

Jeu de go

Un programme d'ordinateur construit des programmes qui jouent au go.

La victoire de l'ordinateur *Deeper Blue* sur le champion d'échecs Gary Kasparov inciterait à croire que les ordinateurs surpassent désormais les humains dans les jeux de l'esprit. Il n'en est rien : le jeu de go résiste encore à l'intelligence artificielle. La construction de programmes qui élaborent eux-mêmes des programmes de jeu de go est une voie prometteuse.

Depuis plus de dix ans, chercheurs et programmeurs améliorent des programmes de go sans dépasser le niveau d'un amateur moyen. Ce n'est pas faute de motivation : un riche Taiswanais, M. Ing, a offert un prix de huit millions de francs au premier programme de go qui battrait le professionnel de son choix.

Le jeu de go paraît plus simple que les échecs : le damier est un quadrillage de 18 cases de côté, et les joueurs posent alternativement une pierre (blanche pour un joueur, noire pour l'autre) sur une intersection vide du quadrillage. Au début d'une partie entre joueurs de forces égales, le damier est vide, et c'est Noir qui a le trait. Un joueur capture une chaîne de pierres adverses s'il les entoure complètement de ses propres pierres. Le but du jeu est d'entourer le plus de territoire possible sans se faire entourer. À la fin de la partie, chaque intersection vide entourée compte pour un point, ainsi que

chaque pierre capturée ; le joueur qui a le plus de points a gagné.

Aux échecs, un joueur a le choix, en moyenne, entre 35 coups possibles. Les meilleurs programmes, tel *Deeper Blue*, essaient ces coups, envisagent les réactions possibles de l'adversaire, puis les réactions aux réactions, et ainsi de suite. Le nombre de positions à évaluer croît exponentiellement avec la profondeur d'analyse, mesurée en nombre de coups. Les programmes d'échecs les plus rapides examinent jusqu'à 14 coups à l'avance, soit environ 80 milliards de positions.

Au go, le problème est pire, car, en moyenne, chaque joueur a le choix entre 250 coups possibles. Si l'on utilisait la puissance de *Deeper Blue* pour exécuter un programme de go, celui-ci ne pourrait envisager que cinq coups à l'avance. De surcroît, au contraire des échecs, un programme de go ne peut recourir à des fonctions d'évaluation simples permettant de mesurer l'intérêt d'une position.

Aussi l'approche par la force brute est inadaptée au go : l'ordinateur doit reconnaître des formes complexes de territoires, faire de longs raisonnements, et utiliser parfois des connaissances floues et difficilement formalisables.

Les meilleurs programmes de go actuels sont le fruit de sept à vingt ans de travail. Chen Zhixing, professeur de chimie chinois à la retraite et excellent joueur de go, s'est fait aider d'une joueuse professionnelle pour réaliser le meilleur, nommé *Handtalk*, et tenter de maîtriser ce qu'il considère comme «un des plus grands des jeux de l'esprit». Pour ce spécialiste lyrique, «La pensée est séduite par la beauté des formes qui se développent sur le damier, et les séquences de coups sont comparables à des mor-

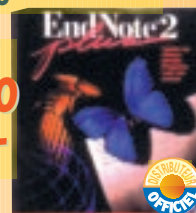
EndNote EndLink

Gestion de bibliographies

**TARIFS SPÉCIAUX
M.E.N.R.T.
ENDNOTE + ENDLINK
1 390 HT***

La référence en gestion de bibliographies

**PLUS DE
100 000
UTILISA-**



**VERSION WINDOWS
COMPATIBLE WORD**

- ▶ Logiciel de gestion de bibliographies à intégrer à votre traitement de texte
- ▶ Jusqu'à 15 types prédéfinis de références et 27 champs d'entrée de données bibliographiques personnalisables
- ▶ 32 000 références par base
- ▶ Lien direct dans MS Word
- ▶ Nombreux formats de présentation prédéfinis : APA, MLA, Nature, Sciences...
- ▶ Grande souplesse et puissance de la fonction recherche

Avec EndLink, importez des bases de données en ligne ou sur CD-ROM dans EndNote Plus

- ▶ Plus de 100 filtres d'importation prédéfinis : Medline, Agricola, Chem Abstracts, Biosis, Eric, PsycINFO...
- ▶ Possibilité de créer ses propres filtres

EndNote/EndLink _____ 1 590 Fht

TARIFS M.E.N.R.T.

