

À la recherche du meilleur coup au jeu d'Awalé

Dans le livre "Aké, les années d'enfance", Wole Soyinka m'a fait découvrir les jeux de Mancala. En y jouant avec une camarade de classe, nous avons rapidement supposé qu'il existait des propriétés mathématiques intéressantes et nous avons décidé de les découvrir.

Le jeu d'Awalé est un jeu de Mancala joué depuis des millénaires, les preuves archéologiques les plus anciennes remontent à l'époque de l'Égypte antique. Ce jeu perdure notamment parmi les Yorubas qui peuplent le sud ouest du Nigéria. Plus généralement les jeux de Mancala sont très populaires en Afrique.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *INFORMATIQUE (Informatique Théorique)*
- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *MATHEMATIQUES (Algèbre)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

Intelligence artificielle *Artificial intelligence*

Jeu à somme nulle *Zero-sum game*

Méthode de Monte Carlo *Monte Carlo method*

Programmation dynamique *Dynamic programming*

Analyse asymptotique *Asymptotic analysis*

Bibliographie commentée

L'objectif des jeux de Mancala est d'accumuler le plus de pierres en les semant et en les capturant stratégiquement dans les puits du plateau de jeu.

Les jeux de Mancala se jouent traditionnellement à deux mais certaines variantes solitaires existent comme le Tchoukaillon introduit en 1977 par A.Deledicq [1]. Cette version simplifiée permet d'étudier plus facilement certaines propriétés arithmétiques et combinatoires. On peut en effet approximer π grâce au jeu de Tchoukaillon et y découvrir un lien étroit avec le théorème des restes chinois [2].

L'étude de ce jeu est motivée par un formalisme qui se prête au sujet d'optimisation - le jeu de Tchoukaillon peut être modélisé, dans une certaine mesure, en utilisant la théorie des graphes [2] - mais aussi par une relation avec un autre jeu : l'Awalé. [3]

L'Awalé est un jeu à deux joueurs qui s'affrontent autour d'un plateau à 12 puits. Certaines configurations du jeu, appelées "parties déterminées", sont très intéressantes à étudier car, bien menées, elles offrent à l'un des joueurs la totalité des graines du plateau. Ainsi, la connaissance de ces "parties déterminées" offre au joueur un avantage considérable.[4]

L'Awalé est un jeu à somme nulle qui offre la possibilité d'implémenter l'algorithme min-max avec l'élagage alpha-bêta. Cependant, avec plus de 10^{14} configurations possibles, les méthodes d'exploration exhaustive de l'arbre de recherche ne peuvent être utilisées. Il faut alors trouver une heuristique capable d'évaluer une certaine configuration, afin de pouvoir s'arrêter de parcourir l'arbre à une certaine profondeur. Les meilleures heuristiques sont intéressantes [5] mais trop restrictives, rendant parfois des résultats décevants.

Une méthode plus appropriée consisterait à lancer des parties aléatoires à partir de notre configuration et choisir le coup qui nous a rapporté le plus de victoires en moyenne. C'est le principe de la recherche arborescente de Monte-Carlo, qui a déjà fait ses preuves en s'imposant comme la base de tous les algorithmes compétitifs du jeu de Go[6].

Pour de nombreux jeux, les meilleures intelligences artificielles utilisent d'immenses bases de données regroupant le score des configurations de fin de jeu. Pour le jeu de dames par exemple, certaines bases de données contiennent l'ensemble des positions de 8 pions ou moins ce qui représente environ trois milles milliards de configurations. Il est donc légitime de se demander si une telle approche n'est pas envisageable pour l'Awalé : le nombre de configurations accessibles est en réalité inférieur à 10^{14} et de l'ordre du trilliard. Les configurations du jeu d'Awalé sont toutefois plus compliquées à déterminer que celles des dames qui peuvent être décomposées en sous problèmes. Pourtant J. Romein et H.Bal ont montré que cette entreprise n'était pas sans intérêt en résolvant le jeu de l'Awalé[7]. Pour cela, ils ont procédé par analyse rétrograde qui utilise la technique de programmation dynamique pour établir un score d'une partie en fonction du score des parties ayant pu mener à celle-ci. Ce résultat mérite toutefois d'être remis en contexte; le score des neuf cents milliards de positions a été calculé en 52 heures avec des moyens importants (144 processeurs, 72 Gigabits de mémoire vive). Cela ne remet donc pas en cause les algorithmes précédents qui ont pour avantage leur rapidité.

Problématique retenue

L'étude théorique du jeu d'Awalé permet-elle de toujours jouer le meilleur coup, ou l'utilisation d'algorithmes est-elle indispensable ?

Objectifs du TIPE du candidat

- Implémenter le jeu d'Awalé sur machine.
- Étudier les "parties déterminées", reconnaître quand elles se présentent et déterminer les coups à jouer en conséquence.
- Trouver une heuristique adaptée pour implémenter l'algorithme min-max avec l'élagage alpha-bêta.
- Utiliser l'algorithme min-max, la méthode gloutonne et la méthode de Monte-Carlo pour former une intelligence artificielle au jeu d'Awalé.
- Trouver un moyen de représenter les positions d'Awalé le plus efficacement possible.
- Mettre en place un algorithme capable de calculer, grâce à l'analyse rétrograde, un très grand nombre de positions plus efficacement que l'algorithme de Romein et Bal.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] A. DELEDICQ, A. POPOVA : Wari et solo le jeu de calculs africain : *Journal des africanistes*, tome 47, fascicule 2, p.180
- [2] B.JONES, L.TAALMAN, A. TONGEN : Solitaire Mancala Games and the chineses remainder theorem : <https://arxiv.org/abs/1112.3593>
- [3] D.BROLINE, D.LOEB : The combinatorics of Mancala-type games: Ayo, Tchoukaillon, and 1/pi : <https://arxiv.org/abs/math/9502225>
- [4] I.AKINYEMI : A refinement-based heuristic method for decision making in the context of ayo game : https://www.academia.edu/30647528/A_REFINEMENT_BASED_HEURISTIC_METHOD_FOR_DECISION_MAKING_IN_THI
- [5] C.DIVILLY, C.O'RIORDAN, S.HILL : Exploration and analysis of the evolution of strategies for Mancala variants : https://www.researchgate.net/publication/261452468_Exploration_and_analysis_of_the_evolution_of_strategies_for_Mancala_variants
- [6] G.ROVARIS : Design of artificial intelligence for mancala games : <https://www.politesi.polimi.it/retrieve/a81cb05c-47b8-616b-e053-1605fe0a889a/Thesis.pdf>
- [7] J.ROMEIN, H.BAL : Solving the game of Awari using parallel retrograde analysis : <https://docplayer.net/19142065-Solving-the-game-of-awari-using-parallel-retrograde-analysis.html>