

Veille Technologique

Programmes d'échecs

17 OCTOBRE

IA03

Vivien Leclercq

Sabri Makhlouti

Rayan Ben Zrig



Introduction

Dans le cadre de l'UV IA03, il nous a été demandé de réaliser une veille technologique sur un sujet de notre choix. Après un temps de concertation, nous avons décidé d'étudier les différents programmes d'échecs.

Les échecs sont un jeu de société qui a été introduit au Xe siècle par les Arabes bien qu'on ignore l'origine exacte de sa création. Le jeu d'échecs est un des jeux de réflexion les plus populaires au monde. Cela est en partie lié à des séries qui ont fait l'objet de succès populaires comme *Le jeu de la dame* sur Netflix.

Nous verrons dans cette veille technologique que les programmes d'échecs ont beaucoup évolué avec le temps et sont devenus de plus en plus performants. Il s'agit également d'un des champs de bataille entre l'Homme et la machine. D'ailleurs, de nos jours, la machine a déjà surpassé l'Homme dans les programmes d'échecs et nous verrons comment.

Contexte

Nous avons décidé de prendre exemple sur l'application et le site web Chess.com. En effet, nous imaginons dans cette veille technologique être des membres de cette entreprise. Chess.com est un jeu mobile et sur navigateur où des joueurs peuvent s'affronter ou jouer contre une intelligence artificielle. De plus en plus de bons joueurs progressent sur cette application, le niveau global des joueurs ne cessent de progresser. Dans ce cadre, il est important pour notre entreprise de proposer aux joueurs une intelligence artificielle de plus en plus performante afin de proposer aux joueurs une expérience de jeu plus intéressante et ainsi ne pas les voir fuir chez nos concurrents. Nous nous devons alors d'explorer les différentes manières de réaliser un programme d'échecs.

Table des matières

Introduction	2
Contexte	2
Les échecs.....	5
Présentation du jeu	5
Le plateau	5
Les pièces.....	6
Qui commence ?	10
Echec et mat, PAT et égalité	11
Temps de jeu.....	11
Système de classement des joueurs.....	13
Classement Elo	13
Niveau moyen des joueurs	15
Niveau des meilleurs joueurs/programmes.....	16
Règles avancées des échecs	16
La valeur des pièces	16
La position	18
Déroulement d'une partie.....	19
Premiers programmes d'échecs	22
Genèse d'une prouesse technique	22
Les premiers essais	22
Algorithme MinMax.....	23
Elagage alpha-bêta	24
Jeu d'échecs électroniques.....	25
Exemples de programmes existants	25
Les supercalculateurs.....	27
L'ère des supercalculateurs.....	27
Deep Blue	27
Stockfish	29

Exemples de supercalculateurs	29
L'apprentissage profond	31
Pourquoi utiliser cette technique ?	31
Fonctionnement des programmes d'échecs se basant sur l'apprentissage profond	32
De l'apprentissage supervisé à l'apprentissage par renforcement.....	34
Les avantages de l'apprentissage profond.....	35
Conclusion	38
Sitographie	39

Les échecs

Présentation du jeu

Avant de vous présenter comment fonctionne les différents programmes d'échecs, il est bon de vous rappeler quelques concepts de bases sur les échecs. Il s'agit d'une réelle introduction étant donné qu'il existe de nombreux livres sur les échecs et que les joueurs les plus expérimentés mettent des années à exploiter au maximum toutes ces règles.

Le plateau

Le jeu d'échecs est un jeu de société qui oppose deux joueurs. Ce jeu se joue sur un plateau carré composé de 64 (8x8) cases dont la moitié sont blanches et l'autre moitié sont noires. Les joueurs disposent également chacun d'un jeu de 16 pièces (blanches ou noires) qu'ils bougent chacun à leur tour en commençant par le joueur ayant les pions blancs.

Une spécificité de l'échiquier est le fait que les cases sont nommées selon deux variables. Les colonnes de l'échiquier sont représentées par une lettre allant de A à H alors que les lignes sont représentées par des numéros allant de 1 à 8. Ainsi les cases A5, H7, B4, C3... existent.

Le fait que les cases des échecs soient nommées aux échecs est fondamental puisqu'il permet une abstraction de l'échiquier en lui-même. En effet, la numérotation aux échecs permet aux aveugles entraînés de pouvoir réaliser des parties et certains joueurs très expérimentés jouent des parties dites à l'aveugle où ils projettent les positions des pièces sur un échiquier mental. De la même manière, cela permet aux programmes d'échecs d'adopter la même représentation abstraite du plateau d'échecs beaucoup plus facilement.

Enfin, cette numérotation des cases possède un avantage supplémentaire : celui de pouvoir noter les coups. Les premiers systèmes de notation utilisaient de longs récits pour décrire chaque mouvement ; ceux-ci ont évolué progressivement vers des systèmes de notation compacts. Actuellement, la notation algébrique est la norme acceptée et est largement utilisée. Il existe tout de même des variantes de notation selon les programmes informatiques et les usages. Cette notation a un avantage car elle permet de pouvoir rejouer des parties à partir d'une suite de phrase de manière univoque. Ainsi un bon joueur, peut rejouer des parties à partir d'une suite de caractères alphanumériques.



Echiquier au début d'une partie (Source : Chess.com)

Les pièces

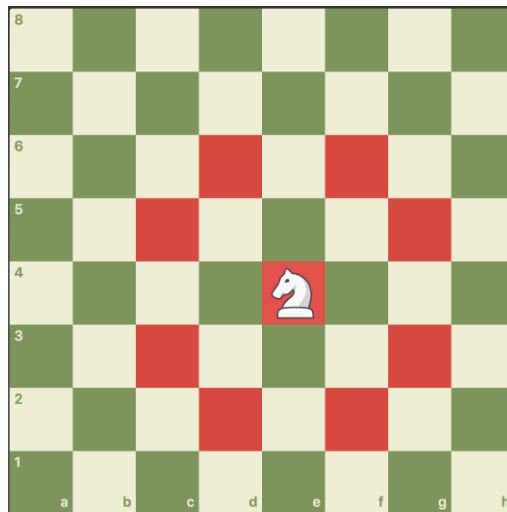
Chaque joueur possède 8 pions deux tours, deux cavaliers, deux fous, un roi et une dame et chaque type de pièce se déplace différemment.

Le pion peut avancer seulement sur une case vide juste devant lui sauf lors de son premier déplacement dans la partie auquel cas il peut se déplacer de deux cases en avant. Il peut également se déplacer d'une case en diagonale en avant si une pièce adverse s'y trouve afin de l'éliminer.



