



Conception de dispositifs médicaux portables

1 Contexte

Le projet LIP6 "Apprentissage Automatique pour Réseau de Capteurs Détectant la Somnolence Diurne (AAR-CaDeSoDi)" 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.

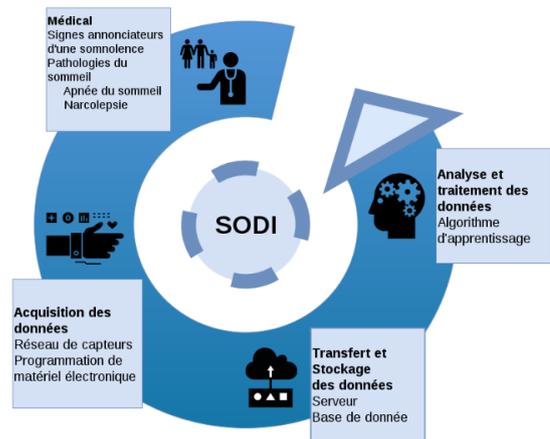
Le projet est accompagné par l'ICAN (Institut de Cardiometabolisme et de la Nutrition), institut international pour la recherche et les soins médicaux dans les maladies cardiométaboliques (obésité, diabète, maladies cardiovasculaires...), porté par des unités de recherche et des équipes médicales de 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 [PEB19] 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 également mis en évidence la nécessité d'intégrer des techniques d'apprentissage automatique (ML, Machine Learning) afin de traiter les données collectées, volumineuses et bruitées.

2 Objectif

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 également être développée et initier une étude de faisabilité pour la mise en œuvre d'approches d'apprentissage statistique sur les données collectées. Les données issues du premier prototype servaient uniquement à des fins de test et sont donc en quantité insuffisante pour être exploitées. Vu les obstacles à la réalisation d'une étude clinique, nous proposons dans un premier temps de faire appel à des étudiant(e)s volontaires proche du projet pour enregistrer leur activité. Malgré le biais de l'échantillonnage de la population - qui n'est pas particulièrement sujette au SAS - l'étude de ces données permettra de jauger de la faisabilité du *profiling* à partir des capteurs utilisés et de la possibilité d'identifier des comportements anormaux.

Un léger carnet de bord de l'activité de l'utilisateur permettra d'évaluer les résultats préliminaires obtenus. Nous prévoyons de pouvoir fournir un premier jeu de données exploitables à l'équipe MLIA pour une première analyse lors de cette année. En perspective, nous souhaiterions à terme 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. La figure ci-contre montre les compétences requises dans quatre champs identifiés : médical, objets connectés/réseaux de capteurs, transfert et stockage de données et apprentissage automatique.



État de l'Art Il y a 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 deux jouent un rôle important et feront partie de l'étude bibliographique à mener par le/la stagiaire. Les systèmes médicaux y 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 [GCAP19] 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). Les participants des trois équipes ALSOC, CIAN, et SYEL seront impliqués dans ce volet.

Côté plateforme, pour l'instant une base de données SQLite permettait 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 plateforme finale supportant une grosse charge d'acquisition et de traitement. Afin de rendre possible un apprentissage supervisé, nous prévoyons d'élaborer avec l'équipe MLIA, un cahier des charges de la plateforme.

Perspectives. Nous sommes convaincus qu'une suite peut être donnée sur le moyen et long terme. Selon les résultats et les supports financiers disponibles, le projet ouvre des possibilités d'évoluer vers une start-up aussi bien qu'à 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.

Encadrement Le stage, sur 5 ou 6 mois, se déroulera au sein et dans les locaux des équipes ALSOC et CIAN à part égale, sous la responsabilité de Daniela Genius et Roselyne Chotin, avec un soutien apporté par Adrien Ugon en tant que référent sur le traitement de données physiologiques. La gratification est de 554.4 euros (+35 euros de transport) par mois.

Références

[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.
- [GCAP19] Genius, Daniela, Cortés Porto, Rodrigo, Apvrille, Ludovic, and Pêcheux, François. A tool for high-level modeling of analog/mixed signal embedded systems. In *MODELSWARD*, 2019.
- [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.
- [PEB19] Sidiki SYLLA Kailun ZHUANG Paul-Emmanuel BROUX, Pauline LAVALADE. Somnolence diurne sodi, juin 2019.
- [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.