



Modèle mathématique du diagnostic de la fragmentation du sommeil*



R. Naeck*, A. Elias, D. D'Amore, M-F. Matéo, J-P. Suppini, C. Rabec, X. Drouot, J-C. Meurice, J. Paquereau, E. Moreau & J-M. Ginoux

Unité Recherche Clinique, Centre Hospitalier Intercommunal de Toulon La Seyne & CHU de Dijon & CHU de Poitiers & LSIS, CNRS, UMR 7297, Université de Toulon, la Garde

Objectif

Le but de ce travail est de proposer une modélisation mathématique du diagnostic de la fragmentation du sommeil à partir de trois caractéristiques de sommeil considérées comme les plus importantes : le nombre de changement de stades (SSS), le nombre de micro-éveils (MAR) et le nombre d'éveils intra-sommeil (ISA).

Méthode

Un protocole rétrospectif et observationnel (CH-2013-02) a été réalisé au laboratoire de sommeil du Centre Hospitalier Intercommunal Toulon La Seyne (CHITS). 111 polysomnographies en ventilation spontanée ont été analysées (Medatec®, Belgique) selon les recommandations de l'AASM [1, 2]. Puis, sur la base des comptes-rendus de polysomnographie, les praticiens ont déterminé si le sommeil était fragmenté ou non. Nous avons effectué une enquête auprès de six praticiens hospitaliers (trois pneumologues et trois neurophysiologistes) afin de déterminer :

- Quels sont les trois caractéristiques qu'ils considèrent comme les plus importantes dans leur diagnostic de la fragmentation du sommeil ?
- Quel est l'importance (poids) de chacune de ces caractéristiques dans leur diagnostic ?
- Quel est le seuil de chacune de ces caractéristiques à partir duquel il considère le sommeil comme fragmenté ?

Afin de pouvoir comparer statistiquement au moyen du coefficient kappa de Cohen [3] le diagnostic du praticien hospitalier et le modèle mathématique de ce diagnostic, l'algorithme de décision suivant a été utilisé :

Pour chaque patient i , on attribue la valeur 1 si le sommeil du patient i est considéré comme fragmenté et la valeur 0 si il est considéré comme non fragmenté.

Un modèle mathématique du diagnostic dépendant de la spécialité de chaque praticien hospitalier (pneumologue et neurophysiologiste) a été construit ainsi.

Soit $(X, Y, Z) = (MAR, SSS, ISA)$ les trois caractéristiques de sommeil, soit (x_i, y_i, z_i) les valeurs qu'elles peuvent prendre pour chaque patient i ,

Soit (τ_x, τ_y, τ_z) les seuils et (w_x, w_y, w_z) les poids de chacune de ces trois caractéristiques de sommeil. Le modèle mathématique de diagnostic est défini ainsi :

$$u_i = \frac{w_x H(x_i - \tau_x) + w_y H(y_i - \tau_y) + w_z H(z_i - \tau_z)}{w_x + w_y + w_z} \quad \text{où} \quad H(a_i - \tau_A) = \begin{cases} 1 & \text{si } a_i > \tau_A \\ 0 & \text{si } a_i < \tau_A \end{cases} \text{ est la fonction de Heaviside.}$$

Si on a par exemple $w_x \leq w_y \leq w_z$, le seuil à partir duquel ce modèle mathématique considère le sommeil comme fragmenté est défini par : $\tau_U = \frac{w_x + w_y}{w_x + w_y + w_z}$

Il est facile de vérifier que dans le cas particulier où $w_x = w_y = w_z = 1$ le seuil de fragmentation est $\tau_U = 2/3$.

Résultat 1 : Efficacité du modèle mathématique

Afin de tester l'efficacité du modèle mathématique, la concordance (agrément) entre le diagnostic de chaque clinicien (pneumologue et neurophysiologiste) et le modèle mathématique de ce diagnostic a été mesurée à l'aide du coefficient kappa de Cohen.

Pour le pneumologue : $\kappa_{pneumo} = 65.95\%$ avec $p < 0.01$

avec $(\tau_x, \tau_y, \tau_z) = (15, 100, 1)$ et $(w_x, w_y, w_z) = (25\%, 50\%, 25\%)$

Pour le neurophysiologiste : $\kappa_{neuro} = 73.83\%$ avec $p < 0.01$

avec $(\tau_x, \tau_y, \tau_z) = (10, 100, 5)$ et $(w_x, w_y, w_z) = (50\%, 25\%, 25\%)$

D'après Landis et al. [4] cette concordance est dans les deux cas substantielle.

