



HAL
open science

L'apport des outils numériques dans la prise en charge du SAOS chez l'adulte

Khalil El Ghoul

► **To cite this version:**

Khalil El Ghoul. L'apport des outils numériques dans la prise en charge du SAOS chez l'adulte. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04614394

HAL Id: dumas-04614394

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04614394v1>

Submitted on 17 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2 - L 335.10



UNIVERSITÉ PARIS CITÉ

FACULTÉ DE SANTÉ

UFR D'ODONTOLOGIE

Année 2024

N° D002

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 9 janvier 2024

Par

Khalil EL GHOUL

**L'apport des outils numériques dans la prise en charge du SAOS
chez l'adulte**

Dirigée par M. le Docteur Éric Bonte

co-dirigée par M. le Docteur Thibault Conçu

JURY

M. le Professeur Martin Biosse Duplan

Président

M. le Docteur Eric Bonte

Assesseur

M. le Docteur Pierre Kuoch

Assesseur

Mme le Docteur Katia Jedeon

Assesseur

M. le Docteur Thibault Conçu

Invité



L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse d'exercice comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation, auprès du ou des titulaires des droits. Le droit de citations doit s'exercer avec rigueur et discernement. Certaines citations peuvent comporter un extrait textuel de la source. Cet extrait textuel doit être relativement court (une quinzaine de lignes tout au plus), mis entre guillemets ou clairement séparé du corps du texte et bien évidemment référencé en citation. En ce qui concerne la citation sans extrait textuel (mention d'idées ou concepts originaux, données chiffrées, figures, etc.), il faut également en citer la source. Toute figure, tableau, graphique reproduit doit également être accompagné de la citation de la source. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse d'exercice. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers.

Khalil EL GHOUL

Tableau des enseignants de l'UFR d'Odontologie

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme M. AUJAY DE LA DURE-MOLLA Mme É. DURSUN Mme S. VITAL	M. P.-J. BERAT (MCU associé) Mme A.-L. BONNET M. F. COURSON Mme A. VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE	Mme E. LE NORCY	M. G. DOT M. C. DUNGLAS M. P. GARREC Mme A. KAMOUN Mme B. VI-FANE
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme S. AZOGUI-LEVY M. P. PIRNAY	Mme A. GERMA Mme V. SMAIL-FAUGERON Mme A. TENENBAUM
2. CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme F. ANAGNOSTOU M. M. BIOSSE DUPLAN Mme M. C. CARRA Mme M.-L. COLOMBIER Mme M. GOSSET	M. A. BRUN M. D. GUEZ M. S. KERNER
	CHIRURGIE ORALE	Mme G. LESCAILLE M. L. MAMAN Mme L. RADOÏ M. N. MOREAU	Mme V. BAAROUN M. B. COURRIER Mme A.-L. EJEIL M. F. GAULTIER M. T. NGUYEN Mme J. ROCHEFORT M. L. SICARD Mme I. TAÏHI M. H. TARRAGANO
	BIOLOGIE ORALE	Mme C. BARDET (PU) Mme A. BERDAL Mme C. CHAUSSAIN M. V. DESCROIX M. B. FOURNIER M. B. GOGLY Mme S. SÉGUIER	Mme C. ANDRIQUE (MCU associée) M. C.-D. ARRETO M. J. BOUCHET (MCF) Mme H. CHARDIN M. P. COLLIN Mme M.-H. COTTET Mme A. COUDERT (MCF) M. F. FERRÉ Mme C. GORIN Mme S. HOUARI-MEJRI Mme J. ISAAC (MCF) M. O. LE MAY M. G. LIGNON (MCU associé) M. A. NASSIF Mme N. NOWWAROTE (MCU associé) M. B. PAIVA DOS SANTOS (MCF)
3. RÉHABILITATION ORALE (DÉBUT)	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme T. BOUKPESSI M. P. COLON Mme C. GAUCHER	Mme F. BERÈS Mme C. BESNAULT M. É. BONTE Mme A.-M. COLLIGNON M. F. DECUP Mme A. HARTMANN Mme K. JEDEON M. G. KUHN Mme C. MESGOUEZ-MENEZ Mme C. MOCQUOT Mme N. PRADELLE PLASSE Mme M. ZANINI

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
3. RÉHABILITATION ORALE (SUITE)	PROTHÈSES	Mme M.-V. BERTERETCHE Mme A. BRAUD M. O. FROMENTIN M. C. RIGNON-BRET M. B. TAVERNIER Mme C. WULFMAN	M. J.-M. CHEYLAN Mme H. CITTERIO Mme M.-J. CRENN M. M. DAAS M. D. DOT M. L. DUPAGNE (MCU associé) M. N. EID M. S. ESCURE Mme I. FOUILLOUX Mme L. FRIEDLANDER M. P. GATEAU M. D. MAURICE M. P. MOULIN M. P. RENAULT Mme É. SARFATI M. J.-E. SOFFER M. P. TRAMBA
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX	M. Y. BOUCHER Mme L. JORDAN M. J.-F. N'GUYEN M. B. SALMON	M. J.-P. ATTAL M. C. AZEVEDO Mme R. BENBELAÏD Mme A. BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) Mme J. BOSCO M. D. BOUTER M. J.-L. CHARRIER M. M. CHERRUAU M. R. FELIZARDO M. P. FRANÇOIS Mme F. MANGIONE M. A. PORPORATI (MCU associé) Mme F. TILOTTA
PROFESSEURS ÉMÉRITES		M. C. BÉRENHOLC M. P. BOUCHARD Mme M.-L. BOY-LEFÈVRE Mme M. FOLLIGUET Mme M. WOLIKOW M. R. GARCIA M. J.-J. LASFARGUES M. A. LAUTROU M. G. LEVY	M. B. PELLAT Mme A. POLIARD M. J.-L. SAFFAR

Liste mise à jour le 11 septembre 2023

Remerciements

À M. le Professeur Martin Biosse Duplan ; Docteur en Chirurgie dentaire ; Docteur de l'Université Paris Descartes ; Habilité à Diriger des Recherches ; Professeur des universités, UFR d'Odontologie – Université de Paris Cité ; Praticien hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris ;

Merci pour l'honneur que vous me faites d'accepter la présidence de ce jury de thèse d'exercice.
Merci pour la transmission de vos précieux enseignements en parodontie durant mon externat qui m'ont fait apprécier cette discipline.

À M. le Docteur Eric Bonte ; Docteur en Chirurgie dentaire ; Docteur de l'Université Paris Descartes ; Docteur en Sciences odontologiques ; Maître de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie – Université de Paris Cité ; Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris ;

Merci de m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse d'exercice. Votre gentillesse ainsi que vos conseils avisés m'ont permis de travailler sereinement. Mon externat passé à vos côtés en OCE a été non seulement plaisant mais surtout très enrichissant.

À Mme le Docteur Katia Jedeon ; Docteur en Chirurgie dentaire ; Maître de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie – Université de Paris Cité ; Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris ;

Merci de me faire l'honneur d'accepter de siéger à ce jury de thèse d'exercice.

À M. le Docteur Pierre Kuoch ; Docteur en chirurgie dentaire ; Chef de Clinique des Universités - Assistant des Hôpitaux, UFR d'Odontologie - Université Paris Cité ;

Merci de me faire l'honneur de siéger à ce jury de thèse d'exercice. Merci d'avoir toujours été à l'écoute et bienveillant durant ces années, les nombreuses discussions très intéressantes que nous avons partagées ont énormément participé à mon évolution.

À M. le Docteur Thibault Conçu ; Docteur en Chirurgie dentaire ; Praticien Hospitalier

Je ne sais comment vous remercier pour cette année passée en consultation de SAHOS et pour avoir codiriger cette thèse d'exercice. Ce fut un immense plaisir que d'apprendre à vos côtés et vos enseignements me suivront sûrement durant toute ma carrière.

Résumé et indexation en français et anglais

Résumé :

L'avènement de nouveaux dispositifs numériques destinés aux patients comme aux praticiens a permis d'esquisser une nouvelle approche concernant le traitement du SAOS. De nombreux constructeurs et chercheurs innovent chaque jour dans ce domaine et des investissements considérables sont consentis pour pousser les performances de ces outils à leurs paroxysmes. Le but de cette revue est d'exposer les différentes technologies et outils numériques mis à disposition sur le marché pouvant permettre à un patient un éventuel dépistage ou suivi de sa pathologie. L'observance et la participation active du patient à la prise en charge de sa pathologie peut permettre d'accélérer le processus de soin et d'avoir une meilleure idée de l'efficacité du traitement en temps réel. De plus ces outils bien qu'au début de leur ascension, pourraient nous permettre, dans un futur proche, le dépistage et le suivi massif de la population ainsi qu'une réduction des coûts et de l'attente nécessaire liée au passage d'une polysomnographie. Ce travail permettra d'illustrer à travers quelques cas cliniques la véracité des propos tenus.

Discipline ou spécialité :

Santé publique et prévention

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

fMeSH : Syndrome d'apnées obstructives du sommeil ; Littérature de revue comme sujet

Rameau : Internet des objets ; Médecine -- Appareils et matériel

Forme ou Genre :

fMeSH : Dissertation universitaire

Rameau : Thèses et écrits académiques

Abstract :

The advent of new digital devices for both patients and practitioners has led to a new approach to OSA. Numerous manufacturers and researchers are innovating in this field every day, and considerable amounts of money are being invested to push the performance of these tools to their limits. The aim of this review is to set out the various technologies and digital tools available on the market to enable patients to be screened or monitored for their condition. Patient compliance and active participation in the management of their disease can speed up the treatment process and give them a better idea of the effectiveness of their treatment in real time. What's more, although these tools are still in the early stages of their development, they could, soon, enable us to screen and monitor the population on a massive scale, as well as reducing the costs and waiting times associated with polysomnography. This study will use a few clinical cases to illustrate the truth of what we have said.

Branch or specialty :

Public Health and Prevention

English keywords (MeSH) :

Sleep Apnea, Obstructive ; Review Literature as Topic

Publication type (MeSH) :

Academic Dissertation

Liste des abréviations

- AASM : American Academy of Sleep Medicine
- BCG : Ballistocardiographie
- ECG : Electrocardiogramme
- ES : Efficacité du Sommeil
- HAS : Haute Autorité de Santé
- IAH : Indice d'Apnée Hypopnée
- MEMS : Microelectromechanical Systems
- OAM : Orthèse d'Avancée Mandibulaire
- PPG : Photopléthysmographie
- PSG : Polysomnographie
- PV : Polygraphie Ventilatoire
- REM : Rapid Eye Movement
- SAOS : Syndrome d'Apnée Obstructive du Sommeil
- TST : Temps de Sommeil Total
- VAS : Voies Aériennes Supérieures
- VPPC : Ventilation par Pression Positive Continue

Table des matières

INTRODUCTION	3
1 : LE SAOS	4
1.1 LE SOMMEIL.....	4
1.1.1 <i>Le rôle du sommeil</i>	4
1.1.2 <i>Sa cyclicité (les stades de sommeil)</i>	4
1.1.3 <i>L'anatomo-physiologie du sommeil</i>	5
1.2 LA RONCHOPATHIE OU RONFLEMENT	7
1.2.1 <i>Mécanismes</i>	7
1.2.2 <i>L'indicateur d'un sommeil perturbé ?</i>	8
1.3 LE SAOS.....	8
1.3.1 <i>Définition</i>	8
1.3.2 <i>Les différentes étiologies</i>	9
1.3.3 <i>Un coût important pour la société</i>	11
1.4 LES DIFFERENTS OUTILS DE DEPISTAGE ET DE DIAGNOSTICS ACTUEL	12
1.4.1 <i>L'anamnèse</i>	12
1.4.2 <i>Les signes phénotypiques</i>	13
1.4.3 <i>La polygraphie ventilatoire</i>	14
1.4.4 <i>La polysomnographie</i>	15
1.5 TRAITEMENTS DU SAOS.....	17
1.5.1 <i>Réduction pondérale/Promotion de l'exercice</i>	17
1.5.2 <i>Traitement positionnel</i>	17
1.5.3 <i>La VPPC</i>	17
1.5.4 <i>Traitements chirurgicaux</i>	18
1.5.5 <i>L'OAM</i>	19
2 : CONSTANTES RECHERCHEES, MOYENS D'ENREGISTREMENT ET OBJETS CONNECTES	20
2.1 LES PRINCIPALES CONSTANTES RECHERCHEES	20
2.1.1 <i>L'IAH</i>	20
2.1.2 <i>Saturation en oxygène et fréquence cardiaque</i>	21
2.1.3 <i>Le ronflement</i>	22
2.1.4 <i>Les mouvements thoraco-abdominaux et involontaires</i>	22
2.1.5 <i>Les différentes phases du sommeil</i>	23
2.2 LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES A NOTRE DISPOSITION DANS LE DEPISTAGE/SUIVI DU PATIENT	23
2.2.1 <i>L'Actigraphie</i>	23

2.2.2 La Photoplethysmographie.....	27
2.2.3 La ballistocardiographie	30
2.2.4 L'ECG.....	32
2.3 QUELQUES OUTILS CONCRETS	34
2.3.1 Les dispositifs de poignet/main	34
2.3.2 Dispositifs de lit	40
2.3.3 Smartphone et applications.....	43
3 : CAS CLINIQUE	47
3.1 INTRODUCTION.....	47
3.1.1 Simulation d'un dépistage à l'aide d'une montre connectée	48
3.1.2 Suivi d'un patient.....	55
CONCLUSION	60
BIBLIOGRAPHIE	61
TABLE DES FIGURES.....	65

Introduction

Le syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) est un problème de santé publique majeur qui toucherait 936 millions de personnes adultes dans le monde soit environ 10% de la population adulte.

Les conséquences physiopathologiques potentielles du SAOS, telles que l'hypertension artérielle ou l'accident vasculaire cérébral, nécessitent un dépistage précoce, un diagnostic et une prise en charge rapide, efficace et adaptée(1).

La bonne observance des traitements mis en œuvre est un facteur prépondérant dans l'amélioration de l'état du patient. Celle-ci peut être dégradée par des procédures diagnostiques conventionnelles quelques fois lourdes et chronophages.

Par conséquent, l'apport d'outils technologiques moderne dans la gestion du SAOS pourrait améliorer la qualité des soins, le suivi et la qualité de vie des patients. Les applications de suivi du sommeil destinées aux consommateurs connaissent un engouement croissant auprès des patients souffrant de troubles du sommeil ainsi que dans la population générale inquiète de la qualité de son sommeil.

Cette tendance offre de nouvelles voies dans la pratique clinique et de recherche dans la prise en charge et le suivi de cette pathologie.

Dans ce contexte, nous passerons en revue les outils de diagnostic et de dépistage conventionnels utilisés pour la médecine du sommeil.

Nous discuterons également de l'utilisation potentielle des technologies de suivi du sommeil destinées aux consommateurs pour améliorer la prise en charge et la recherche médicale.

Enfin, nous évaluerons, sur trois patients volontaires, le potentiel de ces nouveaux équipements.

1 : LE SAOS

1.1 Le sommeil

1.1.1 Le rôle du sommeil

Le sommeil est primordial. C'est un processus biologique fondamental qui occupe environ un tiers de notre vie. Il est essentiel pour le bon fonctionnement de notre organisme et la préservation de notre santé physique et mentale.

Il a plusieurs fonctions clés comme la régulation émotionnelle, la régulation du système immunitaire, la récupération, la réparation et la consolidation de la mémoire.

Des études montrent que la privation de sommeil peut entraîner des problèmes de santé tels que l'obésité, le diabète, les maladies cardiovasculaires, la dépression et les troubles cognitifs (2).

1.1.2 Sa cyclicité (les stades de sommeil)

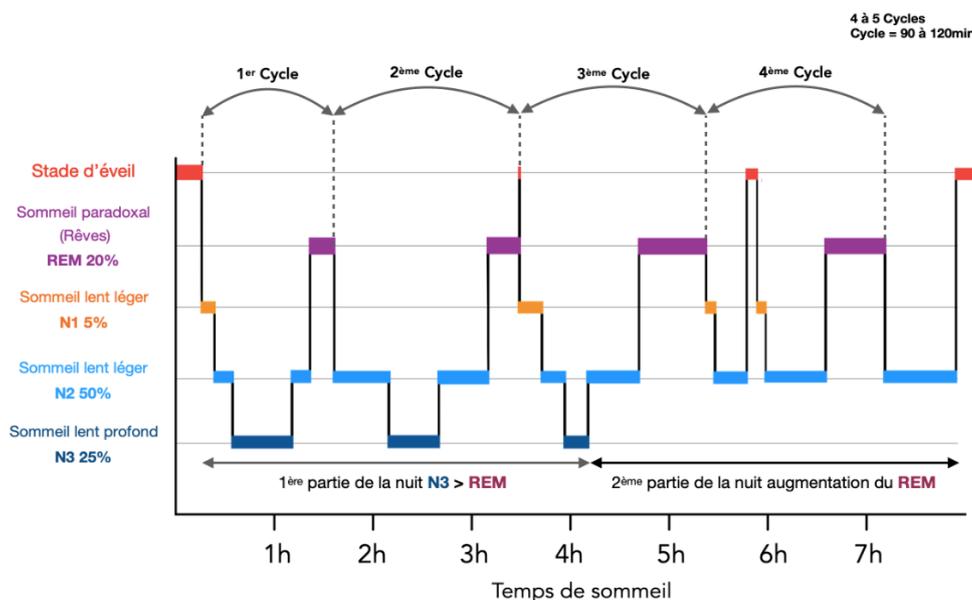
Le sommeil est divisé en cycles qui se répètent plusieurs fois au cours de la nuit (entre 4 et 6). Chaque cycle dure en moyenne 90 à 120 minutes et comprend deux grandes phases : le sommeil non paradoxal (ou sommeil lent) et le sommeil paradoxal (ou sommeil REM).

