



**DOSSIER DE CANDIDATURE**

**POUR THESE EN COTUTELLE**

**POUR LA RENTREE 2021**

**FINANCEMENT : BOURSE**

Dossier complété et revêtu des signatures à transmettre impérativement pour le :  
**26 mars 2021 au plus tard,**

A la Direction de la Recherche et Valorisation  
[secretariat.recherche@univ-littoral.fr](mailto:secretariat.recherche@univ-littoral.fr)

**Titre de la thèse :** Une approche et un procédé basé sur les CPS (Cyber Physical Systems) et le deep learning pour la gestion du sommeil et de l'éveil : application aux courses de voiliers au large.

**Laboratoire d'accueil ULCO :**

Laboratoire d'Informatique Signal et Image de la Côte d'Opale ([www-lisic.univ-littoral.fr](http://www-lisic.univ-littoral.fr))

Et

Unité de Dynamique et Structure des Matériaux Moléculaires ([udsmm.univ-littoral.fr](http://udsmm.univ-littoral.fr))

**Directeur de thèse ULCO :**

Mourad Bouneffa

**☐ 1 LIBAN - Université Libanaise (2 financements)**

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire :

- Thématique :

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives,
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme

**☐ 1 LIBAN - CNRS Libanais (4 financements)**

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire : Pr. Dany Mezher, Université Saint Joseph, Beyrouth



- Thématique :

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme

□ **ALGERIE - Université Badji Mokhtar d'Annaba (UBMA) (2 financements)**

- Thématique :

- (1) La gestion et le traitement des déchets,
- (2) L'aménagement littoral et portuaire,
- (3) Le milieu aquatique,
- (4) La surveillance et la gestion durable des Infrastructures.

□ **2 MAROC - Université Hassan II / HESTIM (UH2C) (4 financements)**

- Thématique :

- (1) Economie Gestion
- (2) Sciences et Technologies

□ **3 MAROC - Université Mohammed V (4 financements)**

- Thématique :

- (1) Environnement, Milieux Littoraux Marins
- (2) Sciences et technologie
- (3) Santé
- (4) Sciences Humaines et Sociales

**\*LABORATOIRE D'ACCUEIL**

Nom du laboratoire d'accueil : Laboratoire Signal et Image de la Côte d'Opale (LISIC) en collaboration avec Unité de Dynamique et Structure des Matériaux Moléculaires ([udsmm.univ-littoral.fr](http://udsmm.univ-littoral.fr))

Nombre de HDR dans le laboratoire : 18

Nombre de thèses encadrées dans le laboratoire (rentrée 2020) : 25

Cotutelles en cours au sein du laboratoire : 12

Durée moyenne des thèses soutenues dans le laboratoire, sur la période 2015-2020 : 3,4



## ENCADREMENT

Nom, Prénom du directeur de laboratoire : Sébastien Verel

Nom, Prénom du directeur de thèse (si différent du directeur de laboratoire) : Mourad Bouneffa

Nombre de doctorats en préparation sous la direction du directeur de thèse : 1

Avis détaillé du directeur de thèse :

