



Miniaturisation, déploiement et évaluation par méthodes de l'IA d'un dispositif de détection d'endormissement

Contexte Le stage se déroulera dans le projet LIP6 "Apprentissage Automatique pour Réseau de Capteurs Détectant la Somnolence Diurne (AARCaDeSoDi)", qui a pour objectif le développement d'outils matériels et logiciels pour l'étude et le diagnostic d'un syndrome d'apnée du sommeil (SAS), qui touche particulièrement des personnes dans une tranche d'âge moyenne, ayant une vie active et présentant une surcharge pondérale. Ce type de pathologie peut être dangereux pour les personnes concernées, mais aussi pour autrui, car il crée une somnolence diurne excessive entraînant des épisodes d'endormissements inopinés pouvant survenir à des moments requérant l'attention comme lors de la conduite d'un véhicule. Pour l'heure, le diagnostic de l'apnée du sommeil se fait par un enregistrement continu du sommeil sur plusieurs heures à l'aide de nombreux capteurs, ce qui requiert souvent une hospitalisation et représente un coût significatif pour l'assurance maladie et un inconvénient majeur pour le patient. Du fait de l'importance du dispositif et de l'état de stress du patient qui le porte, le diagnostic est souvent difficile à établir.

Le projet est accompagné par l'ICAN (Institut de Cardiometabolisme et de la Nutrition), institut international pour la recherche et les soins médicaux dans les maladies cardiométaboliques (obésité, diabète, maladies cardio-vasculaires...), porté par des unités de recherche et des équipes médicales de Sorbonne Université, de l'INSERM, et de l'AP-HP. Le sujet proposé fait suite à une étude préliminaire réalisée dans le cadre du projet SODI (SOMnolence DIurne), effectuée par quatre étudiants de Master 1 SESI [BLSZ19] en 2019. Ce projet avait pour but d'étudier la faisabilité d'un dispositif peu encombrant destiné à être porté par des personnes dans la vie active, durant la journée, pour détecter la somnolence diurne et/ou des endormissements inopinés, afin de consolider un pré-diagnostic d'apnée du sommeil établi par le questionnaire d'Epworth [Joh91]. L'étude a mis en évidence deux nécessités :

1. explorer de manière plus systématique l'espace de conception sur un niveau assez élevé (prototypage rapide)
2. intégrer des techniques d'apprentissage automatique (ML, Machine Learning) afin de traiter les données collectées, volumineuses et bruitées

Pour les deux, les équipes participantes réunissent les compétences nécessaires.

Objectif L'objectif est donc double : mettre en place un prototype plus robuste, avec plus de capteurs et miniaturisé ; développer une plate-forme logicielle pour l'acquisition à grande échelle des données et leurs traitements.

Par rapport au prototype déjà développé, l'accent sera mis sur l'ajout de nouveaux capteurs, la miniaturisation et la consommation électrique de façon à ce que le dispositif soit utilisable de manière transparente et avec le moins de contraintes possibles pour l'utilisateur final. Notre but plus général est d'effectuer des explorations d'architecture afin de pouvoir concevoir des dispositifs électroniques à faible coût, améliorant la prise en charge de la santé au quotidien. En parallèle, l'infrastructure nécessaire au stockage et au traitement des données devra être développée. Une étude de faisabilité pour la mise en œuvre d'approches d'apprentissage statistique sur les données collectées. Cette partie sera prise en charge pas des projets M1 menés par MLIA.

Un carnet de bord de l'activité de l'utilisateur fourni par MLIA permettra d'évaluer les résultats préliminaires obtenus. En perspective, nous souhaiterions pouvoir conduire à des profils d'éveil (éventuellement étendu à des données collectées pendant la nuit/le sommeil) et à des pathologies éventuelles avec une participation plus importante des équipes IA.

Le premier prototype développé l'année dernière utilise un *flex sensor* pour capter la torsion de la nuque, un *tilt* qui capte l'angle d'inclinaison de la tête, et un accéléromètre. D'autres capteurs sont requis pour enrichir les données collectées, comme par exemple un capteur de pouls, un capteur d'effort respiratoire (i.e. extension de la cage thoracique). Des modèles de modules de communication (WIFI et BlueTooth) ont été développés en 2020.