Le sommeil paradoxal représente environ 20 à 25 % du temps total de sommeil chez un individu sain. Il est caractérisé par une activité cérébrale et des mouvements oculaires rapides (d'où le nom REM pour Rapid Eye Movement). C'est durant cette phase que se produisent la plupart des rêves, et elle est également associée à la consolidation de la mémoire et à la régulation émotionnelle.

Le sommeil non paradoxal est subdivisé en trois stades (N1, N2 et N3) qui représentent la progression du sommeil léger au sommeil profond.

- Stade N1 (stade d'éveil) : Correspond à la transition entre l'éveil et le sommeil, caractérisé par un ralentissement des ondes cérébrales.
- Stade N2 (stade de sommeil léger) : Représente environ 40 à 60 % du temps total de sommeil chez l'adulte et est caractérisé par des ondes cérébrales plus lentes.
- Stade N3 (stade de sommeil profond) : Le sommeil profond ou sommeil à ondes lentes, qui est particulièrement important pour la récupération physique et la consolidation de la mémoire.

Figure 1 : Hypnogramme



Source : Encéphale Ventilation Analyse, « Comment s'organise notre sommeil ? », 2023.

1.1.3 L'anatomo-physiologie du sommeil

La complexité de la physiologie du sommeil englobe des mécanismes cérébraux, l'anatomie musculo-squelettique, les voies respiratoires et la ventilation pulmonaire, ayant tous une influence considérable sur la respiration et la qualité du sommeil.

Muscles impliqués dans la respiration :

Le diaphragme et les muscles intercostaux, qui sont essentiels à la respiration, travaillent activement durant le sommeil. La coordination entre ces muscles est cruciale pour garantir une ventilation adéquate et une oxygénation stable durant le sommeil.

Conduits aériens supérieurs :

La cavité nasale, le pharynx et le larynx composent les voies aériennes supérieures et ont un impact majeur sur la qualité du sommeil.

Les cavités nasales filtrent, humidifient et réchauffent l'air inspiré.

Le pharynx est un conduit musculo-membraneux qui relie les fosses nasales au larynx. L'obstruction des voies aériennes, causée par des facteurs physio-pathologiques tels que l'obésité, des

tonsilles hypertrophiées ou des anomalies anatomiques, peut mener à des troubles respiratoires du sommeil, comme l'apnée obstructive du sommeil.

Muscles pharyngés et larynx :

Le tenseur du voile du palais et le génio-glosse des muscles pharyngés, sont importants pour maintenir l'ouverture et le dégagement des voies aériennes supérieures durant le sommeil.

Le relâchement de ces muscles pendant le sommeil peut provoquer un rétrécissement des voies aériennes et favoriser l'apparition de manifestations respiratoires, telles que le ronflement et les apnées obstructives.

Le larynx, un conduit cartilagineux, participe à la respiration, la phonation et la déglutition. Il fait partie du parcours de l'air vers les alvéoles pulmonaires et héberge les cordes vocales, mais n'intervient pas dans l'obstruction pathologique des voies aériennes supérieures.

Ventilation pulmonaire :

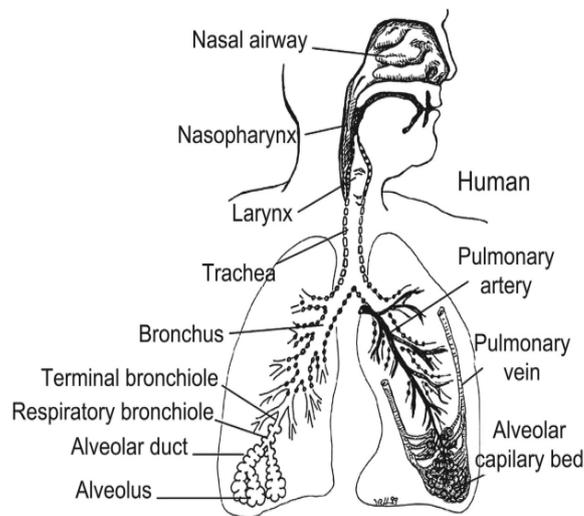
Le processus de ventilation pulmonaire permet le déplacement de l'air entre l'environnement extérieur et les poumons lors de l'inspiration et de l'expiration.

Ce processus est indispensable pour apporter l'oxygène aux cellules et évacuer le dioxyde de carbone.

La trachée, un tube cartilagineux qui prolonge le larynx, mène aux bronches principales droite et gauche. Ces dernières se subdivisent en bronches lobaires, segmentaires, bronchioles et finalement en alvéoles pulmonaires. Les alvéoles sont entourées d'un réseau dense de capillaires sanguins qui facilitent les échanges gazeux.

Les alvéoles sont recouvertes d'un surfactant pulmonaire, un mélange de lipides et de protéines, qui facilite leur expansion et leur rétraction lors de l'inspiration et de l'expiration, et prévient leur affaissement.

Figure 2 : Illustration du système respiratoire



Source : Harkema et al., « Respiratory System », 2018.

1.2 La ronchopathie ou ronflement

1.2.1 Mécanismes

Le ronflement est un phénomène fréquent qui survient lorsque le flux d'air est partiellement obstrué lors de la respiration pendant le sommeil, provoquant la vibration des tissus mous contre la paroi pharyngée au niveau du carrefour oro-pharyngé.

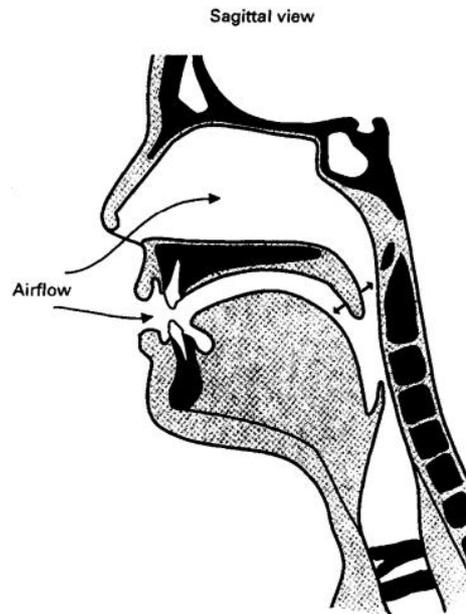
Les mécanismes impliqués dans le ronflement peuvent être expliqués en examinant les facteurs anatomo-physiologiques et les conditions favorisant cette obstruction.

Par exemple l'anatomie des voies aériennes supérieures peut influencer sur le ronflement ; en effet des amygdales hypertrophiées, un palais mou épais ou une luette allongée peuvent contribuer à un rétrécissement des voies aériennes supérieures et augmenter la probabilité de ronflement.

La position du sommeil peut également influencer le ronflement, dormir sur le dos, par exemple, favorise le relâchement des muscles de la langue et des VAS ce qui peut entraîner une obstruction partielle et donc des ronflements.

L'obésité est aussi un facteur de risque majeur de ronflement dû à une accumulation de tissu adipeux autour du cou ce qui exerce une pression sur les VAS et réduit leur calibre.

Figure 3 : Vue sagittale des vibrations des tissus mous contre la paroi pharyngée



Source : Quinn et al., « Observation of the mechanism of snoring using sleep nasendoscopy », 1995.

1.2.2 L'indicateur d'un sommeil perturbé ?

Le ronflement est souvent considéré comme un indicateur de sommeil perturbé, car il peut être associé à divers problèmes de santé et troubles du sommeil, tels que l'apnée du sommeil.

Cependant il est important de noter que le ronflement simple est différent de l'apnée du sommeil, car il n'est pas associé à des pauses respiratoires ou à des troubles respiratoires pendant le sommeil.

Il faut donc en cas de suspicion d'un SAOS suite à un entretien clinique approfondi (ronflement, somnolence diurne etc...) prescrire des examens du sommeil complémentaires afin de poser un diagnostic précis (3).

De surcroît le ronflement n'est pas seulement l'indicateur d'un sommeil perturbé mais pourrait être à l'origine d'autres complications de santé tel que les maladies cardiovasculaires (4).

1.3 Le SAOS

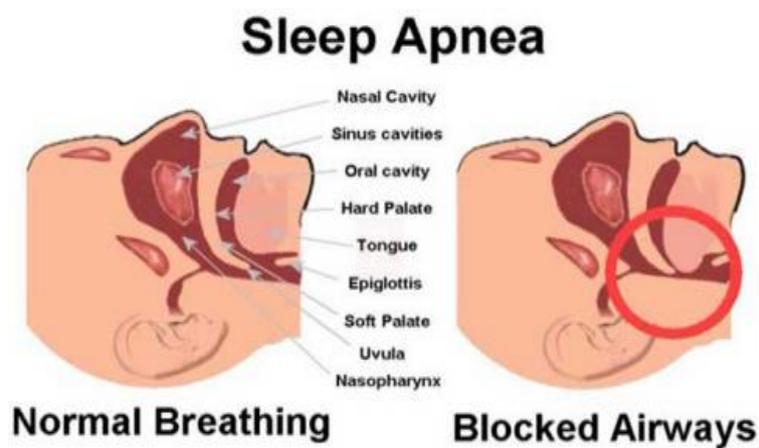
1.3.1 Définition

Le SAOS est un trouble respiratoire chronique caractérisé par des pauses répétées de la respiration pendant le sommeil. Ces pauses, appelées apnées (arrêt complet du flux d'air de plus de 10s) ou

hypopnées (réduction significative du flux d'air de 50 %), résultent d'une obstruction des voies aériennes supérieures.

L'apnée se manifeste par une altération de la qualité du sommeil, une somnolence diurne excessive, des réveils nocturnes fréquents, allant jusqu'à un risque accru de cancer et d'accident de la voie publique. Ce trouble est également associé à un risque accru de complications cardiovasculaires et métaboliques (5).

Figure 4 : Schéma du phénomène d'obstruction des voies aériennes lors de l'apnée



Source : Ali et al., « Smart pillow : sleep apnea monitoring & minimization device », 2019.

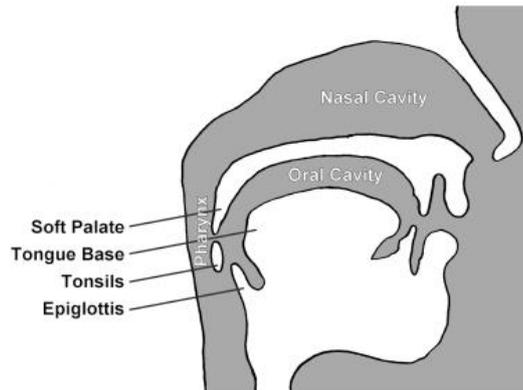
1.3.2 Les différentes étiologies

Le syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) est un trouble respiratoire qui survient après l'endormissement, que l'on peut suspecter lorsque résulte un ou plusieurs facteurs étiologiques.

Anatomie des voies aériennes :

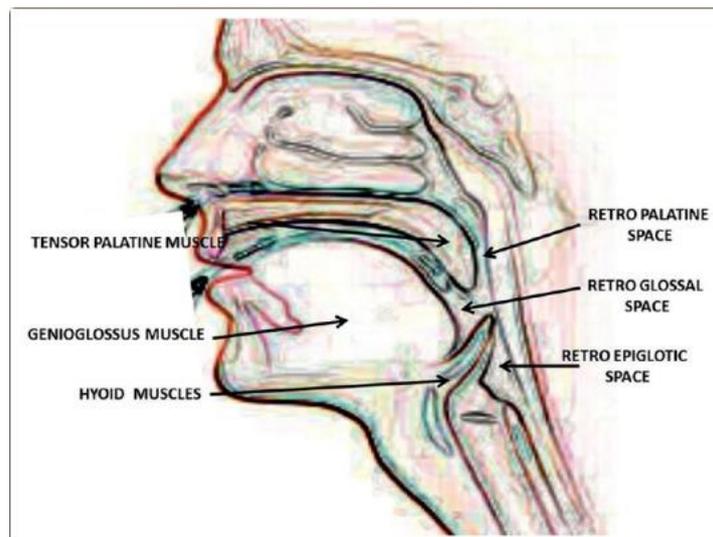
Des obstacles anatomiques peuvent réduire les voies aériennes tel qu'une hypertrophie des tonsilles, des végétations adénoïdes, une déviation de la cloison nasale, des cornets atrophiques, un palais mou allongé ou une langue volumineuse peuvent contribuer à l'obstruction des voies aériennes et favoriser les apnées obstructives

Figure 5a : Coupe sagittale des Voies aériennes supérieures



Source : Qian et al., « Can machine learning assist locating the excitation of snore sound ? A review », 2020.

Figure 5b : Autre coupe sagittale des VAS

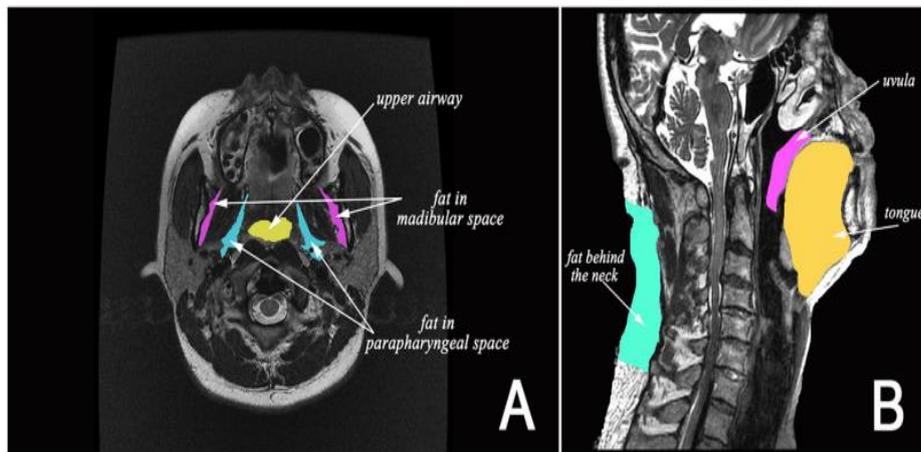


Source : Patwa et Shah, « Anatomy and physiology of respiratory system relevant to anaesthesia », 2015.

Obésité :

L'obésité, en particulier l'accumulation de graisse dans la région cervicale, est l'un des principaux facteurs de risque du SAOS. Une augmentation de la masse adipeuse dans cette région peut exercer une pression sur les voies aériennes et les comprimer (6).

Figure 6 : Coupe axiale et sagittale d'une IRM représentant la masse graisseuse au niveau des VAS



Source : Lin et al., « Upper airway lengthening caused by weight increase in obstructive sleep apnea patients », 2020.

Âge :

Le risque de SAOS augmente avec l'âge, notamment en raison des modifications des tissus des voies aériennes et de la diminution du tonus musculaire pharyngé.

Sexe :

Les hommes sont plus susceptibles de développer un SAOS que les femmes, en partie à cause des différences hormonales et anatomiques. Toutefois, le risque chez les femmes augmente après la ménopause (2 hommes pour 1 femme puis 1 pour 1 après la ménopause)

Tabagisme et consommation d'alcool :

Le tabagisme et la consommation d'alcool sont également des facteurs de risque du SAOS. Ils peuvent provoquer une inflammation et un œdème des voies aériennes, ainsi qu'une diminution du tonus musculaire pharyngé

Asthme :

L'asthme peut également jouer un rôle dans le déclenchement de l'apnée du sommeil.

1.3.3 Un coût important pour la société

Le Syndrome d'Apnées Obstrucives du Sommeil (SAOS) représente un enjeu majeur de santé publique en France, non seulement en raison de sa prévalence élevée, mais aussi des coûts socio-économiques

associés. Les coûts liés au SAOS incluent les dépenses directes, comme les consultations médicales, les examens de diagnostic, les traitements et les hospitalisations, mais aussi les coûts indirects, tels que la perte de productivité au travail, les accidents de la route et les problèmes de santé associés.

En effet le SAOS peut favoriser l'apparition de nombreuses pathologies telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires, L'hypertension artérielle, La dépression etc... dont la prise en charge peut coûter cher à la société.

En 2015 La sécurité sociale a dépensé 648,7 millions d'euros dans le remboursement des traitements par PPC et plusieurs centaines de millions d'euros dans des orthèses dont des orthèses d'avancée mandibulaire(7) . Notons aussi que près d'un milliard quatre cent dix-sept millions d'euros pour la prise en charge des maladies respiratoires sans compter le traitement des pathologies pouvant être associées au SAOS.