Cette thèse est à la croisée des chemins de trois disciplines : la santé et la physiologie humaines dans le cadre des sports extrêmes, l'électronique des capteurs et des objets communicants et intelligents et finalement l'intelligence artificielle, la gestion des connaissances et les sciences de données. Trois laboratoires de l'ULCO coopèrent à travers cette thèse à savoir l'UREPSSS (<http://urepsss.com/>) pour le côté santé, l'UDSMM pour les aspects liés aux capteurs et objets communicants et intelligents ainsi que le LISIC pour l'intelligence artificielle, les sciences de données et la gestion des connaissances. Le but de la thèse est de mettre en place une approche et un procédé opérationnel permettant de gérer de façon efficace et fiable le sommeil des sportifs de l'extrême et en particulier des navigateurs sur des voiliers au large et sur des courses longues. L'idée de la thèse est de proposer un procédé matériel basé sur des CPS (Cyber Physical Systems) tels que les IOT pour récupérer des données physiologiques dans les conditions de l'activité sportive et sans en perturber le déroulement. Des algorithmes issus de l'IA et du machine learning sont alors sollicités pour un premier traitement des données afin d'en produire des données produisant de la valeur ajoutée pour un processus d'IA destiné, d'un côté, à déterminer avec précision les périodes de sommeil et d'éveil, d'extraire de la connaissance sur les interactions entre périodes de sommeil et d'éveil, les activités du sportif ainsi que les performances et les risques en matière de sécurité. Les processus d'IA à mettre en œuvre permettront également d'élaborer des recommandations personnalisées aux sportifs en matière de gestion des périodes de sommeil et d'activités. Ces processus, qui reposent sur des algorithmes d'apprentissage profond réputés fonctionnant en boîtes noires, doivent fournir des explications sur leur fonctionnement et leurs résultats. L'obtention des explications doivent être formulées en adoptant le langage et le vocabulaire du spécialiste du domaine d'application (santé et sport). Cette thèse fait suite à un travail exploratoire et expérimental financé par la SATT et ayant abouti au développement et au test grandeur nature d'un système de capture de données physiologiques embarqué dans les sous-vêtements d'un navigateur du *Vendée Globe* qui vient de se terminer. Le but de la thèse est d'aller plus loin aussi bien au niveau du procédé matériel mais surtout au niveau des couches IA et IA expliquée gérant le fonctionnement de ce procédé.



Signature du directeur de thèse

Avis détaillé du directeur de laboratoire :

Cette thèse s'inscrit dans le développement de la thématique Intelligence Artificielle du laboratoire LISIC. L'équipe SysReIC développe ses compétences dans le domaine de l'apprentissage automatique à l'aide de graphe de connaissance sémantique. Son approche originale est d'inclure les connaissances expertes dans le processus d'apprentissage afin d'obtenir une explicabilité « naturelle » du modèle d'apprentissage. L'application visée en collaboration avec deux laboratoires de l'université du Littoral est très pertinente. D'une part, la complémentarité des expertises permet de concevoir un systèmes complets, d'autres parts interdisciplinarité favorise de nouvelles approches sur de nouvelles questions qui émergeront. Pour toutes ces raisons, j'émet un avis favorable à ce sujet.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Anis', is written over a horizontal line.

Signature du directeur de laboratoire

## PROJET DE THESE

Intitulé du projet de thèse : Une approche et un procédé basé sur les CPS (Cyber Physical Systems) et le deep learning pour la gestion du sommeil et de l'éveil : application aux courses de voiliers au large.

Domaine scientifique : Informatique et électronique appliqué au domaine de la santé.

Résumé en français \* (1500 caractères maxi.) :

Le sommeil des marins reste une énigme scientifique pour des raisons technologiques qui sont principalement dues aux mouvements aléatoires d'un bateau en mer. L'observation et la mesure fiable du sommeil dans ces conditions extrêmes permettrait d'améliorer la compréhension de la physiologie humaine et offrirait une nette amélioration des procédés de mesure du sommeil dans le domaine du sport, mais également de la santé. L'objectif de la thèse est donc de déterminer un procédé combinant les aspects matériels et des modèles issues des sciences de données et de l'intelligence artificielle pour la distinction de l'éveil et du sommeil sur des bateaux de course au large. L'ambition de la recherche est de déterminer une méthode technologiquement fiable et validée pour un déploiement à grande échelle. Nous faisons l'hypothèse que grâce au traitement d'une somme d'informations physiologiques issues de capteurs biométriques de type IoT, il est possible de distinguer le sommeil de toute autre activité pouvant avoir lieu sur un bateau pendant une course au large.

La thèse devra permettre de déterminer les procédés technologiques, le traitement des données issues des différents capteurs et des algorithmes associés et la validation scientifique



des données issues de l'algorithme. Plusieurs compétences étant déterminantes, cette thèse se fera dans le cadre d'une collaboration entre plusieurs laboratoires de recherche de l'ULCO ainsi qu'avec de nombreux partenaires privés. Les compétences en santé et sport fourniront les connaissances nécessaires à l'interprétation de données, les compétences en électronique et traitement du signal seront cruciales pour la construction du dispositif matériel et les connaissances en IA et gestion des connaissances sont nécessaires pour la construction d'un système intelligent capable d'utiliser les quantités importantes de données récoltées, les connaissances modélisées pour fournir des interprétations fiables en termes de sommeil ainsi que des recommandations pour le déroulement des activités du sportif en y adjoignant des explications exprimés avec le langage du spécialiste de la santé.

