

Rapport sur la compétition de General Game Playing de 2013

Première partie : déroulement de la compétition

Jean Méhat
LIASD, Université de Paris 8

Novembre 2013

Résumé

Je décris ici le déroulement de la compétition de General Game Playing de 2013 à laquelle a participé mon programme Ary.

Je propose ensuite un nouveau mode d'organisation de la compétition susceptible de diminuer les biais introduits par le tirage et d'équilibrer l'influence des scores obtenus dans les différents jeux sur le classement final.

Dans une seconde partie, j'examine les raisons qui ont conduit aux résultats médiocres obtenus par Ary cette année : il ne s'est même pas qualifié pour la phase finale alors que depuis 2007 il n'avait jamais été éliminé avant les demi-finales et qu'il a remporté la compétition à deux reprises.

1 Introduction

Depuis 2005, Michael Genesereth, ses collègues et ses étudiants du groupe de logique de Stanford organisent une compétition de General Game Playing (*GGP*), en général dans le cadre du congrès *AAAI*.

Il s'agit de faire jouer les uns avec les autres des programmes de jeux qui ont été conçus sans savoir à quels jeux ils joueraient. Au début d'un match, l'arbitre (le *Game Master*) envoie la description des règles du jeu aux joueurs. Les organisateurs de la compétition utilisent de nouvelles descriptions de jeux tous les ans.

Je décris sommairement dans cette introduction le langage utilisé pour décrire les jeux et les caractéristiques principales de mon joueur Ary.

1.1 Le langage GDL

Les jeux sont décrits dans un langage déclaratif appelé *Game Description Language* (*GDL*) fondé sur la logique du premier ordre[1]. Le langage contient

quelques mots clefs spécifiques du domaine des jeux pour décrire l'identité des joueurs, l'état initial et l'état courant de la partie, les coups légaux dans une situation donnée, l'effet des coups joués, la fin de partie et le résultat de la partie. Le reste est décrit par des propriétés ou des théorèmes que le concepteur de la description peut choisir librement. Depuis 2010, la spécification d'un jeu en GDL comprend également la description de tous les coups légaux et de toutes les propriétés utilisables pour décrire une situation. Ceci permet dans certains cas de faciliter la transformation du GDL en représentation plus facile à manipuler.

Le langage GDL est très général : il permet de décrire n'importe quel jeu à information complète, à un, deux joueurs ou plus, avec des coups alternés ou simultanés, à somme nulle ou pas. On a montré que n'importe quelle machine de Turing pouvait être décrite sous la forme d'un jeu en GDL. Une extension *GDL for Incomplete Information games (GDLii)* existe également pour les jeux à information incomplète [3, 4] — comme la plupart des jeux de carte — mais elle n'est pas utilisée dans les compétitions actuelles.

Je pense que les indications contenues ici peuvent faciliter la préparation d'un nouveau compétiteur pour une édition future de la compétition. Aussi, il est délicat d'organiser une compétition car les méthodes employées pour classer les programmes et déterminer le vainqueur présentent souvent des déficiences ; des observations sur ce point peuvent servir à éviter certaines erreurs pour l'organisation d'un tournoi de GGP futur. Cette partie se termine par une proposition de format pour les compétitions futures qui permet d'éviter la plupart des biais identifiés.

Les sections suivantes présentent d'abord l'organisation générale puis la liste des participants, suivie des résultats globaux puis des résultats jeu par jeu.

2 Organisation générale

La compétition GGP 2013 s'est déroulée dans le cadre du congrès AAAI, à Bellevue (état de Washington, USA) les 16 et 17 juillet 2013. La présence des auteurs des programmes participants était facultative : il était possible de faire jouer les programmes à distance sans présence physique d'un auteur¹.

La compétition a compris deux phases : dans la première phase, tous les programmes participants ont joué à des jeux à un seul joueur, à deux joueurs et à un jeu à quatre joueurs ; la plupart de ces jeux étaient nouveaux. Les scores

1. Malgré les informations délivrées régulièrement par mail par les organisateurs, la mise en place d'un chat pour permettre aux participants à distance de suivre le déroulement de la compétition, l'ouverture à la consultation du serveur utilisé comme Game Master, il est très difficile de suivre le déroulement de la compétition sans être présent sur place, même si on se contente de suivre un seul joueur. Pour des raisons diverses (contraintes de temps, problèmes du réseau, défaillances de joueurs, problèmes avec les descriptions de jeux notamment), les organisateurs sont souvent contraints de prendre en temps réel des décisions d'annulation de match ou de modification du planning voire de correction des descriptions de jeux dont les compétiteurs ne peuvent être informés qu'a posteriori. On peut féliciter les organisateurs (?? en 2005 et 2006, Eric Schkufza en 2007 et 2008, Jim Clune en 2009, Evan Cox en 2010, Zavain Dar en 2011, Peter Pham en 2012 et Bertrand Decoster en 2013) d'avoir réussi, avec Michael Genesereth, à mener à bien les compétitions dans de bonnes conditions.

Nom du joueur	Auteur(s), (Institution, Pays)
Alloy	Alex Landau (USA ou Israel?)
Ary	Jean Méhat (Université de Paris 8, France)
Cadia Player	Hilmar Finnsson (Université de Reykjavik, Islande)
Dumalion	Jakub Kowalski, Marek Szykula, (Université de Wroclaw, Pologne)
Flux Player	Stephan Schiffel, (Université de Reykjavik, Islande)
Gamer	Peter Kissmann, (Université de Saarbrucken, Allemagne)
Innovation	David Kamm (?)
JBaum	Tim Federholzner (Université de Bremen, Allemagne)
July Player	Zhang Haifeng, Lin Shu, Zhang Qinjian (Chine)
Knower	Yasuhiro Fujita (Japon?)
Le Joueur	Jean-Noël Vittaut (Université de Paris 8, France)
Magician	Karol Waledzik, Jacek Mandziuk (Université de technologie de Varsovie, Warsaw, Pologne)
MINI Player	Maciej Swiechowski, Jacek Mandziuk (Université de technologie de Varsovie, Warsaw, Pologne)
Quorum Player	Michael Thielscher, Timothy Cerexhe, Marc Chee, David Rajaratnam, Ji Ruan, Michael Schofield, (Université de New South Wales, Australie)
Turbo Turtle	Sam Schreiber (chercheur indépendant, USA)
Valor	Peter Pham (Université de South Australia, Australie)

TABLE 1 – Les 16 programmes annoncés comme participants à la compétition GGP 2013 ; les institutions et les pays des auteurs ont été dérivés par mes soins à partir de sources d’informations diverses et doivent être pris avec prudence.

obtenus par chaque joueur dans ses différents matchs ont été additionnés pour obtenir un score global et sélectionner les meilleurs programmes pour la phase finale. Dans la pratique, l’écart entre les scores du quatrième et du cinquième après la première phase était si faible que les organisateurs les ont invités tous les deux à participer à la phase finale à laquelle ils ont ajouté un tour afin de les départager.

