

familier des contraintes de temps, de rendement, de présentation, d'exploitation. Le thésard, lui, désire des solutions parfaites : aussi sa solution est-elle presque toujours inexploitable en l'état, et elle finit à la poubelle, alors même qu'il s'agissait parfois d'un début satisfaisant, qu'une ou plusieurs générations d'ingénieurs auraient pu ensuite transformer en un produit utilisable.

Les bourses CIFRE, qui requièrent la présence d'un industriel pour le financement et l'orientation de la thèse, sont mieux adaptées à la finalité de la recherche. Les employeurs ne s'y trompent pas et leur accordent la préférence : il y a peu de chômeurs parmi les anciens boursiers CIFRE.

Examinons brièvement – ce n'est pas l'essentiel de mon propos – le cas des mathématiques, singulières par deux aspects. D'une part, elles ont des débouchés constants liés à l'enseignement. D'autre part, les applications des mathématiques sont mal identifiées par les enseignants : ils s'imaginent que ces applications relèvent du calcul scientifique, de l'analyse numérique, alors que les débouchés de ces techniques sont insignifiants.

Pour résoudre un problème physique, par exemple prévoir les caractéristiques d'un écoulement, on a généralement recours à un procédé très ancien dénommé «discrétisation» : on écrit les équations qui régissent le problème et l'on se contente de calculer les valeurs des inconnues seulement en des points particuliers, par exemple tous les centimètres. De cette façon, on obtient un gros système linéaire, facile à résoudre sur ordinateur. Cela fait 30 ans que la communauté académique considère que ce sont là les principales applications des mathématiques, et les trois quarts des jeunes formés en DEA, DESS ou thèse acceptent cette idée. Erreur funeste : il n'y a pratiquement pas de débouchés à cette formation. Le nombre de spécialistes nécessaires à l'utilisation de ces techniques est de plus en plus petit.

Imaginez-vous un étudiant en médecine qui, sitôt sa thèse terminée, va enseigner la médecine sans avoir jamais vu de

malade ? Imaginez-vous un jardinier qui va enseigner l'horticulture au terme de ses études sans jamais avoir planté de fleurs ? Non ?

Eh bien, vous aurez quelque difficulté à imaginer qu'un mathématicien puisse enseigner les mathématiques sans les avoir jamais pratiquées. C'est pourtant ce qui se passe, c'est pourtant ce qui est la norme. Un jeune fait son DEA (Bac + 5) avec pour seul stage la lecture de quelques articles ; il passe sa thèse à l'Université, et ensuite il est recruté comme maître de conférences, puis devient professeur. Il va enseigner les mathématiques toute sa vie, sans jamais les avoir pratiquées. Inutile de dire que l'enseignement est bien coupé des réalités : aussi bien des réalités scientifiques et techniques que des besoins des entreprises ou de la société. On enseigne une version académique des mathématiques, une sorte de virtuosité virtuelle, où l'on «démontre» des résultats ; syllogismes dont les prémisses et le contexte ne sont pas toujours pertinents.

LA RECHERCHE : DU TEMPS PERDU ?

Le cas des thésards en mathématiques est donc particulier : ou bien ils se destinent à l'enseignement, ils y naissent, y vivent et y meurent (et je ne les vois pas), ou bien ils se destinent aux mathématiques appliquées et, outre les travers généraux de formation que j'ai décrits précédemment, ils ne savent pas travailler et ne savent pas où travailler, car ils ont une idée fausse des débouchés.

Les thésards des disciplines voisines (traitement du signal, télédétection, robotique, physique, mécanique, etc.) ont une meilleure idée du contenu de leur discipline, parce que celle-ci est en contact plus étroit avec les applications. Subsistent bien sûr, dans chacune de ces disciplines, des développements ineptes, des théories grotesques, des constructions absurdes, mais avec sa cohorte de thésards qui souligne l'importance du Maître.

Vieux débat sur l'inné et l'acquis : est-ce parce qu'ils sont réfractaires au monde réel que les jeunes deviennent thésards, ou bien sont-ils déformés par leurs années de thèse ?