D'après l'étude de Hillman faite en Australie, le coût total lié au manque de sommeil est estimé à 45,21milliards de dollars américains pour l'année 2016-2017 (8).

Aux Etats-Unis le coût total estimé en dollars lié aux pathologies dues à un SAOS non diagnostiqué en 2015 était d'environ 150 milliards de dollars (9).

1.4 Les différents outils de dépistage et de diagnostics actuel

1.4.1 L'anamnèse

L'anamnèse est une étape cruciale dans le diagnostic du Syndrome d'Apnée Hypopnée Obstructive du Sommeil (SAHOS). Elle consiste en une série de questions posées par le médecin au patient et à son partenaire de lit, si possible, pour recueillir des informations sur les antécédents médicaux, les symptômes et les habitudes de sommeil. Les éléments clés de l'anamnèse incluent :

Les symptômes nocturnes :

Les patients atteints de SAOS présentent généralement des symptômes tels que le ronflement, les pauses respiratoires observées par le partenaire, les réveils fréquents pendant la nuit et les mouvements brusques.

Les symptômes diurnes :

La somnolence diurne excessive (un patient qui s'endort au volant), la fatigue, les maux de tête matinaux, la difficulté à se concentrer, l'irritabilité et la dépression sont des symptômes fréquemment rapportés par les patients souffrant de SAOS.

Les facteurs de risque :

L'âge, le sexe, l'obésité (indice de masse corporelle élevé), la circonférence du cou, la consommation d'alcool et de tabac, et les antécédents familiaux de SAOS sont des facteurs de risque bien établis.

1.4.2 Les signes phénotypiques

Plusieurs signes phénotypiques peuvent orienter vers le dépistage d'un syndrome du SAOS, parmi eux on note :

Endomaxillie :

L'endomaxillie est une réduction de la dimension antéropostérieure du maxillaire supérieur. Cette condition peut entraîner un rétrécissement des voies respiratoires supérieures et ainsi augmenter le risque de SAOS.

Surplomb incisif important et/ou supraclusion :

Un surplomb incisif important ou une supraclusion (une occlusion verticale excessive des dents supérieures et inférieures) peuvent indiquer un déséquilibre de la structure dentaire et des voies aériennes, ce qui augmente le risque de SAOS.

Hypertrophie des amygdales (classification de Friedman) :

L'hypertrophie des amygdales, évaluée selon la classification de Friedman, peut réduire l'espace disponible pour le passage de l'air dans les voies respiratoires supérieures et ainsi augmenter le risque de SAOS. La classification de Friedman évalue la taille des amygdales par rapport à l'oropharynx.

Macroglossie :

La macroglossie, c'est-à-dire une langue anormalement large ou épaisse, peut contribuer à un rétrécissement des voies aériennes supérieures, en particulier lorsqu'elle est associée à un palais mou allongé ou une base de langue large.

Rétrécissement oro-pharyngé (classe 3 et 4 de Mallampati) :

La classification de Mallampati évalue la visibilité du pharynx et est utilisée pour prédire la difficulté d'intubation. Les classes 3 et 4 indiquent un rétrécissement significatif de l'oropharynx, ce qui peut augmenter le risque de SAOS.

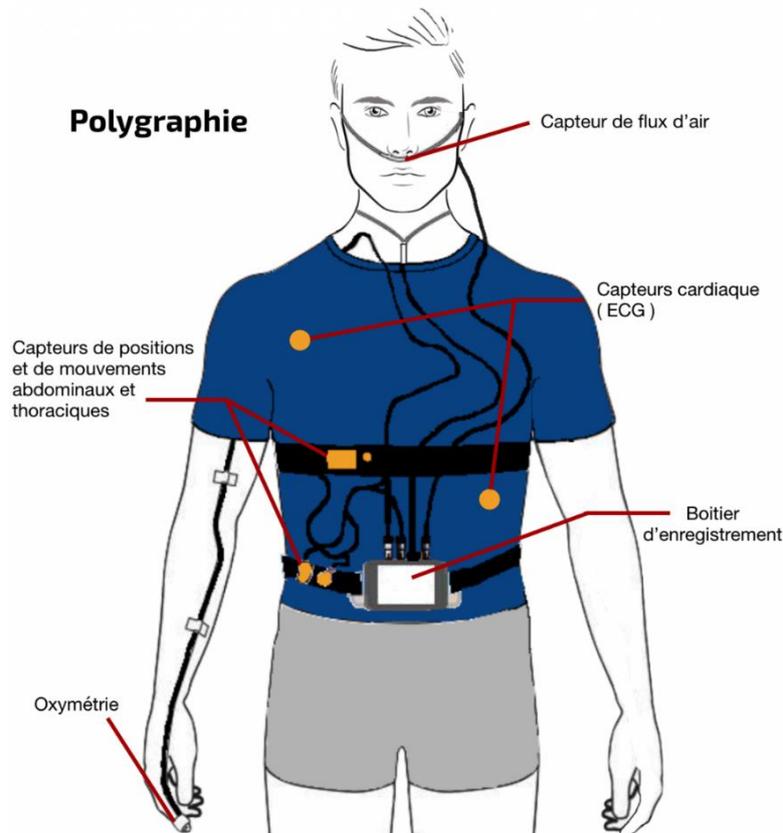
1.4.3 La polygraphie ventilatoire

La polygraphie ventilatoire est une méthode de diagnostic couramment utilisée en ambulatoire pour évaluer le SAOS. Cet examen permet d'enregistrer plusieurs paramètres pendant le sommeil, notamment le flux d'air nasal, les mouvements thoraco-abdominaux, l'oxygénation sanguine et les événements respiratoires (apnées et hypopnées).

La PV présente l'avantage d'être moins coûteuse et moins invasive que la polysomnographie, tout en offrant une bonne sensibilité et spécificité pour le diagnostic du SAOS (10). Cependant, la polygraphie ventilatoire ne mesure pas directement les stades de sommeil et les micro-éveils contrairement à la polysomnographie.

Elle est généralement réalisée à domicile, ce qui permet d'évaluer le sommeil dans un environnement proche de la réalité du patient et d'éviter les inconvénients liés à une nuit passée en laboratoire. Cependant, certaines erreurs de mesure peuvent survenir, notamment en raison d'un mauvais positionnement des capteurs ou d'artefacts liés aux mouvements du patient

Figure 7a : Appareillage pour la polygraphie ventilatoire



Source : Encéphale Ventilation Analyse, « Un examen de polygraphie ventilatoire, qu'est-ce que c'est ? », 2023.

1.4.4 La polysomnographie

La polysomnographie est considérée comme le test gold standard pour le diagnostic du SAOS chez les adultes. La PSG est réalisée dans un laboratoire du sommeil et surveille en continu plusieurs paramètres physiologiques pendant une nuit complète de sommeil.

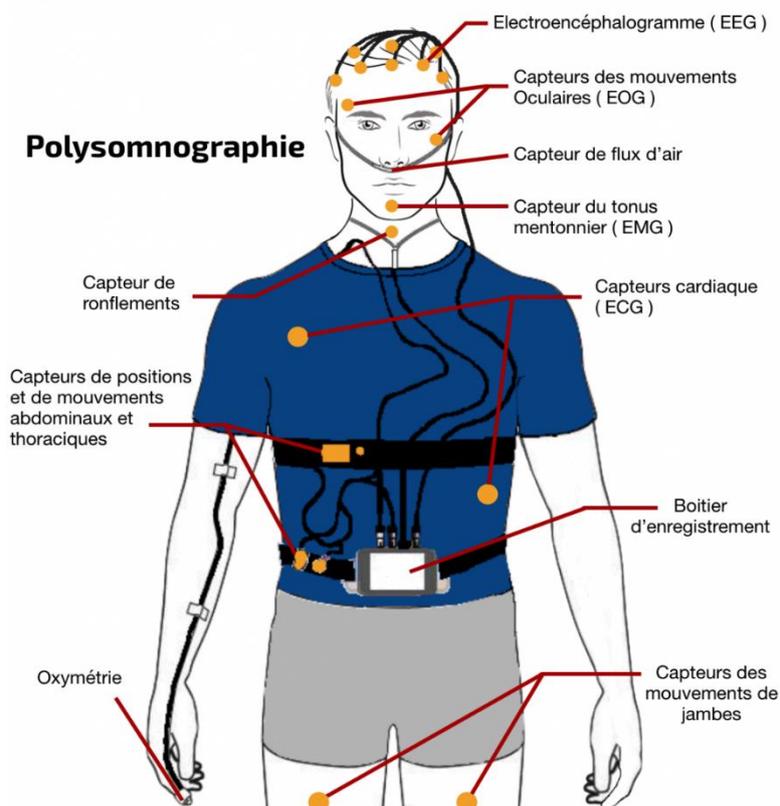
Parmi les paramètres mesurés lors d'un PSG, on trouve :

- L'activité électroencéphalographique (EEG) pour déterminer les stades du sommeil
- L'électro-oculographie (EOG) pour détecter les mouvements oculaires rapides (REM)
- L'électromyographie (EMG) pour évaluer l'activité musculaire, y compris celle des muscles submentaux et des jambes
- La fréquence cardiaque et le rythme cardiaque (ECG)
- La saturation en oxygène et les variations de la fréquence cardiaque
- Le flux d'air nasal et/ou buccal
- Les mouvements thoraciques et abdominaux pour évaluer les efforts respiratoires

Le diagnostic du SAOS est posé en fonction du nombre d'apnées et d'hypopnées par heure de sommeil, appelé indice d'apnée-hypopnée (IAH).

Bien que la PSG soit le test de référence pour le diagnostic du SAOS, elle présente des inconvénients, tels que le coût élevé, la nécessité d'une nuit passée en laboratoire du sommeil et la disponibilité limitée des installations de sommeil qui peut entraîner des délais d'attente assez long pour le patient. Néanmoins, la PSG reste un outil précieux et largement utilisé pour le diagnostic précis du SAOS et la prise en charge ultérieure des patients.

Figure 7b : Appareillage pour la polysomnographie



Source : Encéphale Ventilation Analyse, « Un examen de polysomnographie, qu'est-ce que c'est ? », 2023.

1.5 Traitements du SAOS

1.5.1 Réduction pondérale/Promotion de l'exercice

La réduction pondérale et la promotion de l'exercice sont des interventions non invasives qui peuvent avoir un impact significatif sur la gravité du SAOS chez les patients en surpoids ou obèses. En effet, l'obésité est un facteur de risque majeur pour le SAOS, et la perte de poids peut contribuer à réduire l'IAH, améliorer la qualité du sommeil et diminuer la somnolence diurne. Une perte de 10% du poids permettrait une réduction de 30 % de l'IAH (11).

Même en l'absence de perte de poids, un exercice physique régulier permettrait d'améliorer le SAOS et de réduire significativement l'IAH (12).

1.5.2 Traitement positionnel

Eviter le décubitus dorsal lorsque l'on a affaire à une composante positionnelle dans le SAOS est indispensable car comme nous l'avons vu précédemment les tissus mous des voies aériennes supérieures peuvent être entraînés vers l'arrière et faire obstruction. Le traitement positionnel permettrait d'améliorer également le SAOS en réduisant l'IAH de manière significative (13).

1.5.3 La VPPC

La ventilation à pression positive continue est considérée comme le traitement de référence pour le syndrome d'apnée obstructive du sommeil, en particulier pour les cas modérés à sévères. La VPPC fonctionne en délivrant un flux d'air sous pression constante au travers d'un masque nasal ou oronasal, maintenant ainsi les voies aériennes ouvertes et évitant les événements d'apnée et d'hypopnée pendant le sommeil. C'est aujourd'hui le traitement le plus efficace contre le SAOS de par l'amélioration des différents éléments mesurables (IAH, saturation en oxygène etc..) (14).

Cependant la VPPC présente plusieurs inconvénients (muqueuse asséchée, impact social, encombrement de l'appareillage, fuite d'air et inconfort du masque) qui découragent bon nombre de patients qui abandonnent ce traitement (15). 30 à 40 % des patients porteraient leur appareil moins de 4 h par nuit (16). S'y ajoute une défiance vis-à-vis de la qualité de fabrication de certains de ces appareils, à l'origine d'un rappel massif de ces dispositifs au niveau mondial.

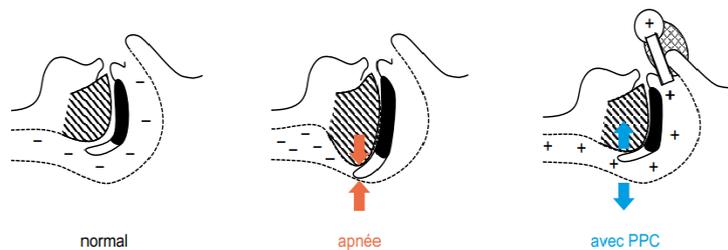
Ce défaut d'observance a donc mené plusieurs patients à songer à d'autres traitements/prise en charge comme la chirurgie ou l'OAM.

Figure 8a : Patient portant un appareil à pression positive continue



Source : Hôpitaux universitaires de Genève service de pneumologie, « Le traitement par CPAP », 2020.

Figure 8b : Mécanisme de libération des VAS par VPPC



Source : Sullivan et al., « Reversal of obstructive sleep apnoea by continuous positive airway pressure applied through the nares », 1981.

1.5.4 Traitements chirurgicaux

Les traitements chirurgicaux représentent une option pour les patients atteints de SAOS qui ne répondent pas, ne tolèrent pas ou ne sont pas éligibles à d'autres formes de traitement, tels que la VPPC ou l'orthèse d'avancée mandibulaire. Plusieurs interventions chirurgicales ont été développées pour aborder divers aspects de l'anatomie des voies aériennes supérieures.

Uvulopalatopharyngoplastie (UPPP) :

L'UPPP est une intervention chirurgicale qui vise à éliminer l'excès de tissu du voile du palais et des parois pharyngées afin d'élargir les voies aériennes.

Avancement maxillo-mandibulaire (MMA) :

Le MMA est une intervention qui consiste à avancer les mâchoires supérieure et inférieure afin d'augmenter l'espace des voies aériennes supérieures.

Chirurgie des voies aériennes supérieures :

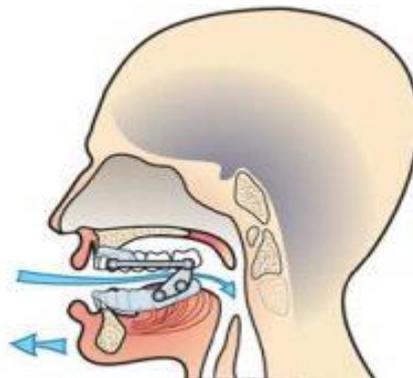
Les interventions sur les voies aériennes supérieures comprennent l'ablation des amygdales, la correction des déviations septales et la réduction des cornets. Ces interventions sont généralement indiquées chez les patients présentant des obstructions spécifiques des voies aériennes.

Il est important de noter que l'efficacité des traitements chirurgicaux varie en fonction des caractéristiques individuelles et de l'anatomie des voies aériennes supérieures. Les patients doivent être évalués attentivement et suivis de près pour déterminer la meilleure approche thérapeutique.

1.5.5 L'OAM

L'orthèse d'avancée mandibulaire est un dispositif personnalisé qui maintient la mâchoire inférieure dans une position avancée pendant le sommeil, qui libère les voies aériennes supérieures et réduit le risque d'obstruction. L'OAM est une alternative non invasive pour les patients atteints de SAOS qui ne supportent pas la VPPC.

Figure 9 : Mécanisme de libération des VAS par L'OAM



Source : Centre du sommeil Respire, « l'orthèse d'avancée mandibulaire », 2019.

2 : Constantes recherchées, moyens d'enregistrement et objets connectés

2.1 Les principales constantes recherchées

2.1.1 L'IAH

L'indice d'apnée-hypopnée est une des principales mesures qui permet le diagnostic et la prise en charge d'un SAOS. Il indique le nombre moyen d'épisodes d'apnées et d'hypopnées par heure de sommeil.

L'IAH est calculé en divisant le nombre total d'apnées et d'hypopnées par le nombre d'heures de sommeil. L'interprétation de l'IAH est généralement la suivante :

IAH < 5/h : Normal

IAH entre 5 et 15/h : SAOS léger

IAH entre 15 et 30/h : SAOS modéré

IAH > 30/h : SAOS sévère

Il est généralement obtenu à la suite d'un PSG ou d'un PV ce qui va permettre une prise en charge adapté en fonction du résultat.

Il est important de noter que même un IAH léger peut être cliniquement significatif si le patient présente des signes de somnolence répétés et prononcés (notamment au volant) ou des comorbidités associées. De plus la corrélation entre l'IAH et l'impact ressenti par le patient sur sa qualité de vie n'a pas toujours de lien très étroit (17).

. Certains auteurs rapportent que celui-ci n'est pas suffisant pour juger de la sévérité d'un SAOS et que la somnolence est un critère indispensable à associer à l'IAH afin de conclure sur la conduite à tenir (18).

