



2. GARRY KASPAROV, le meilleur joueur du monde au jeu d'échecs, a été battu par le programme Deep Blue d'IBM (deux victoires, une perte, deux nulles).

programmes intelligents] aient une architecture et un fonctionnement totalement différents des dispositifs conçus pour imiter le raisonnement humain.» Ainsi nous évaluerions mal ce qui est efficace pour la machine.

La programmation dépend du jeu

Certains problèmes sont mieux résolus par identification de structure, d'autres par une recherche séquentielle. Le go semble être un problème parallèle, othello séquentiel. D'autres jeux, tels les échecs, sont analysables par les deux méthodes.

Cette distinction subsiste pour les jeux à information partielle, où les joueurs ne connaissent pas toutes les cartes, ou autres éléments de jeu, détenus par leurs adversaires (dans un jeu à information complète, les joueurs connaissent l'intégralité de l'état de la partie ; le backgammon, les échecs, les dames et othello en sont des exemples). La programmation a longtemps été assez inefficace dans les jeux à information partielle. Au poker et au bridge, les hommes utilisent souvent leur expérience et leur intuition pour bien jouer et les ordinateurs sont désavantagés, car il y a beaucoup trop de possibilités à envisager.

Récemment toutefois, des moyens de calcul massivement parallèles ont permis de résoudre certains jeux à information partielle. Daphne Koller et Avi Peffer, de l'Université de Stanford, pen-

sent qu'il sera bientôt possible de «résoudre» le poker, c'est-à-dire d'y jouer parfaitement. Leur opinion se fonde sur l'algorithme performant qu'ils ont conçu pour jouer à un poker réduit avec un jeu de 8 cartes. Existera-t-il un jour une puissance de calcul suffisante pour utiliser la même approche avec 52 cartes ? La question reste ouverte.

Au bridge, on commence aussi à tirer parti de la puissance des méthodes exhaustives de recherche. Alors que les premiers programmes cherchaient à imiter la pensée humaine, l'approche moderne est la suivante : on distribue aux adversaires, à plusieurs reprises, des mains spécifiques tirées aléatoirement, puis le résultat est analysé en supposant connues les positions de toutes les cartes. Cette approche détermine le meilleur choix de jeu dans un grand nombre de cas particuliers à jeux connus et, *in fine*, la tactique choisie est celle qui est la meilleure dans le plus grand nombre possible de cas particuliers aléatoires.

Là encore, ce type d'analyse est possible grâce à des puissances de calcul de plus en plus grandes. Bien que les meilleurs joueurs surpassent encore les meilleurs programmes, l'écart se réduit. Là encore, de même qu'aux échecs, les programmes qui essaient de copier la pensée humaine ne sont pas au niveau de ceux qui effectuent une recherche exhaustive, tels que le programme de bridge.

Dans tous ces cas, la conjecture de Herbert Simon sur l'importance

innée de l'architecture s'est révélée justifiée. Les ordinateurs de jeux les plus puissants ressemblent peu aux joueurs humains. Seul le backgammon semble faire exception : Gerald Tesaro de la Société IBM a créé un programme dénommé TD-Gammon qui semble, du moins à première vue, avoir une architecture de type humain : il utilise des réseaux de neurones formels qui imitent, dans une certaine mesure, la fonction et la structure des neurones humains.

Triumphes et faiblesses des ordinateurs

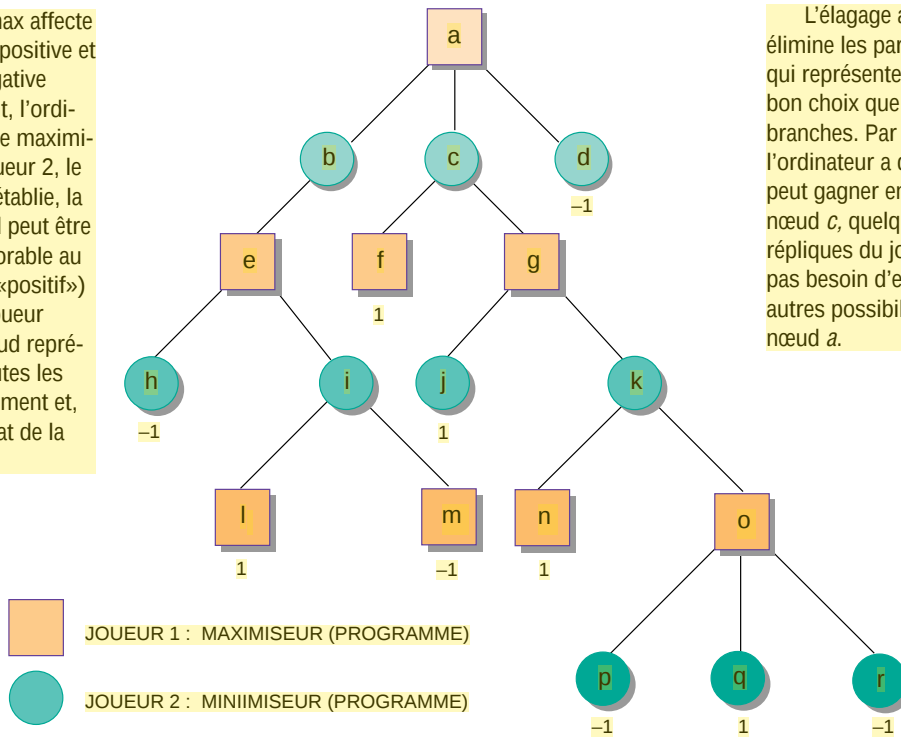
La nature du jeu, et donc le type de méthode qui aboutit au meilleur résultat, détermine qui l'emporte, de l'homme ou de la machine. Les machines excellent aux dames américaines (checkers), un jeu qui utilise une recherche profonde (analyse d'un grand nombre de coups) pour évaluer les combinaisons possibles. Dès qu'il reste huit pions ou moins en jeu, le meilleur programme de dames actuel, *Chinook*, sait immédiatement si la position est gagnante. Le programme trouve le résultat en utilisant un énorme catalogue de fins de parties. *Chinook* a stocké dans ce catalogue les positions et leur valeur associée en termes de gains, et le programme consulte cette table pour évaluer le résultat de la position.

Les machines disposent à othello d'un formidable avantage, car il est quasi impossible de voir d'un coup d'œil, à un moment donné de la partie, qui est en train de gagner. Les jetons se retournent dans un sens ou dans l'autre si fréquemment que le fait d'avoir une plus grande quantité de jetons de sa couleur n'indique pas nécessairement que la position obtenue est gagnante. En d'autres termes, othello est un jeu difficile à jouer en utilisant l'identification des structures, mais il est parfaitement adapté aux méthodes de recherche par force brutale calculatoire des machines ; donc elles y excellent.

En revanche, le go est le talon d'Achille des ordinateurs. À ce jeu, l'expert humain peut en général reconnaître si un gros motif de pierres est mort (encerclé et promis à une capture prochaine), vivant (imprenable) ou si son sort est encore incertain ; pas l'ordinateur. Jouer au go en utilisant le calcul brutal est extrêmement difficile, car à

COMMENT «PENSENT» LES PROGRAMMES DE JEUX

L'algorithme minimax affecte à un joueur une valeur positive et à l'autre une valeur négative (dans l'exemple présent, l'ordinateur est le joueur 1, le maximiseur ; et l'homme le joueur 2, le minimiseur). Une fois établie, la valeur de chaque nœud peut être interprétée comme favorable au maximiseur (le joueur «positif») ou au minimiseur (le joueur «négatif»). Chaque nœud représente la position de toutes les pièces après un mouvement et, plus généralement, l'état de la partie.



L'élagage alpha-bêta élimine les parties de l'arbre qui représentent un moins bon choix que d'autres branches. Par exemple, si l'ordinateur a déterminé qu'il peut gagner en jouant le nœud c, quelque soient les répliques du joueur 2, il n'a pas besoin d'examiner les autres possibilités issues du nœud a.

tout moment de la partie il y a environ 250 coups possibles (contre approximativement 30 seulement aux échecs et à othello). Construire une table des fins de parties au go, comme celle concoctée par *Chinook*, est hors des possibilités de calcul de l'ordinateur.

Et les autres jeux ? Le combat pour le titre de meilleur joueur de backgammon est acharné, et cette quasi-égalité homme-machine persistera probablement, car la relative simplicité du jeu fait que joueurs et machines jouent presque à la perfection. Au scrabble aussi, le combat est douteux, mais ne le restera vraisemblablement pas, car les machines vont améliorer leur stratégie (les machines et les hommes n'ont tous deux aucune difficulté à trouver, à un point donné du jeu, le mot qui rapporte le plus, mais le scrabble à haut niveau impose aussi de bien gérer les lettres restantes et à minimiser les possibilités de l'adversaire). Les hommes ont gagné, en 1997, un match en deux parties, mais ils ont perdu un match en 11 parties en 1998.

La situation au bridge va probablement se resserrer d'ici cinq ans, car les machines sont de plus en plus puissantes et les algorithmes s'améliorent. Les hommes ont gagné de justesse un

match de deux heures en juillet dernier, et aux championnats du monde de bridge 1998, en août à Lille, mon programme de bridge s'est placé douzième parmi les 34 meilleurs joueurs de bridge du monde. Toutefois, il s'agissait de donnes préparées et uniquement le jeu de la carte (pas les enchères).

Jouer ensemble agréablement

Depuis les débuts de l'intelligence artificielle, les progrès des algorithmes séquentiels amènent succès après succès. Ces succès ne se limitent pas à la programmation des jeux : les algorithmes séquentiels sont les méthodes les plus efficaces pour décider de l'ordre d'assemblage des différentes pièces d'un Boeing 747. Ces algorithmes fournissent des plans de production 10 à 20 pour cent plus rapides que ceux élaborés par les hommes. L'identification des structures et les techniques parallèles ne sont pas très bien adaptées aux problèmes de planification de tâches complexes, car un plan qui a l'air bon peut ne pas l'être.

Dans un futur proche, les hommes seront meilleurs que les machines pour résoudre les problèmes parallèles, et

les machines resteront supérieures pour les traitements par voie séquentielle. Il n'y a là rien de particulièrement surprenant ou d'effrayant ; nous avons conçu des machines (avions et chariots élévateurs) pour accomplir des tâches dont nous sommes incapables, comme voler ou soulever des charges extrêmement lourdes. Aux Jeux olympiques, nous ne nous sentons pas tenus de mettre en compétition les chariots élévateurs et les haltérophiles.

Les machines intelligentes ne sont pas nos concurrentes, mais nos collaboratrices. Les complémentarités de l'homme et de la machine permettent de résoudre des problèmes qu'aucun des deux n'aurait pu résoudre isolément. Et après tout, ce sont les hommes qui programment les machines...

Matthew GINSBERG est chercheur à l'Université de l'Oregon et fondateur du *Computational Intelligence Research Laboratory* (CIRL) de cette université. Ginsberg pense que son programme de bridge, GIB, sera champion du monde d'ici cinq ans.

La mathématique des jeux, Éditions Pour la Science, 1988.