EndNote/EndLink _____ 1 390 Fht*

EndNote/EL 5 postes _____ 5 950 Fht*

➔ Disponible pour Win 3.1/95/NT et Mac

* Tarifs réservés aux établissements dépendant du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et jusqu'au 31/03/98.



Distributeur officiel EndNote/EndLink

34 bd Haussmann - 75009 Paris

Tél. : 01 42 46 00 42 - Fax : 01 42 46 00 33

info@ritme.com - <http://www.ritme.com>



La dernière coupe Fost, en août 1997.

ceaux de musique. La difficulté vient de faire comprendre et de faire composer à un ordinateur cette musique visuelle».

Plus prosaïquement, les bons joueurs de go évaluent une position en fonction de la forme et des positions respectives des groupes de pierres, et leurs raisonnements sont souvent plus intuitifs que rationalisés. Comment programmer ces capacités intellectuelles? Les meilleurs programmes de go actuels exécutent des milliers de règles identifiées empiriquement par des experts du jeu, mais les joueurs ne savent pas décrire comment ils évaluent les positions et choisissent leur coup. D'où la difficulté de programmation.

Au Laboratoire d'informatique de Paris VI, l'équipe *Métacognition* de Jacques Pitrat étudie des méthodes générales pour faire découvrir par l'ordinateur lui-même des connaissances d'experts. J'ai appliqué ces méthodes

au jeu de go : le programme nommé *Introspect* s'améliore par observation et analyse de son propre fonctionnement, puis il donne ses connaissances au programme qui joue véritablement, le programme *Gogol*. Fondé sur l'auto-observation, l'apprentissage d'*Introspect* s'effectue de la façon suivante : ayant en mémoire la configuration du damier, il cherche les conséquences de chaque coup joué et analyse les raisons tactiques de ce coup. Quand il trouve des idées tactiques qu'il n'aurait pas su mettre en œuvre, il s'enrichit d'une connaissance nouvelle.

Une fois apprises et traduites en langage d'exécution rapide, les règles sont données au programme *Gogol*. Celui-ci n'envisage que quelques coups parmi les quelque 250 coups envisageables à chaque branche de l'arbre de recherche ; exécuté par un microprocesseur *Pentium 133*, il joue un coup

en dix secondes sur un damier 19×19 . Il envisage à chaque coup des centaines d'arbres de recherche qui comprennent chacun entre 2 et 500 nœuds, et il prévoit des séquences jusqu'à 60 coups à l'avance. À chaque nœud de chaque arbre, le programme applique les règles qu'il a apprises et qui conseillent les coups à utiliser. Ces règles, écrites par le programme, sont au nombre de 10 000.

Ainsi mon «métaprogramme» bat la plupart des autres programmes de go qui ont été écrits par des humains (il s'est classé sixième sur 40, lors de la dernière coupe Fost, qui a eu lieu en août 1997) et son potentiel de progression est supérieur à celui des autres programmes : une petite amélioration du métaprogramme peut conduire à de grandes améliorations des programmes finaux.