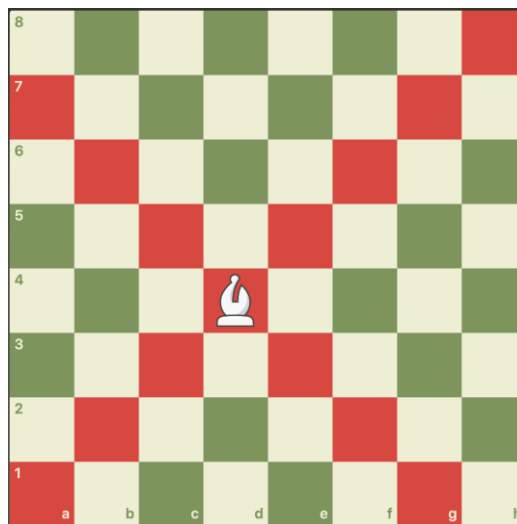
Exemple de déplacement d'un pion (Source : Chess.com)

Le cavalier peut se déplacer en formant un L de deux cases par une et il n'est pas intercepté par les autres pièces. Il élimine également une pièce si celle-ci se trouve sur sa case d'arrivée.



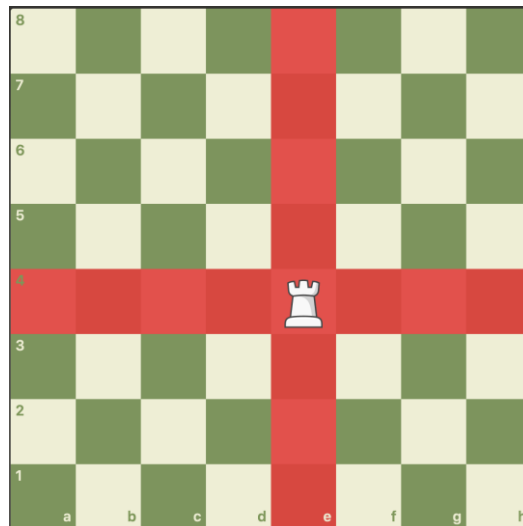
Exemple de déplacement d'un cavalier (Source : Chess.com)

Le fou se déplace en diagonale sur autant de cases qu'il le souhaite à la fois.



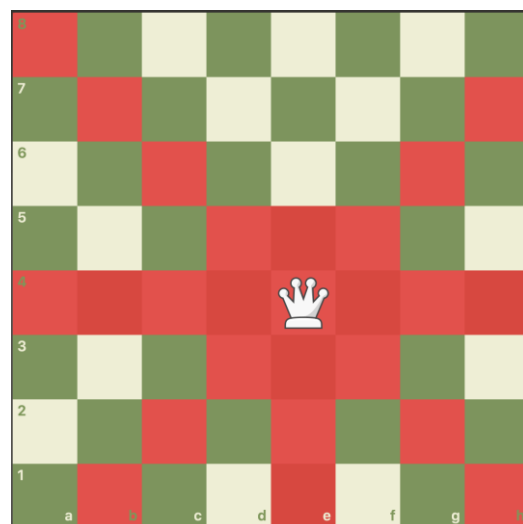
Exemple de déplacement d'un fou (Source : Chess.com)

La tour peut se déplacer en ligne droite en avant en arrière et sur les côtés.



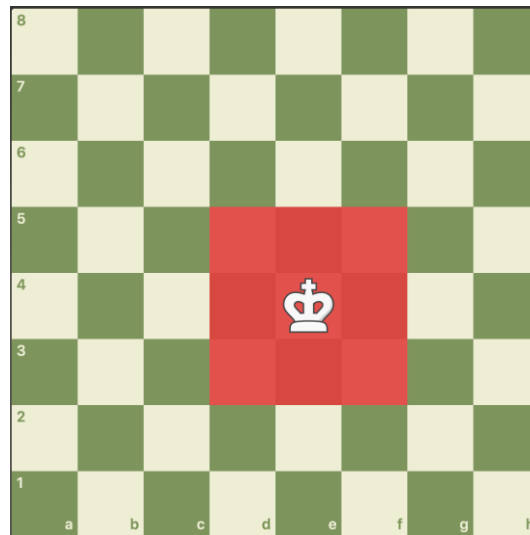
Exemple de déplacement d'une tour (Source : Chess.com)

La dame peut faire les déplacements du fou et de la tour.



Exemple de déplacement d'une tour (Source : Chess.com)

Enfin, le roi peut se déplacer en avant en arrière sur les côtés et sur les diagonales mais seulement d'une distance d'une case à la fois. De plus, le roi ne peut pas se déplacer sur une case qui laisserait à l'adversaire la possibilité de l'éliminer au tour suivant.



Exemple de déplacement d'un roi (Source : Chess.com)

Il existe un autre moyen de déplacer ses pièces que celles énoncées ci-dessus. Le roque est une règle qui permet aux joueurs de déplacer horizontalement le roi, sans qu'il ait encore bougé durant la partie.



Exemple de possibilité de grand roque et de petit roque chez les blancs (Source : Chess.com)

Enfin les pions peuvent également se déplacer par un moyen appelé la prise en passant. Lorsqu'un pion se trouve sur la cinquième rangée et que l'adversaire avance de deux cases un pion d'une colonne voisine (les deux pions se retrouvent alors côte-à-côte sur la même rangée), le premier pion peut prendre le second. Pour effectuer la prise en passant, le joueur avance son pion en diagonale sur la sixième rangée et la colonne du pion adverse, et ôte ce dernier de l'échiquier.



Exemple de possibilité de prise en passant (Source : Chess.com)

On dit que le roi est mis en échec lorsqu'un des joueurs voit son roi menacé d'être éliminé au prochain tour. Dans cette situation, le joueur est forcé de protéger son roi et tout coup ne résolvant pas ce problème est interdit.

Qui commence ?

Aux échecs, c'est toujours le joueur qui joue les blancs qui commence. Cela peut sembler anodin, surtout à bas niveau mais c'est en fait d'une importance capitale. En effet, puisque ce sont les blancs qui commencent, ce sont eux qui ont en permanence un coup d'avance sur leur adversaire. C'est aussi eux qui sont chargés de mener l'attaque alors que les noirs ont tendance à jouer de manière plus défensive.

De ce fait, il est courant pour les joueurs de haut niveau de considérer avoir un avantage sur son adversaire lorsque l'on joue les blancs. Cet avantage n'est réel que si le joueur jouant les blancs est capable de mener une attaque. Certains joueurs sont réputés plus forts en jouant les blancs qu'en jouant les noirs et inversement, selon le fait que le joueur ait un style de jeu défensif ou offensif.

Du fait de la non neutralité de la couleur des pions que joue un joueur, il peut arriver de devoir réaliser plusieurs parties pour départager deux joueurs. En effet, le fait d'alterner les couleurs peut permettre de voir émerger une réelle différence de niveau entre deux joueurs. En pratique, pour des programmes d'échecs, ces derniers sont souvent départagés lorsqu'ils jouent une centaine de parties l'un contre l'autre. Cela permet de ne pas biaiser le résultat et d'établir une moyenne de victoire. Chez, les

humains, il est bien souvent impossible de réaliser plusieurs parties pour départager deux adversaires. De ce fait, un tirage au sort a lieu en début de partie pour déterminer la couleur des joueurs.

Echec et mat, PAT et égalité

Contrairement à de nombreux jeux, l'issue d'une partie d'échecs n'est pas binaire. En effet, il y a trois manières de terminer une partie d'échecs.

La première manière est la plus connue. Il s'agit de l'échec et mat. C'est une situation dans laquelle un roi est menacé d'être éliminé au prochain tour (le roi est en échec) et il n'existe aucune parade pour l'éviter. De ce fait le roi est obligé d'être pris et la partie s'achève.