Dans la phase finale les meilleurs programmes se sont rencontrés en élimination directe.

3 Les programmes participants

Il y avait seize programmes participants, présentés dans la table 1. Les points les plus remarquables concernant ces participants annoncés sont à mon sens :

- l’augmentation du nombre de participants comparée aux éditions précédentes et la proportion importante de nouveaux entrants.
- la diversité géographique des participants (quatre continents représentés).
- l’importance de certains foyers : Pologne (trois programmes dont deux de la même institution), Islande (deux programmes, tous les deux vainqueurs d’éditions précédentes de la compétition), Allemagne (deux programmes),

Turbo Turtle	1098
Cadia Player	1019
Alloy	1002
Gamer	939
Flux Player	920
Ary	787
Le Joueur	734
Knower	661
Magician	650
July Player	624
Mini Player	592
Dumalion	0
Innovation	0
Jbaum	0
Quorum Player	0
Valor	0

TABLE 2 – Le nombre de points accumulés par les différents participants à l’issue de la phase de qualification tels que recopiés à ce moment sur le site `gamemaster.stanford.edu/leaderboard2013.php`, classés par ordre de mérite. Les résultats actuellement affichés sur cette page sont différents car ils prennent aussi en compte les parties jouées lors de la phase finale.

France (deux programmes de la même institution), Australie (deux programmes).

- la participation de deux anciens étudiants de Stanford, foyer d’origine du General Game Playing et université des organisateurs de la compétition, à qui le règlement de la compétition interdisait de participer tant qu’ils étaient rattachés à cette université.

Certaines absences sont également notables. Il n’y a pas de compétiteur de l’université de Dresden (Allemagne) : apparemment le groupe qui s’y était développé sur le sujet a souffert des départs de Stephan Schieffel pour l’université de Reykjavik (Islande) et de Michael Thielscher pour celle de New South Wales (Australie). Aucun programme non plus de l’université d’Alberta (Canada) qui est pourtant un centre important de recherche sur les jeux : là aussi la recherche sur le GGP semble s’être étiolée après le départ de Nathan Sturtevant pour l’université de Denver (USA) malgré l’intérêt déclaré de Jonathan Schaeffer pour le sujet. Finalement, il n’y a pas de programme originaire de l’université de Maastricht (Pays Bas) qui est un centre européen important d’activité sur les jeux où on s’intéresse au General Game Playing.

3.1 La première phase de la compétition

Les résultats des programmes à l’issue de la première phase de compétition sont présentés dans la table 2. Ils ont été obtenus en additionnant les scores

dans chacun des jeux joués.

Cinq participants n'ont pas marqué de points du tout ; cela signifie probablement qu'ils n'ont pas joué ou ont joué des coups illégaux et que le Game Master a joué à leur place ou bien que les organisateurs ont dû annuler les matchs auxquels ils participaient.

Avec onze joueurs actifs, les organisateurs ont fait jouer un dix septième joueur dans les jeux à plusieurs joueurs afin de simplifier le tirage. Son auteur est Dustin Fink. Les règles du tournoi ne l'autorisaient à participer du fait de ses liens avec l'université de Stanford. Son programme n'a pas joué dans les jeux à un seul joueur, ce qui rend difficile la comparaison de ses résultats. Il apparaît dans les résultats de match comme le joueur *Nobody*.

Les résultats des autres joueurs permettent de les diviser en deux groupes : les cinq premiers ont une avance importante sur les six joueurs qui suivent, avec Turbo Turtle qui se détache en tête. Ce classement est cependant à prendre avec prudence :

- le serveur utilisé par les organisateurs était semble-t-il le même que celui disponible sur `tiltyard.stanford.edu` mais il était beaucoup plus rigoureux avec les réponses tardives. De ce fait, certains joueurs n'ont joué que très peu de coups parce qu'ils avaient été paramétrés pour répondre à temps au serveur Tiltyard, si bien que leurs réponses au serveur de la compétition arrivaient trop tardivement pour qu'il les prenne en compte. Le Game Master a joué à leur place (le premier coup disponible qui n'est en général pas bon). Les organisateurs ont ensuite permis de paramétrer de nouveau les joueurs et ont fait rejouer les jeux à un seul joueur où il y avait eu des réponses tardives mais n'ont pu organiser de nouveau les matchs impliquant plusieurs joueurs. Il n'est pas possible de déterminer quels sont les joueurs concernés au seul vu des résultats affichés par le serveur mais il est souvent possible d'identifier un joueur qui ne joue pas dans un match puisqu'il joue toujours le premier coup disponible.
- D'une façon générale, l'utilisation de jeux collaboratifs a donné une grande importance au tirage. Par exemple le résultat de la partie d'Hex à 4 joueurs dépendait pour une part des performances de l'équipier ; un autre tirage aurait pu conduire à une inversion du résultat qui aurait diminué la performance d'un programme et augmenté celle d'un autre de 100 points juste du fait des caractéristiques des équipiers que le tirage leur avait attribué.

3.2 La phase finale

A l'issue de la phase de qualification, les organisateurs ont organisé un premier tour de la phase finale entre Flux Player et Gamer. Les matchs ont utilisé des jeux nouveaux de la première phase (Alquerque et Chinook). Flux Player a gagné deux matchs et a été sélectionné pour les demi-finales.

Les demi-finales et la finale se sont déroulées sous forme de tournoi à élimination directe, sur la base du résultat de deux ou trois matchs. Les descriptions de certains jeux ont dûes être modifiées pour les transformer en jeux à somme nulle afin qu'un programme, conçu seulement pour optimiser son gain, cherche

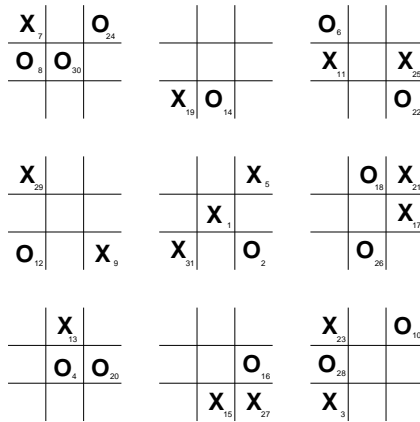


FIGURE 1 – La partie de Turbo Turtle (jouant avec X) contre un joueur humain au jeu Nine Boards Tic Tac Toe, dont la règle du jeu est décrite dans la section 3.3.13. Après le coup 5 (X dans la case nord-est du damier central), si O joue dans la case centrale de n'importe quel damier (comme il le fait au coup 30), il concède la victoire à X. les autres choix pour le coup 30 conduisent également à une victoire de X. Une exploration systématique indique que X a une stratégie gagnante au moins à partir du coup numéro 14.