Résumé en anglais \* (1500 caractères maxi.) : The sleep of sailors remains a scientific enigma for technological reasons which are mainly due to the random movements of a boat at sea. The observation and reliable measurement of sleep in these extreme conditions would improve the understanding of human physiology and would offer a marked improvement in methods for measuring sleep in the field of sport, but also in health. The objective of the thesis is therefore to determine a process combining material aspects and models from data science and artificial intelligence for the distinction of wakefulness and sleep on offshore racing boats. The ambition of the research is to determine a technologically reliable and validated method for large-scale deployment. We assume that by processing a sum of physiological information from IoT-type biometric sensors, it is possible to distinguish sleep from any other activity that may take place on a boat during a race.

The thesis should make it possible to determine the technological processes, the processing of data from the various sensors and associated algorithms and the scientific validation of the data resulting from the algorithm. Since several skills are decisive, this thesis will be done in the framework of a collaboration between several research laboratories of ULCO as well as with many private partners. Skills in health and sport will provide the knowledge necessary for the interpretation of data, skills in electronics and signal processing will be crucial for the construction of the hardware device and knowledge in AI and knowledge management are required for the construction of a intelligent system capable of using the large amounts of data collected, the modeled knowledge to provide reliable interpretations in terms of sleep as well as recommendations for the progress of the sportsman's activities by adding explanations expressed in the language of the health specialist .

---

Projet de thèse (5 pages maxi.) :

**1) Contexte et objectifs des travaux :**

Les marins en solitaire ou en équipage sont bien connus pour utiliser des stratégies de repos



fractionnés et courts leur permettant de rester à des niveaux de performances suffisants pour réaliser leur course. Dans une série d'études publiées entre 2012 et 2015, Hurdiel et coll. (Université du Littoral Côte d'Opale) ont montré des interactions entre le manque de sommeil et le déficit de performances cognitives chez des navigateurs en solitaire lors d'épreuves auxquelles ils participaient. Même en étant des marins exceptionnels, ils ne semblent pas déroger aux principales caractéristiques physiologiques de la régulation du sommeil d'un être humain "terrien". Toutefois, la baisse de leurs performances cognitives due au manque de sommeil engendre un danger pour les performances sportives et la sécurité puisque certains d'entre eux peuvent connaître des épisodes de troubles psychotiques attribuables au manque de sommeil (Hallucinations auditives et visuelles).

Désormais, compte tenu de l'architecture des engins récents, les sollicitations physiques et mentales sont décuplées par l'apparition de foils et de bateaux « volants ». Les facteurs humains reviennent au centre de la performance et comme une limite de celle-ci. En effet, le bruit, le stress et d'autres facteurs particuliers à la navigation à haute vitesse engendrent des comportements et des stratégies de gestion du repos extrêmes où le marin atteint ses limites. <https://www.lequipe.fr/Voile/Actualites/Thomas-ruyant-je-ne-m-imaginai-pas-capable-de-repousser-mes-limites-si-loin/1073572>.

Mais d'une part, peu de données sur le management du sommeil et sur la fatigue sont disponibles dans la littérature scientifique pour des épreuves aussi extrêmes que des tours du monde ou des transatlantiques. Les méthodes de mesures fiables à terre (milieu médical ou sportif) ne le sont plus vraiment en mer, où alors trop contraignantes pour des marins en course. Par conséquent, les sportifs de haut niveau en course au large, leurs préparateurs ou leurs médecins ne peuvent pas intégrer le facteur sommeil dans l'analyse de leurs performances alors qu'il est évident que c'en est un des déterminants majeurs.

Mais d'autre part, les données qui pourraient provenir de telles mesures en mer dans des environnements aussi extrêmes pourraient aussi fournir de précieuses informations sur les fonctionnement physiologique et psychologique de l'être humain. Elles seraient hautement valorisables pour améliorer les algorithmes des technologies commerciales de mesures du sommeil en conditions de sommeil habituelles (smartwatches et technologies médicales.)