État de l'Art Un grand éventail de produits sur le marché destinés à analyser les données physiologiques de manière non- ou peu invasive et contraignante. A l'autre bout du spectre, des dispositifs très précis, mais chers et contraignants pour la polysomnographie [DTJ92] sont utilisés dans le milieu médical et constituent depuis

des années un axe de recherche de l'équipe SYEL [USK⁺16]. Les recherches sur les objets connectés se focalisent souvent sur des aspects de communication ou de la conception plus général [Lee08]. Les systèmes médicaux sont une catégorie à part, suscitant encore plus de problématiques éthiques, légales et sociétales [DAS⁺18].

Réalisation attendue Des décisions de conception ad hoc doivent être remplacées par une exploration systématique de l'espace de conception en utilisant un outil de co-conception et co-simulation analogique-numérique [GBAC20] déjà utilisé dans la modélisation en amont du projet [com17].

Pour que le dispositif reste portable et facile d'utilisation, les informations sont actuellement transférées via des communications Bluetooth entre les capteurs et le système de traitement, et WiFi pour récupérer les données en fin de journée. Ces décisions, qui ont été prises lors de la phase préliminaire de l'étude, devront être évaluées plus précisément et des explorations exhaustives menées. Il en va de même pour l'étude de la consommation électrique. Le prototype doit être miniaturisé et intégré dans des "vêtements" (écharpe, bracelet).

Côté plate-forme, pour l'instant une base de données SQLite permet de stocker les données ; elle sera par contre insuffisante pour le passage à l'échelle et son utilisation simultanée par plusieurs utilisateurs. Une étude doit être menée pour définir le cahier des charges de la plate-forme finale supportant une grosse charge d'acquisition et de traitement.

Perspectives. Nous sommes convaincus qu'une suite peut être donnée sur le moyen et long terme. Selon les résultats et les supports financiers dont la demande est en cours, le stage ouvre des possibilités d'évoluer vers une poursuite en thèse. L'ICAN a entre autres pour mission le soutien à la création de start-up dans le secteur biomédical et participe à un *LivingLab* qui permet, si les résultats se révèlent concluants, de tester notre dispositif dans des conditions plus spécifiques. Avec d'autres collaborations locales sur le thème bio-médical déjà existantes (SYEL avec la Pitié-Salpêtrière, CIAN et ALSOC avec Hôtel-Dieu), une dynamique est en train de se créer pour faire bénéficier la recherche médicale des connaissances présentes au LIP6 en matière d'objets connectés.

Prérequis Des connaissances de conception de systèmes embarqués telles qu'enseignés en Master SESI ou comparables à celles-ci.

Encadrement et prévisions selon situation sanitaire Le stage, sur 6 mois, se déroulera selon la situation sanitaire soit à distance, soit au sein et dans les locaux des équipes ALSOC et CIAN à part égale, dans les deux cas sous la responsabilité de Daniela Genius et Roselyne Chotin. Lors de la première année de projet, du matériel électronique a pu être commandé, qui permet la réalisation à distance et un large choix de capteurs biomédicaux à combiner (ECG, tension musculaire,...) ; La gratification est de 554.4 euros (+35 euros de transport) par mois.

Références

- [BLSZ19] Paul-Emmanuel BROUX, Pauline LAVALADE, Sidiki SYLLA, and Kailun ZHUANG. Somnolence diurne sodi, juin 2019.
- [com17] EchOpen community. Designing an open-source and low-cost echo-stethoscope. <http://www.echopen.org/>, 2017.
- [DAS⁺18] Nilanjan Dey, Amira S Ashour, Fuqian Shi, Simon James Fong, and João Manuel RS Tavares. Medical cyber-physical systems : A survey. *Journal of medical systems*, 42(4) :74, 2018.
- [DTJ92] Neil J Douglas, Stephen Thomas, and Mohammed A Jan. Clinical value of polysomnography. *The Lancet*, 339(8789) :347–350, 1992.
- [GBAC20] Daniela Genius, Illias Bournias, Ludovic Apvrille, and Roselyne Chotin. High-level partitioning and design space exploration for cyber physical systems. In *MODELSWARD*, 2020.
- [Joh91] Murray W Johns. A new method for measuring daytime sleepiness : the epworth sleepiness scale. *sleep*, 14(6) :540–545, 1991.
- [Lee08] Edward A Lee. Cyber physical systems : Design challenges. In *2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, pages 363–369. IEEE, 2008.
- [USK⁺16] Adrien Ugon, Karima Sedki, Amina Kotti, Brigitte Séroussi, Carole Philippe, Jean-Gabriel Ganascia, Patrick Garda, Jacques Bouaud, and Andrea Pinna. Decision system integrating preferences to support sleep staging. 2016.