



IMT Mines Alès
École Mines-Télécom

LA SCIENCE & LA CRÉATIVITÉ POUR INVENTER UN MONDE DURABLE

DOCTORAT EN SCIENCE DES DONNÉES

Etablissement	IMT Mines Alès (Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès)
Affectation principale	Centre d'Enseignement et de Recherche en Informatique et Systèmes (CERIS)
Résidence administrative	Alès (Département du Gard – Région Occitanie)
Date de prise de poste	01/10/2024

1. Présentation IMT et IMT Mines Alès

L'institut Mines-Télécom (IMT), grand établissement au sens du code de l'éducation, est un établissement public scientifique, culturel et professionnel (EPSCP) placé sous la tutelle principale des ministres chargés de l'industrie et du numérique. Premier groupe d'écoles d'ingénieurs en France, il fédère 11 écoles d'ingénieur publiques réparties sur le territoire national, qui forment 13 500 ingénieurs et docteurs. L'IMT emploie 4500 personnes et dispose d'un budget annuel de 400M€ dont 40% de ressources propres. L'IMT comporte 2 instituts Carnot, 35 chaires industrielles, produit annuellement 2100 publications de rang A, 60 brevets et réalise 110M€ de recherche contractuelle.

Créé en 1843, IMT Mines Alès compte à ce jour 1400 élèves (dont 250 étrangers) et 380 personnels. L'école dispose de 3 centres de recherche et d'enseignement de haut niveau scientifique et technologique, qui œuvrent dans les domaines des matériaux et du génie civil (C2MA), de l'environnement et des risques (CREER), de l'intelligence artificielle et du génie industriel et numérique (CERIS). Elle dispose de 12 plateformes technologiques et compte 1600 entreprises partenaires.

2. Projet de recherche

Titre : Modèles prudents pour l'IA adaptative

Mots clés : Quantification de l'incertitude dans l'IA, IA adaptative, IA fiable, prédiction prudente

Ce sujet s'intéresse à la prédiction prudente (classification ou régression). Les méthodes de prédiction prudentes sont des méthodes d'apprentissage automatique qui visent à rendre plus fiables et plus robustes les sorties des classificateurs dans le cas où les données sont entachées d'imperfections. Ces méthodes sont d'autant plus nécessaires lorsque l'on applique les méthodes d'apprentissage automatique à des domaines sensibles comme la santé par exemple. Par prédiction prudente, nous entendons fournir un sous-ensemble de candidats (règles, classes, intervalles) auquel nous accordons une large confiance de contenir la vérité. Par exemple, dans le cas de la médecine [1] où un médecin est assisté par une méthode de classification de vision par ordinateur (de telles méthodes sont déjà utilisées en milieu médical [2]), la méthode de classification prudente doit donner une quantification de l'incertitude exploitable, comme un sous-ensemble de prédictions qui couvrent de manière prouvée le vrai diagnostic avec une probabilité élevée (par exemple, 95 %). Il existe un état de l'art très riche en la matière, nous pouvons citer entre autres [3-9] et nous avons fait plusieurs propositions dans ce cadre [10-18]. Ces travaux viennent enrichir les contributions qui visent l'explication et le renforcement de la confiance concernant les prédictions des algorithmes de l'IA.

Actuellement, un grand intérêt est porté sur les décisions dynamiques à base de l'apprentissage automatique ou l'IA adaptative. En effet, certaines sociétés des techniques avancées, comme Gartner, considère que l'IA adaptative est parmi les dix principales tendances technologiques stratégiques de 2023. L'IA adaptative se distingue par la création d'algorithmes capables d'apprendre et de s'adapter aux nouvelles situations de l'environnement, aux changements des objectives, des données en ligne, etc. Les décisions à base de l'IA adaptative requièrent encore plus de prudence pour être digne de confiance pour l'humain dû aux changements cités. Ce projet s'inscrit dans plusieurs piliers du projet européen ENFIELD dont l'IMT est un partenaire. Il s'agit de l'IA adaptative et l'IA digne de confiance où la modélisation des incertitudes et les approches d'apprentissage robustes sont parmi les approches envisagées. Nous projetons des applications dans les domaines du sport (suivi des performances/blessures des athlètes) et de la santé (suivi des patients par rapport à l'évolution de certains mouvements). Par ailleurs, ce projet sera en lien avec une thèse en cours sur la performance sportive et une thèse à venir intitulée «Classification prudente de la réponse individuelle à la rééducation post AVC ».