La deuxième manière concerne l'égalité ou match nul. En effet, il n'y a pas forcément de gagnant aux échecs. Le match nul peut être décrété si les deux joueurs s'entendent pour déclarer le match nul ou bien selon certaines règles. Par exemple, si trois mouvements répétitifs ont lieu successivement sur l'échiquier ou bien s'il ne reste que deux rois sur l'échiquier.

La dernière manière est celle du PAT. Il s'agit en réalité d'un moyen pour le joueur mener d'obtenir une égalité plutôt qu'une défaite. Le PAT a lieu lorsqu'un joueur ne peut plus bouger de pièces. Techniquement, cela a lieu lorsqu'il ne reste qu'un roi et que le roi ne peut plus se déplacer sans se mettre en échec, sans que le roi soit en échec. Le roi n'a plus de manière légale de se déplacer, il s'agit d'un PAT. En pratique, le PAT est l'outil qui permet aux bons joueurs de transformer une défaite en un match nul.

Temps de jeu

Nous venons de voir les règles de base des échecs. Il reste cependant un aspect important à présenter aux échecs : le temps de jeu. En effet, il existe plusieurs manières de jouer aux échecs en fonction du temps de réflexion qui est donné à chaque joueur.

La cadence fait référence au temps que chaque joueur reçoit pour terminer la partie. Elles peuvent varier en complexité en fonction du contexte ou de l'envie des protagonistes. Sur Chess.com, les cadences les plus à la mode sont les plus basiques, elles sont affichées dans un format "X|Y", le premier chiffre faisant référence aux minutes

dont dispose un joueur et le deuxième à l'incrément en seconde, soit le rajout de temps dont bénéficie chaque joueur à chaque coup.

Lors de match important avec des joueurs de haut niveau, la cadence peut être la suivante : 120 minutes pour les 40 premiers coups, suivies de 60 minutes pour les 20 coups suivants et enfin 15 minutes pour le reste de la partie, avec un incrément de 30 secondes par coup à partir du 61ème coup (exemple de cadence aux championnats du monde d'échecs).

Les cadences rapides sur Chess.com sont tous les contrôles de temps qui dépassent dix minutes par joueur. La cadence rapide la plus populaire demeure le 15|10, bien que de nombreuses personnes jouent en 30|0 et même 60|0. Bien d'autres cadences rapides peuvent être créées sur Chess.com en utilisant l'option personnalisée. Les cadences rapides sont comprises entre 10 et 60 minutes et peuvent être personnalisées.

Ensuite, concernant les parties de type Blitz. On parle de blitz sur Chess.com quand les joueurs ont entre trois et dix minutes chacun. Il s'agit du format le plus populaire, avec plus de deux millions de parties jouées par jour ! Les contrôles de temps les plus standards pour le blitz sont le 3|0 et le 3|2, mais le 5|0 et le 5|5 sont également très utilisés. Vous pouvez créer des cadences personnalisées pour le blitz comme pour n'importe quelle autre cadence. Celle du Championnat du Monde de blitz FIDE est de 3|2.

Enfin, il existe le Bullet. Le bullet sur Chess.com se réfère à toute cadence plus rapide que trois minutes par joueur. Il s'agit du format le plus rapide et qui arrive second en popularité sur Chess.com avec plus d'un demi-million de parties jouées par jour. Les cadences les plus fréquentes pour le bullet sont le 1|0 et le 2|1, bien que de nombreux joueurs dégoupillent en 30 secondes K.O !

Le choix de la cadence est important car il conditionne la manière de jouer en échecs. Les parties ayant des cadences plus longues vont avoir tendance à adopter des mouvements très réfléchis et calculer alors que les parties ayant une cadence plus courte vont avoir des mouvements beaucoup plus instinctifs.

Ainsi, il est clair qu'un programme d'échecs ne fonctionnera pas de la même manière pour une partie à cadence élevée que pour une partie à cadence faible. Lors de cadences élevées, ce dernier aura besoin de calculer ses coups à l'avance et de se projeter dans la partie alors qu'en cas de cadences faibles le programme pourra se contenter de donner le meilleur coup possible sans se projeter dans la partie.

Système de classement des joueurs

La notion de classement, d'Elo est une notion très importante dans les échecs. C'est ce qui permet plus ou moins de définir le niveau d'un joueur. Cela permet par exemple aux serveurs de faire affronter 2 personnes d'un niveau similaire dans les parties en ligne. La fédération internationale des échecs (FIDE) publie tous les mois le classement des meilleur joueurs mondiaux en utilisant le système Elo.

Classement Elo

Le système d'évaluation Elo est utilisé dans les jeux d'un contre un principalement dans les échecs. On retrouve un système similaire dans le classement FIFA qui classe les meilleures équipes nationales de football ou encore dans le classement ATP de tennis. Le système de classement Elo attribue un nombre de points à un joueur. Pour chaque victoire, il prend des points Elo en fonction du nombre de points Elo de l'adversaire affrontée. Le raisonnement est le même pour chaque défaite concédée.

A l'aide de la différence d'Elo entre 2 joueurs on peut attribuer une probabilité de victoire et défaites aux joueurs.

L'idée du classement Elo est de convertir à l'aide d'une fonction, la probabilité de gain d'un joueur contre un autre en une valeur qui représente l'écart de niveau entre les deux joueurs. Grâce à cette valeur (classement Elo) il devient possible de classer l'ensemble des joueurs, y compris ceux qui ne se sont pas rencontrés.

La table de conversion² suivante est la fonction $E(p)$ utilisée dans le classement Elo, qui prend en entrée la probabilité $p = P(A / C)$ de gain de A contre C, et renvoie en sortie un nombre, l'écart de classement Elo entre ces deux joueurs.

P (A/C)	E(p)		P (A/C)	E(p)		P (A/C)	E(p)		P (A/C)	E(p)
99 %	677		79 %	230		59 %	65		39 %	-251
98 %	589		78 %	220		58 %	57		38 %	-262
97 %	538		77 %	211		57 %	50		37 %	-273
96 %	501		76 %	202		56 %	43		36 %	-284
95 %	470		75 %	193		55 %	36		35 %	-296
94 %	444		74 %	184		54 %	29		34 %	-309
93 %	422		73 %	175		53 %	21		33 %	-322
92 %	401		72 %	166		52 %	14		32 %	-336
91 %	383		71 %	158		51 %	7		31 %	-351
90 %	366		70 %	149		50 %	0		30 %	-366
89 %	351		69 %	141		49 %	-7		29 %	-383
88 %	336		68 %	133		48 %	-14		28 %	-401
87 %	322		67 %	125		47 %	-21		27 %	-422
86 %	309		66 %	117		46 %	-29		26 %	-444
85 %	296		65 %	110		45 %	-36		25 %	-470
84 %	284		64 %	102		44 %	-43		24 %	-501
83 %	273		63 %	95		43 %	-50		23 %	-538
82 %	262		62 %	87		42 %	-57		22 %	-589
81 %	251		61 %	80		41 %	-65		21 %	-677
80 %	240		60 %	72		40 %	-72		20 %	-240

Table de conversion entre probabilité de gain et écart entre classements Elo (source Europe Echecs n° 495 de décembre 2000, p. 70)

Un exemple sur la manière de lire le tableau est le suivant : si A a 296 points de plus sur le classement Elo que B, alors A a 85% de chance de battre B. On retrouve également que cette probabilité vaut 50% si l'écart est nul.

