

N° d'ordre NNT : 2022LYO20013

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 512
Informatique et Mathématiques

Discipline : Informatique

Soutenue publiquement le 11 octobre 2022, par :

Jensen JOYMANGUL

Patient-centric approach to maximize CPAP therapy acceptance.

***AI-driven design, delivery, and monitoring of
interventions.***

Devant le jury composé de :

Hervé PINGAUD, Professeur des Universités, Université de Toulouse, Président

Lina SOUALMIA, Maîtresse de conférences HDR, Université Étienne du Rouvray, Rapporteur

Hind BRIL-EL-HAOUZI, Professeure des Universités, Université de Lorraine, Examinatrice

Ricardo JARDIM-GONCALVES, Professeur d'université, Nouvelle Université de Lisbonne, Examineur

Aïcha SEKHARI, Maîtresse de conférences, Université Lumière Lyon 2, Examinatrice

Olivier GRASSET, Responsable Routing Respiratoire, Linde Homecare France, Examineur

Nejib MOALLA, Professeur des Universités, Université Lumière Lyon 2, Directeur de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale - pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

Patient-centric approach to maximize CPAP therapy acceptance: AI-driven design, delivery, and monitoring of interventions

Jensen Selwyn JOYMANGUL

July 19, 2022

1 Introduction

Le syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) est un trouble du sommeil qui se manifeste de diverses manières. En l'absence de traitement, il a un effet néfaste sur le système cardiovasculaire, provoque une somnolence diurne excessive et contribue à l'augmentation des accidents de la route. Il se caractérise par le rétrécissement (hypopnée) et la fermeture (apnée) répétés des voies aériennes supérieures pendant le sommeil. Chez les adultes atteints de SAOS, le traitement par pression positive continue (PPC) est le traitement médical de première intention. Pour que le traitement par PPC soit efficace, il faut avant tout que le patient adhère au traitement. Pour constater une amélioration clinique, le patient doit utiliser la PPC pendant au moins 4 heures par nuit. Cependant, selon les recherches évaluant ce niveau d'adhésion, le traitement par PPC est celui qui présente le plus faible taux d'adhésion par rapport à 17 autres thérapies telles que le VIH, le cancer...

Avec l'avènement du big data et des données de surveillance très précises dans les soins à domicile, de nouvelles opportunités s'ouvrent pour s'attaquer à ses problèmes. L'une de ces opportunités est une compréhension plus complète du patient pour promulguer des interventions ciblées qui responsabilisent le patient dans la thérapie de la PPC. Ce projet de recherche, qui est mené en collaboration avec le prestataire de soins à domicile Linde Homecare France, s'inscrit dans le cadre de ces nouvelles opportunités. Dans ce projet de recherche, nous avons 4 objectifs principaux à savoir : 1) la caractérisation des patients, 2) la conception et la promulgation d'interventions personnalisées, 3) la vérification, la validation et le suivi des interventions et 4) le réajustement automatique des modèles sur la base des retours des experts.

1.1 Linde Homecare France

Linde Homecare France (LHF) rassemble depuis plus de 25 ans des professionnels de santé pour accompagner les patients atteints de maladies chroniques dans leur traitement à domicile. LHF est une filiale de Linde Plc, qui accompagne plus de 2,4 millions de patients dans le monde. LHF propose six types distincts de soins à domicile : PPC, assistance respiratoire, oxygénothérapie, perfusion à domicile, pompe à insuline et traitement des céphalées en grappes.

LHF accompagne plus de 50 000 patients en France dans le cadre de la thérapie PPC. Par conséquent, la thérapie PPC a un impact commercial important sur LHF. La solution proposée dans cette thèse prend en compte cet impact et la capacité à fournir les interventions à tous les patients de LHF. LHF travaille en étroite collaboration avec des cliniciens du sommeil, qui posent le diagnostic de SAOS et prescrivent un traitement par PPC. Sur la base de ces prescriptions, la LHF fournit une PPC au domicile des patients et propose des interventions éducatives sur la thérapie.

Le modèle économique des thérapies PPC est très spécifique à la France. En effet, la thérapie est majoritairement financée par le système de sécurité sociale français et non par les patients. Par conséquent, dans la plupart des cas, les patients ne dépensent pas d'argent pour la PPC. Le système de la sécurité sociale rémunère les prestataires de soins à domicile sur une base hebdomadaire pour compenser la livraison de l'appareil PPC et la prise en charge du patient. Cependant, ces rémunérations sont basées sur le niveau d'adhésion du patient à la PPC.