L'objectif de la thèse est donc de déterminer un procédé englobant des aspects technologiques et des aspects relevant des sciences de données et de l'IA permettant la distinction de l'éveil et du sommeil sur des bateaux de type IMOCA (Bateau du Vendée Globe) ou tout autre bateau participant à des courses au large en solitaire ou en équipage. L'ambition de la recherche est de proposer une méthode technologiquement fiable et validée pour un déploiement à grande échelle. Nous faisons l'hypothèse que grâce au croisement et au traitement d'une somme d'informations physiologiques issues de capteurs biométriques de type IoT, il est possible de distinguer le sommeil de toute autre activité pouvant avoir lieu sur un bateau pendant une course au large. Nous voulons également utiliser ces données pour une compréhension plus fine des interactions entre sommeil, performance et sécurité des navigateurs et cela en utilisant des algorithmes d'apprentissage profond explicables. L'explicabilité est une nécessité pour une IA de confiance et pour une meilleure acceptabilité des résultats des algorithmes par les spécialistes de la santé du sport. Pour ce faire les explications ne peuvent pas être que mathématiques mais doivent reposer sur un corpus de connaissances liées au domaine d'application. Ces connaissances seront donc préalable compilées et intégrées au système en forme d'ontologies ou de graphes de connaissances.



## 2) Thématique et approche adoptée :

A notre connaissance, aucune technologie n'a intégré des capteurs suffisamment fiables et aucun algorithme ne permet de détecter le sommeil dans un environnement aussi extrême qu'est celui d'un Vendée Globe par exemple. Différentes techniques ont néanmoins été testées :

- Stampi (1989) étudie le sommeil des marins avec des rapports journaliers qu'ils leur demandent de remplir pendant la compétition. Ils effectuent aussi une interview avant et après la compétition.
- Leger et al (2002) utilisent la polysomnographie ambulatoire complète pendant une durée maximale de course de 36 heures.
- Kerkhof (2009) utilise un accéléromètre étalon placé au pied de mât pour soustraire l'accélération du bateau de celle du marin. La solution semble prometteuse mais n'est utilisée que sur un marin. Aucune étude ne vient appuyer la validité de cette technique de mesure.
- Theunynck et al. (2010) utilisent un accéléromètre au poignet, que le skipper gardera 50 heures puis le quittera à cause de problèmes dermatologiques.
- Hurdziel et al. (2012, 2013, 2014), n'ont pu prendre en compte que les données subjectives (agendas de sommeil) pour tenter d'apprécier les quantités de sommeil en mer (de 36h à 23 jours) alors qu'ils avaient placés un accéléromètre au pied de mât du bateau. Dans certaines conditions, il semble impossible de différencier le travail du skipper sur son ordinateur de bord d'une phase de sommeil.
- En 2017 lors de la Volvo Ocean Race le team Askonobel utilise des montres connectées Garmin pour évaluer, grâce à la fréquence cardiaque, le sommeil des équipiers durant une période de 27 jours (Données non publiées), les enregistrements ont été interrompus car les montres doivent régulièrement être rechargées. Aucune validation de la technique de mesure n'a été faite. Aucun article scientifique dans la littérature ne mentionne qu'il est possible de déterminer le sommeil uniquement à l'aide de la mesure de fréquence cardiaque.
- En 2018, lors de la Route du Rhum, Alex Thomson a utilisé un dispositif "grand public" développé par Nokia Lab (Withings) couplé avec un accéléromètre (Données non publiées). Il jugera le système trop irritant au niveau du poignet, le met de côté au 9ème jour et s'échoue sur la Guadeloupe le 11ème Jour d'épuisement.
- En 2019, lors de la course Ultime Atlantique le Team Macif communique sur un logiciel de suivi du sommeil, qui n'est autre qu'un agenda du sommeil digital.