Voici la classification mise en place par la HAS pour évaluer la sévérité d'un SAOS en fonction de la somnolence :

- « légère, si la somnolence indésirable ou les épisodes de sommeil involontaire ont peu de répercussion sur la vie sociale ou professionnelle et apparaissent pendant des activités nécessitant peu d'attention (regarder la télévision, lire, être passager d'une voiture) »
- « modérée, si la somnolence indésirable ou les épisodes de sommeil involontaire ont une répercussion modérée sur la vie sociale ou professionnelle et apparaissent pendant des activités nécessitant plus d'attention (concert, réunion) ; »

- « sévère, si la somnolence indésirable ou les épisodes de sommeil involontaire perturbent de façon importante la vie sociale ou professionnelle et apparaissent lors d'activités de la vie quotidienne (manger, tenir une conversation, marcher, conduire). » (19).

Dans ce contexte de nouveaux outils numériques sont en développement, en cours de perfectionnement et d'adoption afin d'effectuer les justes mesures et se rapprocher le plus précisément d'un IAH reproductible et exact. Dans un contexte de somnolence, l'entretien clinique avec le patient sera la mesure la plus fiable que nous puissions prendre en compte.

2.1.2 Saturation en oxygène et fréquence cardiaque

La SpO₂ mesure le pourcentage d'hémoglobine dans le sang qui est saturé en oxygène. Durant une apnée ou une hypopnée, la réduction ou l'arrêt du flux d'oxygène entraîne une diminution de la SpO₂. Les constantes de SpO₂ considérées comme satisfaisantes sont comprises entre 95% et 100%, en deçà de 90% cela peut s'avérer dangereux pour la santé et provoquer une hypoxie, la SpO₂ peut chuter bien en dessous de cette tranche de valeur lors des épisodes d'apnée ou d'hypopnée. L'indice de désaturation en oxygène (ODI) indique le nombre moyen de désaturations par heure de sommeil, cet indice ayant comme caractéristique principale de faire des projections assez fiables sur l'IAH. Il peut donc être considéré comme un indicateur fiable de la gravité d'un SAOS.

La fréquence cardiaque peut quant à elle varier en même temps que la saturation en oxygène. Par exemple, une chute importante de celle-ci peut entraîner une accélération de la fréquence cardiaque (tachycardie), tandis qu'un retour à la normale et une augmentation du taux de saturation peut provoquer un ralentissement de la fréquence cardiaque (bradycardie). Sa mesure permet de déterminer et prévenir le risque de maladie cardiovasculaire dans le cadre d'un syndrome d'apnée du sommeil (20).

L'évaluation de la SpO₂ et de la fréquence cardiaque est généralement réalisée par un oxymètre de pouls, un appareil non invasif qui utilise des technologies comme la spectroscopie infrarouge pour estimer le taux d'oxygénation du sang et mesurer la fréquence cardiaque. Dans le contexte du diagnostic du SAOS, ces mesures sont habituellement intégrées dans les dispositifs de polysomnographie et de polygraphie ventilatoire.

2.1.3 Le ronflement

La détection et la quantification du ronflement sont souvent réalisées en utilisant des microphones placés à proximité du cou du patient ou incorporés dans les dispositifs polysomnographiques. En effet certaines études ont montré la relation entre l'intensité des ronflements (en décibel) et la sévérité du SAOS (21).

C'est pourquoi la mesure du ronflement en décibel peut s'avérer être un indicateur de la sévérité d'un SAOS qu'on ne peut négliger. En effet nous pouvons imaginer que la diminution de l'intensité du ronflement pourrait nous permettre d'apprécier l'amélioration du syndrome apnéique. Cependant pour objectiver l'amélioration de ce seul paramètre il faudrait refaire une polysomnographie ce qui s'avère assez contraignant.

Des outils facilement manipulables par le patient sont aujourd'hui disponibles pour mesurer en Décibel les épisodes de ronflement ainsi que leurs intensités pendant la nuit ce qui peut nous permettre de mieux objectiver l'amélioration du traitement que nous pouvons prodiguer.

2.1.4 Les mouvements thoraco-abdominaux et involontaires

Lors d'un mouvement respiratoire (dirigé par le système nerveux central), le diaphragme sous contrôle du nerf phrénique (qui prend son origine dans la moelle épinière) va s'abaisser et entraîner un accroissement du volume pulmonaire. En parallèle l'ensemble des muscles intercostaux, innervés par le nerf intercostal vont se contracter, permettre un déplacement des côtes et une expansion de la cage thoracique afin de faciliter le passage l'air jusqu'aux poumons. Le relâchement de ces muscles va permettre une réduction du volume pulmonaire qui va chasser l'air des poumons de manière passive. Cependant lors d'un effort physique intense ou de troubles respiratoires, l'activation des muscles abdominaux peut être sollicité pour améliorer la ventilation pulmonaire, l'expiration devient active. On observe une augmentation de l'expiration active dans le syndrome d'apnée du sommeil qui pourrait contribuer à un sommeil plus réparateur (22).

L'étude de ces mouvements est utilisée pour caractériser le type d'apnée dont est atteint le patient et de quantifier la proportion d'apnée mixte, obstructive et centrale afin d'adapter au mieux la prise en charge.

Les différents types d'apnées (23) :

L'apnée obstructive : Elle se traduit par un effort respiratoire sans flux d'air.

L'apnée centrale : Absence à la fois d'effort respiratoire et de flux d'air

L'apnée mixte : Absence initiale d'effort suivie de respirations obstruées

Les mouvements involontaires eux peuvent refléter une perturbation du sommeil liée à un SAOS et ne doivent pas être négligés dans le dépistage et le suivi de la pathologie.

2.1.5 Les différentes phases du sommeil

Les différents stades du sommeil ne jouent pas tous le même rôle. L'évaluation des stades les plus touchés et perturbés est un indicateur qui peut nous orienter vers une amélioration ou une dégradation de la pathologie.

La modification de l'architecture du sommeil chez les patients souffrants de SAOS se traduit par une diminution du temps de sommeil dans les stades profonds (N3 et sommeil paradoxal) et d'une augmentation du temps de sommeil dans le stade N1.

Les stades de sommeils profonds jouent un rôle essentiel dans la récupération physique et cérébrale. Une fragmentation du sommeil trop importante à ces moments et un accroissement du temps passé à des stades de sommeil léger peut conduire à des troubles émotionnels, une fatigue intense ou une somnolence diurne.

L'analyse de l'évolution du temps de sommeil passé dans les différents stades est un critère qui peut nous orienter vers une amélioration (diminution du temps de sommeil passé en N1 et augmentation du temps de sommeil passé en N3 et REM) ou une aggravation (Augmentation du temps de sommeil passé en N1 et diminution du temps de sommeil passé en N3 et REM) (24,25).

2.2 Les différentes technologies à notre disposition dans le dépistage/suivi du patient.

2.2.1 L'Actigraphie

L'actigraphie est une technique ayant pour objectif l'analyse des mouvements, notamment pendant le sommeil à l'aide d'actigraphes. Les actigraphes ont été introduits pour la première fois dans les années 1970 et leur évolution n'a pas discontinué depuis.

L'analyse de ces mouvements permet de déterminer la qualité et la quantité de sommeil chez un individu afin de déterminer les interruptions, périodes d'éveil etc... Cependant cette technologie ne peut en aucun cas remplacer la polysomnographie et ne reste qu'un indicateur/une aide au dépistage de l'apnée du sommeil (26).

Figure 10 : Comparaison des caractéristiques de l'actigraphie et de la polysomnographie

	Actigraphie	Polysomnographie
Longueur standard de l'époque	1 minute	30 s
Coût	Faible	Haut
Nuits généralement évaluées	7-14	1-2
Capture du sommeil diurne	Oui	Non
Chaînes enregistrées	1 ou quelques	Nombreux
Mesure l'immobilité	Oui	Oui
Mesures de réduction ou d'absence de conscience	Non	Indirectement
Mesure l'inhibition sensorielle	Non	Indirectement
Mesure la respiration liée au sommeil	Non	Oui
Mesure la continuité du sommeil	Oui	Oui
Mesure la durée du sommeil	Oui	Non
Mesure la régularité du sommeil	Oui	Non
Mesure la satisfaction du sommeil	Non	Non

Source : Grandner et Rosenberger, « Actigraphic sleep tracking and wearables : historical context, scientific applications and guidelines, limitations, and considerations for commercial sleep devices », 2019.

Un actigraphe est un objet pouvant se présenter sous forme de bracelet, montre ou bague.

Il est équipé de différents composants :

L'accéléromètre :

L'accéléromètre est la pièce principale d'un actigraphe. Il en existe plusieurs types pour diverses utilisations. Dans le cadre du suivi du sommeil, l'accéléromètre le plus utilisé est l'accéléromètre MEMS (microelctromechanical systems).

Cette technologie permet une réduction considérable de la taille des composants mécaniques et électroniques dans un seul système, le tout sur une puce de silicium.

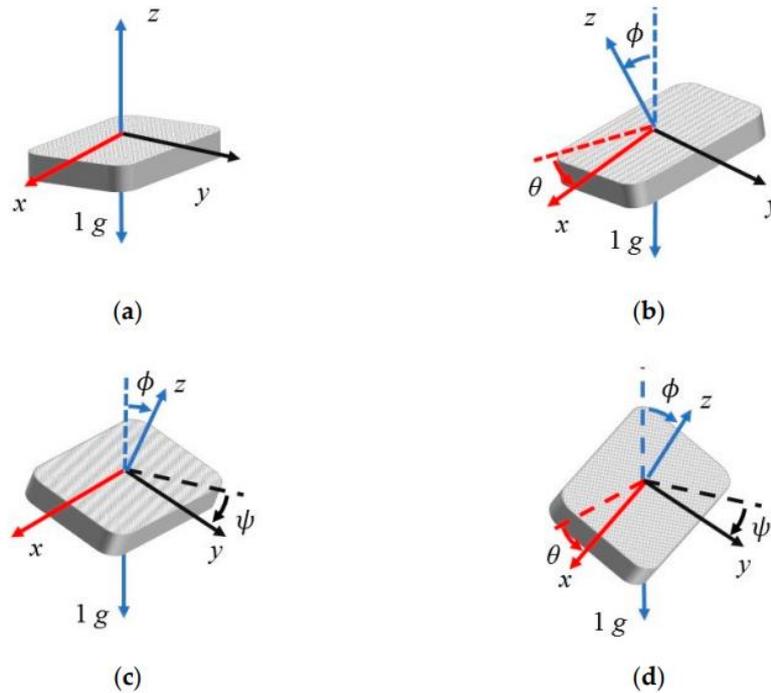
De surcroît, ils se sont largement répandus, car de plus en plus utilisés dans les smartphones, tablettes et autres technologies du même calibre qui nécessite une production de masse à l'échelle mondiale.

La miniaturisation des différents éléments technologiques a été une étape cruciale à la « portabilité » et l'adoption de celle-ci qui peut maintenant tenir au poignet ou au doigt.

La production de masse de ces puces a elle entraîné une chute du coût de production et par effet ricochet du coût d'acquisition.

L'accéléromètre mesure la variation de l'accélération au cours du temps dans 1, 2 ou 3 axes (généralement 3 dans notre cas qui sont les axes x , y et z). D'autres paramètres rentrent en compte comme la fréquence des mouvements, leurs amplitudes ou encore leurs forces.

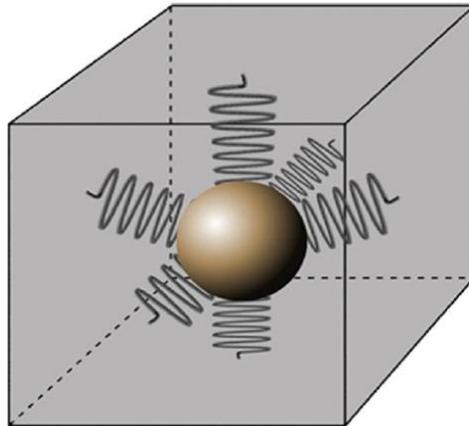
Figure 11 : Angles de détection d'un accéléromètre de type MEMS



Source : Zhu et al., « An improved calibration technique for MEMS accelerometer-based inclinometers », 2020.

Le principe est le suivant, prenons une sphère accrochée à trois ressorts (représentants nos trois axes) le tout dans une structure cubique représentant notre sujet. Lors d'un mouvement de la structure cubique la sphère va aussi changer de position et effectuer des tractions plus ou moins importantes sur les différents ressorts (et donc les différents axes). Ces tractions permettent de mesurer l'accélération physique sur chaque axe et sa direction. Dans le cadre des accéléromètres MEMS la sphère est remplacée par une plaque mobile pour un souci de taille.

Figure 12 : Schéma du fonctionnement d'un accéléromètre



Source : De Marsico et Mecca, « Gait recognition : the wearable solution », 2017.

Source d'alimentation :

Dans la plus grande majorité des cas la source d'alimentation se présente sous la forme d'une batterie en lithium rechargeable ou de piles jetables. Elle varie généralement de 7 à 14 jours d'autonomie.

Mémoire de stockage :

Les données fournies par l'accéléromètre doivent être transmises à un ordinateur ou un smartphone. Celles-ci peuvent être transmises par Bluetooth, port usb ou d'autres connexions sans fil.

Pour cela elles sont stockées et collectées par « période », chaque période équivaut à 1 minute généralement pour l'actigraphie (30 secondes pour la polysomnographie). La mémoire de stockage peut aller de plusieurs jours à plusieurs semaines.

Autres capteurs :

En fonction des modèles, certains capteurs sont ajoutés en plus de l'accéléromètre comme les capteurs de lumière ou encore les capteurs de fréquence cardiaque pour apporter plus de précision et plus de données.

Chaque technologie est accompagnée d'un ou plusieurs algorithmes déjà existants ou développés par les entreprises commercialisant les actigraphes.

Certains sont plus pointus et plus performants que d'autres, font entrer plus de variables ou définissent des méthodes de calcul différentes.

2.2.2 La Photoplethysmographie

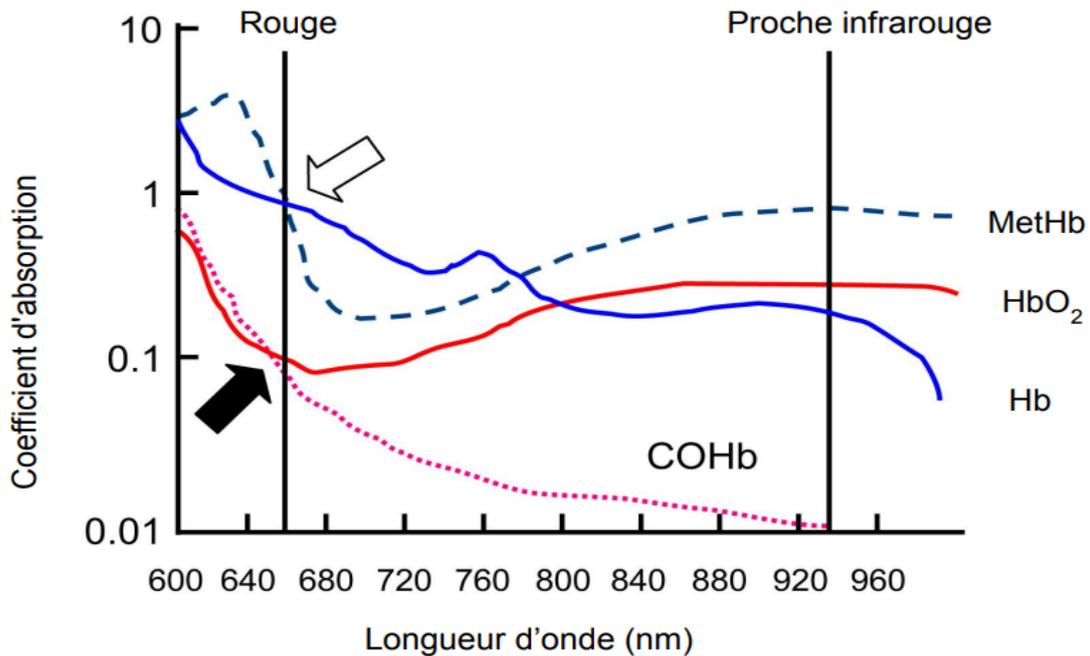
La Photoplethysmographie a pour la première fois été mise en avant par Alrick Hertzman en 1937, physiologiste médical à l'université de Saint-louis. Il a été avec ses collègues le premier à décrire l'utilisation d'un système de réflexion pour mesurer les changements de volume sanguin dans les doigts (27).

La PPG est une technologie optique non invasive qui peut avoir plusieurs applications comme l'évaluation de la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire ou encore le taux de saturation en oxygène (SpO₂).

La mesure du changement de volume sanguin artériel se fait à l'aide de LEDs étant généralement calibrées sur 2 longueurs d'ondes différentes dans le rouge et l'infra-rouge et d'un photodétecteur qui va analyser la lumière reçue après projection à travers la peau, les vaisseaux sanguins et autres tissus ou structures anatomiques.

