

PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL

<p>Laboratoire : MIA, Mathématiques Image et Applications, La Rochelle Université.</p>
<p>Titre de la thèse : Quantum Information-Based Hyperbolic Neural Networks.</p>
<p>Direction de la thèse : Michel BERTHIER, PR MIA (100%).</p>
<p>Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement :</p> <p>Il est très clair que le déploiement d'algorithmes d'Intelligence Artificielle est une priorité, sinon la priorité, de l'ensemble des partenaires socio-économiques ou des organismes de recherche qu'ils soient locaux ou nationaux, et plus largement de la nation tout entière. En particulier, il s'avère nécessaire à l'heure actuelle de pouvoir accompagner les entreprises pour qu'elles puissent se doter d'algorithmes répondant à la fois à leurs besoins spécifiques mais également aux contraintes de consommation énergétique, de fiabilité et de robustesse.</p> <p>Les travaux théoriques menés actuellement sur ce dernier sujet sont considérés par les meilleurs spécialistes mondiaux du domaine comme une condition nécessaire à la poursuite d'un déploiement raisonné des algorithmes d'Intelligence Artificielle, voir par exemple l'analyse publiée en novembre 2023 : « Managing AI Risks in an Era of Rapid Progress », https://arxiv.org/pdf/2310.17688.pdf.</p>
<p>Descriptif du sujet :</p> <p>L'article de synthèse « Hyperbolic Deep Neural Networks : A survey », IEEE PAMI, VOL. 44, N0. 12, December 2022, montre très clairement le potentiel applicatif des nouvelles structures dont il est question dans ce projet. En particulier, la table 1, page 10031, fait état de contributions significatives dans divers contextes d'acteurs tels que GOOGLE, FACEBOOK, DEEPMIND, HUAWEI, NVIDIA... L'article « Hyperbolic Deep Reinforcement Learning » produit par des chercheurs de TWITTER en octobre 2022, illustre, par exemple, le potentiel applicatif pour la prise de décision, la théorie des jeux, ou encore la robotique. Le champ d'applications est donc on ne peut plus vaste en prise directe avec la plupart des grandes problématiques sociétales.</p> <p>Du point de vue des mathématiques, le développement très rapide des réseaux de neurones hyperboliques a été rendu possible grâce à la possibilité, mise en évidence en 2018 par O. Ganea (dans sa thèse à l'ETH de Zurich), de coder efficacement les opérations de base d'un réseau à l'aide de structures algébriques connues sous le nom de gyro-structures. Ces structures découvertes par les physiciens théoriciens de la relativité restreinte étaient quelque peu tombées dans l'oubli, et il est tout-à-fait remarquable de les voir de nouveau réapparaître dans les problématiques du Machine Learning. Les travaux actuels utilisent la gyro-structure de Möbius pour modéliser la géométrie hyperbolique de Poincaré des données.</p> <p>Il s'avère qu'il existe une seconde gyro-structure, alternative à celle de Möbius, la gyro-structure d'Einstein, dont nous avons montré dans des travaux consacrés à la perception de la couleur qu'elle est intimement reliée aux mesures de l'information quantique connues sous le nom de transformations de Lüders, voir par exemple : « Quantum measurement and colour perception: theory and application », M. Berthier and E. Provenzi, Proceedings of the Royal Society A, Vol. 478, Issue 2258, 2022, ou encore « A quantum information-based refoundation of color perception concepts », M. Berthier, N. Prencipe, and E. Provenzi, SIAM Journal on Imaging Sciences, 15(4), 2022. La géométrie induite par la gyro-structure d'Einstein est la géométrie hyperbolique de Klein. Cette relation étroite entre information quantique et géométrie hyperbolique via la gyro-structure d'Einstein est la clé de voute des architectures que nous allons chercher à développer. À l'heure actuelle, il n'existe aucune contribution relevant du Machine Learning ou de l'apprentissage profond mentionnant ou exploitant cette relation. Il s'agit donc d'une très bonne opportunité.</p> <p>Dans l'approche que nous préconisons, les données sont interprétées comme les états d'un système quantique appelé spin facteur et les neurones comme les appareils de mesure sur ces états. Une telle interprétation permet par exemple de ne plus avoir recours à des fonctions d'activation, le résultat des mesures étant naturellement compris entre 0 et 1, et probablement de se limiter aux seuls paramètres des biais du réseau. Elle permet potentiellement et plus largement d'expliquer le fonctionnement des réseaux hyperboliques comme un enchaînement de mesures sur des données.</p>

Contexte partenarial : il n'est pas prévu de partenariat.

Impacts :

Mis à part les acteurs déjà mentionnés plus haut, on retrouve dans la table 1 de l'article cité précédemment des institutions telles que Stanford, ETH Zurich, MIT, Harvard, Oxford... Il semble clair qu'une approche originale telle que celle que nous proposons puisse avoir un impact scientifique fort.

Programme de travail du doctorant :

Le doctorant sera chargé de configurer mathématiquement des réseaux de neurones basés sur la correspondance entre les mesures quantiques sur l'espace des états d'un spin facteur et les opérations de la gyro-structure d'Einstein. Il sera également chargé de procéder à l'implémentation en PYTHON de tels réseaux dans des cas simples, par exemple pour des MLP ou des CNN.

Calendrier de réalisation :

La première année sera consacrée à un état de l'art des réseaux hyperboliques, à la compréhension mathématique des gyro-structures et à la correspondance entre les mesures de Lüders sur les facteurs spin et les opérations de la gyro-structure d'Einstein.

La seconde année sera consacrée à expliciter les opérations mathématiques nécessaires à la construction de réseaux, comme le codage des géodésiques ou du transport parallèle, le codage des soft-max, ou encore le calcul de la back-propagation, dans le cadre de la gyro-structure d'Einstein.

La dernière année sera consacrée à l'implémentation d'exemples comme des MLP pour les gaussiennes univariées/multivariées ou les coefficients de réflexion d'images radar, et/ou de CNN.

Accompagnement du doctorant / Fonctionnement de la thèse :

Le doctorant bénéficiera des conditions d'accueil usuelles au laboratoire MIA : mise à disposition d'un espace de travail, d'un poste de travail et de ressources informatiques, ainsi que la prise en charge du financement de missions.