Ces différentes techniques de mesures ont finalement toutes échoué dans les conditions exigeantes de la course au large. La polysomnographie ambulatoire (gold standard de la mesure du sommeil, basée sur l'Electro-Encéphalo-Gramme) est un dispositif lourd, volumineux, énergivore, et trop contraignant pour le sportif. Les rapports journaliers, manuscrits ou digitalisés, demandent une grande rigueur et reflètent l'appréciation subjective du marin sans tenir compte de ses oublis. Enfin l'utilisation de bracelets accéléromètres (ou montre connectée commerciale) introduit la problématique de différenciation de l'accélération dû au marin de celle dû au bateau en navigation. Même chez les distributeurs de technologies embarquées dans les montres de sport par exemple, les systèmes commerciaux étant basés sur l'utilisation de l'accéléromètre, les mouvements aléatoires d'un bateau en mer rendent extrêmement délicate voire impossible la mesure par cette technique.



Grâce à nos collaborations dans le milieu de la course au large avec des skippers professionnels depuis plus de 10 ans, nous pensons que la solution pourrait résider dans le développement d'un sous-vêtement intelligent, adapté aux contraintes que les skippers subissent. Ce sous-vêtement doit se munir de capteurs indépendant de la contrainte des mouvements du bateau.

Dans le cadre d'un partenariat préliminaire avec Thomas Ruyant Racing (Vendée Globe 2020-2021) nous avons imaginé un dispositif de mesure biométrique pouvant être appliqué dans ce contexte fortement contraint. Toutefois, plusieurs objectifs technologiques sont encore à atteindre afin de parvenir à une version fiable et éventuellement commercialisable. Mais l'originalité de notre technologie repose sur l'intégration de capteurs interconnectés capables de créer et transmettre des données en temps réel afin de créer de la valeur pour ses utilisateurs à travers divers services (agrégation, analytique, feed back...).

Pour atteindre l'objectif plusieurs approches seront déterminantes au cours de la recherche:

1. Les IoT, actifs ou passifs, doivent générer des données exploitables après un traitement de signal de haut niveau permettant la discrétisation des informations.
2. Le réseau et la couverture de la zone d'usage des objets devra être étudiée. Par exemple, la contrainte sur un bateau est d'autant plus grande que les bateaux de course sont en carbone et créent des perturbations de propagation du signal altérant la transmission des données (Différences de signal RSSI entre l'intérieur et l'extérieur du bateau). Les différentes technologies de réseau sans fil ; WIFI, Bluetooth, Radiofréquence ou encore RFID doivent être à l'étude.
3. La contrainte énergétique très importante doit également être analysée, testée et optimisée. Elle est fondamentale dans les systèmes embarqués et il faut déterminer le compromis entre sa longévité et sa taille. Plusieurs méthodes existent pour son optimisation et peuvent même être combinables : pilotage sélectif de certains capteurs, choix des composants, séquençage, fréquence d'échantillonnage. Les premiers prototypes ont bénéficié de batterie commerciale mais le développement par exemple de pile Lithium rechargeable pourrait s'avérer pertinent [X1].
4. Lorsque la valeur (brute ou traitée) est créée, elle nécessite absolument le stockage, l'archivage et la sauvegarde dans des bases de données. La structuration de cette dernière améliorera le post-traitement des données et la possibilité de fournir l'auto-apprentissage du système.
5. L'application d'exploitation communément appelé l'Interface Homme-Machine (IHM) permettra de visualiser les données sous forme de graphiques, tableaux, rapports, ou toutes formes d'informations utiles et exploitables selon l'activité.
6. Un module intelligent reposant sur le deep learning explicable constituera une contribution très importante aussi bien au domaine de la santé du sport, qu'à celui des capteurs et de l'IA. En effet, ce module qui produit des modèles d'IA capables de fournir des recommandations ainsi que des analyses et des prédictions détaillées et les plus précises possibles sur les activités du navigateurs doit être capable également de justifier ses résultats en s'appuyant sur le vocabulaire et la connaissance des spécialistes. Dans le cadre de cette thèse on se limitera à un ensemble restreint de connaissances étroitement liées au domaine du sommeil des sportifs de l'extrême. Cependant, il est tout à fait envisageable d'intégrer des connaissances sur le fonctionnement des capteurs, les liens entre capteurs et paramètres physiologiques à mesurer, la fiabilité des capteurs, etc.