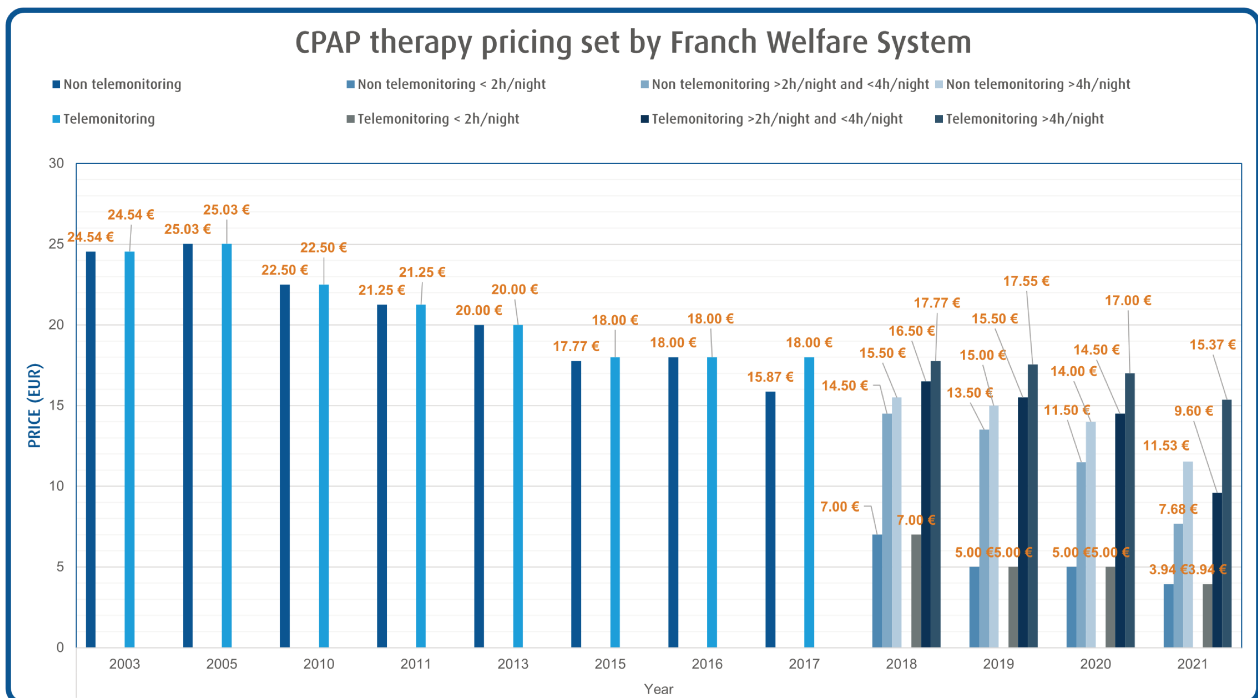


Figure 1: Le prix de la thérapie CPAP est fixé par le sécurité sociale française. (?)

La figure 1 illustre l'évolution de la politique de tarification du système de sécurité sociale française. La figure montre le prix hebdomadaire remboursé par le système d'aide sociale aux différents prestataires de soins à domicile. Depuis 2018, ces prix sont conditionnés par le niveau d'adhésion. Les prix ont diminué de manière significative au fil des années, en particulier pour les patients non-adhérents. Par conséquent, ces baisses successives ont un effet négatif sur le modèle économique des prestataires de soins à domicile comme LHF.

1.2 Nos collections de données

Nous avons utilisé une stratégie axée sur les données pour ce sujet de thèse, car la LHF a mis à disposition de nombreuses collections de données. La base donnée la plus conséquente est celle du suivi de la PPC, qui comprend les données de suivi d'environ 120 000 patients sur sept ans. Cet ensemble de données ne contient que des données quantitatives recueillies uniquement par l'utilisation de l'équipement PPC. Le tableau 1 fournit des informations supplémentaires sur cet ensemble de données. Les principaux inconvénients de cet ensemble de données sont sa variété et sa variabilité. En effet, l'ensemble de données ne comprend que trois données quantitatives relatives à l'appareil de PPC. En outre, la variabilité est modeste, car les patients présentent un modèle stable tout au long des mois. Par exemple, les patients ayant un faible niveau d'adhésion continuent généralement à ne pas adhérer à la thérapie.

