

Les machines seraient-elles déjà plus intelligentes que l'homme?

J.-P. Ferrier, IREM de Lorraine, novembre 2005

Derrière ce titre provocateur se cachent quelques petites réflexions inspirées par la conférence de Jean-Paul et Christine Haton à l'IUFM de Lorraine devant les stagiaires PLC2, conférence passionnante qui a trouvé le juste équilibre pour un auditoire concerné par l'enseignement des mathématiques. Jusqu'ici je n'avais pas imaginé que parler d'intelligence artificielle pouvait être à ce point une occasion de réfléchir sur la façon dont on raisonne en mathématiques, même si c'est là dessus que Philippe Lombard a introduit la conférence. En conclusion ce que nous avons entendu pourrait être le point de départ d'un travail sérieux sur notre pratique enseignante et peut-être de remises en cause radicales. C'est en ce sens qu'il faut interpréter mon titre : indirectement les machines ont quelque chose à nous apprendre.

Avant d'entrer dans les détails, je voudrais faire un point sur la façon dont les rapports entre disciplines sont perçus dans le monde de l'éducation au moment où le mot d'ordre y est l'interdisciplinarité. Je me suis beaucoup plaint de la façon dont étaient traités les rapports entre les mathématiques et la physique : voir mon petit laius au colloque Franco-Finlandais d'octobre. J'ai les mêmes griefs pour les rapports entre mathématiques et informatique.

L'informatique, j'entends la science informatique, a beaucoup à apprendre aux mathématiciens et cela devrait avoir un impact sur la façon dont s'enseigne leur discipline. On n'y trouve peut-être pas beaucoup de notions nouvelles car toutes les sciences sont cousines, mais de quoi enrichir, approfondir sérieusement des concepts qui sont souvent un peu désincarnés dans le discours mathématique épuré. Aussi est-il désolant que le développement de l'informatique ne soit perçu dans l'enseignement des mathématiques qu'au travers des réalisations techniques, de ce qu'on appelle "l'outil". L'introduction, au nom d'une modernité prise pour dogme, de machines et logiciels presse-bouton dans le cours de mathématiques a donné lieu à quantité d'études et d'initiatives, jusqu'à aboutir, in fine, à la dénaturation du contenu mathématique. Ce faisant on s'est bien gardé d'introduire le plus petit zeste d'esprit algorithmique dans ce dernier, alors qu'en terminale S l'on mettait les graphes au programme pour ne rien en faire.

Il serait par exemple désastreux que cette brillante conférence donne l'idée à certains d'introduire dans la classe des logiciels d'intelligence artificielle de la façon dont on utilise les logiciels de géométrie dynamique ou de calcul formel. Les conférenciers ont voulu nous faire entrer, autant qu'ils le pouvaient, à l'intérieur de l'intelligence artificielle. C'est la raison pour laquelle ils ont fait le choix de ne pas nous parler de réseaux neuronaux. Ils ont voulu nous faire réfléchir avec eux. Ne nous montrons pas plus bêtes que les machines.

J'entre maintenant dans les détails. Si l'on regarde à la loupe le raisonnement tel qu'il est pratiqué en mathématiques, on n'y trouvera que la version déductive. Etrangement déjà, la pratique commune du mathématicien aura beaucoup de points commun avec les exigences d'un langage comme Prolog. On doit ainsi opérer souvent

des réécritures, mais sans que je sache exactement sur quels principes elles sont fondées dans l'usage mathématique courant. On pose impérativement tous les quantificateurs : on se passe aussi du quantificateur universel; quant au quantificateur existentiel, on le remplace aussi par le choix d'un élément.

Si, dans l'exemple des dauphins intelligents qui ne savent pas écrire, la conclusion paraît une évidence, c'est à cause d'un contexte familier. Dans un cadre mathématique abstrait équivalent, l'homme n'est pas beaucoup mieux armé que la machine. S'il veut l'être, il faut qu'il ait *mis du sens* comme l'on dit souvent, ce que l'on peut faire à l'aide d'un contexte importé d'autres sciences. C'est ainsi que l'*intuition du physicien* guide ce dernier au travers des embûches. Malheureusement, aujourd'hui, ceux qui parlent de donner du sens sont le plus souvent ceux qui en retirent. Car, derrière la façade d'un discours polilique sur l'interdisciplinarité, c'est un repli des mathématiques sur elles-mêmes que l'on constate.

Il y a cependant des différences notables entre l'homme et la machine, surtout quand on considère la phase d'apprentissage du raisonnement mathématique. La machine peut accepter un grand nombre de règles. L'être humain devra se contenter d'un nombre plus restreint. De plus, comme nous le verrons, il est important, pour la phase d'apprentissage, de se limiter le plus possible dans ces règles, qui seront appelées les *outils*, indépendamment même des capacités de mémorisation. En revanche l'être humain dispose de métarègles implicites, d'une faculté de résoudre les conflits, extrêmement efficace. Il préférera donc travailler plus en profondeur qu'en largeur.