Plus concrètement, le dispositif pourrait intégrer plusieurs capteurs : un module RTC (Real Time Clock) pour la synchronisation des mesures, une centrale inertielle pour déterminer la position





posturale du skipper, un capteur PPG (Photo-Pléthysmographie) pour la mesure de la fréquence cardiaque, une jauge de contrainte permettant de déterminer la fréquence respiratoire et une balise BLE pour déterminer la position du skipper dans le bateau. Dans nos tests préliminaires, des capteurs interagissent entre eux à travers une carte électronique programmable Arduino Nano 33 IoT et un microcontrôleur cadencé jusqu'à 48 MHz ce qui est trop volumineux et consomme trop d'énergie (50 mA). Le développement de l'algorithme embarqué est complexe et nécessite de nombreuses compétences en traitement du signal notamment pour la discrétisation de l'information utile par rapport aux bruits de mesures (environnement, mouvement, humidité, température, ...). Un traitement du signal fiable de haut niveau permettra d'établir également, après une phase de calibration et une individualisation du système à la physiologie de l'utilisateur, des données fiables. En effet, chaque personne étant différente, cette phase est essentielle pour que l'acquisition simultanée de la fréquence respiratoire et de la fréquence cardiaque deviennent pertinentes. Enfin, la batterie actuellement utilisée n'offre que peu de latitude sur une miniaturisation du système. Le développement de pile Lithium associé à la sobriété numérique de son utilisation pourrait permettre d'atteindre nos objectifs. Les différents verrous technologiques listés précédemment nécessitent d'allier les compétences de 3 laboratoires : Le laboratoire URePSSS (Sciences du Sport) expert dans l'analyse du sommeil dans des contraintes extrêmes, Le laboratoire UDSMM spécialisé sur les capteurs électroniques et sur la gestion de l'énergie et le laboratoire LISIC pour ses compétences dans l'IA, l'explicabilité, la gestion des connaissances et également le traitement du signal.

Les objectifs de cette thèse étant de proposer un dispositif de mesure biométrique au stade préindustriel et pouvant être appliqué dans un contexte fortement contraint, il est indispensable de: (i) développer l'ergonomie, la miniaturisation et la gestion de l'énergie du dispositif afin de garantir que l'utilisateur le garde sur soi et permette une mesure en continue pour une durée importante, (ii) Tester et valider en environnement représentatif à travers des tests sur un bateau laboratoire, (iii) valider à d'autres applications pour la santé, en dehors de la navigation en mer.

### **3) Déroulement de la thèse et Résultats attendus :**

Nous considérons le déroulement de la thèse selon les deux aspects principaux qui la composent à savoir l'aspect technologique et matériel et l'aspect IA et sciences de données.

#### **L'aspect technologique :**

Cette thèse se déroule en plusieurs parties. Tout d'abord, le doctorant veillera à trouver les composantes physiologiques nécessaires pour déterminer le sommeil et mesurer les dépenses énergétiques. Ensuite, il devra développer un prototype de traceur avec des capteurs électroniques et un microcontrôleur. Ce dernier sera testé en conditions réelles et en laboratoire. Enfin, le doctorant veillera à ce que l'ensemble soit réalisable en quantité considérable et à un prix raisonnable pour une potentielle mise sur le marché, en respectant les normes et réglementations. L'emballage du dispositif devra également être satisfaisant et ergonomique.

Les travaux de cette thèse doivent donc mener à la création d'un système autonome et



indépendant, capable de communiquer les informations et de mesurer le temps de sommeil. Ce dispositif doit pouvoir déterminer les besoins de sommeil en fonction de l'énergie dépensée et de l'environnement. Il ne faut pas qu'il nécessite d'actions par l'utilisateur et doit avoir une autonomie de 100 jours, donc il doit prendre en compte les limitations énergétiques et avoir une faible consommation. Il doit s'adapter à tout type d'environnement, à diverses températures et niveaux d'humidité. Il doit prendre en compte la contrainte de l'environnement tel qu'un référentiel mobile ou encore beaucoup de vibrations. Il doit pouvoir s'adapter à différents supports (parties du corps, vêtements...) et doit être à faible coût. Le but final est de rendre ce système commercialisable et de le vendre au grand public. Ce dispositif contiendra donc une partie matérielle mais également une partie logicielle composée des algorithmes de détermination et de prédiction.

