



HAL
open science

Reconnaissance des stades de sommeil à l'aide d'un outil de support à la décision basé sur les connaissances et la pratique des experts

Adrien Ugon, Amina Kotti, Karima Sedki, Carole Philippe, Brigitte Séroussi, Jacques Bouaud, Jean-Gabriel Ganascia, Patrick Garda, Andrea Pinna

► To cite this version:

Adrien Ugon, Amina Kotti, Karima Sedki, Carole Philippe, Brigitte Séroussi, et al.. Reconnaissance des stades de sommeil à l'aide d'un outil de support à la décision basé sur les connaissances et la pratique des experts. 27es Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances (Atelier IA & Santé), Jun 2016, Montpellier, France. hal-01662527

HAL Id: hal-01662527

<https://hal.science/hal-01662527v1>

Submitted on 13 Dec 2017

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.

Reconnaissance des stades de sommeil à l'aide d'un outil de support à la décision basé sur les connaissances et la pratique des experts

Adrien Ugon¹, Amina Kotti¹, Karima Sedki², Carole Philippe³, Brigitte Séroussi^{2,3}, Jacques Bouaud^{2,4}, Jean-Gabriel Ganascia¹, Patrick Garda¹, Andrea Pinna¹

¹ Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UMR 7606, LIP6, Paris, France
prenom.nom@lip6.fr

² Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, INSERM Sorbonne Paris Cité, Université Paris 13, LIMICS, UMR_S 1142, Paris, France

³ AP-HP, Hôpital Tenon, Département de Santé Publique, Paris, France
brigitte.seroussi@aphp.fr

⁴ AP-HP, DRCD, Paris, France
jacques.bouaud@aphp.fr

⁵ AP-HP, Hôpital Pitié-Salpêtrière, Unité Pathologies du sommeil, Paris, France
carole.philippe@aphp.fr

Résumé : La reconnaissance des stades de sommeil est une étape indispensable au diagnostic des troubles du sommeil. L'approche habituelle est d'utiliser un classifieur avec des méthodes d'apprentissage automatique. Nous proposons une approche innovante conçue à partir de la connaissance et de l'observation de la pratique des experts. Notre approche permet de mieux prendre en compte les aspects dynamiques du sommeil, mais aussi les raisonnements à des niveaux d'abstraction différents, ainsi qu'à des échelles de temps différentes. Après avoir extrait, à partir des signaux acquis, les *grapho-éléments* nécessaires à la décision en appliquant la fusion symbolique, un système expert incluant des règles d'inférence, intégrant si nécessaire des préférences, est appliqué. Mise en œuvre sur trois *époques* généralement mal scorées avec les classifieurs habituels, la méthode s'est avérée efficace.

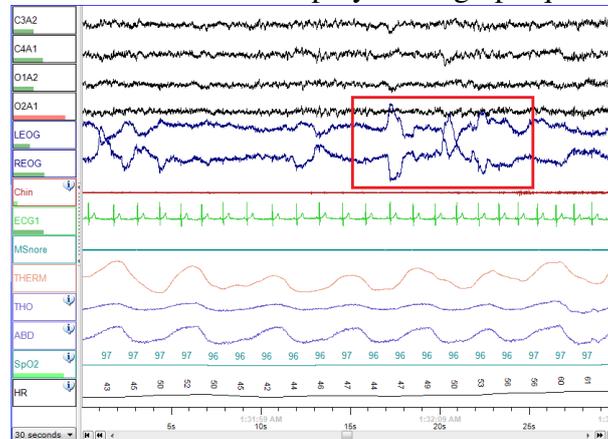
Mots-clés : Système expert, Classification automatique, Outil d'aide à la décision, Stadification automatique du sommeil, Polysomnographie

1 Introduction

Le Syndrome d'Apnées du Sommeil (SAS) est un trouble du sommeil caractérisé par la survenue de pauses respiratoires fréquentes au cours du sommeil. Sa prévalence est estimée entre 3 et 7% (Marin *et al.*, 2005). Il est associé à une morbidité et une mortalité cardio- et cérébrovasculaires accrues (Punjabi, 2008; Arzt *et al.*, 2005), ce qui en fait un problème de santé publique. Il est également reconnu que les patients souffrant de SAS ont une dégradation de la qualité de vie (D'Ambrosio *et al.*, 1999), et qu'ils présentent un risque plus important d'accident de la circulation (Terán-Santos *et al.*, 1999) ou d'accident du travail (Uehli *et al.*, 2014).

