus les plongeurs éprouvent des difficultés en surface plus ils se dépêchent de descendre.

Dans une grande majorité de cas, la respiration ne retrouve jamais ses valeurs normales. La rétention de CO₂ provoqué par les efforts réalisés, active de manière importante la branche sympathique; et la résistance du détendeur ne favorise pas non plus ce retour à la normale.

14-3. PHASE DE PLONGÉE (DANS DES CONDITIONS FAVORABLES)



Le graphique 12 nous montre la corrélation entre chacune des variables (Questionnaires, LF, FC et Automatismes) selon le niveau d'expertise lors de la phase *Plongée*.

Dans cette phase la LF affiche la valeur la plus basse ($R^2 = 0,107$). Ici, c'est le groupe *Expert* qui va inverser la tendance en affichant des valeurs pour le moins « étonnantes ». Il est donc possible que la LF ne respecte pas la logique du niveau d'expertise dans cette phase, ou que, comme nous l'évoquions plus haut, les *Experts* aient été soumis à des conditions de plongée plus difficiles (responsabilité de la palanquée, profondeur, visibilité..) entraînant une activité sympathique plus marquée.

Cependant, les valeurs significatives des autres variables, et particulièrement des *Automatismes* et du *Questionnaire* nous font penser que, à un niveau d'expertise élevé, le plongeur peut garder un niveau de conscience et un contrôle des *automatismes terriens* relativement élevé malgré une activation sympathique importante.

Il est tout à fait envisageable que l'activation sympathique enregistrée dans le groupe *Expert* soit le reflet d'un état de vigilance accru et d'une hyperactivité nerveuse qui n'a rien à voir avec le stress.

Ceci pourrait être la preuve du processus d'adaptation au milieu subaquatique entraînant l'automatisation de certaines fonctions chez les experts et les rendant plus performants dans l'analyse et traitement des informations pertinentes comme n'importe quel sportif de haut niveau.

La FC ($R^2 = 0,473$) présente une meilleure corrélation que dans les phases précédentes. Les valeurs de FC pendant la plongée ont tendance à s'équilibrer pour tous les groupes.

Les résultats de l'analyse nous montrent que c'est la phase où l'on retrouve la plus faible augmentation de FC et de LF et la plus haute PC. On peut dire qu'il s'agit de la phase la moins traumatisante pour notre SNA.

Pour confirmer la tendance, on constate aussi que les *automatismes terriens* sont moins présents dans cette phase.

Cependant, comme nous l'avons déjà signalé précédemment, même si cette phase est relativement plus « favorable » que les autres, les valeurs moyennes de FC et le rythme ventilatoire restent assez élevés si on les compare à une activité normale sur terre.

L'analyse vidéo nous montre souvent des plongeurs qui palment, pour ainsi dire, pendant toute la plongée et qui avancent relativement vite sous l'eau, souvent plus préoccupés par le parcours à suivre que par l'exploration des fonds elle-même.

Le sur-lestage et la focalisation sur l'orientation favorisent ce « déplacement éternel ».

Ainsi la plongée d'exploration, dans ces conditions (si on prend en compte la FC) au lieu de ressembler à une promenade en forêt, se rapproche plutôt d'un parcours sportif !

L'unique étude réalisée sur la VF en plongée, montre que le rythme cardiaque des plongeurs à une profondeur de 4 mètres d'eau est en moyenne de 71 bpm (contre 81bpm en surface).

Or les valeurs enregistrées au cours de notre étude durant la phase *Plongée* sont proches de 100 bpm.

Faire des plongées avec une FC proche de 100 bpm, équivaut, chez certaines personnes, à la réalisation d'une marche rapide ou d'un footing lent. De plus, même si nous n'avons pas eu les moyens de mesurer la fréquence ventilatoire, il est évident que celle-ci augmente avec la FC.

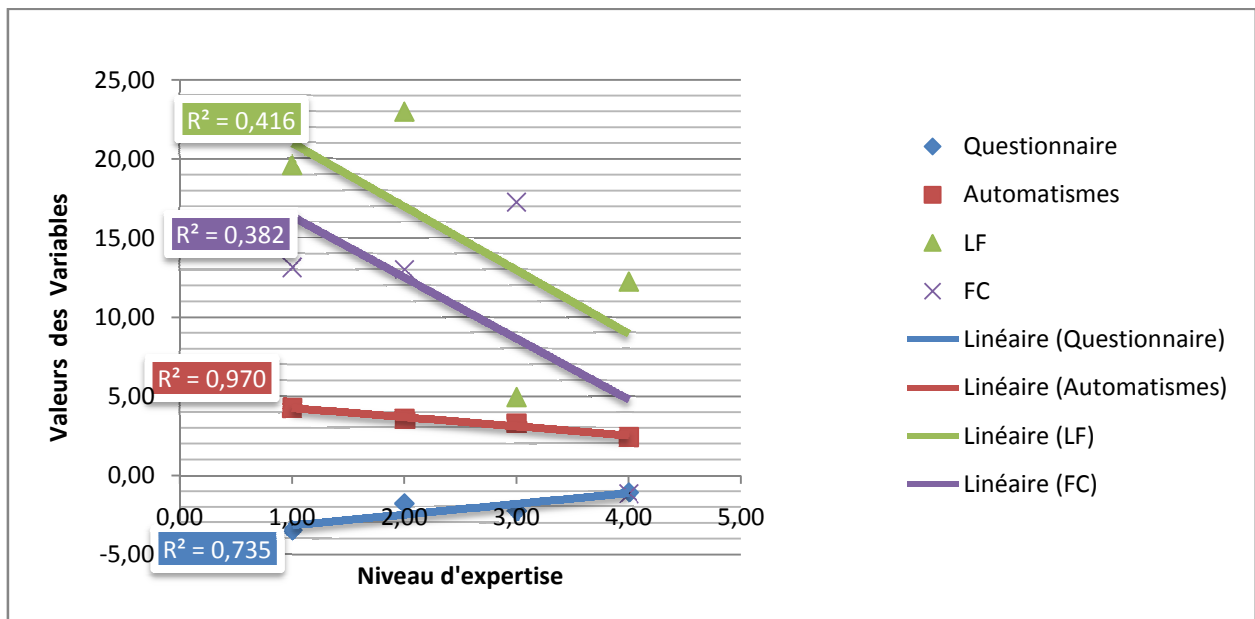
Outre les conséquences que cela peut avoir sur la décompression, en plongeant dans ces conditions, le plongeur n'a pas le total contrôle de son SN car une partie importante de celui-ci est occupée à gérer l'effort fourni, laissant plus de place à l'apparition des automatismes terriens.

Ainsi, si le plongeur est confronté à une situation « délicate » il n'est pas dans des conditions optimales pour y faire face et il est très probable que son SNA prenne le contrôle de sa réaction.

Un meilleur contrôle de la respiration devrait permettre d'abaisser ces valeurs.

14-4. PHASE DE SITUATIONS

GRAPHIQUE 13 – CORRELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES VARIABLES SELON LE NIVEAU D'EXPERTISE



Le graphique 13 nous montre la corrélation entre chacune des variables (Questionnaires, LF, FC et Automatismes) selon le niveau d'expertise lors de la phase *Situations*.

Dans cette phase la corrélation entre les différentes données est plus significative, et confirme la tendance générale constatée.

La FC ($R^2 = 0,382$) et la LF ($R^2 = 0,416$) sont le reflet des écarts existants entre les situations vécues en fonction du niveau d'expertise. Certaines situations ou exercices vont solliciter plutôt la FC et d'autres la LF ce qui rend difficile leur corrélation avec les autres variables.

De plus, la nature même des situations (exercice préparé et prévu ou situation réelle imprévue) ne va pas activer de la même manière le système sympathique.

D'autre part, en observant les valeurs des LF, il apparaît clairement que c'est dans la phase *Situations* qu'on retrouve la plus grande augmentation de LF. On peut donc supposer que ce pic de LF est le reflet d'une activation sympathique véhiculée par une situation perçue par notre SNA comme stressante (danger, surprise...).