à gagner plus que ses adversaires (et choisisse par exemple d'obtenir un score de 1 à 0 qui le fait gagner plutôt que 99 à 100 qui le fait perdre).

En demi-finale, Cadia Player a rencontré Alloy et Turbo Turtle a joué avec Flux Player ; les jeux utilisés ont été Pentago, Connect For All et Hex. En finale, Turbo Turtle a gagné les deux premiers matchs contre Cadia Player à Pentago et Nine Boards Tic Tac Toe et a été déclaré gagnant.

Finalement, le vainqueur Turbo Turtle a rencontré un joueur humain dans une partie de Pentago et une partie de Nine Boards Tic Tac Toe. Il les a gagnées toutes les deux, après une réponse tardive du joueur humain dans une situation gagnante de la partie de Pentago². La partie de Nine Boards Tic Tac Toe apparaît dans la figure 1.

3.3 Résultats par jeu

Dans cette section, j'examine les performances des joueurs jeu par jeu.

2. Même un programme de Go médiocre peut battre un joueur professionnel si la partie est jouée avec un temps de réflexion de quelques millisecondes... La partie de Pentago était jouée avec trois minutes de temps initial et 30 secondes de réflexion par coup, ce qui est plus raisonnable mais tout de même rapide pour un joueur humain ; de plus, un temps fixe par coup n'est pas très bien adapté au comportement usuel des humains qui utilisent souvent un temps de réflexion important pour déterminer une ligne de jeu dont ils peuvent ensuite jouer les coups rapidement.

Les programmes participants ont joué quatre matchs dans des jeux à un seul joueur pour quatre jeux différents ; tous les matchs se déroulaient avec une minute de temps de réflexion initial puis dix secondes par coup. Ils ont ensuite joué huit matchs dans des jeux à deux joueurs et un match dans un jeu à quatre joueurs, tous avec une minute de temps de réflexion initial puis vingt secondes par coup.

Dans la phase finale les matchs ont été joués avec trois minutes de temps de réflexion initiale puis trente secondes par coup.

La description des jeux en GDL telle que reçue par Ary est placée en annexe. Elle peut parfois présenter quelques différences de détail avec les descriptions présentes sur le serveur de Stanford.

3.3.1 Jeu à un seul joueur : Eight Puzzle

Il s'agit d'une version du classique *Eight Puzzle* (le taquin 3×3) en partant de

la configuration $\begin{matrix} 8 & 7 & 6 \\ 5 & 4 & 3 \\ 2 & 1 & \end{matrix}$ pour atteindre $\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & \end{matrix}$. Le score obtenu dépend

du nombre de coups utilisés pour résoudre le problème : 100 s'il est résolu en 30 coups au plus, 98 s'il est résolu en 31 coups, 96 pour 32 coups etc. Si la solution n'est pas atteinte au cinquantième coup, la partie est interrompue et le joueur ne marque pas de points.

La description en GDL porte le même nom mais est différente de celle présente sur le serveur de Dresde depuis longtemps dans laquelle le joueur gagne 100 points s'il résout le problème et 0 sinon, sans que le nombre de coups utilisés intervienne.

La description en GDL utilise le *or* interdit dans les versions récentes des spécifications de GDL.

Les résultats des programmes ayant marqué des points sont les suivants :

Programme	Points obtenus
Alloy	72
Turbo Turtle	72
Flux Player	80
Ary	92
Gamer	100

Gamer a été le seul joueur à marquer le maximum de points. Plusieurs joueurs (dont Cadia Player, vainqueur à trois reprises d'éditions antérieures de la compétition) n'ont pas été en mesure de résoudre le problème en 50 coups au plus. Le bon score d'Ary à ce jeu relève pour une partie de la chance, comme le montre l'analyse a posteriori de la seconde partie de ce rapport.

3.3.2 Jeu à un seul joueur : Hamilton

Il s'agit de parcourir un graphe (figure 2). Le score est proportionnel au nombre de nœuds différents visités : il faut trouver comment passer une seule fois par chaque nœud pour obtenir le score maximum.

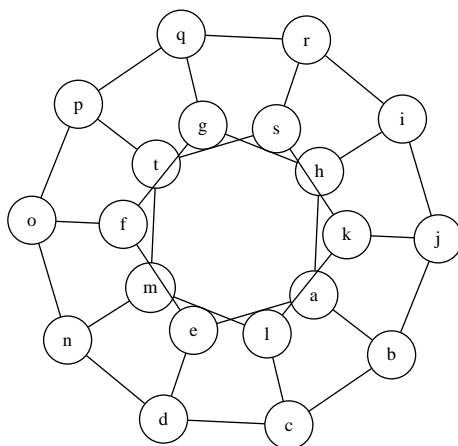


FIGURE 2 – Le graphe dans lequel le programme doit trouver un chemin hamiltonien à partir du nœud a ; une solution consiste à parcourir les nœuds dans l'ordre alphabétique.

Les organisateurs ont interrompu le premier match d'Ary (pour une raison que j'ignore) puis l'ont relancé avec des règles et des conditions de temps parfaitement identiques.

Presque tous les programmes ont marqué le maximum à ce jeu, sauf July Player (90), Knower (90) et Mini Player (1 point). Ary a résolu le jeu avant le premier coup (après un peu plus de 30 000 playouts tout de même).

3.3.3 Jeu à un seul joueur : Untwisty corridor

Le jeu se joue en huit tours : il y a huit coups possibles (de a à h) ; si le joueur joue autre chose que le coup h à n'importe quel tour, le score est à 0 ; si le joueur joue huit fois le coup h , il marque 100 points.

Le jeu compte de nombreuses transpositions parce que la description GDL ne garde trace que de l'étape courante et d'un mauvais coup joué : quinze nœuds suffisent donc à représenter l'arbre (figure 3) ce qui le rend élémentaire pour un joueur utilisant les transpositions. En revanche, le nombre de parties possibles est assez important (environ un million et demi) ce qui le rend difficile pour un programme qui les ignore.

Presque tous les programmes ont marqué 100 points à ce jeu sauf Alloy, Ary et Mini Player qui n'ont pas marqué de points.

La version d'Ary utilisée lors de la compétition contenait une erreur qui l'a empêché de trouver la solution, du fait d'une confusion dans le code entre le flag indiquant qu'un nœud est complètement exploré et celui indiquant qu'il contient une valeur exacte.

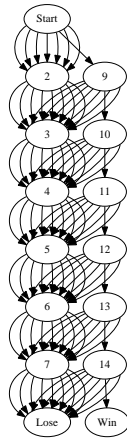


FIGURE 3 – Le graphe du jeu Untwisty Corridors : quinze nœuds suffisent pour le représenter. Une unique séquence de coups mène du nœud Start au nœud Win. Toutes les autres séquences de coups (au nombre de $8^8 - 1$) aboutissent au nœud Lose.

3.3.4 Jeu à un seul joueur : Multiple Hunter

Le jeu Hunter se joue sur un damier 3×5 avec un cavalier et 14 pions qui ne se déplacent pas. Le but est de capturer le maximum de pions avec le cavalier ; c'est une façon de lui faire parcourir tout le damier.

Dans Multiple Hunter, on a neuf damiers identiques et le joueur choisit à chaque coup le damier dans lequel il joue ; le score final est celui obtenu dans le damier numéro 5 ; les autres damiers sont ignorés.

La description du jeu utilise des théorèmes pour décrire la position initiale comme `(<= (init (cell ?board 1 1 knight)) (board ?board))` ce qui n'est pas autorisé explicitement par la spécification de GDL mais permet de simplifier la description.

Tous les programmes qui ont joué ont marqué des points à ce jeu :

Alloy	75
Flux Player	75
Magician	75
Cadia Player	64
Knower	64
Le Joueur	64
Turbo Turtle	64
Gamer	54
July Player	54
Mini Player	54
Ary	45

Ary a obtenu le plus mauvais score, pour une raison que je ne m'explique

pas autrement que par la malchance³. En relançant le jeu dans les conditions de la compétition (même programme, même horloge, même machine, même configuration) Ary obtient un score moyen de 71 (sur 100 parties) ; ce point est exposé plus en détail dans la section examinant l’influence de RAVE dans la seconde partie de ce rapport.

3.3.5 Jeu à deux joueurs : Alquerque

Le jeu est une variante du classique Alquerque, un ancêtre des dames. Il se joue sur un damier 5×5 sur lequel les pions se déplacent orthogonalement ou en diagonale. Comme aux dames on peut capturer des pions adverses en sautant par dessus.

La position de départ utilise 10 pions de chaque couleur (sur les deux premières et les deux dernières lignes avec la ligne centrale inoccupée) au lieu des classiques 12 pions de chaque couleur avec la case centrale libre et interdit la capture de plus d’une pièce adverse au même coup.

La principale différence avec le jeu original est que le score de chaque joueur est proportionnel au nombre de pions capturés. Si un programme ne cherche qu’à maximiser son score, il n’empêchera pas l’adversaire d’obtenir un score presque aussi bon car — comme aux dames — il est souvent nécessaire de sacrifier des pièces pour s’assurer des captures, ce qui donne des points à l’adversaire. Cette caractéristique rend le jeu peu significatif pour le classement des joueurs : Ary par exemple a marqué plus de points que son adversaire dans les deux matches qu’il a joués à ce jeu mais la différence de score finale n’est que de 30 points et a eu peu d’influence sur le classement final.

Chaque programme a joué deux parties de ce jeu contre le même adversaire, en changeant de rôle entre les deux parties.

Alloy vs. July Player	90 60
July Player vs. Alloy	60 90
Ary vs. Knower	90 80
Knower vs. Ary	70 90
Cadia Player vs. Le Joueur	10 10
Le Joueur vs. Cadia Player	10 70
Gamer vs. Magician	80 10
Magician Gamer	90 70
Flux Player vs. Mini Player	90 80
Mini Player vs. Flux Player	100 80
Nobody vs. Turbo Turtle	80 100
Turbo Turtle vs. Nobody	100 80

L’examen des coups joués dans les parties de Cadia Player et Le Joueur laisse penser que le Game Master jouait à la place des deux joueurs jusque vers la toute fin de la partie : seuls les derniers coups ne sont pas les premiers dans la liste des coups légaux. Le Joueur avait été testé sur Tiltyard et répondait trop tard au serveur et Cadia Player était semble-t-il dans la même situation. Vers la fin de la partie, lorsque les deux joueurs ont pu explorer complètement l’arbre,

3. Le choix d’un autre mode de parallélisation aurait pu améliorer le résultat.

ils ont répondu immédiatement ce qui leur a évité une réponse tardive et leur a permis de marquer quelques points.

Comme indiqué plus haut, l'influence de ces scores sur le classement final est assez modeste.

3.3.6 Jeu à deux joueurs : Pentago

Le jeu de Pentago a été déjà utilisé dans la compétition de 2008 mais la définition GDL utilisée en 2013 est (assez légèrement) différente de la définition employée alors. C'est un jeu classique qui se joue sur un damier 6×6 : à tour de rôle, les joueurs placent un pion sur une case vide puis choisissent un des quadrants 3×3 du damier qu'ils font tourner d'un quart de tour dans le sens de leur choix. La partie s'arrête quand un des joueurs réussit à aligner cinq de ses pions ou quand le damier est complètement rempli : le joueur qui a complété au moins une ligne marque 100 points et l'autre aucun ; dans le cas où il n'y a pas de ligne complétée ou bien où il y a une ligne de chaque couleur, le match est nul et les deux joueurs marquent 50 points.

Les résultats sont les suivants :

Alloy vs. Le Joueur	100 0
Ary vs. Magician	100 0
Cadia Player vs. Mini Player	100 0
Flux Player vs. Turbo Turtle	0 100
Gamer vs. July Player	100 0
Nobody vs. Knower	100 0

Sur ce jeu, Ary a répondu avec retard au coup 3 pour une raison que j'ignore (ce qu'il a détecté parce que le coup renvoyé par le Game Master était différent du coup qu'il lui avait envoyé). Dans ce cas, Ary divise le temps de réflexion du coup suivant par deux pour éviter une autre réponse tardive. À cause d'une grossière erreur dans le code d'Ary, le marqueur de réponse tardive est resté positionné et tous les coups ont été calculés en dix secondes au lieu de vingt jusqu'à la fin de la partie⁴.

3.3.7 Jeu à deux joueurs : Madness

Le jeu se joue sur un échiquier avec des pièces d'Échec disposées de la manière usuelle avec les pions des colonnes *a*, *b*, *g* et *h* et les tours absents. Les pièces se déplacent comme aux Échecs et peuvent capturer les pièces adverses (y compris le roi) de la manière usuelle. Le jeu se termine quand un des joueurs n'a plus de coup légal ou au bout de 60 coups (60 demi-coups dans la terminologie des Échecs).

Le résultat est proportionnel au nombre de pièces capturées par n'importe lequel des joueurs : les deux joueurs obtiennent donc le même score.

4. Malgré l'utilisation de seulement la moitié du temps de réflexion à partir du troisième coup, Ary a gagné la partie ; en attendant la réponse du Game Master qui contient normalement l'écho du coup soumis et le coup de l'adversaire, Ary continue à explorer l'arbre des coups ce qui atténue l'impact de cette erreur.

De façon assez curieuse, le jeu est défini avec un incrément du score de cinq points par pièce capturée ce qui ne permettrait pas d'obtenir 100 en partant de 0 (comme le laisse penser sa spécification via `base`), puisqu'il n'y a que 20 pièces et qu'il reste nécessairement au moins une pièce sur l'échiquier à la fin de la partie. Cependant dans la définition utilisée le score est initialisé à la valeur 50 ce qui garantit un score de 100 après dix captures ; en revanche après une onzième capture il me semble à la lecture de la définition GDL du jeu que le score des joueurs n'est plus déterminé. Pourtant Ary ne signale pas de position où le `goal` serait indéterminé⁵.