La polysomnographie est l'examen standard pour le diagnostic du SAS. Il consiste en l'enregistrement simultané de différents paramètres physiologiques au cours d'une nuit complète. Les courbes obtenues (cf figure 1) sont alors analysées visuellement par des experts du sommeil afin de déterminer les stades de sommeil et les événements pathologiques.

FIGURE 1 – Courbes polysomnographiques



Actuellement, le scoring des courbes polysomnographiques est effectué visuellement par des experts du sommeil. C'est une tâche pénible et longue associée à une variabilité inter- et intra-scoreurs non négligeable (Kuna *et al.*, 2013). Il est reconnu que cette étape peut être améliorée (Penzel *et al.*, 2013).

La reconnaissance automatique des stades de sommeil est souvent considérée comme un problème de classification que l'on peut résoudre par apprentissage automatique. Des paramètres, extraits automatiquement par des méthodes de traitement du signal, sont ensuite injectés dans un classifieur qui indique en sortie l'un des cinq stades de sommeil définis dans les recommandations internationales (Alvarez-Estevéz & Moret-Bonillo, 2015).

Aujourd'hui, les algorithmes de classification automatique inclus dans les logiciels hospitaliers ne satisfont pas les experts du sommeil (Escourrou *et al.*, 2010); l'analyse visuelle, bien que fastidieuse, est toujours préférée. Les critiques portent en premier lieu sur la fréquence des changements de stade de sommeil, jugée trop importante. D'après nous, cela est dû au traitement indépendant de chaque époque, à l'aveugle de ce qui a été décidé lors de l'époque précédente et de ce qui sera décidé à l'époque suivante. L'observation des pratiques de scoring dans l'unité de pathologies du sommeil de la pitié-salpêtrière (AP-HP) a mis en évidence que les médecins cherchaient davantage les ruptures dans le signal — analysées comme des transitions — que l'observation systématique d'éléments en faveur, ou en défaveur, d'un stade de sommeil. Le support des experts a permis une compréhension plus fidèle de leur pratique des recommandations internationales.

Nous avons choisi d'aborder le problème différemment en intégrant des raisonnements à des niveaux d'abstraction différents et à des échelles de temps différentes, permettant une meilleure prise en compte de l'aspect dynamique du sommeil. La succession des stades de sommeil n'est pas aléatoire. Notre système est basé sur un système expert. La base de faits est initialisée par fusion symbolique. Les stratégies de fusion et les règles du système expert sont inspirées de celles données par les recommandations internationales (Berry *et al.*, 2015).

Dans la prochaine section, nous verrons comment sont définis les paramètres du système expert. Puis nous testerons l'approche sur une portion de signal réel. Suivront une discussion puis une conclusion.

2 Méthode

2.1 Sources de connaissance

Le projet AEP (*Automatic Embedded Polysomnography*) a pour objectif d'améliorer la polysomnographie en développant un réseau de capteurs sans fils intégrant une intelligence capable d'interpréter les signaux. Nous nous intéressons ici aux traitements automatiques permettant la reconnaissance automatique des stades de sommeil. Dans ce projet, nous avons choisi de nous inspirer de la démarche cognitive des médecins interprétant les signaux pour créer l'outil de support à la décision. Pour cela, deux sources étaient à notre disposition : (1) les recommandations internationales en médecine du sommeil (2) l'observation de la pratique du médecin expert.

Des recommandations internationales pour le scorage des courbes polysomnographiques ont été définies par l'*American Academy of Sleep Medicine* (AASM) et sont publiées dans un manuel régulièrement mis à jour (Berry *et al.*, 2015). Cinq stades de sommeil sont définis : W (Eveil), N1, N2 (Sommeil lent léger), N3 (Sommeil lent profond) et R (Sommeil paradoxal). L'enregistrement complet, sur une nuit, est divisé en segments de 30 secondes, appelées *époques*. La stadification du sommeil consiste à assigner à chaque *époque* un des cinq stades de sommeil précités. Pour cela, l'expert doit s'appuyer sur des observations faites sur les trois courbes électro-encéphalographiques (EEG) mesurant l'activité cérébrale, les deux courbes électro-oculographiques (EOG) mesurant les mouvements oculaires et la courbe électromyographique (EMG) mesurant le tonus musculaire submentonnier. Les observations permettant de prendre la décision portent sur le rythme des ondes enregistrées et sur la présence de motifs spécifiques, appelés « *grapho-éléments* », des différents stades de sommeil.

Afin d'interpréter correctement les guides de bonne pratique, nous avons observé des médecins experts de l'unité de pathologies du sommeil à la pitié-salpêtrière (AP-HP) lors de l'interprétation des signaux polysomnographiques, et, en particulier, dans la stadification du sommeil.