Par ailleurs, dans cette même phase, l'analyse des réponses des questionnaires nous montrent que les plongeurs, quel que soit leur niveau d'expertise, perdent pour ainsi dire la conscience (et le contrôle) de leurs gestes et de leur respiration.

Il en va de même pour la présence d'automatismes terriens qui est largement dominante dans cette phase.

On doit distinguer deux types de situations, les situations réelles généralement imprévues et les situations simulées et généralement prévues.

Même si dans les deux cas on constate l'apparition des automatismes terriens, il n'est pas certain que la source soit la même.

Une situation prévue (apprentissage technique) est gérée de manière cognitive, le plongeur se concentre sur une ou plusieurs informations pour réaliser la tâche qu'on lui a inculquée.

Comme nous le savons, notre cerveau ne peut gérer qu'une seule activité cognitive à la fois. En focalisant son attention sur une information précise le plongeur provoque l'intervention du SNA qui se fait un devoir de gérer les autres informations mais pas forcément comme il serait souhaitable.

Ainsi lors d'une assistance, par exemple, si on se focalise sur la victime ou sur l'ordinateur de plongée, les jambes, la respiration, la tonicité musculaire, sont gérées de manière autonome et dépendantes donc du SNA.

Dans ce type de situations l'activation sympathique ou stress ne se sont pas forcément présents, sauf peut-être en cas d'évaluation. En absence d'activité sympathique (pas de danger), la FC ne varie que très peu.

Au contraire face à une situation réelle de danger, surtout s'il y a surprise, la réaction première est sous le total contrôle du SNA et voir même sous le contrôle de sa branche la plus « radicale », celle qui n'aime pas l'eau !

L'augmentation de la FC dans ce type de situations est plus que significative, il suffit d'avoir été une fois confronté à ce type de situations pour le savoir.

Cette augmentation est à notre avis la preuve de la grande différence qui existe entre ces deux types de situations et devrait nous servir comme exemple pour mieux préparer nos plongeurs à réagir face à des situations de ce type.

Les premières sont sous notre contrôle cognitif permanent, malgré l'intervention plus au moins marquée du SNA, tant que celui-ci n'identifie pas la situation comme dangereuse il se limite à contrôler les fonctions non gérés par notre cerveau cognitif, pendant que celui-ci est occupé ailleurs.

En cas de complication lors de l'exercice, (déséquilibre, effort...) le SNA prend petit à petit le contrôle de la situation, mais la cause principale de l'apparition des automatismes terriens reste la focalisation cognitive.

Le deuxième type de situations entraîne une réaction très différente, rappelons nous que, en cas de danger, notre amygdale reçoit les informations de danger et les traite avant même que notre cortex ne soit informé. Ce qui implique dans tous les cas de figure une réponse autonome et inconsciente.

Pour ainsi dire notre cerveau cognitif ne réalise vraiment ce qui est entrain de se passer qu'une fois l'action engagée. Dans certains cas de panique, le cerveau cognitif ne se met à gérer la situation qu'une fois en surface, quand la situation est finie.

On retrouve ce type de situations ailleurs qu'en plongée.

Cette réaction est à notre avis indépendante du niveau d'expertise des plongeurs car elle est inscrite dans notre patrimoine génétique depuis des milliers d'années, bien avant que l'homme ne s'amuse à passer sous l'eau.

Même si, bien évidemment, un plongeur expert, de par son adaptation à l'environnement a plus de chances de trouver des solutions face à une situation de danger, sa première réaction dépendra de la situation (surprise, contexte, dangerosité), des caractéristiques propres à l'individu (émotivité, gestion du stress) et de son niveau de conscience du moment, plutôt que de son niveau d'expertise.

Si cela n'était pas ainsi, il n'aurait certainement pas d'augmentation significative de la FC.

15. LIMITES DE L'ÉTUDE

La réalisation de cette étude s'est avérée plus complexe que prévu, le nombre de plongées ciblées étant trop important et le protocole très lourd pour être réalisé par un seul individu dans des conditions de plongée réelles et non standardisées.

Le faible pourcentage de fichiers exploitables ne nous a pas permis d'établir le recensement de situations de plongée et de population prévus au départ.

L'interprétation de données est basée sur des analyses descriptives. Elle mériterait d'être complétée par des analyses statistiques.

Nous sommes conscients de ce que, contrairement à une expérience scientifique menée dans un laboratoire dans des conditions parfaitement standardisées, certaines des données enregistrées ou recueillies pour cette étude, doivent être manipulées avec précaution, et seraient potentiellement sujettes à vérification, dans un contexte plus standardisé, avec une population sans doute plus homogène, et avec des moyens matériels hors de notre portée.

Nous pensons que l'opérationnalisation de cette étude peut présenter des difficultés significatives car :

- Le matériel pour l'enregistrement cardio n'est pas adapté à la plongée et n'est donc peut-être pas fiable à 100%.
- ✓ L'analyse des valeurs de VFC à été faite sans appliquer de filtre particulier.
- ✓ Chaque phase de plongée étant d'une durée différente, la sélection des données de la VFC n'a pas pu être effectuée de façon homogène (même moment de la plongée pour chaque individu).
- ✓ Dans certains cas, le protocole n'a pas pu être respecté, (manque de temps et disponibilité des plongeurs, problèmes matériels, conditions de plongée...).
- ✓ Les Questionnaires sur la Prise de Conscience n'ont pas toujours été rempli après la plongée, mais parfois quelque temps après. Certaines des réponses ont pu être influencées par la connaissance du but de l'étude ou par le débriefing du moniteur, ou que certains sujets ont pu manquer du recul nécessaire pour analyser leur plongée (pas d'image de référence).
- ✓ La distribution des groupes en fonction du nombre de plongées, même si elle reste à notre avis pertinente, ne tient pas compte du niveau de plongée réel (conditions dans lesquelles elles ont été réalisées, lieux, profondeur, autonomie..).
- ✓ Le score attribué aux plongées pour noter la présence des automatismes terriens, ne repose que sur l'analyse personnelle de l'expérimentateur et peuvent manquer d'objectivité.
- ✓ Les types de plongée, la manière de s'immerger, les situations, n'ont pas été toujours homogènes et la pertinence des comparaisons reste sujette à débat.
- ✓ Les questionnaires et la notation accordée à la présence d'automatismes terriens n'ont pas été validés scientifiquement par aucune expérience ou étude antérieure.

Malgré cela nous pensons sincèrement que les données analysées et leur interprétation ne sont pas dénuées de toute fiabilité, et qu'elles reflètent bien la réalité du terrain car :

- ✓ Les résultats obtenus correspondent à l'observation faite sur le terrain.
- ✓ On retrouve des correspondances assez représentatives entre les différentes variables.

- ✓ Les valeurs de VFC ont été sélectionnées sur les mêmes phases de plongée en prenant à chaque fois le moment le plus représentatif pour chaque phase ce qui permet de garder la cohérence des enregistrements.
- ✓ Le fait que les questionnaires aient été remplis longtemps après la plongée nous a permis de vérifier que, avec le recul et l'expérience, les plongeurs avaient un regard plus précis sur leur état de conscience réel.
- ✓ L'analyse et notation des automatismes terriens ont été réalisées avec l'appui de la vidéo.
- ✓ Même si les situations n'ont pas été standardisées elles ont eu la même répercussion sur l'augmentation de la VFC.

Il serait sans doute intéressant de mener d'autres études sur la VFC en plongée, pour confirmer et avoir une analyse plus fine de toutes les données cardiaques non traitées dans cette étude.

Une étude prolongeant la première, pourrait être utilement envisagée, sur la mesure de l'évolution de la VFC :

- ✓ Dans des situations identiques et avec une population homogène (âge et niveau) et dans des conditions de plongée proches (température, état de la mer et profondeur) avec des variantes possibles.
 - En faisant varier les situations et en gardant le même public et conditions.
 - En variant le public avec variation des mêmes situations et conditions.
 - En variant les conditions en gardant les mêmes situations et le même public.
- ✓ Dans une étude comparative sur plusieurs groupes de plongeurs :
 - ✓ 3 groupes avec des plongeurs du même âge et des niveaux différents confrontés à la même situation dans des conditions de plongée identiques ;
 - ✓ 3 groupes avec des plongeurs de même niveau et d'âge différent confrontés à la même situation dans des conditions de plongée identiques.