Là je voudrais fustiger une mode répandue au collège, qui consiste à insister sur le raisonnement dit "à un pas", celui qui est réduit au syllogisme. C'est le niveau zéro du point de vue algorithmique : on se contentera de parcourir les règles une seule fois, jusqu'à trouver celle qui contiendra à la fois l'hypothèse et la conclusion. Il n'y a pas l'embryon de ce qui fait l'intérêt de l'intelligence artificielle; il n'y a rien. C'est le parcours "à zéro étape", le niveau zéro, et non pas un, du raisonnement. C'est le jeu lego à une seule brique.

Le syllogisme n'a pas sa place dans l'apprentissage du raisonnement. Pour un sujet normal, à qui l'on donne l'hypothèse A et de qui l'on attend la conclusion B , la règle $A \Rightarrow B$ n'est rien d'autre que la *solution* rédigée. Pratiquer la démonstration de cette façon, avec une immense "boîte à outils", revient à réduire la version latine à la recherche de phrases traduites du Gaffiot.

Il faudrait donc se mettre d'accord pour considérer que le raisonnement *commence* avec l'enchaînement. C'est là que réside encore la supériorité humaine et c'est la raison pour laquelle il faut développer très tôt la faculté d'enchaînement. Voilà aussi pourquoi il faut partir d'un petit nombre de règles et ne pas craindre d'augmenter la profondeur des raisonnements. Il serait quand même désolant que l'apprentissage des mathématiques vise à produire des élèves plus bêtes que la plus bête des machines.

Il est terrible de mettre en parallèle ce que peut apporter la conférence que nous avons suivie avec le discours sur la logique formelle que l'on tient dans certains lieux de formation des enseignants. D'un côté on découvre une richesse et, d'une certaine façon, une humanité dans le mode de penser des machines, ce qui n'est guère étonnant d'ailleurs pour une création humaine. De l'autre on constate une extrême pauvreté et une totale inadéquation avec la pratique réelle de l'être humain. Il y a quelque chose à changer en urgence.

Venons-en à d'autres aspects de l'intelligence artificielle. Je ne parlerai pas de l'aspect probabiliste, lequel renvoie directement aux mathématiques. Il est plus intéressant de regarder du côté du raisonnement approximatif, même si cela peut paraître a priori surprenant.

Toutes les formes logiques, comme l'induction ou l'abduction, sont pratiquées dans la phase de recherche. Les mathématiques vont même plus loin, puisqu'on y pratique la *zétèse* selon Philippe Lombard, notamment en étudiant ce que l'on peut obtenir en supposant à la fois l'hypothèse *et* la conclusion espérée. Je renvoie à sa conférence au colloque de Metz d'octobre 2003 sur le sujet.

Là où les mathématiques pratiquent l'approximation, le flou au sens naïf du terme, c'est dans l'utilisation de métarègles. Ces dernières ont un caractère suffisamment souple pour pouvoir s'adapter à des situations variées, y compris et surtout des situations imprévues.

C'est là qu'il faut classer la plupart des *méthodes*. Il ne s'agit en général pas de schémas rigides. D'ailleurs, chaque fois que les méthodes se sont rigidifiées, on a tendance à leur préférer un théorème, ce qui revient à les faire passer dans les règles. Ce n'est pourtant pas souhaitable. A côté d'un nombre restreint de règles ou outils, il importe de disposer d'un nombre également restreint de métarègles ou méthodes, au contour flou et à l'efficacité grande.

Voici un exemple de méthode que l'enseignement du lycée a transformée en règle, en perdant beaucoup au change. La méthode dit que pour étudier le comportement d'un quotient il convient de mettre en facteur les termes dominants au numérateur et au dénominateur. Au lycée on apprend maintenant une règle pour les fonctions rationnelles : la limite est celle du rapport entre les termes de plus haut degré. Outre le fait que cela charge inutilement la mémoire, on se prive de pouvoir étudier des quotients comme

$$\frac{(-1)^{n(n+1)} + 5^{n+1}}{(-1)^{(n-1)n} + 5^n} \quad \text{ou} \quad \frac{x^2 + \sin x}{x^2 + \cos x}$$

par exemple.

Cela fait la transition avec le raisonnement par analogie. Je ne crois pas qu'il soit pratiqué en mathématiques de la même façon qu'en intelligence artificielle. Il ne me semble pas que l'on transporte une démonstration rigoureuse d'un domaine à un autre en lui faisant subir des transformations. Ce que l'on transporte d'un domaine à un autre, ce serait plutôt des méthodes, c'est-à-dire des métarègles que l'on adaptera en les appliquant. J'ignore si l'intelligente artificielle a recours à la production par analogie de métarègles. L'analogie porterait sur la structure du problème mais l'adaptation ne porterait pas directement sur la solution.

Il y aurait sans doute encore une infinité de choses à dire. J'espère que d'autres feront aussi connaître leurs premières impressions.