### **L'aspect IA et sciences de données :**

Les données récoltées par les capteurs seront exploitées par des algorithmes d'IA de type apprentissage automatique dont le but est de distinguer les périodes de sommeil et d'activités (classification).

Par la suite, une analyse plus approfondie des autres données sur les activités, les résultats, performances et incidents sera effectuée en utilisant des algorithmes d'apprentissage profond pour proposer des recommandations et des prédictions sur les résultats et incidents futurs.

Les algorithmes mis en œuvre seront accompagnés de modules d'explications. Pour ce faire, le doctorant avec l'aide de chercheurs du LISIC et de l'UREPSSS commencera d'abord par dresser une base de connaissances traduisant la terminologie utilisée, l'état actuel des connaissances en termes de concepts principaux, de relations entre ces concepts et des contraintes associées à ces relations. Le doctorant pourra alors expérimenter les modules déjà disponibles au sein du LISIC en matière d'explicabilité des IA et proposer des adaptations et enrichissement pour prendre en compte le corpus de connaissances lié au domaine d'application.

- Le premier semestre de la première année sera consacré à l'étude de l'état de l'art en matière de capteurs pour la physiologie humaine, les algorithmes d'IA pour le traitement de données issues des IOT, le deep learning et ses applications au domaine du traitement de données de santé et à l'applicabilité des IA. Cette étude fera l'objet d'un rapport et d'un séminaire que le doctorant effectuera devant les membres des laboratoires.
- Durant le deuxième semestre de la première année le doctorant proposera des ajustements de la plateforme technique déjà mise en œuvre et consignera dans une base de connaissances les différents composants matériels qu'il a utilisé, leurs caractéristiques et contraintes, ainsi que les liens qui les relient et qui les associent également aux paramètres physiologiques qu'ils mesurent, etc. Par la suite, le doctorant proposera des algorithmes de prétraitement des données eux-mêmes mis en œuvre en utilisant des techniques d'IA et de machine learning explicables.
- Durant la deuxième année le doctorant mettra en œuvre des algorithmes de deep learning explicables pour la production de connaissances de haute valeur ajoutée, de prédictions et de recommandations liées à la gestion du sommeil des grands sportifs. Cette partie fera l'objet d'une ou deux publications dans des revues spécialisées. Durant cette année, le doctorant traitera également les problématiques de mises en œuvre du produit



technologique utilisable dans les conditions réelles et cela en termes d'autonomie, de packaging, etc.

- La dernière année sera consacrée à la finition des résultats, la rédaction et la soutenance de la thèse ainsi que la publication des résultats dans des journaux et conférences associées aux domaines de la thèse.

#### **4) Les retombées scientifiques et économiques attendues :**

Les recherches menées dans cette thèse amèneront de nombreux résultats sur le plan scientifique, notamment dans le domaine de la santé en améliorant la fiabilité des mesures du sommeil grâce aux objets intelligents. Couplée à une Interface Homme Machine, la solution permettra de réduire la fatigue et les altérations des performances cognitives chez l'Homme, que ce soit en course au large, dans le sport ou dans le domaine de la santé. Les retombées économiques peuvent se faire par l'industrialisation du produit ou la vente de licence.

#### **5) Les objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant\* : diffusion, publication et confidentialité, droit à la PI...**

Les travaux de recherche du doctorant seront valorisables par un dépôt de brevet lié à l'algorithme final développé. Le doctorant devra aussi valoriser son travail à travers des publications dans des revues spécialisées dans les IoT, la santé et le sport (procédés technologiques développés et validation des algorithmes à terre comme en mer).