Les résultats de la compétition sont les suivants :

Alloy vs. Magician	100 100
Ary vs. Mini Player	95 95
Cadia Player vs. Turbo Turtle	100 100
Flux Player vs. Knower	95 95
Gamer vs. July Player	60 60
Nobody vs. Le Joueur	100 100

Madness est un jeu coopératif dans lequel les deux joueurs marquent le même nombre de points ; les résultats individuels dépendent donc non seulement de la qualité du programme mais également de celle de son adversaire ; de ce fait les scores obtenus ne reflètent que partiellement la force des joueurs.

3.3.8 Jeu à deux joueurs : Multiple Tic Tac Toe

Le jeu Multiple Tic Tac Toe se joue sur neuf damiers de Tic Tac Toe : chaque joueur à son tour choisit un damier et y joue de la façon usuelle.

En pratique, seul le damier numéro 5 (celui du centre si on les dispose sur une grille 3×3) compte. La partie s'arrête dès que la sous-partie de ce damier est terminée (ou au bout de 20 coups).

Un joueur ne marque pas de points s'il laisse l'adversaire compléter une ligne sur le damier central, 25 points s'il y obtient un match nul en plus de 9 coups, 50 points s'il y complète une ligne en plus de 9 coups, 75 points s'il y obtient un nul en 9 coups et 100 points s'il y obtient une ligne en moins de 10 coups.

La description du jeu utilise un théorème pour indiquer que toutes les cases de tous les damiers sont vides au départ, ce qui n'est pas clairement autorisé par la spécification de GDL mais permet de simplifier la description.

Les résultats des parties de la compétition ont été :

Alloy vs. Mini Player	75 75
Ary vs. Le Joueur	0 100
Cadia Player vs. Turbo Turtle	75 75
Flux Player vs. July Player	100 0
Gamer vs. Knower	100 0
Nobody vs. Magician	100 0

5. Suite à des expériences malheureuses dans les compétitions précédentes, Ary traite les situations où le `goal` n'est pas déterminé pour tous les joueurs comme si tous les joueurs ne gagnaient aucun point ; cela lui permet de jouer même si la définition est fautive et d'éviter autant que possible ces situations dans le cours de la partie.

Ary a vraiment mal joué à ce jeu. Les expériences en rejouant à ce jeu montrent qu'il présente un avantage pour le premier joueur dont Ary n'a pas profité. Les logs ne montrent rien d'évident. L'utilisation de RAVE aurait pu l'aider avec un paramétrage adéquat. Ce point est exposé plus en détail dans la seconde partie.

3.3.9 Jeu à deux joueurs : Connect For All

Ce jeu est un mélange de Free For All et de Connect 3 dans lequel le score et la fin de partie sont déterminés séparément : sur un damier 6×6 chaque joueur dispose de trois cavaliers et de trois pions du jeu d'Échec disposés sur la première et la dernière ligne ; sur un autre damier à quatre colonnes se joue une partie de Puissance 3, une variante de Puissance 4 où le but est d'aligner trois pièces de sa couleur. À son tour, un joueur choisit de jouer dans un jeu ou dans l'autre. La partie est terminée quand un des joueurs aligne trois pions dans la partie de Puissance 3 et le score est déterminé par le nombre de captures de chaque joueur dans la partie de Free For All : celui qui a capturé le plus de pièces marque 100 points et l'autre 0.

Les résultats des matchs de la compétition sont les suivants :

Alloy vs. July Player	100 0
Ary vs. Turbo Turtle	0 100
Cadia Player vs. Magician	100 0
Flux Player vs. Knower	100 0
Gamer vs. Le Joueur	0 100
Nobody vs. Mini Player	100 0

Ici aussi Ary a répondu trop tard au second coup et tous les coups suivants ont été joués comme si le temps de réflexion n'était que de 10 secondes au lieu de 20 à cause de la même erreur que dans le match de Pentago.

Le jeu semble présenter un avantage pour le premier joueur. En faisant jouer 250 parties à Ary contre lui-même avec 10 secondes de temps de réflexion, chacun des deux joueurs tournant sur un seul cœur, on obtient 62 match nuls (24.8%), 105 victoires (45%) et 83 défaites (33.2%) du premier joueur. L'analyse d'Ary lors du match de la compétition est déficiente : son *winrate* n'était que de 40% à la fin de la période de réflexion initiale, comme si le jeu présentait un avantage significatif pour le second joueur ; il était descendu à 23% après le troisième coup.

3.3.10 Jeu à deux joueurs : Chinook

Ce jeu est une nouvelle forme de Chinook, un mélange de deux parties de Dames anglaises conçu par Michael Genesereth. Les deux parties se déroulent sur le même damier, l'une sur les cases blanches et l'autre sur les cases noires, ce qui interdit à un programme de n'utiliser que l'identité des damiers telle qu'elle apparaît dans la description GDL pour séparer les sous-jeux indépendants.

Dans la variante de cette année, les deux joueurs jouent en même temps, chacun sur un damier différent en alternance.

Le score de chaque joueur est proportionnel au nombre de pièces qu'il a capturées, pour Noir dans le damier pair et pour Blanc dans le damier impair.

Résultats :

Alloy vs. Turbo Turtle	100 87
Ary vs. Mini Player	75 87
Cadia Player vs. July Player	100 0
Nobody vs. Knower	87 62
Flux Player vs. Le Joueur	100 50
Gamer vs. Magician	75 75

La variante de Chinook utilisée cette année me semble moins intéressante que celle d'il y a deux ans, dans laquelle chaque joueur jouait à son tour en choisissant sa partie, le premier qualifiant un pion en dame étant déclaré vainqueur.

Le calcul des scores sur la base du nombre de pions capturés dans un damier se traduit par un écart de scores généralement médiocre. L'exception est le score de 0 obtenu par July Player ; au vu du déroulement de la partie, il semble que July Player n'a pas renvoyé de coup légal en temps utile si bien que le Game Master a joué le premier coup légal à sa place ; la disposition des damiers est telle que toutes les captures de July Player se sont faites dans le damier qui ne lui rapportait pas de point.⁶

3.3.11 Jeu à deux joueurs : Hex

Il s'agit ici du classique Hex, joué avec les règles usuelles sur un damier 9×9 , sans règle d'échange après le premier coup pour compenser l'avantage du premier joueur. À la différence de la description de Hex présente sur les serveurs depuis quelques années, celle employée dans la compétition, due à Zavain Dar, ne fait pas intervenir le calcul explicite des chaînes de pions ; à la place elle propage de pion en pion une propriété *Connecté*. Ceci permet d'interpréter la description du jeu en GDL de manière plus rapide que dans la définition de Laik Lee.