En effet le sang d'un individu sain est composé en grande majorité d'oxyhémoglobine (hémoglobine liée à l'oxygène) et de désoxyhémoglobine (hémoglobine ayant libéré son oxygène). Ces deux formes d'hémoglobine n'ont pas le même spectre d'absorption. L'oxyhémoglobine a une meilleure absorbance pour les longueurs d'ondes comprises entre 850 et 1000nm qui se situent dans la gamme des infra-rouges et la désoxyhémoglobine a elle une meilleure absorbance pour les longueurs d'ondes comprises entre 600 et 750nm qui correspondent à la gamme du rouge.

Figure 13 : Illustration des variations de l'absorption de l'oxyhémoglobine (HbO₂), la désoxyhémoglobine (Hb), la carboxyhémoglobine (COHb) et la méthémoglobine (MetHb) en relation avec différentes longueurs d'onde



Source : Chan et al., « Pulse oximetry : understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations » , 2013.

Au cours des dernières années, on observe un déplacement notable de l'utilisation des LEDs rouges vers les LEDs vertes dans le domaine de la photopléthysmographie. Les avancées technologiques ont permis de perfectionner l'utilisation de la lumière verte. Cette dernière présente une absorption plus efficace de l'oxyhémoglobine et de la désoxyhémoglobine par rapport aux lumières rouge et infrarouge. La lumière verte a aussi l'avantage de pénétrer plus aisément dans les tissus, fournissant un signal pléthysmographique plus puissant que celui obtenu avec les lumières rouge ou bleue (28).

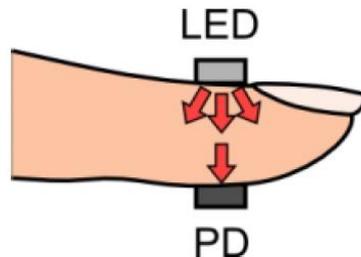
Les 2 principales techniques de mesures :

La Transmission :

La transmission est généralement utilisée pour les outils se positionnant au niveau du doigt.

La lumière projetée par la led et qui traverse les différents tissus va être réceptionnée et analysée par le photodétecteur situé à l'opposé.

Figure 14a : Fonctionnement du principe de transmission



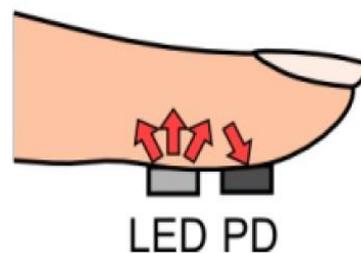
Source : Tamura et al., « Wearable photoplethysmographic sensors—past and present », 2014.

La réflexion :

La réflexion est plutôt exploitée dans les dispositifs portés au poignet.

La LED et le photodétecteur sont au même niveau. La lumière émise par la LED va être réfléchiée par la peau, les vaisseaux sanguins et les différents tissus ou structure anatomiques et être réceptionnée et analysée par le photodétecteur.

Figure 14b : Fonctionnement du principe de réflexion



Source : Tamura et al., « Wearable photoplethysmographic sensors—past and present », 2014.

L'analyse des différentes constantes (fréquence cardiaque, saturation en oxygène etc..) permettent le suivi du sommeil et une interprétation plus ou moins précise des données (en fonction de l'appareil utilisé et du software développé) pouvant conclure à une suspicion de SAOS.

2.2.3 La ballistocardiographie

La ballistocardiographie a pour la première fois été décrite en 1877 par Gordon et a notamment été étudiée au début du XXème siècle par Henderson et Starr.

Même si cette technologie était prometteuse pour l'époque, les méthodes de mesure et d'extraction des données étant assez limitées et les interprétations n'étant plus assez fiables, elle est délaissée.

Ce n'est qu'au début du XXIème siècle et avec l'engouement et la demande d'un suivi de santé à domicile qu'elle est remise au gout du jour.

La BCG permet de déterminer les forces exercées sur le corps, qui sont provoquées par le mouvement du sang propulsé par le cœur à travers tout l'organisme.

Lorsque le sang est propulsé dans les vaisseaux périphériques le corps est déplacé dans plusieurs axes, « on peut comparer ce phénomène au recul que subit une arme à feu lorsqu'un projectile est tiré ».

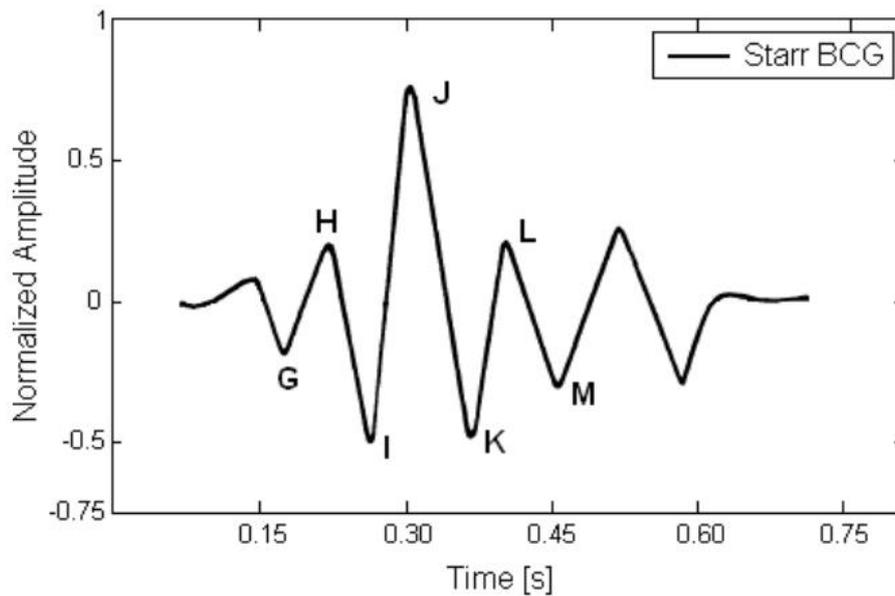
(29)

La mesure de ces mouvements permet de déterminer la fréquence cardiaque d'un individu ainsi que sa fréquence respiratoire de manière non invasive.

Le ballistocardiogramme :

Décrit par Starr en 1939 pour la première fois, Il représente graphiquement la réaction mécanique du corps aux pulsations cardiaques avec différentes phases de contraction et de relaxation des ventricules.

Figure 15 : Ballistocardiogramme de Starr chez l'individu sain



Source : Pinheiro et al., « Theory and developments in an unobtrusive cardiovascular system representation : ballistocardiography », 2010.

Onde G : Légère ondulation due à la contraction des oreillettes (vers le bas)

Onde H : Déflexion vers le haut débutant près du pic R de l'ECG (pic proche du début de l'éjection)

Onde I : Déflexion vers le bas associé à la contraction des ventricules qui se produit au début de la systole

Onde J : Onde ascendante la plus grande qui survient tardivement dans la phase systolique.

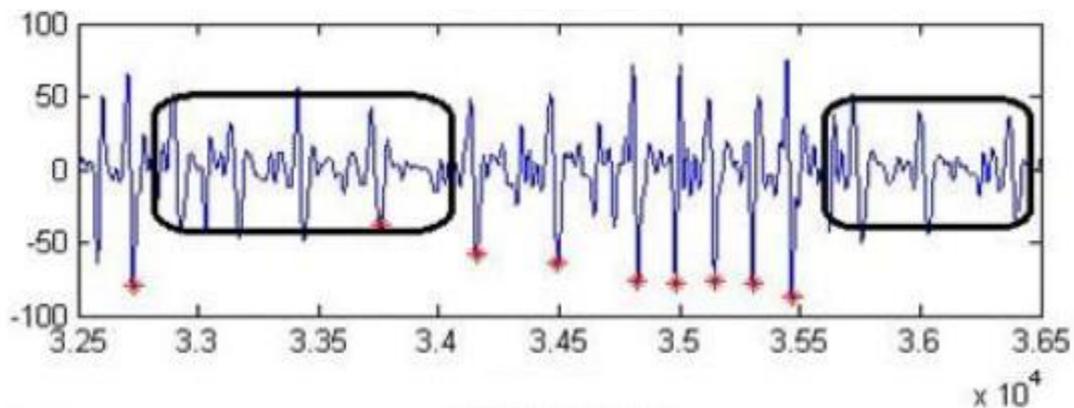
Onde K : Ondulation descendante qui marque la fin de la systole

L, M et N : Ondulations amorties suite à l'ondulation K (29,30).

L'analyse du ballistocardiogramme peut nous permettre de déterminer la fréquence cardiaque ainsi que la fréquence respiratoire qui sont des indicateurs importants dans le SAOS.

Un individu souffrant d'épisodes d'apnée va avoir un flux d'air réduit et donc un effort respiratoire moindre.

Figure 16 : Comparaison des évènements d'apnées (cases noires) et d'évènements normaux



Source : Weichao Zhao et al., « Identifying sleep apnea syndrome using heart rate and breathing effort variation analysis based on ballistocardiography », 2015.

Nous observons que l'amplitude des signaux est significativement plus faible lors des évènements d'apnée.

Cette technologie a un avenir prometteur et est déjà utilisée et commercialisée par certaines entreprises dans l'objectif de faciliter aux patients leur suivi.

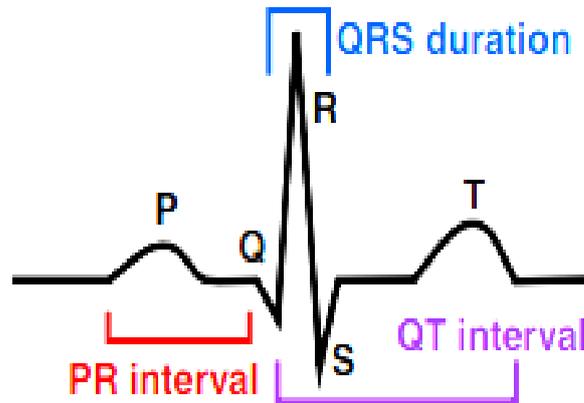
2.2.4 L'ECG

L'ECG mesure les signaux électriques générés par le cœur dû à la polarisation et la dépolarisation des cellules myocardiques.

Chaque battement cardiaque émet un signal qui pourra être enregistré et retranscrit sous forme de graphique afin de pouvoir interpréter le rythme cardiaque d'un individu.

Le graphique retransmet un ensemble de plusieurs ondes qui se succèdent les unes aux autres et qui représentent les différentes étapes du cycle cardiaque.

Figure 17 : Tracé typique d'un électrocardiogramme



Source : Verweij et al., « The genetic makeup of the electrocardiogram », 2020.

Onde P : dépolarisation auriculaire → éjection du sang dans les ventricules

Complexe QRS : dépolarisation ventriculaire → éjection du sang vers l'ensemble du corps.

Onde T : repolarisation ventriculaire

Intervalle QT : temps nécessaire à la dépolarisation/repolarisation des ventricules.

Dans le cadre de l'évaluation de l'apnée du sommeil, la donnée principale étant analysée est l'intervalle R-R, soit l'intervalle de temps qui sépare deux ondes R issu du complexe QRS (mesuré au pic).

En effet pour un patient souffrant de SAOS on peut avoir une alternance bradycardie (pendant l'épisode d'apnée) /tachycardie (après l'épisode d'apnée) (31).

On aura donc un allongement de l'intervalle R-R lors de la bradycardie suivi d'un raccourcissement de celui-ci donc une irrégularité du rythme cardiaque.

L'AASM recommande l'ECG à une dérivation avec deux électrodes (parfois 3) positionnées sur le thorax.

De nouveaux outils de mesure moins contraignants ont été développés, même si pour l'immense majorité moins précis que ceux utilisés lors de la PSG, ils apportent une aide au diagnostic et au suivi non négligeable.

2.3 Quelques outils concrets

2.3.1 Les dispositifs de poignet/main

Les dispositifs de poignet sont sans doute les outils les plus répandus dans le domaine du suivi de santé. Ils sont faciles d'utilisation, peu encombrants, peuvent être portés la nuit sans contraintes et faciles d'accès car généralement moins onéreux que la majorité des autres dispositifs médicaux de suivi du sommeil.

2.3.1.1 Les actigraphes

L'actigraphe se concentre exclusivement sur l'analyse du mouvement, contrairement à d'autres outils numériques plus polyvalents.

Il est nécessaire de rappeler que certains actigraphes sont conçus et développés spécifiquement pour le suivi du sommeil et sont des dispositifs médicaux à part entière ce qui n'est pas le cas de tous les outils destinés au grand public.

Prenons un actigraphe assez connu qui est l'Actiwatch développée par l'entreprise Phillips.

L'Actiwatch est considérée à de nombreux égards comme l'actigraphe de référence que ce soit pour la recherche ou pour un usage personnel.

Il existe plusieurs modèles d'Actiwatch, nous prendrons comme exemple l'Actiwatch Spectrum qui dispose de caractéristiques supplémentaires par rapport à l'Actiwatch de base (écran, batterie plus importante) et qui dispose d'un accéléromètre de type MEMS qui sont les plus répandus sur le marché.

Présentation de l'Actiwatch Spectrum :

Figure 18 : Actiwatch Spectrum PRO



Source : Philips, « Professional sleep and activity monitoring solutions », 2013.

Bracelet : Le bracelet est en polyuréthane thermoplastique.

Batterie : Batterie à lithium d'environ 50 jours d'autonomie avec un enregistrement d'1 minute par époque.

Ecran : Il donne plusieurs informations comme l'heure, la date, le niveau de batterie.

Accéléromètre : De type MEMS triaxial

Capteur de lumière : facilite la détection de l'endormissement et de l'éveil par rapport à la lumière environnante.

Elle dispose également de boutons sur les côtés permettant d'enregistrer des événements (réveil la nuit, endormissement etc...) et qui sont plus utilisés pour la recherche car la montre peut détecter tout cela par elle-même dans des conditions normales.

Le but principal de l'actigraphe est de mesurer l'heure d'endormissement, l'heure de réveil, le temps total de sommeil, le temps mis à s'endormir et le temps passé à se réveiller après s'être endormi.

Une étude comparative entre 3 dispositifs (Actiwatch Spectrum pro, Fitbit One, Jawbone UP2) chez des individus sains et la PSG a été réalisée à l'université de Monash en Australie (32).

Cette étude prend comme critères d'évaluations principaux le temps de sommeil total durant la nuit et l'efficacité du sommeil qui est un rapport entre le temps de sommeil et le temps passé au lit (qui est une somme entre le temps de sommeil et le temps d'éveil) exprimé en pourcentage.

Il s'intéresse aussi à la spécificité et la sensibilité de chacun des appareils par rapport à la PSG.

L'Actiwatch est un dispositif qui n'est pas accessible au grand public, il peut être recommandé à un patient par un professionnel du sommeil afin de suivre plus facilement son évolution ou utilisé pour la recherche.

Les 2 autres dispositifs sont des bracelets électroniques disponibles dans le commerce et peuvent être achetés par tous.

L'étude révèle que le Fitbit one (qui par ailleurs n'est pas un bracelet mais qui peut se clipser sur les vêtements et qui utilise les mêmes principes de fonctionnement) et le Jawbone UP2 surestiment tous les deux significativement le TST et l'ES et ont une faible spécificité comparée à l'actigraphe de référence et la PSG ce qui signifie qu'ils sous estiment le temps d'éveil durant la nuit.

L'Actiwatch, elle, s'est révélée bien plus proche des résultats obtenus par la PSG et bien qu'elle ait tendance à exagérer le temps de sommeil dans la nuit elle est le candidat le plus fiable étudié.

Il est à noter que l'Actiwatch à un prix se situant aux alentours des 2000 euros (33) tandis que les bracelets électronique se voulant être des actigraphes bons marché se trouvent dans une tranche de prix allant de 60 et 150 euros.

Cette différence de prix se ressent dans la précision des données relevées et d'autres auteurs appuient l'idée que ces bracelets électroniques sont prometteurs et qu'ils peuvent s'avérer attrayants pour la majorité car peu coûteux même si les résultats ont une variabilité non négligeable et qu'ils ne peuvent en aucun cas se substituer aux résultats de l'Actiwatch (actigraphe de référence) (34).

Un autre actigraphe ayant été validé tout comme l'Actiwatch qui est le Sensewear pro armband a été étudié et comparé à deux autres moniteurs de sommeil que sont le Jawbone up (aujourd'hui Jawbone up 24) et le Withings pulse O2 (aujourd'hui Withings pulse HR) chez 36 patients adultes souffrants d'apnée du sommeil dont 22 avec un IAH>15/h.

L'actigraphe a eu des résultats se rapprochant fortement de la PSG pour l'estimation du temps de sommeil total et le temps d'éveil après endormissement mais ceux-ci sont moins concluants pour la mesure de l'ES.

Cela pourrait être dû d'après les auteurs à « un échantillon trop faible, ou une possibilité que la sévérité du SAOS chez la majorité des participants auraient pu influencer les résultats de l'actigraphe. »

Pour les deux autres moniteurs, l'étude conclut que leurs performances sont très limitées comme pour l'étude précédemment évoquée (35).

Il est important de souligner que ces outils utilisés seuls ne permettent pas le diagnostic du SAOS mais peuvent indiquer un sommeil perturbé ou permettre le suivi adéquat d'un patient préalablement diagnostiqué par PSG.

Les actigraphes peuvent être associés de manière complémentaire à d'autres outils pour permettre un réel dépistage du SAOS ou un suivi plus fiable et significatif.

De plus les investissements en recherche et développement ne sont pas aussi importants pour de petits bracelets électroniques considérés par beaucoup comme des « gadgets » que pour des montres connectées venant de firmes plus importantes.

2.3.1.2 Les montres connectées

Les montres connectées sont en règle générale plus polyvalentes et moins onéreuses que les actigraphes. Elles embarquent avec elles toute une série de capteurs permettant la mesure de nombreux paramètres, comme le taux de saturation en oxygène ou la fréquence cardiaque, là où l'actigraphe lui ne se concentre que sur les mouvements du patient bien que sa batterie tienne plus longtemps.

De plus elle est le plus souvent associée à une application assez fluide et instinctive (selon la marque) sur téléphone qui permet de faciliter le suivi et l'observance du patient, ce qui est assez pédagogique pour le patient.

La montre transfère généralement les données par Bluetooth directement au téléphone tandis que la plupart des actigraphes validés scientifiquement nécessitent d'être connecté à un ordinateur portable et d'utiliser un logiciel spécifique pour analyser les données ce qui n'est ni pratique ni intuitif.

Une étude chinoise réalisée au 8^e centre médical de l'hôpital général de Pékin s'est intéressée à l'efficacité de la montre connectée GT2 de chez HUAWEI dans le dépistage de l'apnée du sommeil par rapport à la PSG et la polygraphie ventilatoire sur 83 patients souffrants d'un syndrome d'apnée obstructive du sommeil diagnostiqués préalablement par la PSG ou la PV (36).

Cette montre comporte au total 7 capteurs dont l'accéléromètre (le type d'accéléromètre n'est pas précisé par la marque) déjà présent dans les actigraphes, un capteur de fréquence cardiaque de type PPG, un capteur de lumière ambiante (comme sur l'actiwatch) et d'autres capteurs auxquels nous ne nous intéresserons pas dans le cadre du dépistage de l'apnée du sommeil.

La montre peut donc combiner les données recueillies par l'accéléromètre à celles obtenues par le capteur PPG qui donnera des indications sur le taux de saturation en oxygène et sur la fréquence

cardiaque ce qui permettra d'estimer l'IAH du patient en déterminant les états d'éveil et d'endormissement et donc de dépister une éventuelle apnée du sommeil voir d'extrapoler sa sévérité. La GT2 combine sur son capteur PPG les longueurs d'ondes vertes (utilisée pour la mesure de la fréquence cardiaque et de ses variations), rouge et infrarouge (utilisée pour la saturation en oxygène).

Figure 19a : Montre Huawei GT2 de face



Source : Chen et al., « A single-center validation of the accuracy of a photoplethysmography-based smartwatch for screening obstructive sleep apnea », 2021.

Figure 19b : Montre Huawei GT2 de dos avec visuel sur le capteur PPG



Source : Chen et al., « A single-center validation of the accuracy of a photoplethysmography-based smartwatch for screening obstructive sleep apnea », 2021.

Il apparaît que les résultats de la montre sont très satisfaisants comparés à la PSG et à la PV, assez pour permettre un dépistage efficace dans la population des personnes souffrant de SAOS modéré à sévère. L'évaluation de l'IAH par la montre se rapproche significativement des résultats obtenus par la PSG et la PV, par ailleurs la spécificité et la sensibilité de la montre sont plus que satisfaisantes.

Néanmoins les auteurs ont plus de doutes en ce qui concerne le dépistage du SAOS léger et émettent des réserves par rapport à la taille de l'échantillon.

Même si la montre appartient à une marque chinoise les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

Une autre étude similaire réalisée en Corée du Sud (37) compare les résultats de la PSG à ceux de 2 montres connectées, qui sont la Galaxy watch 4 de Samsung et l'Apple watch 7 de Apple et qui se base essentiellement sur le taux de saturation en oxygène et l'IDO révèle que ces montres sont assez prometteuses dans le dépistage du SAOS pour le grand public bien que plus il soit sévère moins les résultats sont fiables.

Cette conclusion s'oppose à celle de l'étude chinoise qui elle appuie le fait que plus le syndrome d'apnée est sévère plus les résultats de la GT2 sont fiables.

Celle-ci est d'ailleurs assez critiquée dans l'étude coréenne qui rapporte que la méthode de calcul de la fréquence respiratoire et de distinction de l'apnée de l'hypopnée ne sont pas assez détaillées.

Il est à noter que l'étude coréenne ne mentionne pas l'accéléromètre ou le capteur de lumière présent dans les 2 montres (l'Apple watch et la Samsung Galaxy watch) qui pourraient s'avérer utiles dans la mesure du TST et la distinction des périodes d'éveil et d'endormissement.

Ces études ne développent pas réellement la partie sur l'accélérométrie qui aide pourtant ces appareils à être plus précis et à fournir des informations supplémentaires sur le sommeil comme le TST ou le temps d'éveil après l'endormissement.

Des chercheurs australiens ont comparé les performances de l'Actiwatch Spectrum pro à l'Apple watch (série 1) et ont conclu à des résultats assez similaires entre les 2 appareils sur le TST et le temps d'éveil après endormissement qui sont les principales mesures enregistrées par l'actigraphe (33).

L'inconvénient majeur de la montre connectée étant sa batterie qui tient 1 à 2 jours en fonction des utilisations. On peut imaginer que le patient arrivera de nombreuses fois en fin de journée après avoir utilisé sa montre pour diverses tâches (appels, mails, sms etc..) à court de batterie, ce qui ne lui

permettra pas de la porter la nuit et donc d'effectuer un suivi régulier, contrairement à l'Actiwatch qui elle n'est dédiée qu'au suivi du sommeil et qui possède une autonomie de 50 jours.

En conclusion les 3 modèles de montre connectées les plus vendues au monde comparées à la PSG dans ces 2 études ont des résultats assez satisfaisants qui pourraient se montrer utiles dans un dépistage de masse du SAOS. Des échantillons de population plus importants devront cependant être étudiés afin de valider ces résultats.

La Galaxy watch 4, l'Apple watch et la Huawei GT2 se trouvent dans une fourchette de prix allant de 150 euros à 350 euros (l'Apple watch étant la plus onéreuse) ce qui reste assez abordable comparé à l'Actiwatch qui plus est n'est pas accessible au grand public.

2.3.2 Dispositifs de lit

Les dispositifs de lit sont assez méconnus du grand public car leur usage a pour unique but la surveillance du sommeil, contrairement à une montre connectée qui est polyvalente ou encore à un smartphone que nous avons toujours sous la main.

Pour autant les dispositifs de lit ne sont pas à mettre de côté et peuvent avoir une grande utilité chez de nombreux patients.

Il existe plusieurs types de dispositifs de lit allant de l'oreiller intelligent, jusqu'au matelas connecté.

En voici quelques exemples :

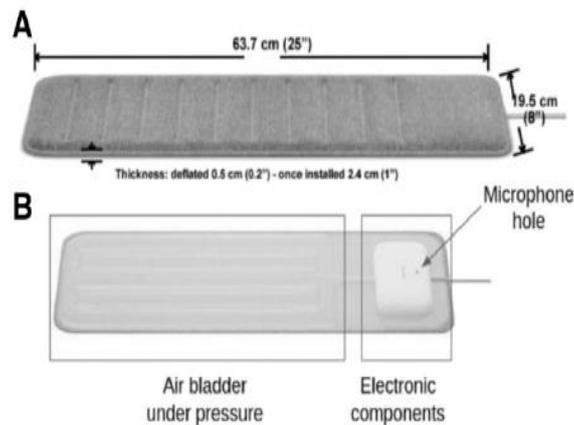
Le Withings sleep :

Le Withing sleep est un appareil qui se positionne sous le matelas à hauteur de poitrine.

Il dispose de 2 capteurs principaux, le capteur pneumatique qui permet d'utiliser la ballistocardiographie et le capteur sonore permettant de repérer les ronflements ainsi que les apnées.

La fréquence respiratoire, la fréquence cardiaque, le TST, l'efficacité du sommeil ainsi que les mouvements sont mesurés par ballistocardiographie, ce qui permettra par la suite d'estimer l'IAH.

Figure 20a : Dimension et composition du Withings Sleep Analyzer



Source : Edouard et al., « Validation of the Withings sleep analyzer, an under-the-mattress device for the detection of moderate-severe sleep apnea syndrome », 2021.

Figure 20b : Illustration de la disposition du Withings Sleep Analyzer



Source : Sleep tracking mat, 2023.

Ce dispositif est certifié en Europe pour la détection de l'apnée du sommeil et fait preuve d'assez de précision dans l'évaluation de l'IAH par rapport à la PSG selon l'étude dirigée par Paul Edouard à l'hôpital Antoine Beclere (France) et à l'hôpital universitaire Saint-Pierre (Belgique).

Néanmoins cette étude présente un conflit d'intérêt majeur car les objets ont été fournis par l'entreprise Withings France et 4 des 7 dirigeants de l'étude appartiennent à l'entreprise Withings.

Une autre étude cette fois anglaise (38) a été réalisée sur un échantillon de personnes âgées (environ 70 ans) présentant pour beaucoup plusieurs problèmes de santé. L'étude a comparé les performances de 3 dispositifs sans contact dont le Withings sleep à la PSG et à l'Actiwatch Spectrum pro.

Elle conclut à des « performances médiocre » des dispositifs sans contact comparés à la PSG et à l'Actiwatch Spectrum avec un TST et une efficacité du sommeil surestimés.

Il n'est pas question de comparer l'IAH estimé par les appareils à celui donné par la PSG, l'IAH étant le critère principal nous intéressant pour diagnostiquer un SAOS. Cette étude nous indique juste que pour l'évaluation de la qualité du sommeil (TST, efficacité du sommeil, temps d'éveil après endormissement) ces outils sont peu fiables.

On peut néanmoins supposer que si ces caractéristiques de base sont peu précises, alors l'évaluation de l'IAH ne le sera pas.

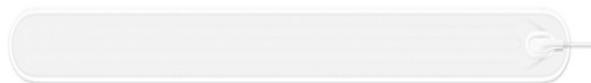
De plus la ballistocardiographie pourraient selon eux être moins précise si le patient présente des troubles du rythme cardiaque ou des troubles respiratoires car elle se base essentiellement sur ces critères pour donner un résultat.

Ils n'ont pas de conflit d'intérêt à signaler.

Il est donc intéressant de noter que ces deux études arrivent à des conclusions bien différentes.

Le Withings sleep n'est pas le seul dispositif de ce type, nous retrouvons aussi le Beddit qui est un appareil similaire commercialisé par Apple.

Figure 21 : Dispositif Beddit



Source : Catalogue Apple, 2023.

D'après l'étude approfondie dirigée par Jarno Tuominen (39) les conclusions pour l'appareil d'Apple seraient les mêmes que celles de l'étude anglaise pour le Withings sleep.

Le Beddit ne permettrait pas de fournir des données fiables et valides comparé à la PSG. Il surestime le TST et l'efficacité du sommeil et sous-estime le temps d'éveil après l'endormissement.

Il est important de souligner que bien qu'il soit encore visible sur le site d'Apple le Beddit n'est plus commercialisé.

Apple aurait stoppé sa production sans donner de justification. On peut imaginer que les résultats étant peu concluants et ayant une faible adoption par le grand public, la marque aurait préféré se concentrer sur sa montre connecté l'Apple watch ayant des résultats plus prometteurs.

Les données fournies par la ballistocardiographie pour ces appareils sont considérés comme étant encore peu matures par la communauté scientifique, même si à l'avenir l'amélioration des algorithmes, des capteurs et des matériaux utilisés pourraient permettre d'obtenir des résultats de plus en plus fiables.

Nous n'aborderons pas les oreillers intelligents ou encore les vêtements intelligents car ils ne sont encore qu'à un stade embryonnaire de développement, ils sont très difficiles d'accès au grand public et les études à leurs sujets sont très peu nombreuses.

2.3.3 Smartphone et applications

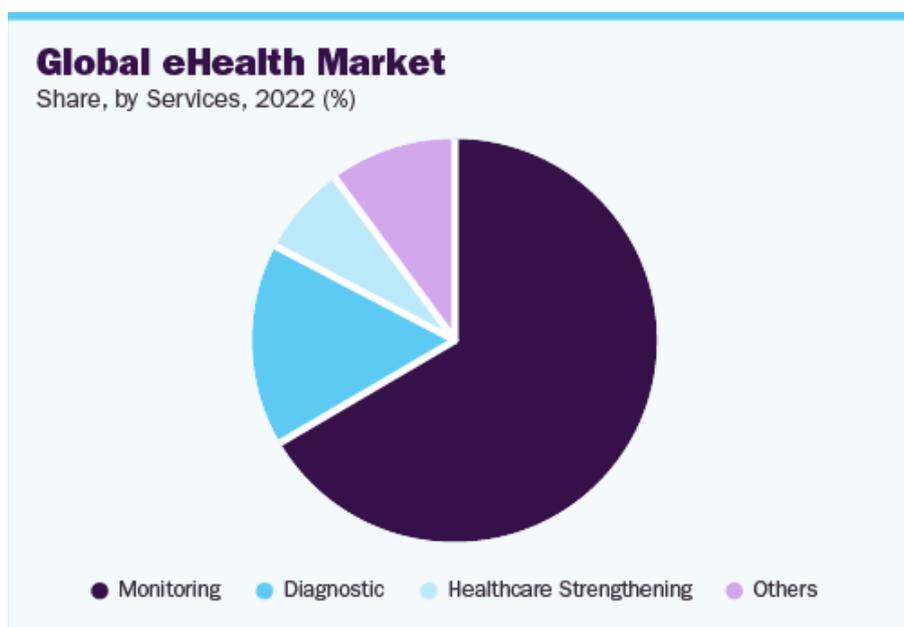
L'utilisation du téléphone portable est aujourd'hui devenue incontournable, c'est un outil de travail, de communication, de divertissement etc...

Ces 10 dernières années après le développement massif du smartphone et de toutes les applications mises à disposition du grand public, le suivi de santé par le biais du téléphone est devenu porteur.

Que ce soit pour compter le nombre de pas que nous avons fait au cours d'une journée, pour suivre des séances de sport ou de méditation accessibles directement en ligne sans avoir à se déplacer en salle de gym ou encore d'activer des rappels à l'heure et la date exacte pour la prise d'un médicament ou d'un rendez-vous chez le médecin.

Le marché mondial de la e-santé est en plein essor et pèserait aux alentours de 243 milliards de dollars et à « un taux de croissance annuel estimé à 17% par an de 2023 à 2030 » (40).

Figure 22 : Répartition du poids économique des différents marchés de la e-santé



Source : Grandviewresearch, « eHealth Market Size, Share & Growth Analysis Report, 2030 », 2023.

Le suivi de santé et le diagnostic représentent les trois quarts des revenus du marché.

Cela explique le fait que d'innombrables nouvelles applications, fonctionnalités et objets connectés soient développés ou améliorés chaque année.

Les marques vendant des objets connectés fournissent toujours une application dédiée à traduire et vulgariser l'enregistrement des résultats effectués par ceux-ci. De ce fait l'expérience utilisateur est poussée à l'extrême afin de simplifier la compréhension du patient, lui faciliter la gestion de son suivi par rapport à sa pathologie et surtout permettre une adoption la plus large possible.

Pour cela les plus gros constructeurs de montre connectés (Apple, Samsung, Huawei) ont mis en place des investissements massifs dans le software. La fluidité des applications, l'absence de bug informatique et la prise en main instinctive à la portée d'un enfant de 10 ans sont mis sur un piédestal.

Si un consommateur souhaite utiliser une montre provenant de chez Apple avec un téléphone Samsung cela lui est tout bonnement impossible. Les applications permettant à l'Apple Watch de fonctionner ne sont pas supportées par le système d'exploitation de chez Samsung et inversement.

La compatibilité entre Samsung et Huawei est satisfaisante même si on ne pourra tout de même pas utiliser la montre de l'un avec le téléphone de l'autre à son plein potentiel.

Les applications sont aussi importantes que l'outil utilisé, il sera donc recommandé aux patients voulant effectuer un suivi de santé ou un dépistage d'acheter une montre de la même marque que son smartphone pour éviter tout problème de compatibilité provenant des applications dédiées à cet usage. Les constructeurs aujourd'hui ont pour but de créer un vrai « écosystème » autour de leurs marques où tous les objets d'une même marque pourraient interagir entre eux via une ou plusieurs applications, voilà pourquoi les problèmes de compatibilité entre eux persistent.

Il existe toutefois plusieurs applications indépendantes de tout objet connecté pouvant être téléchargées via les 2 plus grandes bibliothèques d'application du monde qui sont l'App store (smartphones de chez Apple) et le Google Play (quasiment tous les autres constructeurs de téléphone).

Pour le SAOS il en existe une multitude, permettant à n'importe qui disposant d'un smartphone d'avoir une première approche plus ou moins fiable concernant le dépistage de la pathologie.

Une revue systématique des applications les plus pertinentes se trouvant sur le Google Play et sur l'App store prétendant pouvoir aider au dépistage et au suivi du SAOS a été réalisée (41).

Plusieurs applications ont été testées comme « Sleep cycle » ou encore « Snorelab » par rapport à la PSG ou un dispositif médical validé pour le dépistage du SAOS.

La conclusion est la même pour quasiment toutes les applications ; celles-ci sont peu fiables et ont une corrélation assez faible avec les examens de référence, elles doivent donc être utilisées avec précaution.

Beaucoup d'applications sont utilisées pour la détection du ronflement et qui pourrait indiquer un potentiel syndrome d'apnée du sommeil.

C'est le cas de l'application Snore Clock, validée par une étude Taiwanaise (42) qui permet d'enregistrer les épisodes de ronflements avec l'indication de l'heure, la date ainsi que des décibels atteints lors des différents épisodes.

Il faut toutefois noter que ces applications présentent certaines limites comme le fait d'avoir un partenaire de lit qui ronfle également dans la nuit ce qui fausserait les résultats ou encore l'apparition de bruit parasites ou d'un environnement de sommeil bruyant (climatisation, ordinateur allumé, chauffage bruyant etc...).

Tous ces outils nécessitent encore d'être largement développés avant de pouvoir avoir une fiabilité importante et ne sauraient remplacer les outils de référence.

Avec les investissements massifs dans ce domaine et l'avènement de l'intelligence artificielle nous pouvons espérer avoir des applications de plus en plus performantes au cours de la prochaine décennie.

3 : Cas Clinique

3.1 Introduction

Le cas clinique présenté n'a pas pour objectif de démontrer quoi que ce soit.

Le but est simplement de présenter la marche à suivre pour un individu qui voudrait se dépister au SAOS avec une montre connectée et d'avoir une immersion plus concrète dans la prise en main d'un outil qui serait selon une des études précédemment étudiée efficace (37).

Pour cet exemple nous allons prendre la Samsung Galaxy Watch 5 pro (montre avec un capteur PPG) que nous avons prêtée à deux patients possédant un téléphone Samsung.

La montre étant compatible sans limite de fonctionnement avec ces téléphones et la patiente rapportant une fatigue au réveil et des somnolences occasionnelles et légères, nous lui avons donc proposé d'essayer la montre afin d'avoir un aperçu et un retour concret.

Encore une fois, ici nous ne comparerons pas les résultats à la PSG car cela serait inapproprié et n'aurait aucune valeur scientifique.

Nous nous concentrerons sur la mise en lumière des étapes et des considérations auxquelles le patient fait face dans le processus d'utilisation d'une montre connectée comme outil potentiel de dépistage du SAOS.

La première patiente est une femme d'une cinquantaine d'années qui se plaint de somnolence diurne et de ronflements rapportés par son mari.

Le deuxième est un homme d'une quarantaine d'années et qui ne se plaint d'aucun problème de sommeil, il consulte pour des douleurs musculaires liées à un bruxisme incontrôlé.

Figure 23a : Vue de face de la Galaxy Watch 5 Pro



Source : Auteur, 2023.

Figure 23b : Vu de dos de la Galaxy Watch 5 Pro



Source : Auteur, 2023.

3.1.1 Simulation d'un dépistage à l'aide d'une montre connectée

La patiente 1 a passé une nuit avec la montre.

Elle n'a rien eu besoin d'activer si ce n'est le Bluetooth de son téléphone afin que les données récupérées par la montre puissent être transmises au téléphone.

Grâce à son capteur de luminosité, la mesure de la fréquence cardiaque et l'absence de mouvement la montre réussit à estimer l'heure à laquelle la patiente s'endort et commence l'enregistrement de

manière automatique, ce qui a été assez pratique selon les dire de la patiente qui n'est pas très douée en informatique.

Au réveil la patiente peut directement consulter les données enregistrées via l'application dédiée à cet effet sur son téléphone nommée « Samsung Health » qui ne traite pas que le sommeil mais tous les paramètres de santé (sportif, alimentaire etc..).

Figure 24 : Application Samsung Health

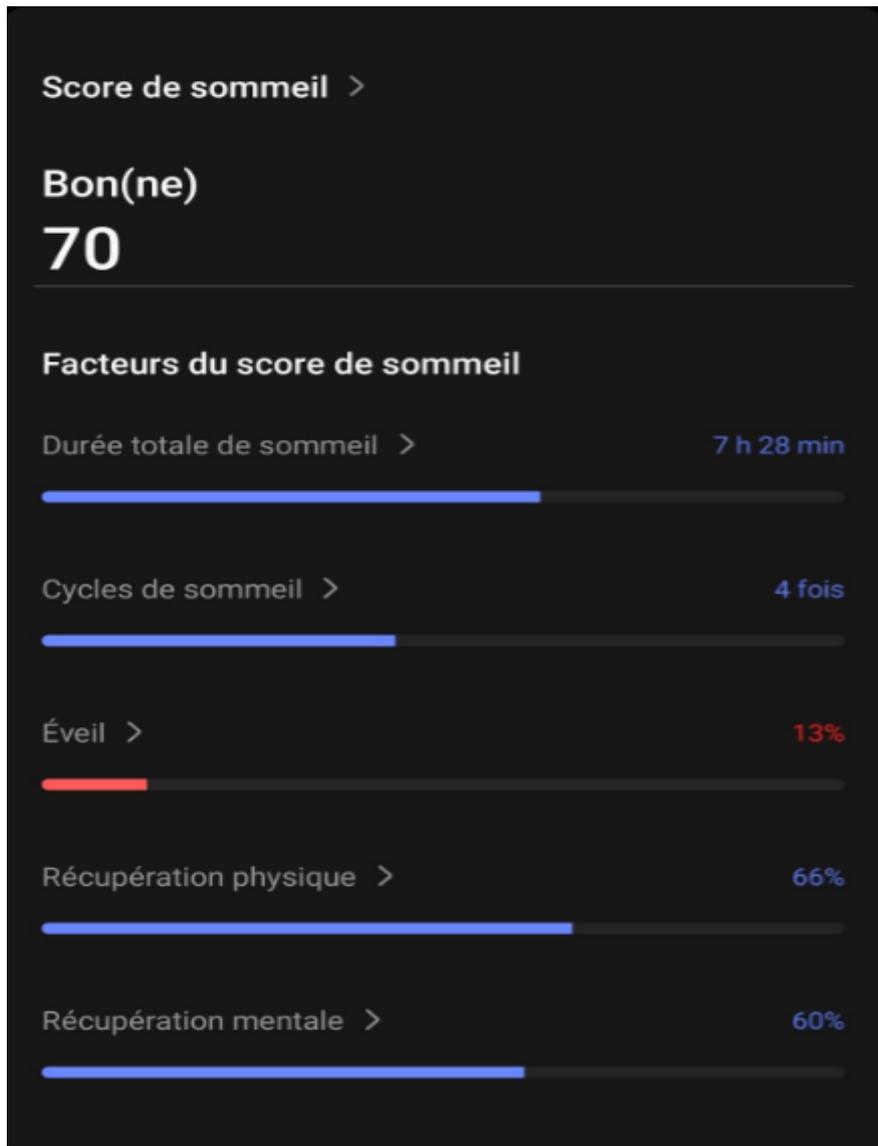


Source : Auteur, 2023.

Elle arrive par la suite sur l'interface de l'application, dans la partie sommeil qui selon elle est assez bien faite et compréhensible par n'importe qui. Elle y retrouve différentes informations.

La première partie des informations qu'elle reçoit est un « score de sommeil » qui peut aller de 0 à 100 et qui est calculé par Samsung en utilisant le TST, le temps d'éveil après endormissement et d'autres critères qui sont à prendre avec plus de précautions car leur fiabilité n'a pas encore été étudiée.

Figure 25 : Score de Sommeil



Source : Auteur, 2023.

L'application lui indique un score de 70/100 qui semble être bon avec un temps d'éveil de 13% durant la nuit.

Elle a ensuite un tableau lui indiquant les différents stades de sommeil et le temps passé dans ces différents stades.

Encore une fois ces informations sont à prendre avec précautions car non testées.

Figure 26 : Temps passé par stade de sommeil



Source : Auteur, 2023.

Les dernières informations qu'elle reçoit sont celles sur lesquelles on s'attardera le plus qui sont le taux de saturation en oxygène ainsi que le ronflement.

Figure 27 : Taux de saturation en oxygène de la Patiente 1



Source : Auteur, 2023.

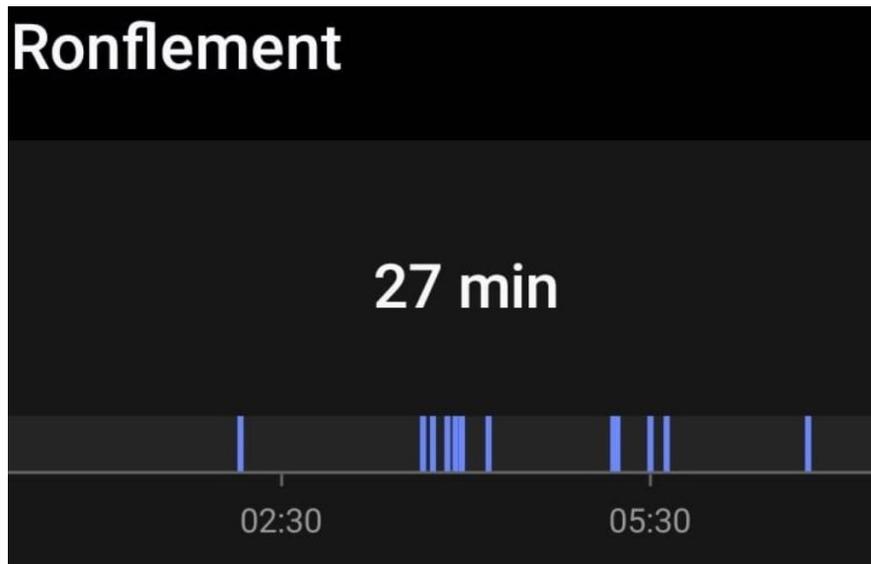
On note que la patiente a passé environ 27 minutes de sa nuit avec un taux de saturation en oxygène inférieur à 90% ce qui est assez significatif.

Les pointillés sur le graphique peuvent représenter des moments où la montre a bougé sur le poignet de la patiente.

Nous sommes donc dans un cas où on suppose que la patiente désature dans la nuit ce qui peut nous mener à pousser les investigations plus loin.

De plus l'application a enregistré les ronflements de la patiente et fournit même des extraits audio des pics de ronflement pendant la nuit.

Figure 28 : relevé des ronflements durant la nuit



Source : Auteur, 2023.

Figure 29 : Enregistrement audio des pics de ronflement durant la nuit



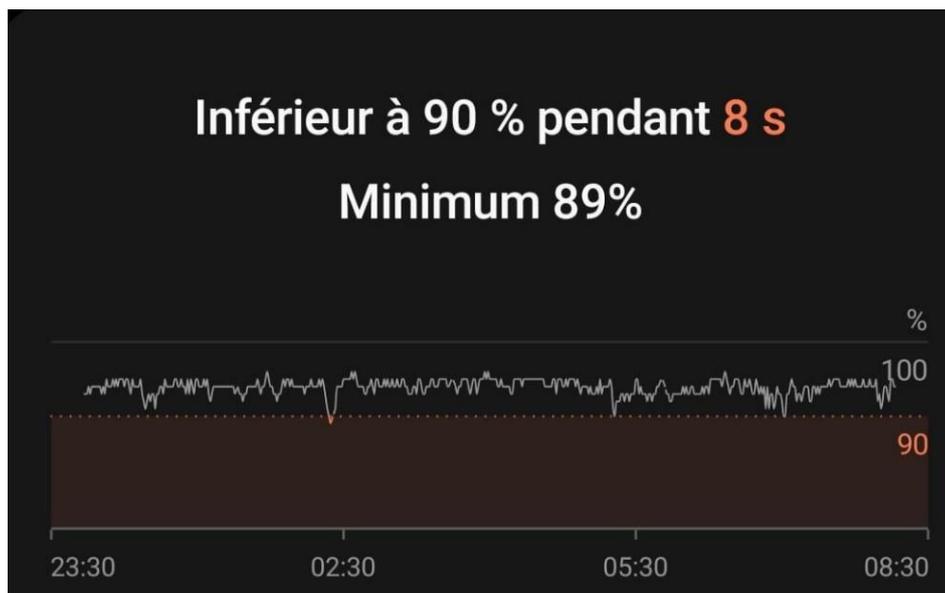
Source : Auteur, 2023.

Tous ces éléments peuvent nous laisser penser que la patiente présente un SAOS, cependant cela devra être confirmé ultérieurement avec une PSG. Au vu des délais d'attente en France pour pouvoir

passer la PSG (parfois plusieurs mois), ces résultats sont déjà préliminaires et devront être confirmés par l'examen de référence.

Pour le patient numéro 2 le taux de saturation en oxygène mesuré par la montre s'est révélé parfaitement normal et aucun ronflement significatif n'a été enregistré.

Figure 30 : Taux de saturation en oxygène du Patient 2



Source : Auteur, 2023.

Le retour d'expérience des 2 patients est quasiment le même.

Ils rapportent tous deux une facilité d'utilisation très agréable, cependant la montre les a légèrement gênés pendant la nuit car l'écran s'allumait parfois par inadvertance ce qui a pu les réveiller.

Un mode nuit existe sur la montre pour éviter cela, mais nous n'étions pas au courant.

De plus un patient n'étant pas habitué à dormir avec une montre ou un bracelet au poignet peut vite être gêné pour s'endormir avec, c'est ce qu'ont rapporté les 2 patients.

Nous n'avons utilisé la montre que pour présenter à quoi pourrait ressembler le dépistage du SAOS et non pour le suivi car que ce soit pour le dépistage ou le suivi une étude plus sérieuse avec un échantillon de patients plus important devra être réalisée.

Nous ne pouvons en effet rien démontrer de concret pour le moment mais des investigations plus poussées nous permettront d'apporter des conclusions significatives à la validation de cette technologie.

Nous pouvons imaginer qu'un patient puisse évaluer l'évolution des ronflements et de sa saturation en oxygène avant et après traitement par une OAM ce qui pourrait permettre de définir l'avancée mandibulaire la plus efficace sans avoir besoin de faire plusieurs PSG avec un coût démesuré et des délais d'attente interminables pour vérifier cela.

Cet exemple permet néanmoins d'avoir un aperçu de ce qui pourrait être mis en place dans un futur proche afin de dépister rapidement, à faible coût et sans délai le SAOS.

3.1.2 Suivi d'un patient

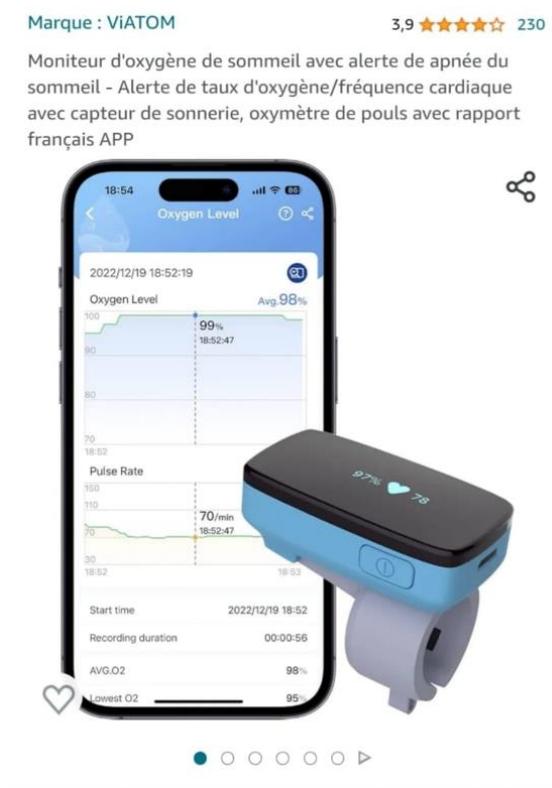
Un patient de 38 ans nous a consultés, suspectant être atteint d'apnée du sommeil.

À la suite d'un entretien clinique poussé, il nous indique qu'il somnole énormément au volant et que sa copine lui reproche de ronfler assez fort la nuit et qu'il arrête parfois de respirer dans son sommeil. Après s'être renseigné, il trouve que la description de ses symptômes ressemble à ceux d'un patient atteint d'apnée du sommeil.

Il décide alors de se dépister tout seul avant de consulter afin d'en être sûr et de ne pas « perdre son temps » selon lui.

Il achète donc un oxymètre de pouls d'une valeur de 150 euros sur les conseils de sa copine médecin sur Amazon pour surveiller son taux de saturation en oxygène durant son sommeil.

Figure 31 : Saturomètre utilisé par le patient



Source : Auteur, 2023.

De plus il télécharge une application du nom de « Ironfle » pour enregistrer ses ronflements durant la nuit afin d'évaluer l'intensité de ceux-ci.

Après avoir installé l'application (compatible avec Apple et Android) et pris connaissance des caractéristiques d'utilisation, il passe donc ses premières nuits avec l'appareil porté au doigt.

Voici les résultats de son premier dépistage :

Figure 32a : Résultat initial sur l'application Ironfle



Source : Auteur, 2023.

Figure 32b : Résultats initiaux donnés par le Saturomètre



Source : Auteur, 2023.

Il réalise qu'il désature énormément pendant la nuit et que son score de ronflement sur l'application est très élevé (ce qui signifie qu'il ronfle énormément).

Inquiet il décide de consulter immédiatement son médecin généraliste qui l'adresse à un médecin du sommeil.

Après passage d'une PSG et confirmation d'un SAOS sévère (IAH à 69), le patient est orienté vers la consultation d'apnée du sommeil du Dr Conçu à l'hôpital Bretonneau où il sera traité avec une OAM. Tout au long du traitement le patient a pris des mesures de sa saturation en oxygène et de ses ronflements afin que nous puissions titrer au mieux l'orthèse et avoir l'avancée mandibulaire la plus efficiente possible.

Après avoir vu le patient plusieurs fois et même s'il a été assez peu disponible du fait de son travail qui lui impose de nombreux voyages, nous avons pu arriver à un résultat satisfaisant rapporté par les mesures prises par le patient lui-même.

Voici les résultats obtenus après traitement :

Figure 33a : Résultat après traitement par OAM sur l'application Ironfle



Source : Auteur, 2023.

Figure 33b : Résultats du saturomètre après traitement par OAM



Source : Auteur, 2023.

Nous observons un score de ronflement largement inférieur au précédent avec une diminution de la part des ronflements forts et une augmentation des ronflements légers.

De plus le patient ne désature quasiment plus pendant la nuit d'après le saturomètre.

Les résultats préliminaires mesurés par le patient ont été par la suite confirmés par une PSG.

Ce cas nous permet d'illustrer les étapes du dépistage jusqu'à la fin du traitement.

Ici l'observance du patient a été irréprochable ce qui lui a permis de mieux appréhender les étapes du traitement ainsi que ses évolutions.

Conclusion

Cette revue des différentes technologies mises à la disposition du patient et du praticien nous permet d'apprécier le potentiel futur des outils numériques dans la prise en charge, le dépistage et le suivi des patients atteints de SAOS.

Des économies considérables sont à prévoir aux vues des alternatives à la PSG présentés. En effet celle-ci nécessite des moyens humains et matériels conséquents.

Même si aucun outil actuel n'est assez complet pour remplacer l'étalon or, ils peuvent, pour certains, permettre aux patients de prendre conscience de leur atteinte et d'agir afin d'éviter le développement d'autres pathologies liées au syndrome d'apnée du sommeil.

Les trois patients qui se sont portés volontaires pour évaluer ces systèmes ambulatoires ont montré une bonne adhésion à leur utilisation et ont rapporté des avis plutôt positifs.

Il est envisageable d'anticiper, dans la prochaine décennie, une généralisation de ces dispositifs avec pour objectif un dépistage à grande échelle des patients potentiellement touchés, le tout à un coût nettement réduit.

Bibliographie

1. Benjafield AV, Ayas NT, Eastwood PR, Heinzer R, Ip MSM, Morrell MJ, et al. Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnea : a literature-based analysis. *Lancet Respir Med.* 2019;7(8):687-98.
2. Cappuccio FP, D'Elia L, Strazzullo P, Miller MA. Sleep duration and all-cause mortality : a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Sleep.* 2010;33(5):585-92.
3. Mehra R, Gharibeh. Obstructive sleep apnea syndrome : natural history, diagnosis, and emerging treatment options. *Nat Sci Sleep.* 2010;233.
4. Lee SA, Amis TC, Byth K, Larcos G, Kairaitis K, Robinson TD, et al. Heavy Snoring as a cause of carotid artery atherosclerosis. *Sleep.* 2008;31(9):1207-13.
5. Borel AL, Tamisier R, Böhme P, Priou P, Avignon A, Benhamou PY, et al. Republication de : prise en charge du syndrome d'apnées obstructives du sommeil chez la personne vivant avec un diabète : contexte, dépistage, indications et modalités de traitement. Position de la Société Francophone du Diabète (SFD), de la Société Française de Recherche et Médecine du Sommeil (SFRMS) et de la Société de Pneumologie de Langue Française (SPLF). *Rev Mal Respir.* 2018;35(10):1067-89.
6. Ahabab S, Ataoğlu HE, Tuna M, Karasulu L, Çetin F, Temiz LÜ, et al. Neck circumference, metabolic syndrome and obstructive sleep apnea syndrome ; Evaluation of possible linkage. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 2013;19:111-7.
7. Comité économique des produits de santé. Rapport d'activité 2015 [Internet]. Comité économique des produits de santé ; 2015 [cité 8 sept 2023]. Disponible sur : https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_d_activite_2015_.pdf
8. Hillman D, Mitchell S, Streatfeild J, Burns C, Bruck D, Pezzullo L. The economic cost of inadequate sleep. *Sleep.* 2018;41(8).
9. Watson NF. Health care savings : the economic value of diagnostic and therapeutic care for obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med.* 2016;12(08):1075-7.
10. Masa JF, Corral J, Pereira R, Duran-Cantolla J, Cabello M, Hernandez-Blasco L, et al. Effectiveness of home respiratory polygraphy for the diagnosis of sleep apnoea and hypopnoea syndrome. *Thorax.* 2011;66(7):567-73.
11. Carneiro-Barrera A, Díaz-Román A, Guillén-Riquelme A, Buela-Casal G. Weight loss and lifestyle interventions for obstructive sleep apnoea in adults : systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2019;20(5):750-62.
12. Kline CE, Crowley EP, Ewing GB, Burch JB, Blair SN, Durstine JL, et al. The effect of exercise training on obstructive sleep apnea and sleep quality : a randomized controlled trial. *Sleep.* 2011;34(12):1631-40.
13. van Maanen JP, Meester KAW, Dun LN, Koutsourelakis I, Witte BI, Laman DM, et al. The sleep position trainer : a new treatment for positional obstructive sleep apnoea. *Sleep breath schlaf atm.* 2013;17(2):771-9.

14. Wang Y, He P, Teng B, Tong W, Wen L, Feng Q, et al. [Effect of CPAP therapy on sleep quality and quality of life in patients with moderate or severe OSAHS]. *Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi J Clin Otorhinolaryngol Head Neck Surg.* 2016;30(4):306-9.
15. Weiss P, Kryger M. Positive airway pressure therapy for obstructive sleep apnea. *Otolaryngol Clin North Am.* 2016;49(6):1331-41.
16. Rotenberg BW, Murariu D, Pang KP. Trends in CPAP adherence over twenty years of data collection: a flattened curve. *J Otolaryngol - Head Neck Surg J Oto-Rhino-Laryngol Chir Cervico-Faciale.* 2016;45(1):43.
17. Tam S, Woodson BT, Rotenberg B. Outcome measurements in obstructive sleep apnea : beyond the apnea-hypopnea index. *The Laryngoscope.* 2014;124(1):337-43.
18. Fessi R, Zaibi H, Guediri N, Jarrar A, Zayen K, Ourari B, et al. L'index d'apnées-hypopnées est-il suffisant pour évaluer la gravité du syndrome d'apnées de sommeil ? *Rev Mal Respir Actual.* 2020;12(1):75.
19. Haute autorité de santé. Rapport d'évaluation technologique. Place et conditions de la réalisation de la polysomnographie et de la polygraphie respiratoire dans les troubles du sommeil » [Internet]. Haute autorité de santé ; 2012 [cité 8 sept 2023]. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2012-06/place_et_conditions_de_realisation_de_la_polysomnographie_et_de_la_polygraphie_respiratoire_dans_les_troubles_du_sommeil_-_rapport_devaluation_2012-06-01_11-50-8_440.pdf
20. Strassberger C, Zou D, Penzel T, Fietze I, Hedner J, Ficker JH, et al. Beyond the AHI-pulse wave analysis during sleep for recognition of cardiovascular risk in sleep apnea patients. *J Sleep Res.* 2021;30(6):e13364.
21. Maimon N, Hanly PJ. Does snoring intensity correlate with the severity of obstructive sleep apnea? *J Clin Sleep Med JCSM.* 2010;6(5):475-8.
22. O'Halloran KD. Sleep awakens active expiration. *J Physiol.* 2018;596(15):2947-8.
23. Staats BA, Bonekat HW, Harris CD, Offord KP. Chest wall motion in sleep apnea. *Am Rev Respir Dis.* 1984;130(1):59-63.
24. Hofauer B, Philip P, Wirth M, Knopf A, Heiser C. Effects of upper-airway stimulation on sleep architecture in patients with obstructive sleep apnea. *Sleep breath schlaf atm.* 2017;21(4):901-8.
25. Bohorquez D, Mahmoud AF, Yu JL, Thaler ER. Upper airway stimulation therapy and sleep architecture in patients with obstructive sleep apnea. *The Laryngoscope.* 2020;130(4):1085-9.
26. Marino M, Li Y, Rueschman MN, Winkelman JW, Ellenbogen JM, Solet JM, et al. Measuring sleep : accuracy, sensitivity, and specificity of wrist actigraphy compared to polysomnography. *Sleep.* 2013;36(11):1747-55.
27. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiol Meas.* 2007;28(3):R1-39.
28. Tamura T, Maeda Y, Sekine M, Yoshida M. Wearable photoplethysmographic sensors—past and present. *electronics.* 2014;3(2):282-302.

29. Otis S. Analyse de signaux de ballistocardiogramme pour la détection des évènements cardiorespiratoires [Internet] [Mémoire de maîtrise électronique]. École de technologie supérieure Université du Québec ; 2020 [cité 8 sept 2023]. Disponible sur : <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/2658/>
30. Pinheiro E, Postolache O, Girão P. Theory and developments in an unobtrusive cardiovascular system representation : Ballistocardiography. *Open Biomed Eng J.* 2010;4:201-16.
31. Almazaydeh L, Elleithy K, Faezipour M. Detection of obstructive sleep apnea through ECG signal features. In : 2012 IEEE International conference on electro/information technology [Internet]. Indianapolis, IN, USA: IEEE; 2012 [cité 8 sept 2023]. p. 1-6. Disponible sur : <http://ieeexplore.ieee.org/document/6220730/>
32. Jumabhoy R, Maskevich S, Dao P, Anderson C, Stout J, Drummond S. Validation of consumer and research-grade activity monitors against polysomnography in healthy adults [Internet]. *PsyArXiv*; 2019 [cité 8 sept 2023]. Disponible sur : <https://psyarxiv.com/mx2ae/>
33. Roomkham S, Hittle M, Cheung J, Lovell D, Mignot E, Perrin D. Sleep monitoring with the Apple Watch : comparison to a clinically validated actigraph. *F1000Research.* 2019;8:754.
34. Kubala AG, Barone Gibbs B, Buysse DJ, Patel SR, Hall MH, Kline CE. Field-based measurement of sleep : Agreement between six commercial activity monitors and a validated accelerometer. *behav sleep med.* 2020;18(5):637-52.
35. Gruwez A, Bruyneel AV, Bruyneel M. The validity of two commercially-available sleep trackers and actigraphy for assessment of sleep parameters in obstructive sleep apnea patients. *PloS One.* 2019;14(1):e0210569.
36. Chen Y, Wang W, Guo Y, Zhang H, Chen Y, Xie L. A single-center validation of the accuracy of a photoplethysmography-based smartwatch for screening obstructive sleep apnea. *Nat Sci Sleep.* 2021;13:1533-44.
37. Kim MW, Park SH, Choi MS. Diagnostic performance of photoplethysmography-based smartwatch for obstructive sleep apnea. *J Rhinol.* 2022;29(3):155-62.
38. Three contactless sleep technologies compared to actigraphy and polysomnography in a heterogenous group of older men and women in a model of mild sleep disturbance : A sleep laboratory study - University of Surrey [Internet]. [cité 8 sept 2023]. Disponible sur : <https://openresearch.surrey.ac.uk/esploro/outputs/journalArticle/Three-Contactless-Sleep-Technologies-Compared-to/99812565802346>
39. Tuominen J, Peltola K, Saaresranta T, Valli K. Sleep parameter assessment accuracy of a consumer home sleep monitoring ballistocardiograph beddit sleep tracker : a validation study. *j clin sleep med.* 2019;15(03):483-7.
40. eHealth Market Size, Share & Growth Analysis Report, 2030 [Internet]. [cité 10 sept 2023]. Disponible sur : <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/e-health-market>
41. Baptista PM, Martin F, Ross H, O'Connor Reina C, Plaza G, Casale M. A systematic review of smartphone applications and devices for obstructive sleep apnea. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2022;88:S188-97.

42. Chiang JK, Lin YC, Lin CW, Ting CS, Chiang YY, Kao YH. Validation of snoring detection using a smartphone app. *Sleep Breath*. 2022;26(1):81-7.

Table des figures

Figure 1 : Hypnogramme.....	5
Figure 2 : Illustration du système respiratoire	7
Figure 3 : Vue sagittale des vibrations des tissus mous contre la paroi pharyngée.....	8
Figure 4 : Schéma du phénomène d’obstruction des voies aériennes lors de l’apnée.....	9
Figure 5a : Coupe sagittale des Voies aériennes supérieures	10
Figure 5b : Autre coupe sagittale des VAS	10
Figure 6 : Coupe axiale et sagittale d’une IRM représentant la masse graisseuse au niveau des VAS.	11
Figure 7a : Appareillage pour la polygraphie ventilatoire	15
Figure 7b : Appareillage pour la polysomnographie	16
Figure 8a : Patient portant un appareil à pression positive continue	18
Figure 8b : Mécanisme de libération des VAS par VPPC	18
Figure 9 : Mécanisme de libération des VAS par L’OAM.....	19
Figure 10 : Comparaison des caractéristiques de l’actigraphie et de la polysomnographie	24
Figure 11 : Angles de détection d’un accéléromètre de type MEMS.....	25
Figure 12 : Schéma du fonctionnement d’un accéléromètre	26
Figure 13 : Illustration des variations de l'absorption de l'oxyhémoglobine (HbO ₂), la désoxyhémoglobine (Hb), la carboxyhémoglobine (COHb) et la méthémoglobine (MetHb) en relation avec différentes longueurs d'onde.....	28
Figure 14a : Fonctionnement du principe de transmission.....	29
Figure 14b : Fonctionnement du principe de réflexion.....	29
Figure 15 : Ballistocardiogramme de Starr chez l’individu sain.....	31
Figure 16 : Comparaison des évènements d’apnées (cases noires) et d’évènements normaux.....	32
Figure 17 : Tracé typique d’un électrocardiogramme.....	33
Figure 18 : Actiwatch Spectrum PRO.....	35
Figure 19a : Montre Huawei GT2 de face.....	38
Figure 19b : Montre Huawei GT2 de dos avec visuel sur le capteur PPG	38
Figure 20a : Dimension et composition du Withings Sleep Analyzer.....	41
Figure 20b : Illustration de la disposition du Withings Sleep Analyzer	41
Figure 21 : Dispositif Beddit	42
Figure 22 : Répartition du poids économique des différents marchés de la e-santé	44
Figure 23a : Vue de face de la Galaxy Watch 5 Pro.....	48

Figure 23b : Vu de dos de la Galaxy Watch 5 Pro.....	48
Figure 24 : Application Samsung Health.....	49
Figure 25 : Score de Sommeil	50
Figure 26 : Temps passé par stade de sommeil	51
Figure 27 : Taux de saturation en oxygène de la Patiente 1	52
Figure 28 : relevé des ronflements durant la nuit.....	53
Figure 29 : Enregistrement audio des pics de ronflement durant la nuit	53
Figure 30 : Taux de saturation en oxygène du Patient 2.....	54
Figure 31 : Saturomètre utilisé par le patient	56
Figure 32a : Résultat initial sur l'application Ironfle.....	57
Figure 32b : Résultats initiaux donnés par le Saturomètre.....	57
Figure 33a : Résultat après traitement par OAM sur l'application Ironfle.....	58
Figure 33b : Résultats du saturomètre après traitement par OAM	59

Vu, les Directeurs de thèse

Vu, le Doyen de l'UFR d'Odontologie

Docteur Eric BONTE

Professeur Vianney DESCROIX

Docteur Thibault CONÇU

Vu, le Président d'Université Paris Cité

Professeur Édouard KAMINSKI

Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Vianney DESCROIX

L'apport des outils numériques dans la prise en charge du SAOS chez l'adulte

Khalil El ghouli. L'apport des outils numériques dans la prise en charge du SAOS chez l'adulte. 2024 . 66 p. : ill., graph., tabl. Réf. bibliographiques p. 61-64.

Sous la direction de M. le Docteur Eric Bonte et la co-direction de M. le Docteur Thibault Conçu.

Université Paris Cité
UFR d'Odontologie
1, rue Maurice Arnoux - 92120 Montrouge
5, rue Garancière - 75006 Paris