

Stéphane Mallat – Alors on parle beaucoup des performances et des applications spectaculaires de l'intelligence artificielle, mais ce qui m'intéresse, ce sont plutôt les mystères de la thématique qui se cache derrière. L'intelligence artificielle est basée sur des algorithmes d'apprentissage statistique, qui apprennent à répondre à des questions à partir de données. Par exemple, pour reconnaître si une image est une image de chien ou de chat, eh bien l'algorithme est entraîné sur des algorithmes où l'on connaît la réponse, par exemple des chiens ou des chats, et l'enjeu c'est de pouvoir généraliser. Autrement dit, de pouvoir calculer la bonne réponse pour n'importe quelle nouvelle image. La difficulté principale vient de la malédiction de la grande dimension, en quelque sorte le méchant de l'histoire. La raison, c'est qu'une donnée inclut un grand nombre de variables. Par exemple, une image est formée d'un million de pixels qui sont tous les points de l'image. Ça provoque une explosion combinatoire des possibilités de réponses. Et le mystère, c'est que les réseaux de neurones arrivent pourtant à faire de la reconnaissance d'image et donc à contourner cette malédiction de la dimensionnalité. Le plus étonnant, c'est que les réseaux de neurones très semblables peuvent apprendre à résoudre des problèmes très différents, comme la reconnaissance d'image, jouer au go, synthétiser de la parole, calculer l'énergie quantique d'une molécule, faire un diagnostic médical et ainsi de suite. Ça veut dire que ces problèmes, en apparence très différents, ont pourtant des propriétés similaires, qui permettent d'éviter la malédiction de la dimensionnalité. Et une question qui me fascine, c'est de comprendre la nature mathématique de ces propriétés.

L'organisation hiérarchique de la plupart de ces problèmes semble jouer un rôle fondamental. C'est un peu comme dans le *Discours de la méthode* de Descartes, on peut alors diviser le problème global en petits problèmes plus simples, que l'on agrège petit à petit pour s'attaquer aux aspects les plus compliqués du problème initial. En physique, cette hiérarchie apparaît dans les interactions à travers les échelles, qui vont des petites particules élémentaires qui interagissent et forment des atomes, qui eux-mêmes vont interagir pour former des molécules, jusqu'aux structures macroscopiques, voire au niveau de la Terre, vous pouvez imaginer, système solaire, ben et ainsi de suite jusqu'au cosmos. Et on s'aperçoit qu'on retrouve le même type d'agrégation hiérarchique dans l'information qui est traitée par les réseaux de neurones, que ce soient des images, des sons, des textes, ou n'importe quel autre type de données.

Alors comprendre comment séparer l'information à travers des échelles est au cœur de la théorie mathématique des ondelettes, sur laquelle j'ai beaucoup travaillé. Alors une ondelette, c'est une petite onde, c'est un peu comme une sinusoïde, mais localisée, bien localisée dans le temps, imaginez une note de musique, et si on prend des ondelettes de tailles différentes dans des positions différentes, on peut reconstruire n'importe quel signal, par exemple une musique ça peut s'écrire avec une partition où on voit des notes de musique, c'est-à-dire

des petites ondelettes, sur différentes octaves, à différents instants, avec des rythmes différents. Et la transformée en ondelettes, ce qui est très intéressant d'un point de vue mathématique, c'est que on peut l'utiliser certes pour de la musique, des sons, mais aussi pour des images, pour représenter l'énergie de molécules, pour n'importe quelle fonction mathématique. Ça permet de décomposer des données à différentes échelles, et on a d'ailleurs eu la surprise de trouver ces ondelettes dans la cochlée des oreilles, et dans le cortex visuel à la fois des animaux et des humains. Elles apparaissent aussi dans les paramètres appris par les réseaux de neurones. Et il semble que c'est en voyageant à travers la hiérarchie des échelles que l'on arrive à apprendre les paramètres qui capturent le mieux l'information.

Pourtant, il nous manque encore un bon cadre mathématique précis pour comprendre la nature de ce voyage en grandes dimensions. Arriver à expliquer les structures de l'information traitées par les réseaux de neurones ou même par notre cerveau est vraiment un problème mathématique extraordinaire, mais très difficile. Et je ne pense pas que cette recherche est une histoire qui va se terminer rapidement.

04 min 28 sec