Sans doute du fait de la nécessité de propager la propriété *Connecté* dans un nombre croissant de pions, le nombre de playouts d'Ary à ce jeu évolue peu au cours de la partie alors qu'usuellement, à mesure que la fin de partie s'approche, le nombre de playouts augmente et le niveau de jeu s'améliore.

Les programmes ont joué une seule partie de Hex à deux joueurs, pour les résultats suivants :

Alloy vs. Knower	0 100
Ary vs. Le Joueur	100 0
Cadia Player vs. Magician	100 0
Flux Player vs. Mini Player	0 100
Gamer vs. Turbo Turtle	0 100
Nobody vs. July Player	0 100

6. Si le tirage avait attribué l'autre damier à July Player, le Game Master jouant à sa place aurait sans doute effectué quelques captures en jouant le premier coup légal ; il vaudrait mieux que le Game Master joue un coup au hasard plutôt que le premier coup légal quand le but est de classer les programmes.

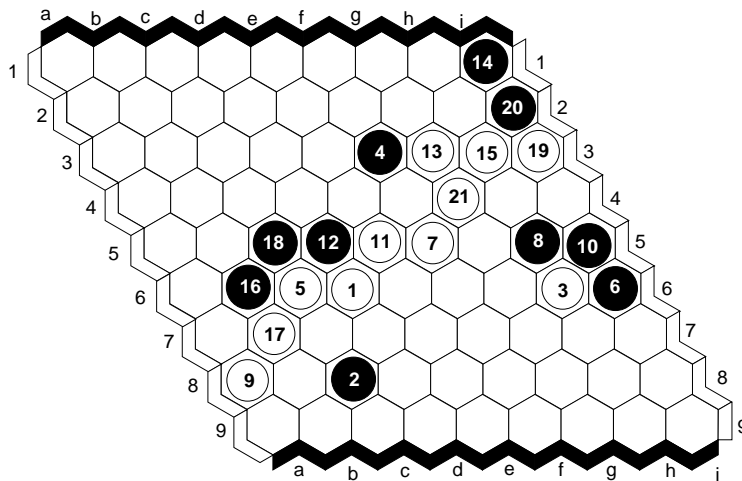


FIGURE 4 – La partie de Hex de Ary contre Le Joueur. 9: a8 est très douteux et devrait être joué en h4. 11: e5 est mauvais et peut être sanctionné par 12: g4. 13: h4 donnerait la victoire plus rapidement que g3.

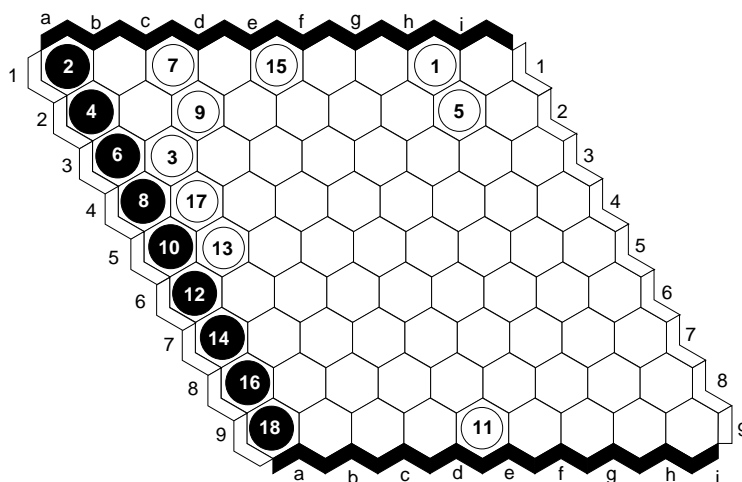


FIGURE 5 – La partie de Hex de July Player contre Nobody. Si les couleurs avaient été inversées au tirage et que Blanc (ou le Game Master à sa place) avait joué de la même manière, Noir aurait aussi gagné la partie : à Hex, jouer le premier coup légal favorise toujours le second joueur.

Les organisateurs ont indiqué que Cadia Player avait bien joué à Hex mais la faiblesse de l'opposition que lui a opposée Magician dans cette partie ne permet pas de l'apprécier. Il n'y a pas de log sur le serveur de la partie de Gamer avec Turbo Turtle.

Ary semble avoir joué cette partie d'une façon décente pour un General Game Player, c'est à dire comme un débutant (figure 4). Ary a effectué environ 38k playouts pendant les 80 secondes de réflexion initiale puis de l'ordre de 10k playouts pendant les 20 secondes avant chaque coup. Son *winrate* a atteint 65% après le coup 12 en d5 et n'est plus descendu en dessous de cette valeur dans les coups suivants.

La partie de Nobody contre July Player (figure 5) est spectaculaire : il semble que Nobody joue ses coups au hasard tandis que July Player (ou plus probablement le Game Master à sa place) joue le premier coup légal ce qui lui permet de gagner la partie. Ici aussi il serait sans doute préférable que le Game Master joue un coup au hasard à la place des joueurs défaillants plutôt que le premier coup légal.

3.3.12 Jeu à quatre joueurs : Hex For Four

Il s'agit de nouveau du classique Hex mais joué ici à quatre joueurs par équipes de deux. Les deux joueurs d'une équipe obtiennent le même score.

Les organisateurs ont interrompu le match d'Ary au vingtième coup puis l'ont relancé depuis le début. Cela signifie en général qu'un joueur a raté le message initial contenant la description du jeu ce qui l'empêche ensuite complètement de jouer dans le match⁷ mais ici il s'agissait sans doute de s'assurer que la composition des équipes respectait un certain équilibre dans la force des joueurs.

Résultats :

Alloy + July Player vs. Flux Player + Nobody	100 0
Gamer + Magician vs. Ary + Knower	100 0
Cadia Player + Le Joueur vs. Mini Player + Turbo Turtle	100 0

Dans ce jeu à quatre joueurs les résultats de chaque équipe rendent compte non seulement du niveau du programme mais également de celui de son équipier ainsi que de leur capacité à coopérer.

Ary faisait équipe avec un programme qui semblait jouer au hasard alors que l'équipier de Gamer jouait systématiquement le premier coup légal (ce qui signifie en général que le Game Master joue à la place d'un joueur défaillant).

7. Le protocole de communication pour l'organisation des matchs présente le grand avantage de la simplicité; cependant son caractère synchrone complique les affaires en cas de problème de communication : quand un joueur rate un message du Game Master il n'y a pas moyen de le synchroniser de nouveau. De même la détection d'un coup envoyé trop tard ne peut se faire qu'en comparant l'écho du coup signalé par le Game Master avec le coup choisi et le joueur ne dispose d'aucune information supplémentaire sur sa situation vis à vis de l'horloge pour le coup suivant. Finalement, la nécessité de maintenir une liaison TCP ouverte pendant chaque période de réflexion complique l'utilisation de très longs temps de réflexion sur les réseaux instables comme le sont parfois ceux déployés dans les conférences où les compétitions se tiennent en général.