2.2 Catégorisation des règles

En analysant le contenu du manuel de l'AASM (Berry *et al.*, 2015), nous avons divisé les règles en trois catégories :

- les définitions des *grapho-éléments* ;
- les règles d'inférence permettant de décider de l'observation locale d'un stade de sommeil ;
- les règles statistiques permettant d'assigner un stade de sommeil à l'échelle de l'*époque* en fonction des observations locales d'un ou plusieurs stades de sommeil. Elles sont basées sur la proportion de chaque stade de sommeil observé.

Certaines sont exprimées sous la forme de priorités. Cela concerne à la fois l'observation des *grapho-éléments* que l'observation de stades de sommeil. Lorsque plusieurs *grapho-éléments* (resp. stades de sommeil) sont observés sur la même portion de signal, on donnera priorité à un *grapho-élément* (resp. stade de sommeil).

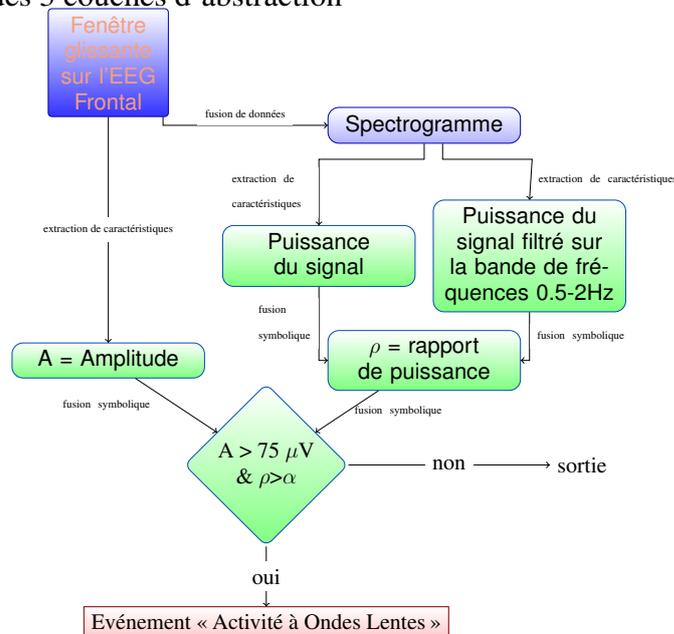
Les *grapho-éléments* sont extraits par fusion symbolique. Les observations locales des différents stades de sommeil sont décidées par un système expert ; les règles de priorité sont formalisées par des préférences et sont utilisées pour résoudre les conflits. Les règles statistiques sont alors simples à modéliser. Au total, les règles du manuel de l'AASM de scorage du sommeil de l'adulte ont été formalisées en 23 règles d'inférence dans notre système expert. Ces règles n'ont pas évolué dans les dernières mises à jour des recommandations, elles sont aujourd'hui consensuelles. L'actualisation des règles du système expert ne requerra donc, a priori, qu'une modification marginale par un technicien.

2.3 Formalisation des règles

2.3.1 Extraction des grapho-éléments

L'extraction des grapho-éléments se fait par fusion symbolique dans une architecture multicouches (Ugon *et al.*, 2011). Cette architecture, définie par B. Dasarathy dans (Dasarathy, 1997), est constituée d'une couche contenant les données, d'une couche contenant les caractéristiques et d'une couche contenant les décisions. Des opérations de fusion et d'extraction permettent d'abstraire les données et les caractéristiques d'un niveau d'abstraction vers un autre. À titre d'exemple, intéressons-nous à la reconnaissance de « l'activité à ondes lentes », *grapho-élément* spécifique du sommeil lent profond (N3). Selon l'AASM, par définition, il s'agit d'« ondes de fréquence 0.5 à 2.0Hz avec une amplitude minimale de $75\mu V$ ». L'extraction de cet événement suit le schéma de la figure 2. En bleu, on peut voir la couche de données, en vert, la couche des caractéristiques et en rouge la couche de décisions.

FIGURE 2 – Schéma d'extraction de l'événement « activité à ondes lentes » à partir de l'EEG frontal au travers des 3 couches d'abstraction



Les observations obtenues à cette étape servent de *base de faits* pour notre système expert.