Caractérisation	Description du jeu de données
Volume	Elevée - Données de surveillance de la PPC sur 120 000 patients
Diversité	Faible - 3 variables : utilisation de la PPC, fuite du masque, IAH
Vélocité	Elevée - Données générées quotidiennement
Véracité	Moyenne - Décrit uniquement la thérapie PPC mais aucune donnée sur les patients eux-mêmes
Variabilité	Faible - Quasiment aucune variation d'un jour à l'autre dans le suivi

Table 1: Caractérisation de l'ensemble des données de surveillance de la PPC

LHF gère un ensemble de données contenant des données qualitatives sur les patients dans le but de combler ces lacunes. Dans le tableau 2, nous résumons la caractérisation de cet ensemble de données. Ces statistiques sont recueillies directement au domicile des patients par les prestataires de soins à domicile. Cependant, ces données sont remises aux techniciens par les patients qui n'ont pas la possibilité de vérifier leur exactitude. Par conséquent, l'exactitude de ses indicateurs peuvent varier de manière significative.

Malgré cet ajout de l'ensemble de données, notre analyse préliminaire ne nous a pas permis de

définir le spectre complet des patients recevant un traitement par PPC. Ceci est principalement dû à la faible vélocité et à la variété des données rapportées par les patients. Pour combler cette lacune, la LHF travaille actuellement au développement d'une collection de capteurs qui pourraient être déployés au domicile des patients. Cette solution permettra d'augmenter de manière significative la vélocité des données et le volume des données mesurées. Par conséquent, cette thèse prend en compte cette nouvelle solution lors de l'élaboration de notre solution proposée à la lumière de cet ensemble de données supplémentaires.

Cependant, le déploiement à grande échelle de ces nouveaux capteurs n'est pas réalisable. Cette thèse doit proposer une solution capable d'identifier les cas dans lesquels les ensembles de données de surveillance de la PPC et d'informations rapportées par le patient sont insuffisants pour responsabiliser le patient dans sa thérapie. LHF peut alors déployer l'ensemble des capteurs sur ce sous-ensemble de patients.

Caractérisation	Description du jeu de données
Volume	Faible - Données collectées sur 5000 patients
Diversité	Faible - 6 données rapportées : IAH avant le traitement par PPC, IMC, Epworth, Connaissance du traitement, Motivation, Adhésion rapportée par le patient
Vélocité	Faible - Données générées au maximum 2 fois/an
Véracité	Moyenne - Inclut des informations décrivant le patient sur une plus grande portée par rapport aux données de surveillance de la PPC
Variabilité	Hors sujet - Il y avait une grande variabilité mais la vélocité est trop faible pour tirer une conclusion.

Table 2: Caractérisation de l'ensemble des données sur les informations communiquées par les patients

2 Objectifs de recherche

Au regard du contexte présenté dans la section précédente, cette recherche vise à développer une solution holistique pour augmenter le niveau d'adhésion au traitement de la PPC. L'étude globale ne comprend pas seulement l'analyse des données. Au contraire, nous développons un système complet qui s'appuie sur les modèles de données pour fournir des services personnalisés aux différentes parties prenantes des soins à domicile. Tout en considérant les fonctionnalités et les contraintes souhaitées, nos objectifs de recherche sont les suivants :

1. *Caractérisation des patientss*: Définir des modèles de données pour différencier les patients des autres grâce aux données de surveillance de la PPC. Cette caractérisation nous permettra

de détecter les besoins et la vulnérabilité de chaque patient afin de fournir des interventions personnalisées.

2. *Conception et implémentation d'interventions personnalisées*: Construire un référentiel complet d'interventions pouvant être dispensées directement aux patients. Toute interaction entre un patient et un membre du personnel de santé ou de soins à domicile, quel que soit le canal de communication, est considérée comme une intervention. Chaque intervention doit être personnalisable pour répondre aux besoins du patient.
3. *Vérification, validation et suivi des interventions*: Définir un processus normalisé pour recueillir les commentaires des experts et des patients. Nous devons fournir un ensemble d'outils pour la vérification et la validation systématiques des experts. Pour effectuer la validation, nous devons déterminer l'efficacité des interventions par le biais de la consommation de l'intervention.
4. *Réajustement automatique des modèles en fonction du retour des patients et experts*: La solution développée doit intégrer les commentaires des experts et des patients dans un processus d'apprentissage continu (Continuous Learning, CL). Définir un processus automatique d'apprentissage continu pour réajuster les différents modèles de données en fonction du résultat de l'évaluation.

3 Questions de recherche

Pour atteindre ses objectifs, nous devons d'abord répondre aux questions de recherche suivantes :

1. Comment développer un modèle dynamique pour la caractérisation du patient à partir des données de télésurveillance ? La réponse à cette question résout le problème de l'élaboration de multiples profils de patients et de parcours dynamiques de patients à partir de données brutes.
2. Comment concevoir et mettre en œuvre des interventions centrées sur le patient pour augmenter l'observance du traitement par PPC ? Il est essentiel de répondre à cette question afin d'offrir au patient les interventions les plus appropriées, sans impacts négatifs sur le traitement par PPC.
3. Comment faire vérifier les modèles analytiques par différents experts ? Nous devons établir la méthode la plus efficace pour impliquer les experts dans le processus de vérification avant de déployer les différents modèles.

4. Quels sont les mécanismes de validation pour évaluer les interventions de soins à domicile ? Il est nécessaire de déterminer le mécanisme approprié pour évaluer les interventions de manière objective par de multiples experts.
5. Comment propager automatiquement le feedback dans les modèles de données analytiques et les outils d'aide à la décision ? La propagation automatique du feedback permettra de déployer la solution plus rapidement et à grande échelle.

Problématique de recherche

Comment exploiter les données de surveillance de la PPC avec la télémédecine pour proposer des interventions centrées sur le patient afin d'augmenter le niveau d'adhésion au traitement par PPC à long terme et comment développer et déployer un système assisté par des experts sur un large spectre de patients pour une gestion personnalisée des patients ?

4 Homecare Intervention as a Service framework

Dans cette recherche, nous créons un cadre unique d'interventions de soins à domicile en tant que service (HIaaS) qui fournit des interventions par le biais de divers supports. Nous développons un framework, comme le montre la figure 2, pour résoudre le problème identifié.

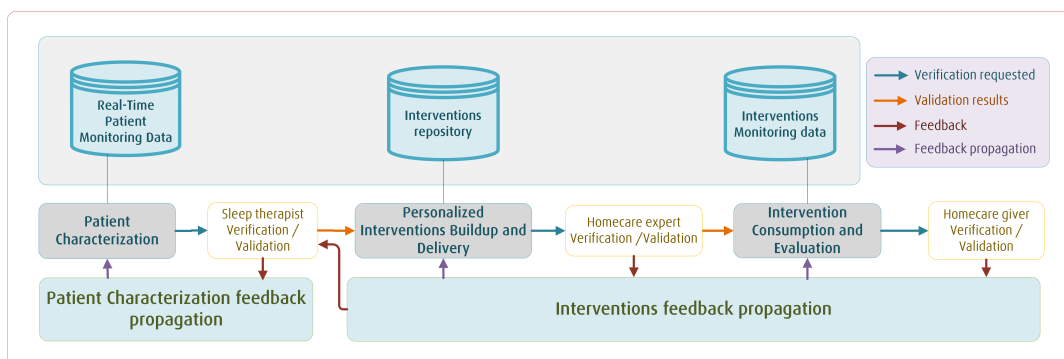


Figure 2: Le HIaaS framework

Nous avons trois dépôts pour alimenter le framework HIaaS :

- *Données de suivi des patients en temps réel* contenant les données collectées quotidiennement par la PPC
- *Dépôt d'interventions* contenant un ensemble d'interventions personnalisées

-
- *Données de suivi des interventions* contenant les données de suivi de la consommation des interventions

Avant de pouvoir créer et mettre en œuvre des interventions individualisées, nous devons d’abord décrire les patients pour comprendre leurs besoins afin qu’ils se conforment au traitement PAP. Nous créons de nombreux profils de patients à partir des données de surveillance de la PPC à différents stades du traitement. Nous définissons le calendrier exact des interventions en fonction des profils des patients. Par conséquent, le profil d’un patient peut évoluer au fil du temps, et la variation des profils de patients donne le parcours du patient. Grâce au parcours du patient, nous pouvons détecter ses besoins spécifiques.

Nous sélectionnons les interventions les plus appropriées en fonction des freins à l’observance des patients. Nous choisissons l’intervention dans le référentiel d’interventions. Pour approfondir l’approche centrée sur le patient, nous ajoutons un niveau de personnalisation à chaque intervention. Avant que les interventions ne soient dispensées, un professionnel des soins à domicile vérifie leur niveau de personnalisation. Les thérapies sont ensuite délivrées aux patients via l’application Sleep.Py, une solution mHealth personnalisée.

Le système surveille l’utilisation des interventions ainsi que avis du patient sur ces dernières. Cependant, dans le domaine des soins de santé, la consommation des interventions est unique puisqu’elle dépend de l’intention de se soigner du patient. Lorsque le patient a fini de consommer l’intervention, l’expert PPC analyse son efficacité à l’aide de divers critères. Au cours du processus de vérification et de validation, nous recueillons les commentaires des différents experts. Nous propageons ensuite ce feedback dans les différents modèles appropriés.

5 Contributions

La principale contribution de cette thèse est le framework HIaaS présenté dans la section précédente. Les multiples résultats du HIaaS nous permettent de remplir tous les objectifs. L’originalité de ce framework est qu’il fournit une orchestration formelle de multiples artefacts et parties prenantes dans un système de prestation d’interventions de soins à domicile. Ce framework est flexible et peut être mis en œuvre pour plusieurs thérapies de soins à domicile (non seulement pour la thérapie PPC).

Nous présentons ci-après les principales contributions apportées par cette recherche :

- **Profil Patient** : Un modèle de clustering multiple basé sur les données de surveillance de la PPC et les données qualitatives sur les patients recueillies par les aides à domicile. Nous avons des modèles de clustering multiple car le cluster attribué à un patient change au fil du temps.

Par conséquent, nous obtenons une caractérisation du patient basée sur ces clusters multiples, également appelés profil patient.

- **Prévisions d'adhésion à la PPC** : Un ensemble de modèles d'apprentissage automatique supervisé pour prédire le niveau d'adhésion des patients à la thérapie PPC. Les modèles prédisent l'adhésion à des intervalles de temps multiples. Ils donnent ainsi un itinéraire d'adhésion pour chaque patient. En combinant cet itinéraire avec le profil du patient et d'autres informations, nous obtenons le parcours patient. Par exemple, un parcours est la combinaison de la prédiction de l'adhésion 90 jours après les premiers jours de la thérapie avec le profil du patient et les données de consommation de 2 interventions.
- **Application mobile "Sleep.py Experts"** : Sleep.py Expert est exclusivement destinés aux différents experts de la thérapie PPC. L'application permet à l'expert de vérifier et de valider les différentes interventions. Nous mettons à la disposition des experts de multiples tableaux de bord et des données qualitatives sur le patient afin de recueillir les commentaires de ses derniers.
- **Application mobile "Sleep.py"** : Une solution mHealth ciblant les patients suivant une thérapie PPC. Cette application dispense des interventions adaptées à son utilisateur. De plus, Sleep.py collecte des informations qualitatives sur le patient via des questionnaires d'auto-évaluation et surveille la consommation des interventions par le patient. Nous utilisons ces informations pour concevoir le parcours du patient.
- **Automatic feedback propagation** : Un ensemble de directives de mise en œuvre pour propager le retour d'information collecté dans les différents modèles d'analyse de données. Cette mise en œuvre détecte automatiquement le modèle analytique de données spécifique pour un ajustement qui correspond aux exigences du retour d'information. Enfin, la planification de la propagation est automatiquement établie sur la base de plusieurs critères, par exemple en prenant compte le ratio risque-bénéfice.

6 Publications

J. S. Joymangul, A. Sekhari, A. Chatelet, N. Moalla, and O. Grasset, "Obstructive Sleep Apnea compliance: verifications and validations of personalized interventions for PAP therapy," presented at the 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), Mexico, Mexico, 2021-11-01, 2021.

J. S. Joymangul, A. Sekhari, N. Moalla and O. Grasset, "Obstructive Sleep Apnea compliance: modeling home care patient profiles," in IEEE 33rd International Symposium on Computer Based Medical Systems (CBMS), Mayo Clinic, Rochester, MN, USA, 2020.

J. S. Joymangul, A. Sekhari, N. Moalla and O. Grasset, "Data-oriented approach to improve adherence to CPAP therapy during the initiation phase," in 13th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA), Island of Ulkulhas, Maldives, 2019.

7 In review

[Resubmission] J. S. Joymangul, A. Sekhari, O. Grasset, N. Moalla, and T. Esteves "PAP Therapy adherence: Delivering personalized homecare interventions," in International Journal of Medical Informatics, 2022.

[Submission] J. S. Joymangul, A. Sekhari, O. Grasset, and N. Moalla "Sleep,py: a comprehensive mHealth solution for OSA patient management based the HIaaS continuous learning models," in Journal of Medical Systems, 2022.