3.3.13 Jeu à deux joueurs : Nine Boards Tic Tac Toe

Lors de la finale, les organisateurs ont également utilisé le jeu de Nine Boards Tic Tac Toe. Usuellement, ce jeu se joue sur 9 damiers de Tic Tac Toe disposés sur une grille 3×3 . Un joueur joue dans une grille et son coup détermine la grille dans laquelle l'adversaire jouera au coup suivant ; par exemple si on joue dans la case centrale de la grille, l'adversaire doit répondre dans la grille centrale, dans la case de son choix. Le jeu s'arrête dès qu'un joueur réussit à compléter une ligne dans l'une quelconque des grilles.

Le jeu présente l'intérêt qu'avec une extension simple des règles bien connues du Tic Tac Toe, il produit une situation stratégique complètement différente : dans le cours d'une partie, on accumule les menaces de gain qui interdisent de jouer dans certaines cases des autres damiers. Ce jeu a été utilisé plusieurs fois dans les compétitions passées ; Turbo Turtle semble y jouer particulièrement bien ; je crois que l'auteur de ce programme est aussi le concepteur de ce jeu.

Le jeu se joue sur un plateau de la même forme que celui de Multiple Tic Tac Toe, utilisé cette année pour la première fois dans la compétition et présenté dans la section 3.3.8 mais les parties sont très différentes. Le nombre de coups à Multiple Tic Tac Toe est important (81 coups au départ), la partie se joue en vingt coups et de nombreux coups sont presque équivalents (l'effet de tous les coups en dehors du plateau central est simplement d'interdire de rejouer dans la même case ; ils ont tous le même effet du point de vue de la fin de la partie et du score des joueurs) alors qu'à Nine Boards Tic Tac Toe le nombre de coups est du même ordre qu'à Tic Tac Toe (9 coups au départ), la longueur de la partie est bien plus importante et les coups équivalents y sont rares.

La description en GDL utilisée lors de la compétition n'est pas fournie en annexe ; puisqu'Ary n'y a pas joué, elle n'est pas présente dans ses logs.

4 Organisation de la compétition

L'organisation de la compétition GGP est complexe : elle doit bien sur évaluer la performance des programmes participants et désigner un vainqueur mais aussi présenter un intérêt pour le public, en se déroulant sur une période de temps contrainte et en n'employant que les moyens matériels et humains disponibles.

4.1 Tests préalables des joueurs et des descriptions de jeux

Les programmes jouent à des jeux nouveaux dans la compétition : les descriptions employées ne peuvent donc pas être testées largement par un large éventail de joueurs (sinon les jeux ne seraient plus nouveaux). De ce fait la description de certains jeux employés dans la compétition pose des problèmes qui peuvent handicaper certains joueurs⁸. De ce fait les organisateurs sont parfois contraints

8. D'après mon expérience, les deux problèmes les plus fréquents dans les descriptions de jeux sont les situations non terminales dans lesquelles un joueur n'a pas de coup légal et

de modifier le planning ou de corriger les descriptions de jeux en cours de compétition. Il existe des outils qui tentent de vérifier la validité des descriptions de jeux en GDL mais ils présentent des limitations, particulièrement quand les jeux sont complexes.

On pourrait imaginer que les participants à la compétition fournissent au préalable aux organisateurs leurs programmes joueurs dans une version avec des messages d'erreur informatifs pour leur permettre de tester les jeux. Ceci permettrait aux organisateurs d'utiliser certains messages d'erreurs des joueurs pour identifier des problèmes dans les descriptions de jeu et de transmettre les autres aux auteurs des joueurs afin de remédier à certaines déficiences⁹.

4.2 Importance d'une phase préliminaire

Il est important d'avoir une phase préliminaire qui permette aux auteurs des programmes participants de tester leurs joueurs et aux organisateurs de vérifier le fonctionnement de leur serveur dans des conditions moins contraintes celles de la compétition.

Il y avait cette année deux manières de tester les programmes : un serveur ad hoc était utilisable afin de tester les réponses des joueurs aux messages `ping` et `abort` introduits depuis deux ans dans le protocole de communication entre le Game Master et les joueurs ; d'autre part, les auteurs des programmes participants étaient invités à les faire jouer sur le serveur *Tiltyard* du projet *GGPBase*.

Le paramétrage différent des réponses tardives sur le serveur utilisé pour la compétition et sur *Tiltyard* a perturbé le déroulement de la compétition. D'une part les résultats des matchs dans les jeux à plusieurs doivent être pris avec prudence et il est impossible de différencier un joueur mal paramétré pour les réponses tardives d'un joueur incapable de jouer à un jeu. D'autre part, l'organisation d'un second match pour les jeux à un seul joueur où s'étaient produits des timeouts a permis d'obtenir *in fine* un classement raisonnable mais a pris du temps sur le serveur et les joueurs qui aurait été mieux utilisé en organisant de nouveaux matchs pour les jeux à plusieurs joueurs.

Ces inconvénients auraient pu être évités avec la mise en place d'une phase préliminaire de qualification des programmes : si cette phase avait une influence significative mais pas définitive sur le déroulement de la suite de la compétition — par exemple sur le tirage — elle aurait permis d'identifier plus tôt les joueurs qui ne peuvent pas jouer et d'éviter la découverte tardive du paramétrage différent du serveur de la compétition et de celui de *Tiltyard*.

les situations terminales où le score d'un joueur n'est pas défini ou bien est défini plusieurs fois pour des valeurs différentes. On a vu aussi des descriptions utilisant des constructions discutables du GDL, comme l'utilisation de `terminal` ou de `goal` dans la partie droite d'un théorème. Autant que possible, Ary se contente d'afficher un message d'erreur et s'efforce de continuer à jouer quand il est confronté à une description de jeu fautive.

9. Lors de sa première participation à la compétition, Ary n'a pas réussi à jouer à un jeu simplement parce que je n'avais pas anticipé que ++ pouvait apparaître comme identificateur dans la description GDL.

4.3 Les joueurs défaillants

Il arrive qu'un joueur ne réponde pas en temps utile ou communique un coup illégal dans le cours d'une partie. À l'heure actuelle, le Game Master joue un coup à la place du joueur quand cela se produit (alors que dans la plupart des jeux, un coup illégal ou un dépassement d'horloge provoque la défaite du joueur). Le but annoncé lorsque cette règle a été mise en place est que le ou les adversaires du joueur défaillant marquent des points en fonction de leurs capacités et non en fonction des déficiences de leurs adversaires. Il semble que cette année les points remportés étaient crédité au joueur quel que soit le nombre de coup où le Game Master avait joué à sa place¹⁰.