#### **6) Les collaborations prévues et une liste de 10 publications\* maximum portant directement sur le sujet :**

Le déroulement de la thèse se fera en collaboration avec les laboratoires UDSMM (Unité de Dynamique et Structure des Matériaux Moléculaires), LISIC (Laboratoire d'Informatique Signal et Image de la Côte d'Opale) et URePSSS (Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport, Santé, Société) de l'Université du Littoral Côte d'Opale. Une collaboration étroite entre ces 3 laboratoires est essentielle, notamment en connaissances physiologiques et de gestion du sommeil (URéPSSS), en microélectronique et en gestion de l'énergie (UDSMM) et en informatique et traitement du signal (LISIC). La SATT Nord apportera ses connaissances dans l'analyse des marchés, le dépôt de brevet et surtout le financement en termes de matériel et de développement économique. Enfin, la société Thomas Ruyant Racing sera d'un appui indispensable pour son savoir-faire et son expérience dans le milieu de la course solitaire au large. Les sociétés La Mobility (Tourcoing) et Advens (Lille) sont aussi des partenaires identifiés pour le développement de l'IHM et pour le déploiement sur les bateaux de course.

#### **Liste de publication :**

- Hurdiel, Rémy & Dongen, HANS & Aron, Christophe & McCauley, Peter & Jacolot, Laure & Theunynck, Denis. (2013). Sleep restriction and degraded reaction-time performance in Figaro solo sailing races. Journal of sports sciences. 32. 10.1080/02640414.2013.815359.



- Hurdiel, Rémy & MONACA, Christelle & Mauvieux, Benoit & MCCAULEY, Peter & DONGEN, Hans & Theunynck, Denis. (2012). Field study of sleep and functional impairments in solo sailing races. *Sleep and Biological Rhythms*. 10. 10.1111/j.1479-8425.2012.00570.x.
- Hurdiel, Rémy & McCauley, P. & Dongen, H.P.A. & Pezé, Thierry & Theunynck, Denis. (2013). Sommeil et prédiction mathématique de performances cognitives en situation réelle de course au large en solitaire. *Science & Sports*. 28. 207-210. 10.1016/j.scispo.2013.01.002.
- Denis Theunynck, Rémy Hurdiel, Thierry Pezé, Xavier Estruch et Gilles Bui-Xuân, « Sommeil et course au large en solitaire : comportements des coureurs et étude de faisabilité d'un « agenda interactif de sommeil » », *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* [En ligne], 12-2 | 2010, mis en ligne le 01 mai 2010, consulté le 04 février 2021. URL : <http://journals.openedition.org/pistes/2485> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/pistes.2485>
- A. Ahmad, M. Bouneffa, H. Hendi, C. Fonlupt. Assisted discovery of optimal solution for logistics problems using ontology modeling. To appear in *International Journal on Logistic System and Management*, current 2021.
- M. Garouani, A. Ahmad, M. Bouneffa, G. Bourguin, A. Lewandowski, M. Hamlich. Towards the automation of industrial data science: A meta-learning based approach. To appear in the *Proc. of the International Conference on Enterprise Information System*. On line Streaming, April 2021.
- Ibáñez, Vanessa & Silva, Josep & Navarro, Esther & Cauli, Omar. (2019). Sleep assessment devices: types, market analysis, and a critical view on accuracy and validation. *Expert Review of Medical Devices*. 16. 1-12. 10.1080/17434440.2019.1693890.
- McCauley, Peter & Kalachev, Leonid & Smith, Amber & Belenky, Gregory & Dinges, David & Dongen, Hans. (2008). A new mathematical model for the homeostatic effects of sleep loss on neurobehavioral performance. *Journal of theoretical biology*. 256. 227-39. 10.1016/j.jtbi.2008.09.012.
- Yacchirema, Diana & Sarabia, David & Palau, Carlos & Esteve, Manuel. (2018). A Smart System for Sleep Monitoring by Integrating IoT With Big Data Analytics. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2018.2849822.
- Park, kyungmee & Lee, Sangeun & Wang, Soohyun & Kim, Seoungkyun & Lee, Seungmin & Cho, Songlee & Park, Sungjong & Lee, Eun. (2019). 0426 Sleep Prediction Algorithm Based On Deep Learning Technology. *Sleep*. 42. A172-A172. 10.1093/sleep/zsz067.425.
- George E. Blomgren, « The Development and Future of Lithium Ion Batteries », *Journal of The Electrochemical Society*, 164 (1) A5019-A5025 (2017)