Je persiste à penser – vieux fonds d'optimisme ! – que la formation par la recherche est possible et qu'elle est

souhaitable dans le monde moderne. Ce qui est en cause, c'est le mode de jugement de la recherche, le «jugement par les pairs». Ce jugement privilégie la notoriété personnelle, au travers des publications, des congrès, au détriment des réalisations effectives. Le jugement par les pairs n'est pas inutile, et les publications sont utiles, mais l'objectif d'un programme de recherche, c'est avant tout le développement de nouvelles connaissances et leur mise à disposition auprès de ceux qui peuvent en avoir besoin. De ce point de vue, l'intérêt des publications, qui ne sont lues que par un cercle restreint d'initiés, est très faible.

Que le thésard se destine ensuite à l'enseignement ou à l'entreprise, peu importe : c'est son affaire, et les deux sont utiles. Ne serait-il pas souhaitable, cependant, qu'il pratique les mathématiques avant de les enseigner : les stages de DEA devraient être de vrais stages, hors du monde académique et, surtout, ils ne devraient pas être limités à la lecture d'articles. Ensuite, la thèse pourrait être faite en partenariat avec un organisme non académique qui a des programmes scientifiques de bonne qualité et doit obtenir des résultats.

Je voudrais terminer sur une note optimiste et sur un conseil personnel aux thésards. Les réticences que j'ai énoncées plus haut, beaucoup d'employeurs les ressentent, et ils écartent la candidature des doctorants. Pourquoi ceux-ci, dans leur lettre de motivation, ne mentionneraient-ils pas qu'ils sont conscients de cette difficulté, par une phrase du type : «Je suis conscient que ma formation par la recherche ne m'a guère permis de connaître les réalités de l'entreprise, mais je suis tout prêt à les découvrir»? Ils pourraient ajouter, et ceci à mon avis serait déterminant, qu'ils accepteraient une période de formation (mettons trois à six mois) à salaire réduit : une telle approche serait très séduisante pour l'employeur, qui verrait qu'il est en présence d'un candidat véritablement motivé.

Bernard BEAUZAMY est PDG de la Société de Calcul Mathématique, SA.





Les découvertes oubliées d'Alan Turing

JACK COPELAND • DIANE PROUDFOOT

Connu pour la machine qui porte son nom, il fut aussi le père des réseaux de neurones.

Tous les ordinateurs actuels sont des descendants de la «machine de Turing» conçue en 1935 par Alan Mathison Turing. Ce mathématicien britannique fut également un pionnier de l'intelligence artificielle : il proposa un test – fameux, mais controversé – permettant de déterminer si un ordinateur «pense». Au cours de la Seconde Guerre mondiale, il contribua à décrypter le code allemand *Enigma* dans le cadre d'une opération britannique secrète qui, d'après les historiens, abrégua de deux ans la guerre en Europe. Au moment de sa mort à 41 ans, Turing travaillait sur ce que l'on nomme aujourd'hui la «vie artificielle», simulant la chimie de la croissance – de la morphogénèse.

Tout au long de sa carrière, Turing s'est peu préoccupé de faire connaître ses idées, de sorte que certains aspects de ses travaux sont passés inaperçus ou ont été oubliés. Rares sont ceux, même parmi les spécialistes de l'informatique, qui connaissent les travaux de Turing sur l'informatique «neuronale». De surcroît, ses conceptions novatrices des «hyperordinateurs» n'ont pas été prises en compte ; des spécialistes pensent que les hyperordinateurs de Turing pourront un jour résoudre des problèmes jugés insolubles aujourd'hui.

Les ordinateurs dévorent les nombres. En quelques secondes, ils calculent la trajectoire des fusées ou les résultats comptables des grandes sociétés. En revanche, la programmation des actions apparemment simples, que nous accomplissons sans même y penser, telles que reconnaître un visage ou lire un livre, est autrement difficile. Les réseaux de neurones du cerveau humain ont des capacités dont sont encore dépourvus les ordinateurs ; aussi, les informaticiens tentent-ils de reproduire, par l'informatique, le fonctionnement du cerveau humain.