La certification de la qualité des prédictions réalisées par les modèles issus de l'apprentissage automatique (l'IA en général) est devenue un sujet majeur de recherche au même niveau que l'explicabilité des prédictions de l'IA (XAI), désignée en générale par Trustworthy IA. Cette certification passe, dans notre approche, par une garantie (statistiquement ou de manière déterministe) de la justesse de leur prédiction dans un domaine de fonctionnement donné. Cette certification est d'autant plus nécessaire quand les prédictions sont séquentielles où les erreurs peuvent s'accumuler et, ainsi, les conséquences sont plus désastreuses. Dans ce travail, nous proposons de traiter la certification de la qualité des prédictions par les techniques de la quantification des incertitudes, et de gérer l'aspect séquentielles par l'apprentissage par renforcement. En plus de faire des contributions théoriques dans des thématiques largement mise en avant dans la recherche en IA, ces travaux visent à résoudre des problématiques réelles comme la problématique industrielle de tri de déchets plastiques, le contrôle d'un robot, ou toute autre problématique où l'on est censé prendre des décisions dans le temps (systèmes industriels, de santé, missions humanitaires, ...).

A notre connaissance, il n'existe pas d'étude lié à la confiance dans les algorithmes de l'IA adaptative. Ainsi, ce sujet exploratoire est nécessaire étant donné les domaines sensibles dans lesquels les algorithmes basés sur l'apprentissage automatique vont être déployés.

Ce projet s'inscrit dans les piliers Adaptive AI et Trustworthy IA du projet européen ENFIELD dans lequel s'est engagé l'IMT en 2023 pour son aspect quantification des incertitudes pour une décision prudente et dans la catégorie Human-centric AI d'ENFIELD pour l'aspect modélisation des préférences (modéliser l'aversion/l'appétence du décideur pour la prise de risque). Ce sujet sera également lancé en parallèle avec une autre thèse qui traite du même sujet mais avec une application orienté médecine (Classification prudente de la réponse individuelle à la rééducation post AVC).

Les applications envisagées à ce jour dans la planification d'examen cliniques, de diagnostics médicaux séquentiels, suivi de la performance des athlètes, etc. inscrivent naturellement ce projet dans les piliers Protéger et Soigner de l'université de Montpellier. Les liens directs avec le projet ENFIELD rattachent évidemment ce projet à la feuille de route de la communauté Data analytics & IA de l'IMT.

Ce sujet s'effectuera au sein de l'équipe de la thématique LAC :

Le thème LAC – Learning & Complexity – est l'un des trois thèmes scientifiques de l'Unité de Recherche Euromov Digital Health in Motion. LAC fédère les travaux menés sur les notions d'Apprentissage et de Complexité qui sous-tendent toute forme d'agent intelligent. Nous nous intéressons en particulier à l'expression de ces notions d'apprentissage et de complexité chez l'Homme, mais aussi chez des agents Machine supportés par des formes d'IA. Un agent intelligent, qu'il soit Homme ou Machine, est ainsi regardé comme un système complexe qui interagit de manière adaptative, robuste et optimisée dans un environnement riche et potentiellement évolutif. Ces interactions amènent l'expression de capacités d'apprentissage et de comportements complexes qu'étudient les membres de LAC, notamment en vue de permettre leur recouvrement dans le cas de conditions médicales induisant leur perte chez l'Homme (e.g. condition post-AVC, lombalgie chronique). La plupart des travaux menés par les informaticiens qui contribuent au thème LAC portent sur des problématiques d'apprentissage machine avec un encrage fort sur des aspects applicatifs e.g. classification de mouvements, prédiction de blessures, quantification de la pénibilité au travail à partir de données mouvements.

Le projet CODEAI s'inscrit dans cette lignée : il s'agit d'apprendre en ligne la stratégie qui trouvera le meilleur équilibre entre prudence et précision pour maximiser le gain cumulatif de la séquence des décisions élémentaires.

3. Encadrement

Centre de Recherche et d'enseignement : Centre d'Enseignement et de Recherche en Informatique et Systèmes (CERIS)

Ecole doctorale : n°166 - I2S (Information, Structures et Systèmes)

4. Profil recherché

Les candidats doivent être titulaires : d'un Master ou d'un diplôme d'école d'ingénieur en informatique ou en mathématiques appliquées avec des connaissances dans le domaine de l'apprentissage automatique, des probabilités et des statistiques. Forte autonomie est demandée dans la mise en œuvre pratique des concepts et modèles développés dans le cadre des travaux de la thèse. Langages de programmation : Python et/ou R.

5. Références bibliographiques

- [1] Lundervold, A. S., & Lundervold, A. (2019). An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 29(2), 102-127.
- [2] Angelopoulos, A., Bates, S., Malik, J., & Jordan, M. I. (2020). Uncertainty sets for image classifiers using conformal prediction. *arXiv preprint arXiv:2009.14193*.
- [3] J. J. d. Coz, J. Diez, A. Bahamonde, Learning nondeterministic classifiers, *Journal of Machine Learning Research* 10 (2009) 2273--2293.
- [4] T. Mortier, M. Wydmuch, K. Dembczynski, E. Hullermeier, W. Waegeman, Efficient set-valued prediction in multi-class classification, *Data Mining and Knowledge Discovery* 35 (2021) 1435--1469.
- [5] V. Vovk, A. Gammerman, G. Shafer, Conformal prediction, *Algorithmic learning in a random world* (2005) 17--51.
- [6] M. Zaffalon, Statistical inference of the naive credal classifier., in: ISIPTA, volume 1, 2001, pp. 384--393.
- [7] J. Abellan, S. Moral, Building classification trees using the total uncertainty criterion, *International Journal of Intelligent Systems* 18 (2003) 1215--1225.
- [8] J. Abellan, A. R. Masegosa, Imprecise classification with credal decision trees, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 20 (2012) 763{787.
- [9] L. Ma, T. Denoeux, Partial classification in the belief function framework, *Knowledge-Based Systems* (2021) 106742.
- [10] L'Héritier, Cécile. "Une approche de retour d'expérience basée sur l'analyse multicritère et l'extraction de connaissances : Application au domaine humanitaire.", Nîmes, 2020.
- [11] Jacquin, Lucie. *Traitement de données incertaines : application au tri des matières plastiques*. Diss. IMT-MINES ALES-IMT-Mines Alès Ecole Mines-Télécom, 2021.
- [12] Imoussaten, Abdelhak. "The study of the hyper-parameter modelling the decision rule of the cautious classifiers based on the $F\beta$ measure." *Array* 19 (2023): 100310.
- [13] A., Imoussaten, L., Jacquin. Cautious classification based on belief functions theory and imprecise relabelling. *International Journal of Approximate Reasoning*, Elsevier. vol 142, pages 130--146, 2022.
- [14] Jacquin, L., Imoussaten, A., Troussel, F., Perrin, D., & Montmain, J. (2021). Control of waste fragment sorting process based on MIR imaging coupled with cautious classification. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105258.
- [15] L., Jacquin, A., Imoussaten, S., Destercke Handling mixture optimisation problem using cautious predictions and belief functions. In : *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*. IPMU 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1238. Springer, Cham.

- [16] L., Jacquin, A., Imoussaten, S., Destercke, F., Trouset, J., Montmain., D., Perrin Manipulating Focal Sets on the Unit Simplex : Application to Plastic Sorting. In : 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Glasgow, United Kingdom, 2020, pp. 1-7.
- [17] L., Jacquin, A., Imoussaten, F., Trouset, J. Montmain., D. Perrin Evidential classification of incomplete data via imprecise relabelling : Application to plastic sorting. In : Ben Amor N., Quost B., Theobald M. (eds) Scalable Uncertainty Management. SUM 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11940. Springer, Cham.
- [18] C., L'héritier, S., Harispe, A., Imoussaten, G., Dussere, B. Roig Selecting relevant association rules from imperfect data. In : Ben Amor, N., Quost, B., Theobald, M. (eds) Scalable Uncertainty Management, SUM 2019. Lecture Notes in Computer Science.
- [19] Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction. MIT press. Li, Y. (2017). Deep reinforcement learning: An overview. arXiv preprint arXiv:1701.07274.

6. Contacts

- ▶ Sur le projet de recherche :

Abdelhak Imoussaten (Abdelhak.imoussaten@mines-ales.fr)

Jacky Montmain (jacky.montmain@mines-ales.fr)

- ▶ Sur les aspects administratifs : Anne-Catherine Denni (anne-catherine.denni@mines-ales.fr)