Données polysomnographiques

	SAHOS	Sujets Sains
N	56	55
M / F	43 / 13	43 / 12
Age (ans)	53,9 ± 10,9	26,6 ± 6,4
IMC (kg.m ⁻²)	28,8 ± 5,0	24,4 ± 3,7
TST (minutes)	387,3 ± 97,3	512 ± 80,4
NREM 1 (minutes)	44,7 ± 29,5	32,2 ± 17,5
NREM 2 (minutes)	234,2 ± 78,5	252,5 ± 62
NREM 3 (minutes)	51,1 ± 31,4	103,8 ± 26,8
Sommeil Paradoxal (minutes)	14,5 ± 5,9	122,7 ± 31,9
ISA : Eveils (minutes)	96,9 ± 47,9	17,4 ± 9,1
SSS : Changement de stades (nb)	140,1 ± 66,6	87 ± 25,7
MAR : Indice de Micro-Eveils (heure ⁻¹)	37,0 ± 19,2	9,7 ± 4,4
Indice d'Apnées Hypopnées (heure ⁻¹)	38,6 ± 21,4	3,7 ± 3,7
Indice d'Efficacité du Sommeil (%)	74,1 ± 11,5	92,9 ± 5,3

Résultat 2 : Le Gain Diagnostique

Afin de mesurer le gain diagnostique réalisé grâce à notre modèle mathématique, une matrice de confusion a été construite pour chaque clinicien. On déduit de chaque matrice le rapport de vraisemblance positif (LR^+) et le gain diagnostique.

Pour le pneumologue :

	Fragmenté	Non Fragmenté	Total
Test positif	33	3	36
Test négatif	15	60	75
Total	48	63	111

$$LR^+ = 14.43 \Rightarrow \text{gain} = 48.42\%$$

Pour le neurophysiologiste :

	Fragmenté	Non Fragmenté	Total
Test positif	31	6	37
Test négatif	7	67	74
Total	38	73	111

$$LR^+ = 9.92 \Rightarrow \text{gain} = 49.54\%$$

D'après Altman et al. [5] si $LR^+ > 10$, le modèle augmente de façon significative la probabilité d'obtenir un sommeil fragmenté chez les patients analysés.

Conclusion & Perspectives

Dans ce travail nous avons construit un modèle mathématique du diagnostic de la fragmentation du sommeil basé sur trois caractéristiques principales du sommeil (SSS, MAR, ISA). Chacune de ces caractéristiques possédant un seuil et un poids propres à chaque clinicien (pneumologue et neurophysiologiste). La comparaison du modèle mathématique construit pour chaque clinicien avec le diagnostic de ces cliniciens a permis de mettre en évidence une concordance substantielle ($\kappa_{pneumo} = 65.95\%$; $\kappa_{neuro} = 73.83\%$) et un gain en diagnostic proche de 50% dans les deux cas. Par la suite on envisagera de modifier le choix des caractéristiques de sommeil. Une autre approche consisterait à remplacer la modélisation mathématique par une modélisation réalisée au moyen de Réseaux de Neurones Artificiels (RNA).

Bibliographie

[1] R. Naeck, Evaluation de l'adaptation à la ventilation non invasive chez des patients atteints d'insuffisance respiratoire chronique, Thèse de l'université de Rouen, 2011.
 [2] C. Iber, S. Ancoli-Israel, A. Chesson, S.F. Quan, The AASM Manual for scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications, American Academy of Sleep Medicine, 2007.
 [3] J. Cohen, A coefficient of agreement for nominal scales, Educational and Psychological Measurement 20 (1) (1960) 37-46.
 [4] J.R. Landis, G.G. Koch, The measurement of observer agreement for categorical data, Biometrics 33 (1) (1977) 159-174.
 [5] D.G. Altman, J.M. Bland, Diagnostic tests 2: predictive values, BMJ 9 (1994 Jul) 309(6947) 102.
 *Ce travail est actuellement soumis sous le titre Mathematical Modelling of Sleep Fragmentation Diagnosis à Biomedical Signal Processing and Control Journal