Le connexionnisme est cette nouvelle branche de l'informatique où les calculs sont effectués par des réseaux de neurones artificiels. Les informaticiens simulent les neurones et leurs

connexions sur des ordinateurs (tout comme les ingénieurs créent des modèles virtuels d'ailerons d'avion ou de grappe-ciel). Un algorithme d'apprentissage ajuste les connexions entre neurones, pour que la machine, dédiée à une tâche précise, l'accomplisse de mieux en mieux.

Les connexionnistes modernes considèrent Frank Rosenblatt, qui publia le premier article sur le sujet en 1957, comme le fondateur de la discipline ; or, dès 1948, Turing avait étudié les réseaux de neurones dans un article intitulé *Intelligent Machinery*.

LA MACHINE DE TYPE B

Turing écrit cet article alors qu'il travaille au Laboratoire de physique de Londres. Considérant que l'article ne vaut guère mieux qu'une «dissertation d'écolier», son directeur, Charles Darwin – le petit-fils du naturaliste – le rejette. En réalité, cet article visionnaire était le premier de tous ceux qui allaient être publiés sur l'intelligence artificielle. Dans ce manuscrit, qui ne fut publié qu'en 1968, 14 ans après sa mort, le mathématicien britannique formulait les principes du connexionnisme, et introduisait plusieurs concepts fondateurs de l'intelligence artificielle, que d'autres redécouvrirent ultérieurement.

Dans cet article, Turing invente une sorte de réseau de neurones, qu'il dénomme «machine non organisée de type B», constituée de neurones artificiels et de dispositifs qui modifient leurs connexions. Les machines de type B incluent autant de neurones que l'on veut, connectés comme on veut, mais chaque connexion entre deux neurones passe par un dispositif modificateur.

Tous les modificateurs de connexions ont deux fibres d'apprentissage. Une impulsion sur l'une d'entre elles met le modificateur en «mode passage», dans lequel une entrée, soit 0 soit 1, traverse sans être modifiée et devient une sortie. Une impulsion sur l'autre fibre met

le modificateur en «mode interruption», où la sortie est toujours égale à 1, quelle que soit l'entrée. Dans cette configuration, le modificateur détruit toute information qui traverse la connexion à laquelle il est lié.

Une fois initialisé le modificateur conserve sa fonction («passage» ou «interruption»), à moins qu'il ne reçoive une impulsion sur l'autre fibre d'apprentissage. Ces modificateurs de connexions, dont le principe est très astucieux, permettent à une machine non organisée de type B d'apprendre au moyen de ce que Turing appelait «des interférences appropriées, qui imitent les mécanismes éducatifs». Selon Turing, «le cortex d'un jeune enfant est une machine non organisée, qui se structure grâce à un entraînement adapté».

Chaque neurone du modèle de Turing a deux fibres d'entrée, et la sortie est une fonction logique simple de ses deux entrées. Chaque neurone du réseau effectue la même opération logique suivante : si l'une des deux entrées est 0, la sortie est 1 ; si les deux entrées sont 1, la sortie est 0. Ces neurones sont de type NAND (de l'anglais *not and*)

Turing avait choisi ce type de porte parce que toutes les autres opérations logiques (ou booléennes) sont exécutables par des ensembles de neurones de ce type. De plus, il a montré que les modificateurs de connexions eux-mêmes peuvent être créés à partir de neurones NAND. Ainsi, Turing construisait un réseau constitué uniquement de neurones NAND et de leurs fibres de connexion, un modèle de cortex parmi les plus simples que l'on puisse imaginer.

En 1958, Rosenblatt définit le connexionnisme : «L'information est mémorisée sous forme de nouvelles connexions, ou de canaux de transmission dans le système nerveux (ou par la création de conditions équivalentes à de nouvelles connexions)». La destruction de connexions existantes peut être fonctionnellement équivalente à la création de nouvelles connexions ; aussi, pour