16. PROPOSITIONS ET PERSPECTIVES D'APPLICATION

Comme nous avons pu le constater tout au long de cette étude, la plongée entraîne des variations des variables cardiaques et ceci quelque soit le niveau d'expertise.

L'activité sympathique est à priori bien présente lors de nos plongées et son action doit être prise en compte dès lors qu'elle a un effet important sur la prise de conscience, représentant ainsi un facteur de risque non négligeable.

Les effets d'une hyperactivité sympathique peuvent favoriser les accidents de décompression et provoquer des comportements ou réactions inadaptées et donc dangereuses.

Apprendre à repérer cette hyperactivité, et surtout à en limiter ses effets, doit faire partie intégrante des formations.

Nous proposons ici quelques pistes de réflexion, visant à introduire et démocratiser l'utilisation de la mesure de la VFC et de la vidéo dans la plongée.

16-1. L'UTILISATION DES DONNÉES CARDIAQUES EN PLONGÉE

16-1-1 AMÉLIORER LES MODÈLES DE DÉCOMPRESSION GRÂCE À LA VFC.

Il est communément accepté que le stress chronique, la fatigue ou le surmenage, jouent un rôle important dans la survenue des accidents de décompression, même si leur rôle exact reste encore méconnu et impossible à quantifier.

La prise en compte de la VFC dans le calcul de la décompression pourrait ouvrir des nouvelles voies d'exploration pour améliorer les modèles de décompression actuels.

La VFC est de plus en plus utilisée dans le monde du sport pour repérer les signes du surentraînement, et des nombreux travaux s'orientent sur cette voie pour améliorer la prise en charge de l'entraînement sportif.

Des ordinateurs « nouvelle génération » comme le Galileo commencent à prendre en compte la fréquence cardiaque durant la plongée dans leur calcul de la décompression.

C'est déjà un premier pas, cependant la prise en compte de ces informations ne commence qu'une fois dans l'eau, écartant ainsi la phase d'équipement qui comme nous l'avons vu précédemment est celle qui entraîne la plus grande augmentation de la FC.

Concernant la prise en compte de la VFC pour le calcul de la décompression, à notre connaissance, aucun ordinateur de plongée ne l'intègre encore dans ses calculs.

Plusieurs pistes sont envisageables pour améliorer les ordinateurs de plongée :

- ✓ Commencer à enregistrer la FC avant la plongée et prendre ainsi en compte les efforts réalisés pendant l'équipement dans le calcul de la décompression.
- ✓ Intégrer la VFC dans le calcul de la décompression comme mesure de l'indice de stress des plongeurs.

Bien évidemment, avant d'intégrer ces paramètres dans nos modèles de décompression il est nécessaire d'approfondir nos connaissances dans ce domaine.

Il serait peut-être utile de continuer dans la logique de cette étude, et d'effectuer des nouvelles recherches sur la VFC et la plongée, sur différents thèmes comme :

- Corrélation entre la VFC et la fabrication de bulles asymptomatiques chez le plongeur.
- Modifications physiologiques provoquées par l'activation du système sympathique en plongée et leur implication dans la décompression.
- Liens existants entre la respiration subaquatique et la VFC.
- Effets de l'augmentation de la pression sur la VFC.

16-1-2 LE BIOFEEDBACK ET L’AFFICHAGE DES ORDINATEURS DE PLONGÉE

La **rétroaction biologique** ou « *biofeedback*¹⁰ » fait référence à l’ensemble de techniques principalement relatives à la bioélectricité pour la mesure de fonctions organiques, basées sur la visualisation, avec des appareils électriques, des signaux physiologiques d'un sujet conscient de ces mesures.

Plus précisément, il y a *biofeedback* lorsque le sujet en question peut contrôler les fonctions organiques mesurées, soit volontairement (par exemple, d'après les résultats et pour corriger un stress) ou involontairement (par exemple, après un changement d'état psychologique tel que la survenue d'un stress).

Déjà utilisé dans le milieu médical et sportif, le biofeedback est un moyen simple et très efficace pour apprendre à contrôler ses émotions. Certaines montres permettent, par exemple, de mesurer l'état de stress en donnant un indice de relaxation.

Nous avons là des nouvelles pistes à explorer pour améliorer nos ordinateurs de plongée et particulièrement les informations que ceux-ci délivrent aux plongeurs.

En plongée, les informations affichées par les ordinateurs se limitent aux paramètres de la plongée et de la décompression ; certains ordinateurs émettent un signal d'alarme lors du dépassement de la vitesse de remontée, la majorité des ordinateurs affichent des informations visuelles dans le but de renseigner le plongeur sur l'évolution des paramètres de plongée.

Les plongeurs apprennent à utiliser ces informations pendant les formations pour mieux gérer leur vitesse de remontée, le temps de plongée, leur consommation...

Actuellement, seul l'ordinateur de plongée Galileo, propose l'affichage du rythme cardiaque à l'écran. Il peut donc être utilisé par le plongeur comme moyen de biofeedback en surface et en plongée.

On pourrait par exemple, intégrer dans nos formations l'apprentissage du biofeedback cardiaque (et aussi ventilatoire) en utilisant les informations qu'on retrouve déjà sur les montres cardio.

On peut l'introduire dans la formation des plongeurs sous forme de compétences comme par exemple :

- ✓ Apprendre à contrôler et interpréter ses paramètres cardiaques au cours d'une plongée.
- ✓ Apprendre à calculer les limites cardiaques dans des conditions de plongée.
- ✓ Apprendre à utiliser le biofeedback pour diminuer le rythme cardiaque et le stress avant et pendant la plongée.
- ✓ Apprendre les techniques de base de respiration et relaxation et les utiliser en plongée.

Exemple de séance avec un ordinateur donnant des informations sur la FC et/ou sur l'indice de relaxation :

Objectif : Maintenir la FC et/ou l'indice de relaxation à un niveau donnée (établi selon les caractéristiques du plongeur) pendant toutes les phases de la plongée.

10 Richard H. Cox – Psychologie du sport – De Boeck Université 2005 (p 206-208)

Pre-Requis :

- ✓ Savoir lire les informations cardiaques sur son instrument.
- ✓ Connaître ses valeurs cardiaques « normales et limites » en plongée (repos, équipement, surface et fond).
- ✓ Savoir utiliser des techniques simples de respiration et de relâchement pour diminuer le rythme cardiaque et les tensions musculaires.

Exercice : (Dans une situation de plongée adaptée au niveau du plongeur)

Le plongeur doit contrôler et noter l'information cardiaque de son ordinateur à des moments clés de la plongée et faire en sorte de rester en dessous de la valeur limite imposée par le moniteur sans que cela perturbe le déroulement de la plongée.

Après la plongée il doit être capable d'avoir un retour sur l'évolution de ses informations cardiaques à des moments clés de la plongée.

Si les conditions le permettent il peut procéder à sa propre auto-évaluation en consultant son profil sur un PC.

Critères :

Le plongeur doit consulter ses instruments à des moments bien précis de la plongée (établis à l'avance) ou s'il constate qu'il est en train de réaliser un effort.

La consultation ne doit pas accaparer son attention plus de 2 ou 3 secondes.

Si les valeurs dépassent la limite imposée par le moniteur, le plongeur doit le signaler au reste de la palanquée et mettre en place une stratégie dans le but de ramener la valeur au dessous de la limite imposée avant de continuer la plongée.

Le retour après la plongée doit montrer qu'il a été capable de détecter les moments ou situations de plongée qui ont entraîné une augmentation des valeurs.

Le biofeedback peut-être complété en comparant le ressenti du plongeur pendant la plongée (respiration et rythme cardiaque) avec les données de l'ordinateur grâce à l'interface PC.