Un problème est que le Game Master joue systématiquement le premier coup disponible, dans l'ordre où les produit un interprète Prolog ou tout autre interprète GDL employant le même algorithme d'unification. Je suis convaincu qu'il serait préférable que le Game Master joue plutôt au hasard.

D'une part, le fait de jouer systématiquement le premier coup disponible peut avoir une influence significative sur le résultat, soit en favorisant un joueur ou un rôle (comme à Hex), soit en forçant ou retardant une fin de de partie et les scores obtenus, notamment dans les jeux collaboratifs. Les jeux où c'est une bonne stratégie de jouer un coup au hasard¹¹ me semblent beaucoup moins fréquents que ceux où le premier coup légal a une influence significative sur le résultat.

D'autre part, on peut s'attendre à ce que des participants au tournoi de GGP utilisent ce choix systématique du premier pour détecter les joueurs remplacés par le Game Master et prédire leurs coups suivants. Ceci améliorerait sans doute les résultats du joueurs mais ne ferait pas progresser significativement le domaine du GGP.¹² Cette détection serait d'autant plus fiable que la reprise de partie par un joueur après une erreur de communication est difficile du fait du protocole de communication employé lors des compétitions (voir note 7).

4.4 Le tirage

Dans les tournois en général, le tirage pose des problèmes difficiles de fiabilité de la méthode employée pour déterminer le gagnant ; le problème est encore plus compliqué pour le General Game Playing parce que les organisateurs doivent également choisir les jeux auxquels les programmes vont jouer et que les jeux à somme non nulle compliquent le classement. Les choses risquent encore de se compliquer l'an prochain si le nombre de compétiteurs connaît une augmentation très importante, ce qui sera probablement une conséquence de l'ouverture cette

10. Lors des premières éditions du tournoi, les points remportés dans une partie n'étaient comptés que si le Game Master n'avait pas joué plus de deux fois à la place du joueur.

11. Lors du tournoi de 2009, c'est le joueur Random utilisé pour la parité qui a marqué le meilleur score dans le jeu à coups simultanés à cinq joueurs utilisé dans la première manche. Il s'agissait d'une variation sur Mediocrity : tous les joueurs choisissaient un nombre entre 1 et 10 ; le joueur qui avait choisi la plus petite valeur unique marquait des points.

12. C'est principalement parce que je pense que la détection des joueurs défaillants ne présente pas un grand intérêt scientifique que je me suis abstenu de l'utiliser dans Ary.

année d'un cours ouvert massif en ligne (*Massive Open Online Course, MOOC*) sur le GGP.

La compétition a pris différentes formes au cours des années : première phase sur un mois avec journées thématiques suivie d'un tournoi en élimination directe (2007 et 2008), poules en deux phases avec pondération par type de jeu (2009), tournoi avec élimination directe (2010), tournoi en double élimination (2011), poule dans une première phase puis élimination directe (2012 et 2013). Chacune de ces organisations présente des inconvénients.

Pour les jeux où les rôles des joueurs ne sont pas symétriques, le tirage des rôles attribués aux joueurs peut avoir une influence importante. Dans les jeux à plus de deux joueurs la situation est encore plus compliquée car l'ordre des joueurs peut avoir une influence sur le résultat. Dans ce type de jeu, il serait souhaitable de faire jouer à chaque joueur au moins une partie de chaque jeu dans chaque rôle.

Dans le cas où le classement n'est calculé qu'avec la somme des gains, il conviendrait de pondérer différemment les scores obtenus dans les jeux collaboratifs. L'utilisation directe du score obtenu diminue l'influence de ces jeux sur le classement ; le score doit être corrigé pour donner à jeux une importance équivalente à celle des jeux à somme nulle dans le classement. Il ne faut pas se contenter de normaliser à 0 et 100 les scores du joueur selon qu'il a obtenu le moins ou le plus de points (ce qui revient à le transformer en jeu à somme nulle) sous peine d'handicaper une stratégie comme *Tit For Tat* dans le *dilemme du prisonnier itéré*. En revanche, on peut faire jouer chaque joueur contre plusieurs adversaires, additionner ses gains, puis effectuer un classement des joueurs et alors attribuer des points en fonction du classement : il s'agit en somme d'organiser un tournoi pour le jeu à somme non nulle dont le résultat donne lieu à l'addtribution de points.

4.5 Une proposition

Dans la section précédente, je propose d'utiliser des mini-tournois pour les jeux à somme non nulle ou à plus de deux joueurs. Les joueurs remportent des points en fonction du classement dans le mini-tournoi. On peut étendre cette méthode aux autres jeux à plusieurs joueurs, voire aux jeux à un seul joueur.

Cette méthode permet de diminuer l'influence du tirage puisqu'un joueur joue plusieurs parties du jeu contre des adversaires différents. Elle permet aussi d'équilibrer l'influence des jeux sur le classement final quelle que soit la structure de leurs gains : un joueur remporte des points en fonction de son classement dans le mini-tournoi (qui reflète, au moins en principe, sa force à ce jeu), quelle que soit la manière dont les joueurs sont rétribués.

Le nombre de matchs dans un mini-tournoi doit probablement être de l'ordre de la demi-douzaine par joueur pour obtenir un classement à peu près fiable. Ceci ne semble pas incompatible avec un déroulement sur un ou deux jours si on utilise des parties rapides comme cette année.

La phase finale pourra se dérouler en élimination directe (ou en double élimination) pour préserver son aspect spectaculaire susceptible d'attirer l'intérêt

du public.

Remerciements

Je remercie les organisateurs du tournoi de leurs efforts pour qu'il se déroule dans des conditions correctes ainsi que les autres participants grâce auxquels le tournoi peut se tenir. La plupart des moyens utilisés par Ary ont été fournis par le LIASD que je remercie également. Jean-Noël Vittaut, l'auteur de Le Joueur et membre du LIASD, a supervisé sur place la participation d'Ary au tournoi et Ary a bénéficié de nos nombreuses discussions sur le sujet. Abdallah Saffidine m'a apporté une aide précieuse pour le commentaire de la partie de Hex. Merci également à Vincent Boyer et à Aline Hufschmidt dont les critiques constructives m'ont permis d'améliorer cette présentation.

Références

- [1] Michael Genesereth. General game playing : Game description language specification, 2006.
- [2] Jean Méhat and Tristan Cazenave. Ary, a general game playing program. In *13th board game studies colloquium*, pages 168–170, 2010.
- [3] Michael Thielscher. A general game description language for incomplete information games. In *Proceedings of the Twenty-fourth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2010)*, pages 994–999, 2010.
- [4] Michael Thielscher. The general game playing description language is universal. In *Proceedings of the Twenty-Second international joint conference on Artificial Intelligence-Volume Volume Two*, pages 1107–1112. AAAI Press, 2011.

Annexe

Cette section contient les descriptions de jeu telle que Ary les a reçues, remises en forme et parfois commentées par mes soins.