

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research

المدرسة العليا للإعلام الآلي - 08 ماي 1945 - سيدي بلعباس
Higher School of Computer Science
-08 May 1945- Sidi Bel Abbès



PFE THESIS

Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of **State Engineer**

Field : **Computer Science**

Specialization : **Information Systems and Web (SIW)**

Topic

NOOM: A Wearable Sleep Stage

Classification and Smart Alarm System

Presented by :

Ms. Hamida DADDA

Defended on : **06/29/2026**

Before the jury composed of :

Ms. Nadia ELOUALI

President

Mr. Mohamed KECHAR

Supervisor

Ms. Nesrine ELHIRECHE

Examiner

Academic Year : 2025 / 2026

Abstract

Keywords: Sleep stage classification, wearable sensing, deep learning, smart alarm, leave-one-subject-out evaluation, DREAMT dataset, sleep inertia, hybrid CNN-TCN, CMA-ES hyperparameter optimisation, Psychomotor Vigilance Task.

Forced awakening during Stage N3 slow-wave sleep produces *sleep inertia*, a transient state of cognitive impairment that degrades psychomotor performance for up to 30 minutes post-arousal. Standard alarm clocks are oblivious to the sleeper’s physiological state, making deep-sleep awakenings statistically inevitable across the 90-minute ultradian sleep cycle.

This thesis presents [Non-intrusive Optimal Wakeup Monitor](#) (NOOM), a personalised sleep monitoring and intelligent alarm system that classifies 30-second epochs of wrist-worn sensor data into three clinically meaningful categories — Wake, Non-Deep (NREM N1, N2 and REM), and Deep (N3) — and triggers the alarm at the physiologically optimal moment within a user-defined window. The model combines a per-signal one-dimensional [CNN](#) with Instance Normalisation and a [Temporal Convolutional Network](#) for multi-scale sequence modelling, augmented by a parallel branch of 14 hand-crafted physiologically motivated features. Hyperparameters are optimised via [Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy](#) with a composite fitness function that explicitly rewards Deep-class F1, preventing minority-class collapse.

Training and evaluation follow a strict [Leave-One-Subject-Out](#) cross-validation protocol on the full 100-subject DREAMT 2.1.0 dataset (≈ 154 million samples at 64 Hz). The system achieves a pooled LOSO macro-F1

of 0.537 (Wake: 0.59, Non-Deep: 0.82, Deep: 0.20), an overall accuracy of 74%, and a Cohen’s κ of 0.398 (Fair agreement). The smart alarm decision engine employs a weighted urgency curve, a deep-sleep suppression gate, and an ACC-based motion gate. A [Psychomotor Vigilance Task](#) module provides closed-loop cognitive feedback for continual on-device personalisation. Comparative analysis confirms that NOOM is the only fully open, privacy-preserving, edge-deployable pipeline evaluated under strict 100-subject LOSO with explicit deep-sleep suppression logic and a PVT feedback loop.

Résumé

Mots-clés : Classification des stades de sommeil, capteurs portables, apprentissage profond, alarme intelligente, validation croisée leave-one-subject-out, jeu de données DREAMT, inertie du sommeil, CNN-TCN hybride, optimisation CMA-ES, Tâche de Vigilance Psychomotrice.

Le réveil forcé pendant la phase de sommeil profond à ondes lentes (stade N3) provoque une inertie du sommeil, un état transitoire de déficience cognitive qui dégrade les performances psychomotrices pendant jusqu'à 30 minutes après l'éveil. Les réveils conventionnels sont indifférents à l'état physiologique du dormeur, rendant les éveils en sommeil profond statistiquement inévitables au cours du cycle ultradien de 90 minutes.

Cette thèse présente NOOM, un système personnalisé de surveillance du sommeil et d'alarme intelligente qui classe des époques de 30 secondes issues de capteurs portés au poignet en trois catégories cliniquement pertinentes — Éveil, Non-Profond (NREM N1, N2 et REM) et Profond (N3) — et déclenche l'alarme au moment physiologiquement optimal au sein d'une fenêtre définie par l'utilisateur. Le modèle combine un CNN unidimensionnel par signal avec normalisation d'instance et un TCN pour la modélisation de séquences multi-échelles, augmenté d'une branche parallèle de 14 caractéristiques physiologiques conçues manuellement. Les hyperparamètres sont optimisés via CMA-ES avec une fonction d'aptitude composite qui récompense explicitement le F1 de la classe Deep, prévenant l'effondrement de la classe minoritaire.