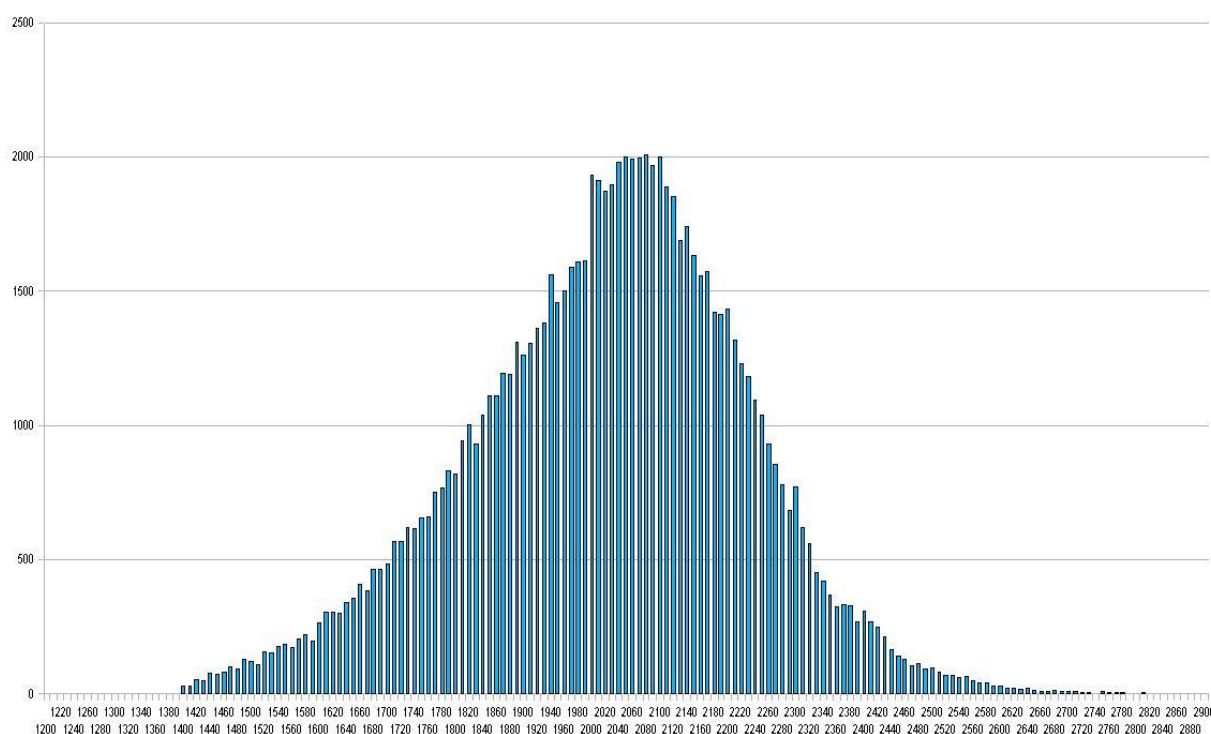
Aux échecs la fonction suivante est utilisée pour calculer le nouveau classement Elo d'un joueur : $E_{n+1} = E_n + K \times (W - p(D))$.

- E_{n+1} représente le nouveau classement Elo

- En représente la valeur du classement Elo
- K est le coefficient de développement. Il vaut 40 pour les 30 premières parties, 20 si le joueur est en-dessous de 2 400 points Elo, 10 sinon.
- W est l'issue de la partie : 1 pour une victoire, 0.5 pour un match nul et 0 pour une défaite.
- $p(D)$ est la probabilité de gain en fonction de la différence de points Elo D .

Niveau moyen des joueurs

Le classement Elo démarre à 1000 points. L'Elo moyen en France est de 1580. 2000 points d'Elo correspondent à un bon joueur régional. A partir de 2400 d'Elo on retrouve des maîtres d'échecs. Attention, sur certaines grosses plateformes comme Chess.com le classement Elo diffère un peu et démarre par exemple à 500.



Nombre de classés FIDE par tranche de 10 points Elo (juillet 2009).

Cette figure représente le classement Elo des différents joueurs classés par la FIDE (Fédération internationale des échecs). On remarque que la distribution ressemble à une courbe en cloche et semble suivre une courbe normale. Le niveau médian est autour de 2030. Il s'agit du niveau d'un bon joueur national.

Niveau des meilleurs joueurs/programmes

Il est intéressant de se demander quel peut être le niveau des meilleurs joueurs aux échecs. Ce qui est important de comprendre ici, c'est qu'il faut différencier le niveau des programmes d'échecs (des machines) de celui des humains car il existe un écart immense de niveau entre les deux, les machines étant de plus en plus performantes.

Au moment de la rédaction de cet article l'humain ayant le classement Elo le plus élevé est Magnus Carlsen avec 2882 points Elo suivi de près par Garry Kasparov avec 2851 points Elo et Fabiano Caruana avec 2844 points Elo. Les meilleurs joueurs peuvent s'affronter lors de grandes compétitions internationales comme les championnats du monde par exemple.

En ce qui concerne les machines, Stockfish (version 14) est le meilleur programme d'échecs avec un classement de 3529 points Elo, suivi de près par Leela Chess Zero et ses 3496 points Elo ainsi que Komodo 3482 points Elo. Il est également courant de faire s'affronter plusieurs algorithmes d'échecs entre eux au cours de compétitions afin de déterminer lequel est le meilleur comme lors du championnat du monde d'échecs des ordinateurs.

Il est important de noter qu'il n'existe plus de concours faisant s'affronter des humains et des machines. Cela est dû au fait que les machines sont devenues beaucoup plus performantes que les humains et que les humains n'ont pas envie de se faire humilier face aux machines.

Règles avancées des échecs

En plus des règles de base que nous avons vu plus haut dans ce rapport, il existe des concepts avancés fondamentaux que tout joueur expérimenté qui se respecte doit connaître pour améliorer son niveau de jeu. Nous vous présentons ici quelques concepts clés qu'il est important d'appréhender pour mieux aborder la suite.

La valeur des pièces

Nous avons vu plus haut dans ce rapport que le jeu d'échecs était composé de plusieurs pièces. Un concept important du jeu d'échecs est le fait que toutes les pièces n'ont pas la même valeur.

En effet, la valeur de chaque pièce est liée au nombre de cases qu'elle commande d'un point de vue théorique. Il est possible d'estimer cette valeur en rapport avec le champ d'action qu'elle couvre sur l'échiquier. A ce titre, le pion est la pièce la plus faible

du jeu d'échecs, il est classé comme l'unité de base de la puissance. Nous tâchons désormais de tenter de calculer toutes les valeurs des pièces d'échecs par rapport au pion.