2.3.2 Règles d'inférence du système expert

L'enregistrement complet est divisé en segments continus de courte durée (1 seconde). Les règles d'inférence permettent de décider, en fonction des « grapho-éléments » observés sur les segments courant, précédent et suivant, si un stade de sommeil est observé localement ou non. À titre d'exemple, la règle G.2 du manuel de l'AASM nous indique de « commencer à scorer le stade N2 (en l'absence des critères de N3) si l'une au moins des observations suivantes est faite : observation d'un ou plusieurs fuseau(x) du sommeil ; observation d'un ou plusieurs complexe(s) K non associé à un micro-éveil ». Il est précisé dans la définition G.1 du manuel de l'AASM que « pour qu'un micro-éveil soit associé à un complexe K, il faut que ce micro-éveil survienne concomitamment ou au plus tard une seconde après la fin du complexe K ». Ces deux règles peuvent se formaliser par la formule 1.

$$\neg \mathcal{O}_{i-1}^{N2} \wedge \neg \mathcal{O}_i^{N3} \wedge \mathcal{O}_i^{K \text{ complex}} \wedge \neg (\mathcal{O}_i^{\text{arousal}} \vee \mathcal{O}_{i+1}^{\text{arousal}}) \Rightarrow \mathcal{O}_i^{N2} \quad (1)$$

où :

- \mathcal{O}_i^E signifie que l'événement E est observée sur le segment i (segment courant).
- $\mathcal{O}_i^S, S \in \{W, R, N1, N2, N3\}$ signifie que le stade de sommeil S est observé sur le segment i (segment courant).

2.3.3 Règles de priorité

Certaines règles définissent des priorités à respecter lorsque plusieurs stades de sommeil sont observés au cours d'une même époque. Nous les avons formalisées à l'aide de règles d'inférence intégrant des préférences.

À titre d'exemple, la règle I.4 du manuel de l'AASM indique que « le stade R a priorité sur le stade N2 », ce qu'on peut formaliser avec la formule 2 :

$$\mathcal{O}_i^{N2} \wedge \mathcal{O}_i^R \Rightarrow \mathcal{O}_i^R > \mathcal{O}_i^{N2} \quad (2)$$

où $\mathcal{O}_i^S, S \in \{W, R, N1, N2, N3\}$ signifie que le stade de sommeil S est observé au cours de l'époque i (époque courante).

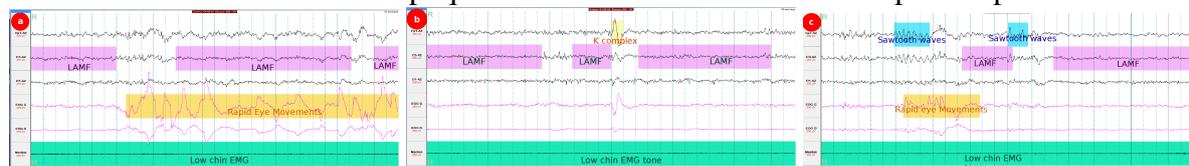
Ces règles sont appliquées dans le système expert avec un moteur à chaînage avant.

3 Résultats

Nous avons testé notre méthode sur les trois époques consécutives de la figure 3. Des rectangles colorés indiquent les grapho-éléments observés sur ces trois époques.

Les observations de la première époque (figure 3.a) indiquent clairement un stade R. Dans la deuxième époque, seul le complexe K pourrait indiquer un changement de stade. Comme vu précédemment, d'après la règle G.2 du manuel de l'AASM, l'observation d'un complexe K est un indicateur de début de stade N2. En conséquence, dans la première moitié de cette deuxième époque (jusqu'au complexe K), le stade R est observé ; dans la deuxième moitié, le stade N2 est observé (en raison de l'observation du complexe K). Le stade R et le stade N2

FIGURE 3 – Trois époques consécutives toutes scorées R par l'expert



sont donc tous les deux observés à 50% dans cette *époque*, et peuvent donc tous les deux être assignés à cette deuxième *époque*. Pour résoudre ce conflit, la règle I.4 du manuel de l'AASM nous indique que, dans cette situation, le stade R doit être préféré au stade N2. L'*époque* est donc scorée en stade R.

Cette décision est confirmée par les observations de la troisième *époque*, qui comporte clairement des *grapho-éléments* spécifiques du stade R.

4 Discussion

L'exemple traité à la section précédente démontre la pertinence de notre approche, par comparaison aux méthodes utilisées traditionnellement dans la littérature du domaine. Un classifieur tentant de reconnaître le stade de sommeil de la deuxième *époque* de la figure 3 conclurait un stade N2, en raison du complexe K, conformément à ce qu'un expert conclut si on lui présente cette même *époque* de façon isolée.