Les plongeurs apprendraient à contrôler leur FC ou indice de stress systématiquement avant et pendant la plongée. Une plus grande implication dans le contrôle de leur état physique et émotionnel ne peut qu'améliorer leur prise de conscience et leur capacité d'apprentissage.¹¹

16-2. LA VFC DANS LA FORMATION DE CADRES

Comme on a pu constater lors de l'analyse et interprétation de données, les plongeurs expérimentés ne sont pas « exonérés » de l'action du système sympathique.

¹¹ Des recherches dans l'imagerie mentale montrent qu'une forte participation cognitive est bénéfique pour l'apprentissage moteur (Adams, 1971 ; Denis Chevalier et Eloi, 1989 ; Schmidt, 1975).

Pouvoir prendre en charge un plongeur débutant, enseigner dans l'espace lointain, assumer la responsabilité d'un groupe de plongeurs dans des conditions difficiles..., demande des grandes capacités de prise de conscience et de contrôle émotionnel.

Les guides et moniteurs de plongée sont souvent confrontés à des situations « stressantes » qui mettent à rude épreuve leur système émotionnel.

Même si une grande expérience en plongée limite l'action du système sympathique dans des conditions de plongée normales, on a pu constater que la VFC augmente de manière considérable lorsque les guides sont confrontés à des situations représentant un danger pour les membres de leur palanquée.

Ainsi un guide ou moniteur de plongée a plus de chances de se retrouver confronté à des situations potentiellement dangereuses qu'un plongeur débutant ou autonome.

Et pourtant, il n'existe à l'heure actuelle aucune formation visant à améliorer les compétences des guides à gérer ce type de situations. Une fois encore le domaine abordé lors des formations reste généralement technique et pédagogique.

Les moniteurs pourraient doublement utiliser le biofeedback, d'une part pour contrôler leur état mais aussi pour contrôler celui de leurs élèves.

D'autre part, pour introduire ce type de techniques dans les formations de plongeurs, il faudra avant sensibiliser et former nos moniteurs.

Enfin, le biofeedback pourrait être utilisé dans la formation de moniteurs comme moyen pour apprendre à mieux gérer le stress au tableau, source non négligeable d'échec à l'examen.

16-3. L'UTILISATION DE LA VIDEO EN PLONGÉE

L'utilisation de l'analyse vidéo est de plus en plus répandue dans l'entraînement sportif, elle permet l'analyse fine d'un geste technique, d'un mouvement, d'une stratégie de jeu ou encore d'un comportement.

Elle est aussi utilisée pour améliorer la conscience corporelle des joueurs¹², et permet ainsi de réduire les écarts existants entre la représentation que le joueur a de lui et l'image réelle.

En plongée, la vidéo est essentiellement utilisée pour filmer la faune et la flore et amener à la maison des souvenirs de vacances.

L'utilisation dans les formations est à notre connaissance quasi inexistante, les organismes formateurs ne développent pas ce type de moyen pédagogique.

Il est certain que l'aspect économique reste un des principaux freins au développement de l'utilisation de la vidéo dans les écoles de plongée.

D'autre part, filmer sous l'eau restait jusqu'à maintenant relativement technique (spécificité du milieu et l'adaptation du matériel)

¹² Simonnet Pierre - *Feed-back par vidéo et apprentissage des habiletés motrices.* - Culture technique N°13 - 1985 pp. 221-225

Cependant les tarifs ont considérablement diminué et la qualité et la facilité d'utilisation des caméscopes ont énormément augmenté. Plus besoin donc d'avoir des connaissances poussées pour réaliser des films de bonne qualité sous l'eau, même dans des conditions de visibilité réduite.

Exemples d'utilisation de la vidéo dans la formation des plongeurs :

Améliorer l'apprentissage d'un geste technique ou corriger un défaut

1. Définir un protocole précis qui intègre :
 - a. Le nombre de répétitions prévues par geste et par angle de vue.
 - b. La position de la camera : distance, fixe ou mobile (un trépied est utilisable même en mer).
 - c. Les angles de vues (face, profil, dos...).
 - d. La position et déplacements de l'élève filmé.
 - e. La durée de chaque plan ou séquence (prévoir des durées courtes quelques secondes suffisent et rendent l'analyse plus facile).
2. Filmer l'élève pendant la réalisation du geste à terre en suivant le même protocole (permet de le tester et de comparer).
3. Filmer l'élève sous l'eau.
4. Visionner la vidéo et demander à l'élève de s'auto-analyser selon des critères précis.
5. Refaire l'analyse avec lui en mettant l'accent sur les points essentiels en donnant des objectifs pour la séance suivante.
6. Si possible il est intéressant de montrer une vidéo du geste bien réalisé (moniteur qui fait la démonstration par exemple) pour faciliter la représentation de l'élève.

L'analyse vidéo en groupe doit être utilisée avec précaution (mauvaise acceptation des critiques devant le groupe). Il est préférable de faire l'analyse de manière individuelle dans un premier temps, puis si l'acceptation des élèves est bonne la faire par la suite en groupe.

Améliorer la prise de conscience

Après avoir défini le protocole,

1. Demander à l'élève de réaliser une plongée (sans forcément avoir un rôle précis) en s'efforçant d'enregistrer un certain nombre d'informations définies à l'avance (respiration, position par rapport aux autres, vitesse de déplacement, profil de la plongée...).
2. Le filmer en permanence, à partir de la phase d'équipement, en prenant soin d'avoir une vue d'ensemble du plongeur et de son environnement proche pour permettre l'analyse de son comportement mais aussi de son interaction avec les autres membres de la planquée.
3. Après la plongée, demander au plongeur de s'isoler et de se refaire la plongée dans sa tête.
4. Demander au plongeur de raconter la plongée (ou mettre par écrit) et donner les informations dont il se souvient.
5. Visionner la vidéo et demander à l'élève de s'auto-analyser selon des critères précis.
6. Refaire l'analyse avec lui en mettant l'accent sur l'écart existant entre son retour personnel et la réalité en donnant des objectifs pour la séance suivante.
7. Si possible il est aussi intéressant de montrer une vidéo d'un autre plongeur dans des conditions d'évolution proches et demander aux élèves de faire l'analyse.

Le retour vidéo sera encore plus efficace si la visualisation a lieu quelques secondes après la réalisation du geste ou situation. En plongée il est possible de montrer la vidéo directement sur le caméscope (nécessite un caisson permettant d'utiliser la fonction du caméscope). Après la plongée, pourra avoir lieu une analyse plus détaillée.

Il existe des logiciels spécifiques pour l'analyse du geste sportif, qui permettent d'améliorer l'analyse vidéo grâce à des outils comme le ralenti, le chronomètre, la loupe, les dessins (flèches, cercles pour marquer une zone précise d'observation...).

Deux des logiciels les plus connus sont Dartfish (Assez cher, mais disponible à l'essai pendant une période de 30 jours) et Kinovea (gratuit en version complète) avec des fonctions en moins mais largement suffisant pour l'analyse des plongées.

16-4. LA VIDÉO DANS LA FORMATION DE CADRES

Comme pour le biofeedback, la vidéo pourrait être utilisée dans la formation de moniteurs comme moyen pour apprendre à analyser ses prestations au tableau.

On peut d'une part travailler sur la prise de conscience en demandant l'autoanalyse de son comportement, de ses gestes, du ton de sa voix...de son discours, de sa position au tableau...

On peut aussi l'utiliser comme moyen d'autoanalyse pédagogique de sa propre séance avant d'avoir le retour des formateurs.

Exemple d'utilisation de la vidéo dans la formation de cadres (premier ou deuxième degré)

Avant de commencer l'enregistrement vérifier l'emplacement de la caméra pour éviter les reflets du tableau, pouvoir garder le sujet en permanence dans le champ de vue, permettre la lecture du tableau à la vidéo et l'écoute sans distorsion du son...

Il est intéressant de faire en sorte que le sujet ne sache pas qu'il est filmé pour avoir un comportement naturel. Toutefois si cela n'est pas possible il faut faire en sorte que la caméra ne soit pas trop visible afin que le sujet oublie sa présence.

- ✓ Filmer toute la séance sans faire de commentaires.
- ✓ Demander aux élèves observateurs de jouer le rôle de jury et noter leurs commentaires et notes d'évaluation sur une feuille.
- ✓ Demander au sujet de faire l'autoanalyse objective de sa séance.
- ✓ Visionner la vidéo et lui demander de faire l'analyse interactive avec les autres élèves.
- ✓ Marquer des pauses à chaque étape (importante) de l'analyse pour soulever des questions ou apporter des corrections et en donnant des objectifs pour les séances suivantes.
- ✓ Si possible il est aussi intéressant de montrer une vidéo d'un autre sujet présentant la même séance aux élèves et d'en faire l'analyse.

Bien évidemment ceci prend plus de temps qu'une séance normale, mais le gain pédagogique compense largement le temps employé. De plus, il n'est pas nécessaire de le répéter à chaque séance, une fois par stagiaire pourrait suffire. Le reste du temps, on peut se limiter à filmer la séance et la discussion, puis donner la vidéo à l'élève s'il souhaite l'analyser plus tard.

Comme pour la formation de plongeurs, la vidéo peut-être utilisée pour filmer les séances pédagogiques dans l'eau et les démonstrations des élèves moniteurs pour leur analyse a posteriori.

Pour finir, la vidéo se présente comme l'un des moyens les plus efficaces qui existent pour développer la remise en question des moniteurs. Je conseille vivement à tous ceux qui souhaitent se remettre en question et évoluer pédagogiquement de se faire filmer et d'analyser objectivement leurs prestations...

17. CONCLUSION

De plus en plus d'articles, de plus en plus de discussions sur le stress, sur les techniques de relaxation, sur l'apprentissage des sensations... c'est encourageant !

Mais quid de la réalité du terrain, où voit-on des plongeurs issus de nos formations se concentrer avant la plongée, tester leur respiration, en prendre conscience... ? Où voit-on des moniteurs l'enseigner ?

Pourquoi ne pas l'intégrer dans la formation de nos moniteurs, pourquoi ne pas leur apprendre à construire des séances intégrant ces techniques ?

Pourquoi continuons-nous à évaluer nos plongeurs et nos moniteurs, uniquement sur des séances techniques, des exercices, sur des contenus théoriques ?

Pourquoi n'apparaît-il jamais dans nos critères le contrôle de la respiration ou de l'équilibre comme critère préalable à toute réaction. Ou la conscience de la situation, de l'environnement, la gestion de l'avant plongée... ?

On évalue essentiellement sur le résultat, sur une situation figée qui induit des formations stéréotypées et souvent en désaccord avec les compétences.

Seuls certains moniteurs inscrits dans une démarche personnelle, pratiquent et intègrent dans ses formations cette approche ; mais cela reste assez marginal, et la pratique sort souvent du cadre de la plongée.

Tant que nos moniteurs ne seront pas formés et évalués sur des séances intégrant une approche plus globale, tant qu'on n'aura pas créé des compétences spécifiques, des référentiels de formation théorique et pratique, nous continuerons à véhiculer l'image d'une plongée trop technique qui a du mal à s'adapter aux temps modernes, qui résiste à se débarrasser de cette image élitiste.

La prise en compte et l'intégration de l'utilisation des nouvelles technologies comme celles présentées dans cette étude pourrait permettre d'insuffler un renouveau dans la formation des plongeurs en France.

Il appartient aux différents organismes formateurs de favoriser leur développement et utilisation.

Le plus difficile, ce n'est pas de sortir de Polytechnique, c'est de sortir de l'ordinaire.

Charles de Gaulle

18. BIBLIOGRAPHIE

Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, et col.

Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control.

Science 1981(p; 213-220).

Bonnet, A. (2003). *Régulation émotionnelle et conduites à risque. Thèse de doctorat en Lettres et Sciences Humaines (mention Psychologie). Université de Provence, Aix-en-Provence*

Broussole B

Physiologie et médecine de la plongée. (p155-166)

Paris : Ellipses, 1992.

Buchheit Martin

Utilisation de la variabilité de la fréquence cardiaque chez le sportif

Cardio&Sport • n°7

Cerutti C, Gustin MP, Paultre CZ, Lo M, Julien C, Vincent M, Sassard J.

Autonomic nervous system and cardiovascular variability in rat : a spectral analysis approach.

Am J Physiol 1991; 261 (4): H 1292-1299.

Cottin F

Effet de l'exercice sur le contrôle cardiovasculaire: interactions entre le système nerveux autonome et le mode ventilatoire.

Thèse Paris-Sud, 1999

Dore F., Mercier P.

Les fondements de l'apprentissage et de la cognition. Presse Universitaire de Lille, Ed. Gaétan Morin. (1992)

Delignières, D.

Risque perçu et apprentissage moteur. In J.P. Famose, P. Fleurance & Y. Touchard, Apprentissage moteur: rôle des représentations (p 157-171). Paris: EPS. (1991).

Francis Crick and Christof Koch¹

Consciousness and Neuroscience

The Salk Institute and 1Computation and Neural Systems

Program, California Institute of Technology, USA

Gauthier G.,

L'apprentissage du contrôle du mouvement par bouclage rétroactif biologique : application au geste du rameur
in RiOUX G. et THILL E., *Déterminants psychologiques de la performance*, Vrin, 1980, (p. 83-106).

Hood WB Jr, Murray RH, Urschel CW, et al.

Circulatory effects of water immersion upon human subjects. Aerospace

Medicine 1968;39:579-84.

Jacobson E

Biologie des émotions. Les bases théoriques de la relaxation.

ESF. (1974)

J D Schipke et M Pelzer (Effect of immersion, submersion, and scuba diving on heart rate variability, *Br J Sports Med* 35: 174, 2001.)

Jones, J.G. & Hardy, L. (1989).

Stress and cognitive functioning in sport.

Journal of Sport Science, 7, (p.41-63).

LemaîtreF, BuchheitMm,Jjoulia F, Fontanari p, Tourny Chollet

C. Static apnea effect on heart rate and its variability in elite breathhold divers.

Aviat Space Environ Med 2008; 79:99 – 104

Moore TO, Lin YC, Lally DA, et al.

Effects of temperature ,immersion, and ambient pressure on human apneic bradycardia.

J Appl Physiol 1972;33:36–41.

Niskanen J-P, Tarvainen M-P, Ranta-aho P-O, Karjalainen P-A.
Software for advanced HRV analysis.
Computer Methods and Programs in Biomedicine 2004; 76: 73-81.

Oda S, Matsumoto T, Nakagawa K, Moriya KEur
Relaxation effects in humans of underwater exercise of moderate intensity.
J Appl Physiol Occup Physiol 1999; 80:253-9.

Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, et col.
Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog.
Circ Res 1986; 59(2): 178-193.

Paul M. Lehrer, Evgeny Vaschillo, Bronya Vaschill.
Resonant Frequency Biofeedback Training to Increase Cardiac Variability: Rationale and for Training.
Applied Psychophysiology and Biofeedback. September 2000. Vol.25, N3, p.177-191.

Paultre Ligondé
Se contrôler par le biofeedback
Éditions de l'Homme – 1982

Persson P B.
Spectrum analysis of cardiovascular times series.
Am J Physiol 1997; 273: R1201-R1210.

Pomeranz B, Mac Aulay RJB, Caudill MA, et col.
Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis.
Am J Physiol 1985; 248 (1): H 151-153.

Radespiel-Tröger Martin, Robert Rauh, Christine Mahlke, Tim Gottschalk, Michael Mück-Weymann. Agreement of two different methods for measurement of heart rate variability.
Clin Auton Res 2003 ; 13 : 99–102.

Richard H . Cox–
Psychologie du sport –
De Boeck Université 2005 (p 206-208)

Servant D. , J.C. Lebeau , Y. Mouster, M. Hautekeete, R. Logier, M. Goudemand
La variabilité cardiaque : Un bon indicateur de la régulation des émotions
Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive
Volume 18, numéro 2- p 45-48 (juin 2008)

Simonnet Pierre
Feed-back par vidéo et apprentissage des habiletés motrices.
Culture technique N°13 - 1985 pp. 221-225

Souza Neto E P, Neidecker J, Lehot J J.
Comprendre la variabilité de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque.
Anales françaises d'anesthésie et de réanimation 2003 ; 22 :425-452.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability.
Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use.
Circulation 1996; 93 (5): 1043-1065.

Van Ravenswaaij-Arts CM, Kollee LA, Hopman JC, Stoelinga GB, van Geijn HP.
Heart rate variability. *Annals of internal medicine* 1993; 118 (6): 436-447.

Yamaguchi H, Tanaka H, Obara S, Tanabe S, Utsuyama N, Takahashi A, Nakahira J, Yamamoto Y, Jiang ZL, He J
Changes in cardiac rhythm in man during underwater submersion and swimming studied by ECG telemetry.
Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1993; 66:43-8.

19. ANNEXES

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU PROTOCOLE

AVANT L'EMBARQUEMENT SUR LE BATEAU

- Vérification de la charge des batteries du caméscope, des cardio-fréquencemètres et des ordinateurs de plongée;
- Vérification de l'espace disponible des cassettes ou carte mémoire du caméscope ;
- Vérification et synchronisation de l'heure entre les cardio-fréquencemètres, le caméscope et la montre de contrôle ;
- Préparation de la plaquette immergeable et contrôle de la mine du crayon ;
- Placement du caméscope dans caisson étanche et contrôle exhaustif du joint (graissage si nécessaire) et mise en place du système antibuée ;
- Préparation du caisson étanche pour la montre cardio ;
- Prise de contact avec les plongeurs « cobayes » et explication du déroulement de l'expérience ;
- Mise en place du cardio-fréquencemètre, début de l'enregistrement et du chrono sur montre contrôle ; L'heure du début de l'enregistrement est notée sur une plaquette immergeable ainsi que le nom et Numéro de cardio de chaque plongeur ;
- Installation du capteur de pression du Galileo sur le détendeur des plongeurs.

PENDANT LA PLONGÉE

- Début de l'enregistrement vidéo au moment de l'équipement ;
- Notation sur la plaquette de l'heure du début d'équipement, de la mise à l'eau, de l'immersion et de l'arrivée au fond ;
- Suivi vidéo durant la plongée et notation de l'heure en cas de situations particulières (exercices, problèmes..) et à l'arrivée en surface.

APRÈS LA PLONGÉE

- Les plongeurs gardent le cardio pendant 15 à 30 minutes (jusqu'à l'arrivée au club de plongée) ;
- Récupération, rinçage et rangement du matériel ;
- Récupération de la vidéo et des données cardio sur l'ordinateur ;
- Les plongeurs remplissent la première partie du questionnaire ;
- Visualisation de la vidéo et retour commenté ;
- Remplissage deuxième partie du questionnaire ;
- Analyse vidéo, repérage des points clés et notation des automatismes terriens ;
- Enregistrement des données des questionnaires, de l'analyse vidéo, des informations sur la plongée et les sujets dans la base de données ;
- Analyse de fichiers cardio et enregistrements des données dans la base de données.

DETAILS SUR LE MATERIEL UTILISÉ

ENREGISTREMENT DE LA VFC

Pour enregistrer la VFC dans des conditions réelles de plongée, il n'existe à l'heure actuelle, à notre connaissance, aucun moyen non invasif, fiable et fonctionnant à 100% sous l'eau à des profondeurs importantes.

Le seul matériel qui pouvait s'adapter à notre étude était :

- ✓ **Les montres** « cardio » capables d'enregistrer la mesure R-R et équipées d'une ceinture émettant à une fréquence suffisante pour que la communication avec la montre soit possible dans l'eau.

- ✓ **Les ceintures** « cardio » capables d'enregistrer de manière autonome (sans montre) l'activité cardiaque.

Nous avons utilisé dans un premier temps la montre Polar S810 équipée d'une ceinture cardio T60 étanche et capable d'émettre aux 5 Ghz de fréquence nécessaire pour assurer la bonne communication entre la montre et la ceinture sous l'eau..

Cependant la montre n'étant pas étanche, nous devions l'introduire avant chaque plongée dans un caisson étanche, ce qui rendait la communication avec la montre plus difficile mais aussi compliquait énormément le protocole en ajoutant des manipulations supplémentaires et obligeant à trouver à chaque plongée un emplacement dans l'équipement du plongeur pour placer le boîtier étanche sans perdre le signal.

Plus tard nous avons utilisé 5 ceintures cardio (gracieusement offertes par Suunto) Suunto Memory Belt capables d'enregistrer de manière autonome la VFC.

Malheureusement celles-ci ne sont étanches qu'à 2m de profondeur. Nous avons quand même pu réaliser de nombreux enregistrements et ceci sur des plongées allant jusqu'à 40 mètres, avant qu'elles ne commencent à donner des signes de dysfonctionnement.

Pour finir nous avons eu l'occasion, à la fin de notre étude, de tester les nouveaux ordinateurs (gracieusement prêtés par Scubapro) Galileo équipés d'une ceinture cardio et capables d'enregistrer la fréquence cardiaque durant la plongée et de la prendre en compte dans le calcul de la décompression.

Malheureusement ceux-ci n'intègrent pas l'enregistrement de la mesure R-R et se limitent à mesurer la fréquence cardiaque seulement dans l'eau.

Malgré tout nous avons réussi à capter le signal de la ceinture cardio du Galileo avec la montre PolarS810 et enregistrer la VFC tout en ayant les informations cardiaques, les données sur la ventilation et les conditions de plongée sur l'ordinateur de plongée Galileo. Ce qui permettait un traitement plus rapide, complet et efficace des données.

De manière générale, nous avons constaté, à notre grand regret, que de nombreux enregistrements s'arrêtaient au moment où le sujet allait dans l'eau, parfois les ceintures cardio continuaient à fonctionner mais les enregistrements étaient inexploitable.

Très souvent ceci arrivait sur des sujets relativement mouvementés et stressés dans l'eau. Il serait logique de croire que les mouvements aient provoqué le déplacement de la ceinture mais dans la majorité des cas l'enregistrement reprenaient dès la sortie de l'eau...

Il est possible que la couche d'eau vienne se placer entre les capteurs de la ceinture et la peau perturbant ainsi l'enregistrement, mais il serait aussi envisageable de penser que l'hyperactivité cardiaque puisse favoriser le décrochage de l'enregistrement.

RÉCUPÉRATION ET ANALYSE DE LA VFC

Tous les enregistrements réalisés ont été transférés sur un PC équipé de Windows XP (problèmes de compatibilité des pilotes USB avec Vista, Windows 7 et pas de pilotes pour Mac) pour la montre Polar et la ceinture Suunto.

Les données de la montre Polar furent récupérées avec le logiciel Polar Precision Performance puis exportées en format txt pour leur analyse postérieure avec le logiciel HRV Analysis

Les données de la ceinture Suunto Memory Belt furent récupérées avec le logiciel Suunto training Manager puis exportées en fichier csv sur lequel il fallait chercher et copier les informations relatives à la VFC et les coller sur un fichier texte pour leur analyse postérieure avec le logiciel HRV Analysis.

Plus tard nous utiliserons le logiciel Kubios HRV capable de lire directement les fichiers HRM (Polar) et les fichiers SDF (Suunto) pour l'analyse de la VFC.

Ce logiciel permet aussi d'afficher directement l'heure dans « la fenêtre temps » permettant ainsi une analyse plus rapide que le logiciel HRV Analysis (affichage en secondes).

ENREGISTREMENT DES PLONGÉES

Pour filmer les plongeurs nous avons utilisé trois modèles différents :

Un appareil photo Canon PowerShot A85 et son caisson.... Capable de réaliser des films d'une durée de 30 secondes. Ce qui était loin d'être suffisant pour les besoins de l'étude. D'autre part, pour avoir une vue d'ensemble des plongeurs sans grand angle, il faut se placer assez loin et nécessite des très bonnes conditions de visibilité

Un caméscope Sony DV et un Caisson Ikelite équipé d'un grand angle (prêté gracieusement pendant un mois par la section plongée de STAPS de Toulouse). Le caisson, bien que très encombrant, est étanche jusqu'à 60 mètres.

Cependant la visualisation des images pendant l'enregistrement se fait au travers d'un miroir, ce qui complique le suivi des plongeurs sous l'eau et demande un temps d'adaptation important au cameraman. D'autre part l'autofocus est loin d'être performant et rend souvent une image floue gâchant ainsi de nombreux enregistrements.

D'autre part le grand volume du caisson Ikelite favorise l'apparition de buée à l'intérieur du caisson lors des changements de température et ceci malgré le placement à l'intérieur des sachets de silicagel. Ainsi la quasi-totalité des vidéos réalisées dans la zone de 40m (soumise à des variations de température importantes) ont été gâchées par la buée...

Pour finir toute la dernière partie de l'étude a été réalisée avec un caméscope Sanyo Xacty HD2000 avec une carte SD de 16 Go et équipé d'un caisson Époque et d'un grand Angle.

L'ensemble est très maniable, et s'adapte parfaitement aux besoins de l'étude car le caisson permet d'accéder à toutes les fonctions du caméscope et les vidéos sont de très bonne qualité même dans des conditions de faible visibilité.

Seul bémol... le système d'étanchéité n'est pas très fiable et la moindre particule présente sur le joint torique peut provoquer une entrée d'eau... ce qui est arrivé à plusieurs reprises et a provoqué la perte de deux caméscopes et l'arrêt de l'étude.

ANALYSE DES VIDÉOS

L'importation, le traitement et l'analyse des vidéos des plongées demandent l'utilisation d'un ordinateur relativement puissant, même si l'enregistrement des plongées ne nécessite pas un enregistrement en full HD, la taille des fichiers est conséquente et leur importation et traitement sollicitent des ressources importantes (mémoire vive, capacité de stockage importante..) et nécessitent un système d'exploitation stable.

L'importation des vidéos réalisées sur le caméscope DV se fait au travers du port Firewire et avec le logiciel Dartfish.

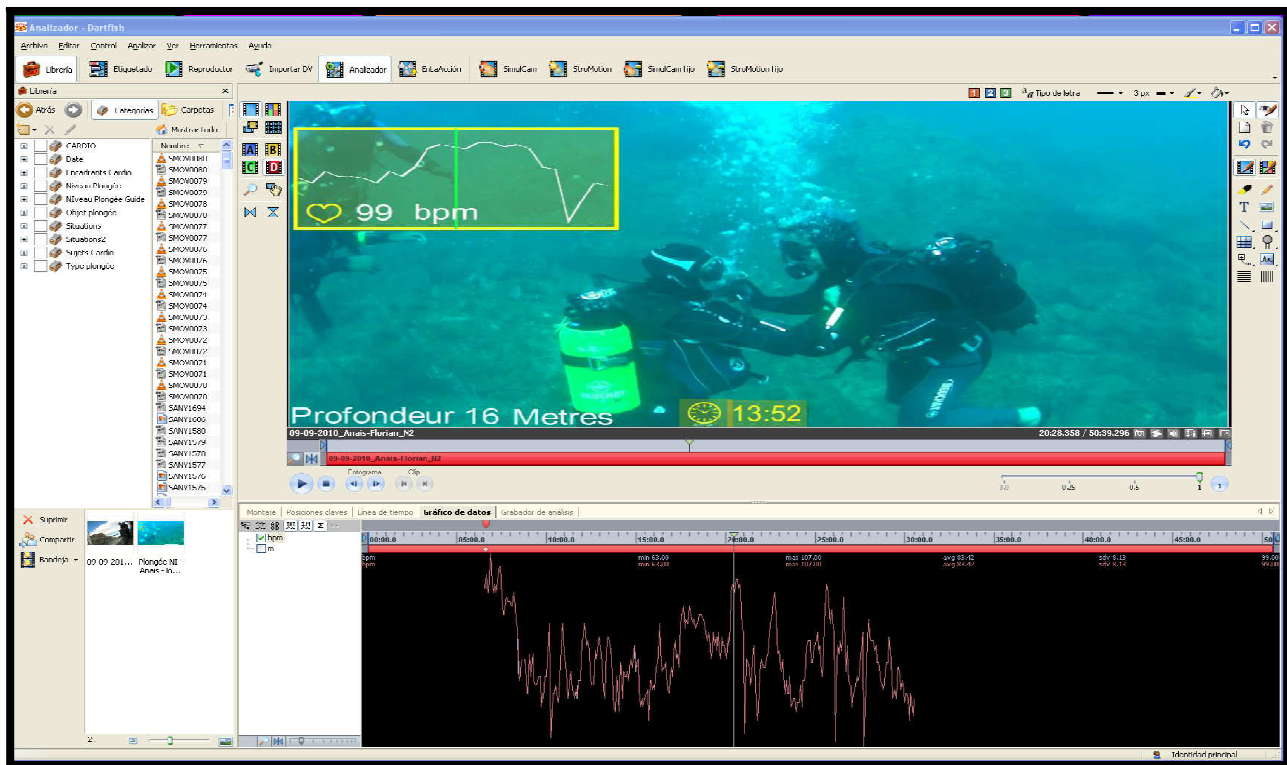
Ceux réalisés avec le caméscope Sanyo sont récupérés directement avec le lecteur de cartes de l'ordinateur et ne nécessitent pas de logiciel pour l'importation.

L'analyse vidéo se fait avec les logiciels Kinovea (gratuit) et Dartfish tous les deux permettent l'analyse au ralenti des différents moments de la plongée, ainsi que des outils pour écrire sur la vidéo, chronométrer un passage et d'autres fonctions intéressantes pour l'analyse d'un geste.

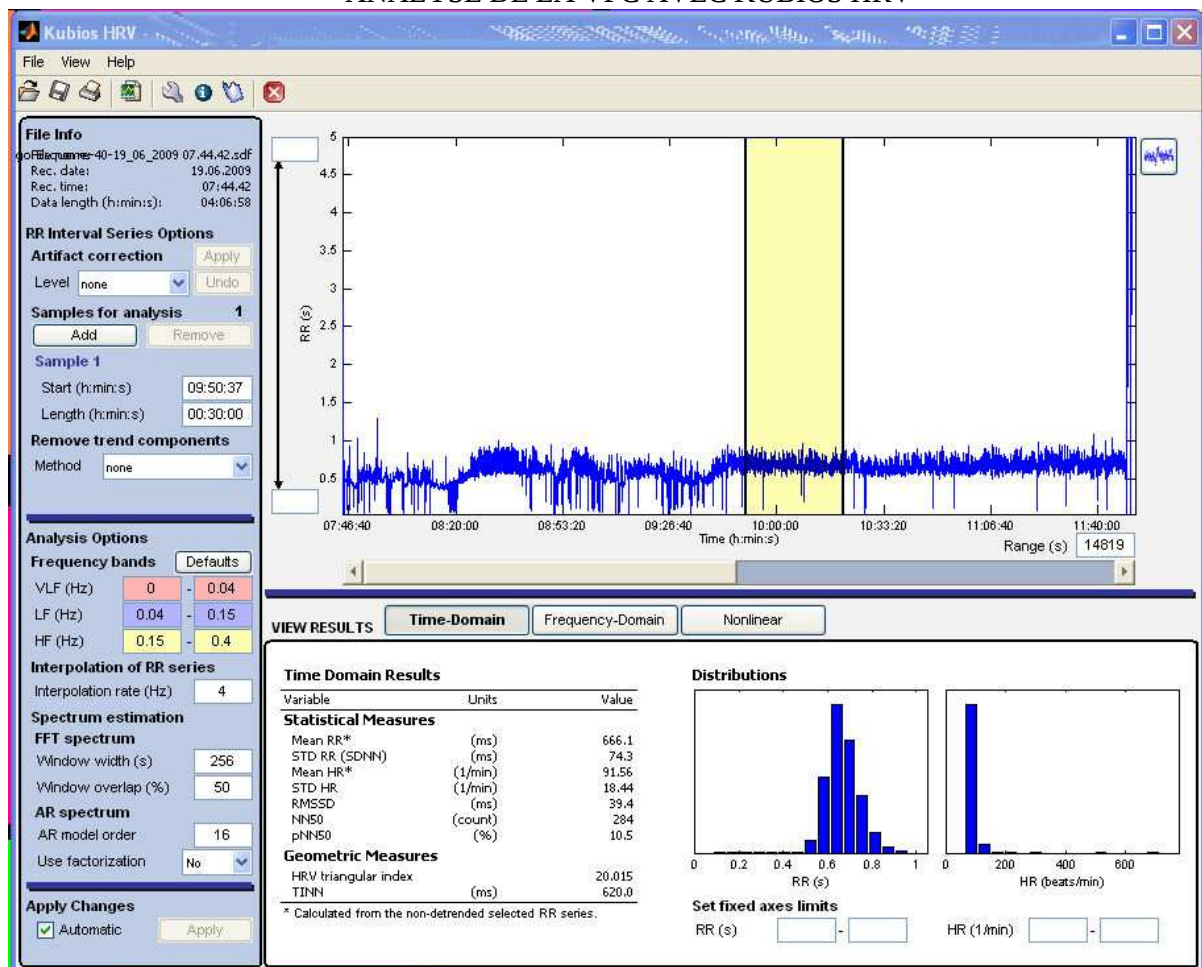
Il est possible de créer des positions clés et découper des parties de la vidéo.

Le logiciel Dartfis couplé au logiciel CSV Reader permet en plus d'afficher des données (FC, LF, Temps) directement superposés sur la vidéo.

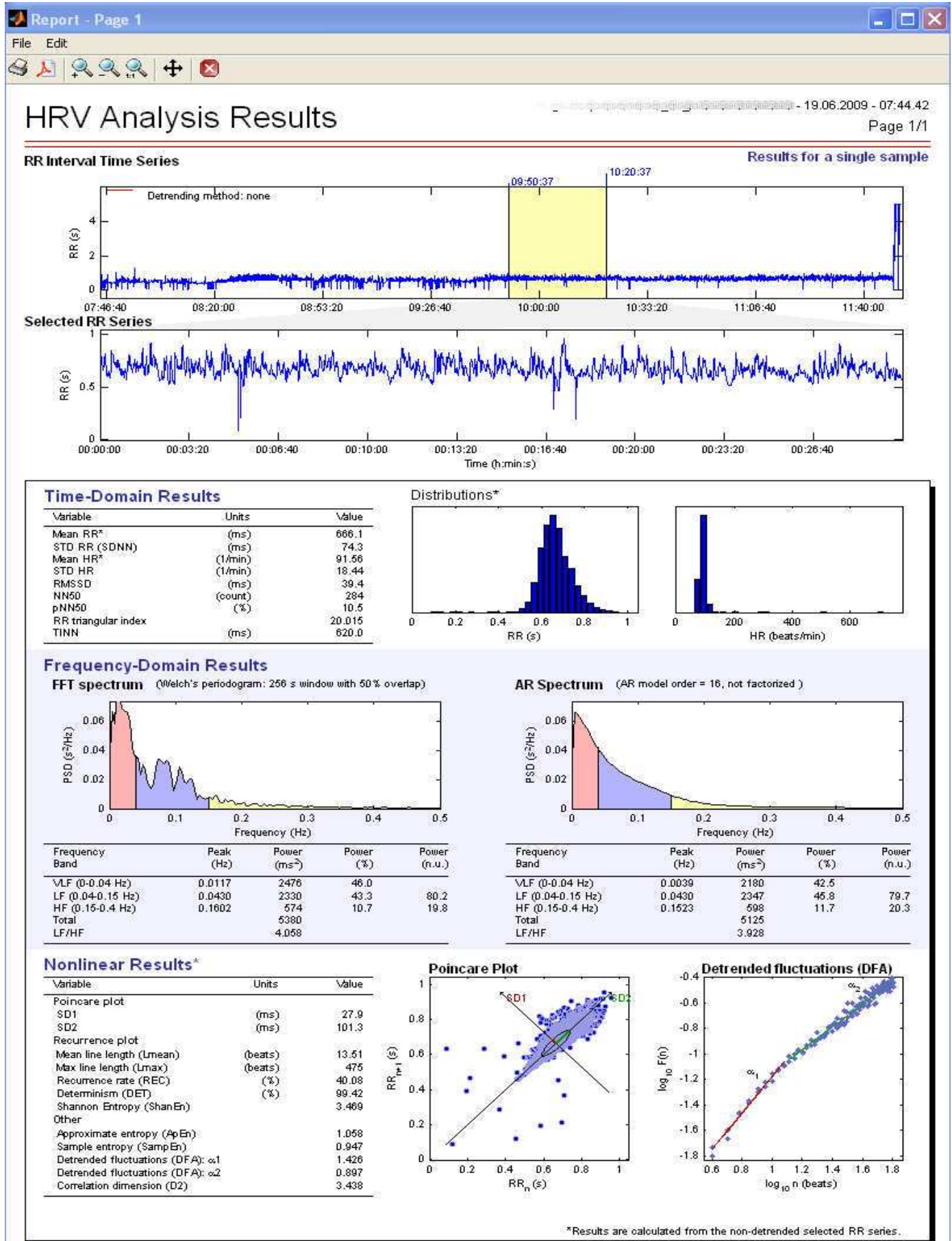
ANALYSE VIDEO AVEC DARTFISH



ANALYSE DE LA VFC AVEC KUBIOS HRV



FEUILLE DE RAPPORT DE L'ANALYSE AVEC KUBIOS HRV



L29

f_x

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Nom											
2	Prenom											
3	Niveau de Plongée											
4	Age											
5	Mail											
6	Experience plongée (en Années)											
7	Nombre de plongées											
8	Plongée readaptation ?	NON										
9	Stress avant de plonger ?	OUI										
10	Source du stress	Evaluation										
11	Stress pendant la plongée ?	OUI										
12	Source du stress	Evaluation										
13	Commentaires sur la plongée											
14												
15												
16												
	À l'aide de l'échelle ci-dessous, dont l'étendue varie de 1 à 5, indiquez le chiffre qui décrit le mieux votre niveau de perception ou conscience lors des différentes phases demandées. Notation : 1=Aucune idée -2=A peine - 3=Un peu conscient - 4=Assez conscient-5-Parfaitement conscient. Exemple Lors de la phase de ... je n'ai pas du tout pensé à ma respiration et je n'ai aucune idée de comment je respirais.... je mets 1 Lors de la plongée j'ai pensé à la position de mes palmes quand je suis arrivée au fond puis de temps en temps lorsque je touchais le fond. Je mets 3											
17												
18												
19												
20	Niveau de conscience	Equipement /Surface	Immersion	En Plongée	Exercices/ Situations							
21	1. Respiration											
22	2. Palmage - Mains											
23												
24												
	Après avoir visionné la vidéo de votre plongée et à l'aide de l'échelle ci-dessous, dont l'étendue varie de 1 à 5, indiquez le chiffre qui décrit le mieux l'écart existant entre l'image que vous avez de vous pendant les différentes phases de la plongée et celle constatée dans la vidéo. Notation : 1=Aucune difference - 2=A peine - 3=Pas mal de difference- 4=Beaucoup - 5=Enormement Exemple: En regardant la vidéo je m'aperçois que souvent je flechis normalement les genoux pour palmer et smes chevilles sont rigides ... je mets 5 Je suis conscient/e que quelque chose n'allait pas en mettant mon gilet et en regardant la vidéo je m'aperçois que que mes gestes étaient imprécis et précipités . Je mets 3											
25												
26												
27	Ecart Perçu / Observé	Equipement /Surface	Immersion	En Plongée	Exercices / Situations							
28	1. Respiration											
29	2. Palmage - Mains											
30												

INTERFACE PC DE L'ORDINATEUR GALILEO