L'entraînement et l'évaluation suivent un protocole de validation croisée LOSO strict sur l'ensemble des 100 sujets du jeu de données DREAMT 2.1.0 (environ 154 millions d'échantillons à 64 Hz). Le système

atteint un macro-F1 groupé en LOSO de 0,537 (Éveil : 0,59, Non-Profond : 0,82, Profond : 0,20), une précision globale de 74%, et un kappa de Cohen de 0,398 (accord modéré). Le moteur de décision de l'alarme intelligente repose sur une courbe d'urgence pondérée, une porte de suppression du sommeil profond, et une porte de mouvement basée sur l'accéléromètre. Un module de Tâche de Vigilance Psychomotrice (PVT) fournit une rétroaction cognitive en boucle fermée pour une personnalisation continue sur l'appareil. L'analyse comparative confirme que NOOM est le seul système entièrement ouvert, respectueux de la vie privée et déployable en périphérie, évalué selon un protocole LOSO strict sur 100 sujets avec une logique explicite de suppression du sommeil profond et une boucle de rétroaction PVT.

الملخص

الكلمات المفتاحية: تصنيف مراحل النوم، الاستشعار القابل للارتداء، التعلم العميق، المنبه الذكي، تقييم ترك-موضوع-واحد-خارجاً (LOSO)، مجموعة بيانات DREAMT، قصور النوم، نموذج CNN-TCN الهجين، تحسين المعاملات الفائقة بخوارزمية CMA-ES، مهمة اليقظة الحركية النفسية.

يؤدي الاستيقاظ القسري أثناء مرحلة النوم العميق ذي الموجات البطيئة (N3) إلى ما يُعرف بقصور النوم، وهي حالة عابرة من الضعف الإدراكي تُضعف الأداء الحركي النفسي لمدة تصل إلى 30 دقيقة بعد الاستيقاظ. إن المنبهات التقليدية غافلة تماماً عن الحالة الفسيولوجية للنائم، مما يجعل الاستيقاظ أثناء النوم العميق أمراً شبه حتمي إحصائياً ضمن دورة النوم الإيقاعية التي تمتد على 90 دقيقة.

تُقدّم هذه الأطروحة نظام NOOM، وهو نظام مراقبة نوم شخصي ومنبه ذكي يُصنّف نوافذ زمنية مدتها 30 ثانية من بيانات أجهزة الاستشعار المرتداة على المعصم إلى ثلاث فئات ذات دلالة سريرية: اليقظة (Wake)، النوم غير العميق (يشمل المراحل N1 وN2 وREM)، والنوم العميق (N3) — ويُطلق المنبه في اللحظة الأمثل فسيولوجياً ضمن نافذة زمنية يحددها المستخدم. يجمع النموذج بين شبكة عصبية تلافيفية أحادية البعد لكل إشارة مع تطبيع المثل (Instance Normalisation)، وشبكة تلافيفية زمنية (TCN) لنمذجة التسلسل متعدد المقاييس، إضافة إلى فرع موازي يضم 14 سمة فسيولوجية مُصمّمة يدوياً. تُحسّن المعاملات الفائقة باستخدام خوارزمية CMA-ES مع دالة لياقة مركّبة تكافئ صراحةً درجة F1 الخاصة بفئة النوم العميق، مما يمنع انهيار الفئة الأقلية.

يتبع التدريب والتقييم بروتوكول تحقق متقاطع صارم من نوع LOSO على كامل مجموعة بيانات DREAMT الإصدار 2.1.0 المكوّنة من 100 مشارك (نحو 154 مليون عينة بمعدل 64 هرتز). يحقق النظام درجة F1 الكلية المجمّعة (macro-F1) قدرها 0.537 (اليقظة: 0.59، النوم غير العميق: 0.82، النوم العميق: 0.20)، بدقة إجمالية تبلغ 74%، ومعامل اتفاق كوهين (Cohen's

(κ) قدره 0.398 (اتفاق مقبول). يعتمد محرك قرار المنبه الذكي على منحني إلحاح مرّجّ، وبوابة قمع للنوم العميق، وبوابة حركة قائمة على مقياس التسارع. كما توفر وحدة اختبار اليقظة الحركية النفسية (PVT) تغذية راجعة معرفية ذات حلقة مغلقة لتمكين التخصيص المستمر على الجهاز نفسه. يؤكد التحليل المقارن أن NOOM هو النظام المفتوح الوحيد الذي يحافظ على خصوصية المستخدم ويمكن نشره على الحافة، والذي خضع للتقييم الصارم بأسلوب LOSO على 100 مشارك مع منطق صريح لقمع النوم العميق وحلقة تغذية راجعة قائمة على اختبار اليقظة الحركية النفسية.