5 Conclusion

La reconnaissance automatique des stades de sommeil ne doit pas être considéré comme un problème que l'on peut résoudre à l'aide d'un classifieur considérant chaque *époque* de façon isolée. Il est nécessaire de travailler à une échelle de temps plus fine afin de mieux prendre en compte les aspects dynamiques du sommeil. À cette échelle, un système expert semble plus approprié pour prendre une décision. Les règles d'inférence utilisées sont inspirées de celles du manuel de l'AASM. L'observation des experts de l'unité des pathologies du sommeil de la pitié salpêtrière dans leur pratique du scorage des données polysomnographiques a permis une formalisation, fidèle à la pratique, de ces règles. Testée sur une portion de signal comportant une *époque* interprétée avec erreur lorsqu'elle est scorée de façon isolée, notre méthode a permis de prendre la bonne décision.

Dans le futur, nous voulons évaluer la méthode sur des enregistrements polysomnographiques complets puis l'améliorer, en révisant les algorithmes de reconnaissance des *grapho-éléments*, et en intégrant de nouvelles connaissances issues des erreurs qui seront constatées lors de l'évaluation.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du Labex SMART avec le support financier de l'état français, représenté par l'ANR, dans le cadre du programme Investissements d'Avenir sous la référence ANR-11-IDEX-0004-02.

Références

- ALVAREZ-ESTEVEZ D. & MORET-BONILLO V. (2015). Computer-assisted diagnosis of the sleep apnea-hypopnea syndrome : A review. *Sleep Disorders*, **2015**, 1–33.
- ARZT M., YOUNG T., FINN L., SKATRUD J. & BRADLEY T. (2005). Association of sleep-disordered breathing and the occurrence of stroke. *Am J Respir Crit Care Med*, **172**(11), 1447–1451.
- BERRY R., BROOKS R., GAMALDO C., HARDING S., LLOYD R., MARCUS C. & VAUGHN B. (2015). *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events : Rules, Terminology and Technical Specifications, Version 2.2*. American Academy of Sleep Medicine, Darien, Illinois.
- DASARATHY B. (1997). Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications. *Proceedings of the IEEE*, **85**(1), 24–38.
- D'AMBROSIO C., BOWMAN T. & MOHSENIN V. (1999). Quality of life in patients with obstructive sleep apnea : Effect of nasal continuous positive airway pressure—a prospective study. *Chest*, **115**(1), 123–129.
- ESCOURROU P., MESLIER N., RAFFESTIN B., CLAVEL R., GOMES J., HAZOUARD E., PAQUEREAU J., SIMON I. & ORVOEN FRIJA E. (2010). Quelle approche clinique et quelle procédure diagnostique pour le SAHOS ? *Revue des Maladies Respiratoires*, **27**, S115–S123.
- KUNA S., BENCA R., KUSHIDA C., WALSH J., YOUNES M., STALEY B., HANLON A., PACK A., PIEN G. & MALHOTRA A. (2013). Agreement in computer-assisted manual scoring of polysomnograms across sleep centers. *Sleep*, **36**(4), 583–589.
- MARIN J., CARRIZO S., VICENTE E. & AGUSTI A. (2005). Long-term cardiovascular outcomes in men with obstructive sleep apnoea-hypopnoea with or without treatment with continuous positive airway pressure : an observational study. *Lancet*, **365**(9464), 1046–1053.
- PENZEL T., ZHANG X. & FIETZE I. (2013). Inter-scorer reliability between sleep centers can teach us what to improve in the scoring rules. *J Clin Sleep Med*, **9**(1), 89–91.
- PUNJABI N. (2008). The epidemiology of adult obstructive sleep apnea. *Proc Am Thorac Soc*, **5**(2), 136–143.
- TERÁN-SANTOS J., JIMENEZ-GOMEZ A. & CORDERO-GUEVARA J. (1999). The association between sleep apnea and the risk of traffic accidents. *New England Journal of Medicine*, **340**(11), 847–851.
- UEHLI K., MEHTA A., MIEDINGER D., HUG K., SCHINDLER C., HOLSBOER-TRACHSLER E., LEUPPI J. & KÜNZLI N. (2014). Sleep problems and work injuries : A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, **18**(1), 61–73.
- UGON A., GANASCIA J.-G., PHILIPPE C., AMIEL H. & LÉVY P. (2011). How to use symbolic fusion to support the sleep apnea syndrome diagnosis. In M. PELEG, N. LAVRAČ & C. COMBI, Eds., *Artificial Intelligence in Medicine : 13th Conference on Artificial Intelligence in Medicine, AIME 2011, Bled, Slovenia, July 2-6, 2011. Proceedings*, p. 45–54, Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg.