Proposition de Stage Master 2 Recherche 2027

Classification explicable d'images : apprentissage de concepts et raisonnement ontologique sous contraintes floues

Contexte scientifique et problématique

Le développement de systèmes d'intelligence artificielle (IA) capables de produire des décisions fiables, cohérentes et explicables constitue un enjeu majeur, notamment dans des domaines tels que l'imagerie médicale, l'analyse d'images satellitaires ou la compréhension de scènes complexes. Dans ces domaines, il est nécessaire non seulement de classifier les images, mais aussi de justifier les décisions au regard des connaissances du domaine. Les approches fondées sur l'apprentissage profond offrent des capacités importantes de perception et de généralisation, mais restent confrontées à plusieurs limites : la difficulté à intégrer explicitement des connaissances métier, la sensibilité aux données incertaines ou incomplètes et le manque de transparence des mécanismes conduisant aux prédictions.

Les approches neuro-symboliques visent à dépasser ces limites en associant les capacités d'apprentissage des réseaux neuronaux à des représentations symboliques explicites, telles que les ontologies, les règles logiques et les contraintes. Elles permettent d'envisager des processus de décision fondés sur des concepts interprétables appris à partir des observations et sur l'exploitation de connaissances du domaine. Cependant, l'intégration de connaissances ontologiques dans les modèles d'apprentissage soulève encore de nombreuses questions fondamentales. *Comment exploiter des connaissances logiques au sein d'architectures différentiables ? Comment assurer la cohérence des prédictions lorsque les concepts sont incertains ou que les observations sont incomplètes ? Comment articuler apprentissage neuronal et satisfaction explicite de contraintes afin de produire des explications fidèles au processus de décision ?*

Ces questions de recherche constituent un point de convergence entre deux approches développées au sein de l'équipe SysReIC : l'approche **OntoClassifier** [2], puis **OntoFuzz**, orientée vers l'apprentissage de concepts et le raisonnement ontologique différentiable, et **OntoAct-FCSP** [3], fondée sur l'activation de connaissances ontologiques et la résolution explicite de contraintes floues. Ce stage vise à poser les premières bases de leur articulation en explorant la question de recherche suivante :

> *Quels sont les avantages, les limites et les complémentarités du raisonnement ontologique différentiable et de la satisfaction explicite de contraintes dans le but d'enrichir le processus de classification explicables ?*

Objectifs

L'objectif général du stage est de confronter expérimentalement les approches OntoFuzz et OntoAct-FCSP, puis éventuellement de concevoir un premier mécanisme d'hybridation entre apprentissage différentiable et raisonnement ontologique sous contraintes floues. Il s'articulera autour des deux étapes suivantes :

1. **Prise en main et étude bibliographique** : découvrir les approches neuro-symboliques existantes, et prendre en main OntoFuzz et OntoAct-FCSP sur quelques exemples simples.
2. **Comparaison** : comparer les deux approches sur un ou deux jeux de données (Mnist et DFU) afin d'en dégager les points forts et les limites, puis d'explorer leurs complémentarités.

Période

Stage de 6 mois à effectuer à partir de février/mars 2027 *(printemps/été 2027)* .

Encadrement

— **Zouhaira Ayadi** (MCF) – zouhaira.ayadi@univ-littoral.fr
— **Grégory Bourguin** (PR) – gregory.bourguin@univ-littoral.fr
— **Arnaud Lewandowski** (MCF) – arnaud.lewandowski@univ-littoral.fr

Localisation

Le stage se déroulera au sein de l'équipe **SysReIC** du laboratoire **LISIC**, sur le site de Calais de l'Université du Littoral Côte d'Opale (**ULCO**).
Adresse : 50, rue Ferdinand Buisson, 62228 Calais.

Profil recherché

Niveau Master 2 (ou équivalent, école d'ingénieurs) en informatique ou mathématiques appliquées, avec un intérêt pour l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle explicable. Des bases en programmation Python (idéalement PyTorch) sont appréciées. La connaissance préalable des ontologies ou des contraintes n'est pas indispensable, ces notions seront abordées progressivement pendant le stage.
Curiosité et goût pour l'expérimentation sont les principales qualités attendues.

Pour postuler

Envoyer les documents suivants (au format PDF) à Zouhaira Ayadi (zouhaira.ayadi@univ-littoral.fr) :

— une lettre de motivation
— un curriculum vitae
— les relevés de notes de L3, de M1 et de M2 disponibles (ou équivalent)

Références

[1] P. W. Koh et al. Concept bottleneck models. In *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning (ICML)*, PMLR 119, pages 5338–5348, 2020.

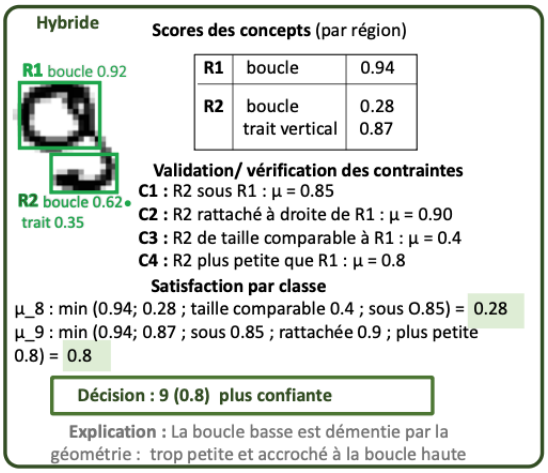
[2] A. Lewandowski, G. Bourguin et M. M. Bouneffa. Hybridizing AI pipelines with Ontologically Explainable Classifiers. In *KES 2026*, 2026.

[3] Z. Ayadi, A. Ayadi, M. Teisseire et C. Wemmert. EvRSO-FCSP : a knowledge-driven framework for complex object recognition using evolving ontology and fuzzy constraint reasoning. Preprint SSRN, doi :10.2139/ssrn.7450658.

Annexe : exemples illustratifs détaillés (MNIST et pieds diabétiques)

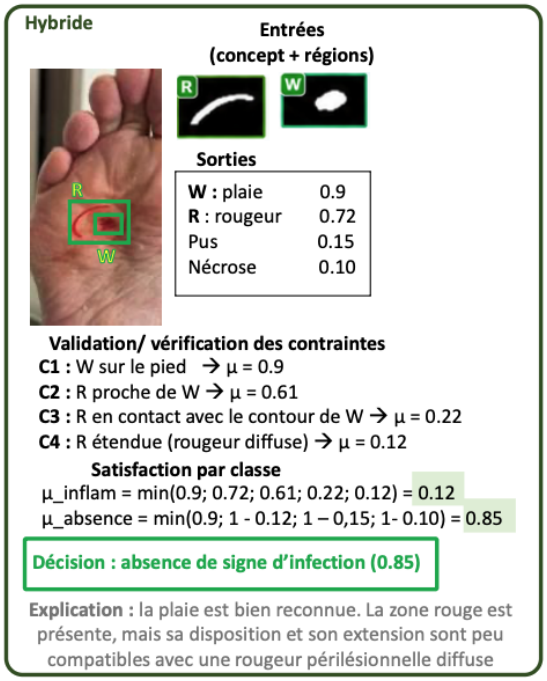
Les figures suivantes proposent, sur deux jeux de données, une illustration du type d'informations que l'on souhaiterait obtenir en combinant les deux approches. Il s'agit de maquettes illustratives et non de résultats expérimentaux.

Exemple 1 : un chiffre manuscrit ambigu (MNIST).



Un 9 dont la queue est recourbée peut être confondu avec un 8. Les informations issues d'OntoFuzz (degrés de confiance associés aux concepts et relations détectés) et d'OntoAct-FCSP (degrés de satisfaction des contraintes spatiales et géométriques) sont exploitées conjointement pour établir la décision finale. Leur combinaison permettrait ainsi de rendre le processus de classification entièrement explicable, depuis la perception des concepts jusqu'à la décision finale.

Exemple 2 : photo de plaie du pied diabétique (DFU).



La présence d'une plaie et d'une zone rouge peut suggérer une inflammation. Les informations issues d'OntoFuzz (degrés de confiance associés aux concepts et relations détectés) et d'OntoAct-FCSP (degrés de satisfaction des contraintes spatiales et morphologiques) sont exploitées conjointement pour établir la décision finale. Leur combinaison permettrait ainsi d'expliquer la classification en s'appuyant à la fois sur les concepts détectés et sur leur organisation spatiale, en montrant notamment en quoi la disposition et l'étendue de la zone rouge sont peu compatibles avec une rougeur périlésionnelle diffuse.