Tristan CAZENAVE
Université Paris VI

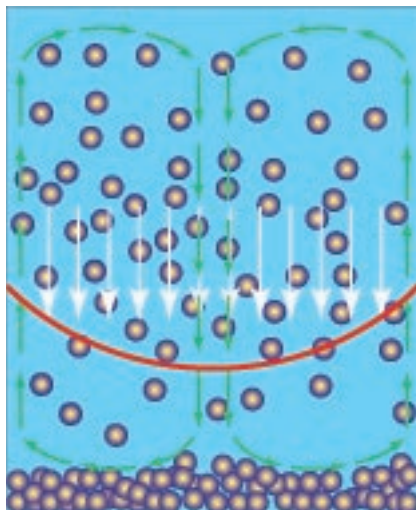
Convection intrinsèque

Lors de la sédimentation, un mouvement de convection s'ajoute à la chute des particules.

Les lois du phénomène de sédimentation permettent de retracer l'histoire des sédiments à partir de leur arrangement actuel. On utilise le phénomène pour séparer différentes espèces de particules ou pour clarifier les liquides. L'idée que l'on se fait de la sédimentation est en général assez simple : dans un liquide, les particules lourdes tombent au fond. La réalité est plus complexe : nous avons montré qu'au mouvement descendant des particules, s'ajoutait un mouvement de convection global de la suspension, c'est-à-dire des particules et du fluide.

Une sphère isolée tombant dans un liquide déplace ce liquide. En 1851, George Stokes a montré que la perturbation de la vitesse du liquide autour de la sphère décroît comme l'inverse de la distance à son centre. Cette perturbation modifie la vitesse d'une autre particule qui se déplace dans le liquide, laquelle modifie la vitesse de la première. Avec de nombreuses particules, chacune d'elles ressent les influences de toutes ses voisines. En modélisant cette interaction hydrodynamique à longue portée, on montre que, lorsque la concentration en particules augmente, la vitesse de sédimentation diminue. Cependant, ce résultat ne prend pas en compte l'effet des parois latérales du récipient.

Dans un récipient, les sphères ne peuvent s'approcher à moins d'un rayon des parois, en raison de leur volume. La densité de la suspension près des parois est ainsi inférieure à ce qu'elle est ailleurs dans la suspension. Étant moins dense, la suspension (les billes et le liquide) subit la poussée d'Archimède et remonte. Ce mouvement ascendant près des bords est équilibré par un mouvement descendant au centre. Ainsi se forment des rouleaux de convection.



Dans un récipient, une suspension de petites billes sédimente ; on filme la chute des billes et on détermine leur vitesse. Le profil de vitesse mesuré (courbe rouge) révèle une vitesse inférieure près des bords. Cette expérience confirme qu'au mouvement de chute des billes (flèches blanches) s'ajoute une remontée de la suspension près des bords et une descente au voisinage du centre (flèches vertes).

Prédite dans les années 1980, cette convection intrinsèque n'avait jamais été observée. Pour notre expérience, nous avons utilisé un récipient rempli d'un liquide d'indice de réfraction égal à celui de petites billes de verre. La suspension est ainsi transparente. Quelques billes de la suspension sont recouvertes d'une mince couche d'argent. À l'aide d'une caméra, on suit alors le mouvement de ces billes. La mesure de la vitesse de sédimentation moyenne est enregistrée d'un bord à l'autre du récipient lors du passage des billes. Nous avons observé que les particules tombent plus rapidement au centre que sur les bords, démontrant l'existence d'un mouvement de convection intrinsèque.

Ces mesures remettent en cause certains aspects de la théorie : pour des suspensions diluées, celle-ci prédit que la vitesse de la convection croît linéairement avec la concentration en particules. Or, nos expériences montrent que la vitesse de la convection croît à faible concentration et atteint une limite lorsque le volume de billes est compris entre 20 et 30 pour cent du volume de la suspension ; au-delà, elle s'annule. Nous avons aussi observé la structure de la suspension près des parois. À fortes concentrations, des couches diluées et concentrées alternent jusqu'à quelques diamètres de billes des parois. Aux concentrations élevées, la densité des couches externes est égale à celle du centre, et la convection n'a pas lieu.

Yannick PEYSSON
et Élisabeth GUZZELLI, ESPCI, Paris