Tout d'abord, les cavaliers et les fous ont une même valeur théorique de trois pions. Cependant, le fou peut être amené à avoir une valeur plus importante dans des positions dites "ouvertes" (lorsque peu de pièces encombrent le plateau car le fou ne peut pas traverser les autres pièces) alors que le cavalier a tendance à avoir une valeur plus importante dans les positions dites "fermées" (lorsque beaucoup de pièces sont présentes sur le plateau car le cavalier peut passer par-dessus les autres pièces). Au fur et à mesure que la partie se joue, des échanges de pièces s'effectuent et l'échiquier se vide. De ce fait, la valeur du cavalier décroît alors que la valeur du fou augmente au cours de la partie. La valeur du fou est donc plus importante que celle du cavalier.

Ensuite, en ce qui concerne les tours, ces dernières valent environ 5 pions. Deux tours ont moins de valeur qu'une dame. Une dame vaut 9 pions.

En raison de leur prédominance, les dames et les tours sont appelées « pièces majeures », et les Cavaliers et les Fous « pièces mineures ». Ce qui donne l'échelle des valeurs suivante :

- Pion = 1
- Cavalier = 3
- Fou = 3
- Tour = 5
- Dame = 9

Il est important de noter que ces valeurs ne sont que indicatives et peuvent varier selon les situations. Il s'agit d'un modèle théorique et d'une manière de voir les choses. Néanmoins, ces valeurs permettent d'évaluer si un échange de pièces est favorable ou non et est souvent implémenté dans les algorithmes d'échecs afin d'aider à la prise de décision.

Des valeurs légèrement différentes ont pu être définies par Hans Berliner ancien champion du monde d'échecs par correspondance. Ce dernier a également participé à la programmation de l'ordinateur HiTech. Ces valeurs sont les suivantes :

- Pion = 1.0
- Cavalier = 3.2

-
- Fou = 3.33
 - Tour = 5.1
 - Dame = 8.8

Ces valeurs ont le mérite d'être plus précises et de mieux représenter la réalité mais elles aident également à clarifier quels échanges sont favorables et quels échanges ne le sont pas. Par exemple, contrairement à la représentation que nous avons vue plus haut, dans cette représentation, il n'y a plus d'ambiguïté sur la valeur d'un fou par rapport à celle d'un cavalier (un fou est toujours plus fort qu'un cavalier). De plus, désormais une dame vaut bien moins que trois pièces mineurs (cavalier au fou) et le possesseur d'un fou et d'une tour n'est que peu désavantagé face au possesseur d'une seule tour.

Ainsi, il est clair que la perception que peut avoir un algorithme ou un être humain d'une pièce d'échecs guide le joueur dans ces choix et dans ces options de victoire. De ce fait, plus un algorithme sera capable d'évaluer la valeur des pièces sur le plateau au cours du temps, plus ses chances de victoire seront élevées et meilleure sera la performance de cet algorithme.

La position

Nous venons de voir que la valeur d'une pièce est liée à sa nature, cela est en partie vrai. Cependant, la valeur d'une pièce est également en grande partie liée à sa position sur le plateau.

Chaque pièce de l'échiquier est capable de se déplacer selon des règles que nous avons développées plus haut dans ce rapport. Il est important de comprendre que pour qu'il pièce développe son plein potentiel, cette dernière doit être développée. Le développement des pièces commence au début de la partie et le prolonge dans le temps. Ce qu'il faut comprendre, c'est qu'au début toutes les pièces importantes sont couvertes par les pions et n'exercent aucunes menaces sur les pièces de l'adversaire. Le but est donc de les développer de la manière possible afin qu'elles menacent le plus de cases possibles sur l'échiquier. Ce procédé s'appelle le développement des pièces.

De plus, il existe des positions qui peuvent être inactives voire dangereuses pour certaines pièces. Par exemple, si une tour est couverte par ses propres pions, sa capacité de déplacement est limitée, la menace sur les pièces de l'ennemi est moins présente et si la pièce se fait enfermer cela peut même être dangereux car elle peut finir par se faire prendre.

Il existe un concept important aux échecs qui est le concept de sacrifice. Ce sacrifice a lieu lorsqu'une pièce est volontairement sacrifier à l'adversaire afin de se défaire d'une menace ou afin de garantir une position avantageuse sur l'ennemi. Lorsqu'un joueur est expérimenté, il peut être souvent contraint de sacrifier des pièces majeures afin de conserver la position sur son adversaire. La plupart des joueurs débutants évaluent mal la valeur de cette position qui est fondamental dans les échecs.

En plus de ce que nous avons vu, il existe tout de même une position qu'il est important de contrôler aux échecs : le centre de l'échiquier. Il s'agit de la position la plus importante car elle permet de couvrir le développement de ses propres pièces mais aussi de limiter les capacités de développement de l'adversaire.

Déroulement d'une partie

Nous avons à présent une bonne idée des règles qui composent les échecs et des manières de remporter une partie. Cependant, il est important d'apporter une structure au déroulement d'une partie d'échecs.

Chaque partie d'échecs est structurée de la même manière : ouverture de la partie, milieu de la partie et la finale.

Tout d'abord, l'ouverture de la partie est la première phase d'une partie d'échec. Elle commence au moment où le joueur blanc joue sa première pièce et se termine lorsque les pièces sont développées et que les rois sont en sécurité. Ensuite, le milieu de la partie suit l'ouverture. Il a pour but de renforcer la position de chaque joueur en prenant ou en échangeant des pièces à son adversaire. Bien souvent le milieu de la partie s'échange lors de l'échange des dames. Enfin, la finale commence lorsque le danger du mat est suffisamment faible pour que les rois puissent sortir de leur retraite. Il est difficile de lui fixer des limites précises, et certaines parties ne connaissent pas cette dernière phase, car elles s'interrompent plus tôt. Ces différentes phases ne sont pas clairement délimitées dans la réalité, elles constituent un outil théorique pour aborder les échecs.

Dans cette sous-partie nous nous intéressons à l'importance de l'ouverture dans une partie d'échecs. Cette étape est primordiale car elle conditionne le milieu et la fin de la partie.

Une différence importante entre un débutant et un joueur expérimenté aux échecs et la manière qu'il a de réaliser ses ouvertures. Il existe de nombreuses manières pour commencer une partie. Il est important pour un joueur d'échecs expérimenté de connaître un bon nombre de ces ouvertures car cela conditionne entièrement le reste de la partie. Une ouverture mal maîtrisée peut être catastrophique pour la suite de la partie.

A savoir que la manière d'ouvrir dépend de qui commence de la manière qu'à de répondre le joueur adverse à chacun des coups qui sont joués. De ce fait, le monde des ouvertures est un domaine complexe où les ouvertures elles-mêmes possèdent des variantes : ouvertes ou fermées par exemple.

Pour vous donner un ordre d'idée de ce que sont les ouvertures, voici quelques exemples d'ouvertures les plus connues aux échecs :

Une grande partie des ouvertures commence lorsque le joueur blanc joue son premier pion en e4.



Défense sicilienne



Ruy Lopez



Partie italienne

D'autres concernent les parties où le premier joueur joue son pion en e4.



Gambit dame

Enfin, il existe d'autres types d'ouvertures moins courant.



Ouverture Catalane

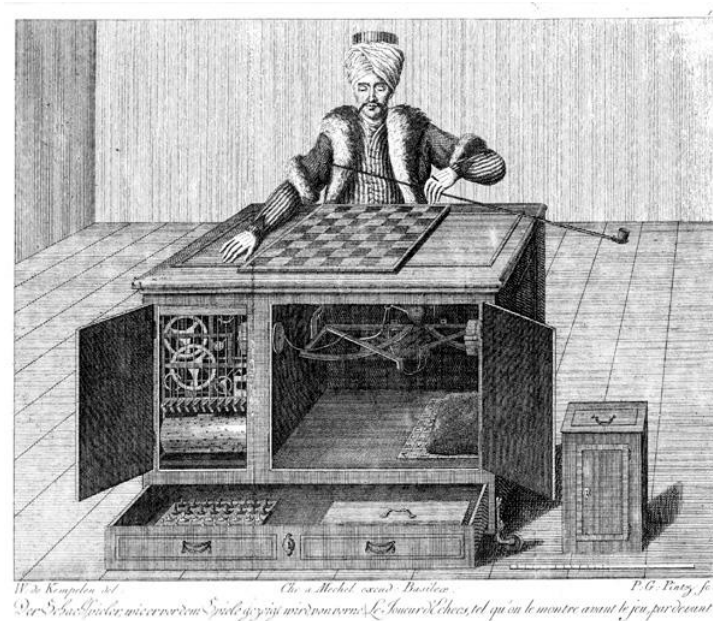
Premiers programmes d'échecs

Genèse d'une prouesse technique

L'Histoire des programmes d'échecs est née bien avant l'électronique et l'informatique. La première invention fut le Turc Mécanique inventé en 1769 par Johann Wolfgang von Kempelen. Il s'agissait d'un prétendu automate capable de jouer aux échecs. Ce dernier a joué et gagné contre de nombreux souverains en Europe tels que Napoléon Bonaparte, Catherine II de Russie et Benjamin Franklin.

Il s'agissait en réalité de l'un des plus grands canulars de l'Histoire car le Turc Mécanique était en fait un mécanisme dans lequel une personne suffisamment petite pouvait entrer afin d'actionner le mécanisme et de jouer une partie d'échecs. Il ne s'agissait en réalité pas d'une invention majeure mais bel et bien un canular.

Cependant, cela reflète tout de même l'envie qu'a eu l'être humain au cours de l'Histoire de créer des programmes d'échecs capables de le défier lui-même.



Gravure sur cuivre du Turc mécanique (W. de Kempelen et J. G. Pintz)

Les premiers essais

Le premier algorithme capable de réaliser une partie d'échecs a été écrit en 1948 par Alan Turing sur papier alors que celui-ci n'avait même d'ordinateur. Il s'agit d'un programme utilisant des méthodes d'évaluations et des concepts de sélectivité. Cependant, il ne se s'agit pas d'un programme utilisant une méthode exhaustive mais plutôt d'un programme utilisant une méthode heuristique. C'est-à-dire que le

programme ne recherche pas forcément le meilleur coup à jouer avec certitude, il se contente de proposer un coup possible. Ce programme appelé Turochamp a été implémenté en 2012 en hommage à Alan Turing.

Plus tard, les premiers jeux électroniques capables de jouer aux échecs ont fait leur apparition. Il ne s'agissait pas de monstres de puissances mais de programmes légers capables de jouer une partie de bout en bout. Le but à l'époque n'étant pas de dépasser l'être humain mais plutôt d'être capable de jouer tout simplement. Certains programmes utilisaient des bibliothèques d'ouverture. Nous avons vu plus haut dans ce rapport ce que sont les ouvertures. Il s'agissait de banques de données qui indiquait au programme la manière de commencer une partie. Ces données étaient le fruit d'une expertise de joueur d'échecs. Ces programmes se contentaient de reproduire la manière de jouer qu'un expert avait implémenter dans son algorithme. C'est le cas par exemple Mephisto, un ordinateur d'échecs développé dans les années 1980 dont la bibliothèque d'ouverture avait été développé par Ossi Weiner.

Il existe tout de même deux concepts qui sont au cœur des programmes d'échecs de l'époque : l'élagage alpha-bêta et l'algorithme MinMax.

Algorithme MinMax

Avant de commencer, il est fondamental de comprendre qu'une partie d'échecs peut être représentée comme un arbre. En effet, il existe pour un joueur, environ une vingtaine de coups possibles auquel le joueur d'en face peut répondre avec vingt coups possibles et ainsi de suite. Cela peut être vu comme un arbre, chaque branche représente un déplacement. La valeur des nœuds peut être vue comme le score actuel du joueur calculé à partir d'une fonction d'évaluation.

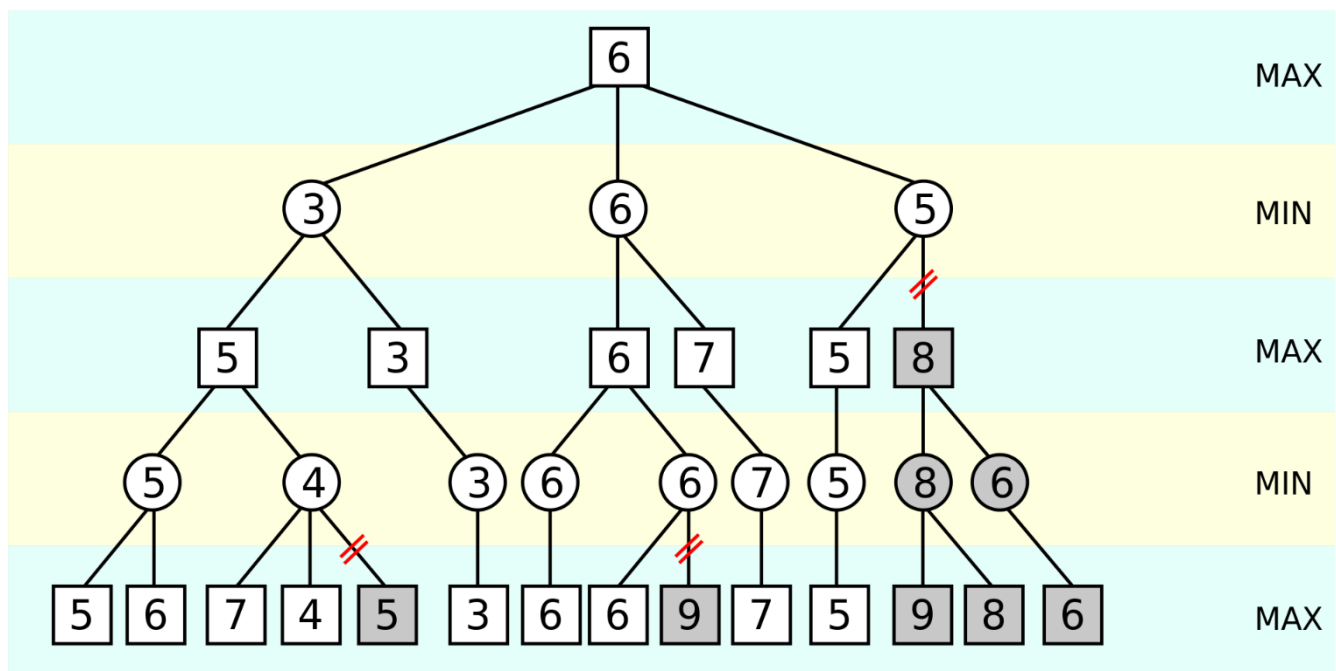
L'algorithme MinMax est un algorithme qui s'applique à la théorie des jeux en général et donc pas seulement aux échecs. Il amène l'ordinateur à passer en revue toutes les possibilités pour un nombre limité de coups et à leur assigner une valeur qui prend en compte les bénéfices pour le joueur et pour son adversaire. Le meilleur choix est alors celui qui minimise les pertes du joueur tout en supposant que l'adversaire cherche au contraire à les maximiser. Il s'agit d'un algorithme permettant de déterminer quelles branches de l'arbres sont les plus avantageuses pour le joueur en question.

Elagage alpha-bêta

Nous venons de voir l'algorithme minmax qui est au cœur des programmes d'échecs. Il est cependant fondamental de réaliser que la taille de l'arbre est en pratique énorme et qu'il est impossible de tout explorer.

Afin de réduire la complexité de l'algorithme MinMax, il existe des techniques comme l'élagage alpha-bêta. Ces techniques permettent de ne pas évaluer certaines branches de l'arbre lorsque ceci est inutile (sous certaines conditions). Cela a pour effet de réduire le nombre de calculs nécessaires et donc de produire des algorithmes plus performants.

Voici un petit exemple pour mieux comprendre l'algorithme MinMax et l'élagage alpha-bêta :



Plusieurs coupures ont pu être réalisées. De gauche à droite :

1. Le nœud MIN vient de mettre à jour sa valeur courante à 4. Celle-ci, qui ne peut que baisser, est déjà inférieure à $\alpha=5$, la valeur actuelle du nœud MAX précédent. Celui-ci cherchant la valeur la plus grande possible, ne la choisira donc de toute façon pas.
2. Le nœud MIN vient de mettre à jour sa valeur courante à 6. Celle-ci, qui ne peut que baisser, est déjà égale à $\alpha=6$, la valeur actuelle du nœud MAX précédent. Celui-ci cherchant une valeur supérieure, il ne mettra de toute façon pas à jour sa valeur que ce nœud vaille 6 ou moins.

-
3. Le nœud MIN vient de mettre à jour sa valeur courante à 5. Celle-ci, qui ne peut que baisser, est déjà inférieure à $\alpha=6$, la valeur actuelle du nœud MAX précédent. Celui-ci cherchant la valeur la plus grande possible, ne la choisira donc de toute façon pas.

Jeu d'échecs électroniques

Un jeu d'échecs électronique ou ordinateur d'échecs est un appareil électronique permettant à son utilisateur de jouer tout seul contre un ordinateur. L'appareil contient un système de calcul lui permettant une autonomie complète. A l'aide de capteurs détectant les positions des pièces, il est capable d'agir en conséquence de la situation. Cet appareil peut s'adresser à tout type de joueurs de débutants à joueurs professionnels grâce à un niveau réglable. Le premier jeu d'échecs électronique date de 1977, Chess Challenger fut également le premier ordinateur à gagné un tournoi d'échecs. A ce moment-là, ces ordinateurs ne rivalisent pas encore avec les plus grands joueurs d'échecs au monde. Le premier ordinateur à atteindre le niveau de « grand maître » est le Deep Thought en 1989. Il affronta même le champion du monde d'échecs M. Garry Kasparov et perdu 2-0. La première alerte pour le champion du monde apparaît en 1994 lorsque le Fritz 3 remporte une partie face Kasparov en format partie rapide.

Aujourd'hui grâce au numérique, nous avons accès à ces jeux d'échecs directement sous forme d'application sur nos téléphones avec notamment notre célèbre application Chess.com. Elle est aujourd'hui utilisée notamment par un grand nombre de joueurs réguliers/débutants mais aussi par les plus grands professionnels. Elle permet à différents joueurs du monde entier de s'affronter en partie réseau sous différents formats.

Exemples de programmes existants

Jeux électroniques :

- Mephisto
- Chess Challenger 7
- Millennium ChessGenius Pro : Elo de la machine supérieur à 2200.
- Lexibook ChessLight : Elo de la machine supérieur à 1800.
- Lexibook CG1300 : Elo de la machine supérieur à 1800.

Logiciels de jeu d'échecs :

- Microchess

-
- Chess Genius
 - GNU Chess
 - Komodo
 - Stockfish
 - Fritz
 - Stockfish

Les versions les plus récentes de ces logiciels utilisent des réseaux neuronaux dont nous allons parler dans la dernière partie de ce rapport. Cependant, avant d'implémenter cette technologie, ils n'utilisaient que les concepts que nous venons de présenter, et cela pendant des dizaines d'années pour certains.

Les supercalculateurs

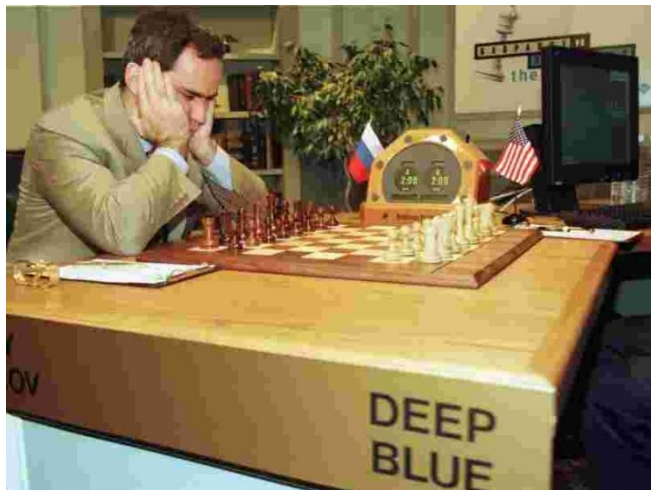
L'ère des supercalculateurs

Nous venons de voir comment fonctionnent les programmes d'échecs les plus basiques. Il ne s'agit en réalité pas de programmes vraiment intelligents ni mêmes créatifs car ils se contentent d'explorer toutes les possibilités de coup avant de choisir le meilleur.

Nous avons également vu qu'il existait des techniques afin d'améliorer cette recherche du meilleur coup à l'aide de l'élagage alpha-bêta par exemple. Il reste tout de même une chose fondamentale : la puissance de la machine. En effet, il est clair que l'approche que nous venons d'énoncer est dépendante de la performance de la machine sur laquelle s'exécute l'algorithme. C'est ainsi qu'une course aux ordinateurs toujours plus performants a été lancée.

Deep Blue

En 1997, le jeu des échecs assiste à une révolution. En effet le champion du monde de l'époque Garry Kasparov est battu pour la première fois par une machine. Celle-ci est conçue par IBM et porte le nom de Deep Blue.



Match retour Deep Blue vs Kasparov (Mai 1997)

Deep Blue est plus particulièrement un super calculateur, en réalité il n'est pas si puissant que cela puisqu'il n'était même pas classé dans le top 250 des meilleurs supercalculateurs lors de sa victoire contre Kasparov. Toutefois, Deep Blue a été optimisé pour faire un type de calcul bien particulier. En effet, les ingénieurs d'IBM ont choisi la méthode suivante pour réussir à produire le meilleur joueur d'échec possible.

Lors de chaque tour, Deep Blue va regarder tous les coups possibles autorisés par les règles des échecs et va, pour chacun de ces coups, évaluer toutes les réponses possibles par l'opposant, puis, pour chacune de ses réponses, évaluer la meilleure parade possible etc.

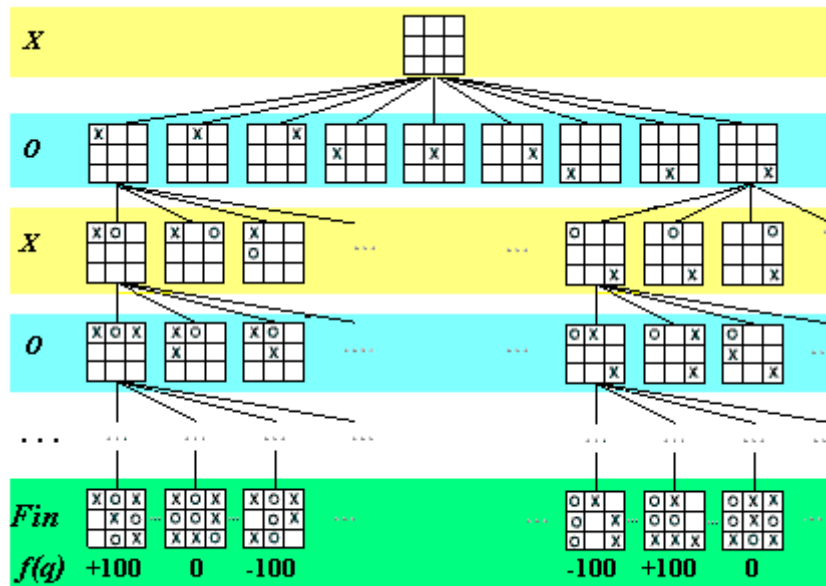


Schéma arbre de décision jeu du morpion

Cette manière de jouer pose deux questions : Comment savoir si un coup est bon ou mauvais ? Combien de coups possible Deep Blue a-t-il besoin de calculer à chaque tour dans le temps imparti pour une partie d'échecs officielle ?

Pour savoir si un coup est bon ou mauvais, l'algorithme conçu par IBM doit fournir ce que l'on appelle une fonction d'évaluation. Cette fonction sera calculée pour chaque issue de l'arbre de décision et donnera en image un score permettant de comparer deux issues.

Pour le cas d'IBM, cette fonction a été pensée par des maîtres d'échecs et prends en paramètres la valeur des pièces lors d'un échange (voir partie 2), la position des pièces après coup (contrôle du centre, degrés de liberté des pièces) ou encore le nombre de coups nécessaires pour un roque (voir partie 2).

La seconde question repose sur la taille du problème des échecs. Le nombre de coups typique joué dans une partie est un problème théorisé par le mathématicien Américain Claude Shannon. Il évalue qu'en moyenne, un joueur a le choix entre environ 30 coups par tour. L'algorithme exécuté par Deep Blue a donc une complexité exponentielle. En effet pour prédire au 6^e coup en avance, Deep Blue doit en moyenne

parcourir 30^{12} alternatives soit environ 10^{17} feuilles de l'arbre de décision). Or, le supercalculateur Deep Blue n'est capable de calculer que 200 millions de coups par seconde (soit environ 10^8). Le temps étant limité pour ce match, il fallait donc trouver une solution à ce problème.

Pour cela les ingénieurs d'IBM ont décidé d'optimiser le super calculateur pour faire ce genre de calculs. En plus d'avoir conçu la machine de manière à calculer le plus rapidement possible la fonction d'évaluation, il a été choisi d'utiliser l'élagage alpha-bêta (voir partie 3) pour parcourir l'arbre et ainsi réduire la complexité de l'algorithme. La machine est en effet capable d'évaluer 200 000 000 de positions par secondes. L'enjeu étant d'évaluer le plus de coup possible pour anticiper le plus de coups à l'avance possible.

Stockfish

Stockfish est un programme d'échecs libre. Il a longtemps été réputé et élu meilleur programme d'échecs du monde.

D'un point de vue technique, Stockfish est un programme pouvant s'exécuter sur n'importe quelle machine. Il est tout de même conçu pour pouvoir fonctionner des machines très performantes. Le programme ressemble beaucoup à ce que nous avons vu précédemment : il implémente l'algorithme MinMax ainsi que l'élagage alpha-bêta. Notons cependant, qu'il est beaucoup plus optimisé que ces prédécesseurs à ces niveaux-là. La puissance de l'algorithme dépend donc également de la machine sur laquelle il s'exécute.

Le programme implémente aussi des tables de finales qui lui permettent de garder en mémoire une documentation des positions les plus fréquentes. Ces tables sont issues de l'expertises de joueurs d'échecs renommés.

Enfin, notons, que nous parlons ici des versions de Stockfish antérieures à 2020 avant que ce dernier ne soit donné de réseaux de neurones dont nous allons expliquer le fonctionnement.

Exemples de supercalculateurs

Voici quelques exemples de supercalculateurs dédiés au jeu d'échecs :

- Deep Blue
- Belle

- Deep Thought
- HiTech
- Cray Blitz
- Hydra
- ChipTest



Ordinateur IBM similaire à Deep Blue (crédits : Wikipédia)

L'apprentissage profond

Pourquoi utiliser cette technique ?

Avant de vous présenter le fonctionnement de l'apprentissage profond (Deep Learning) dans les échecs et les jeux de plateau à joueurs, il est important de vous expliquer comment nous en sommes venus là. En effet, nous avons vu dans la partie précédente que les programmes d'échecs étaient déjà très performants et avaient déjà dépassé l'être humain. Alors à quoi bon faire encore mieux ?

Pour répondre à cette question, il est important de parler du jeu de Go car sans ce dernier les programmes d'échecs se basant sur l'apprentissage profond n'existeraient pas. Le Go est un jeu de plateau à deux joueurs sur lequel chaque joueur dispose tour à tour des pierres respectivement noires et blanches sur un tablier. L'objectif est de contrôler le plan de jeu en y construisant des « territoires ». Les pierres encerclées deviennent des « prisonniers », le gagnant étant le joueur ayant totalisé le plus de territoires et de prisonniers.

Pendant très longtemps le jeu de Go était considéré comme ne pouvant pas être conquis par l'Intelligence Artificielle contrairement aux échecs qui ont déjà été conquis avec Deep Blue. Cela est dû à la taille du plateau de jeu (19x19) et au nombre de possibilités possibles à chaque tour. On parle en effet de 10^{170} configurations légales possibles, d'une taille très approximative de l'arbre des possibilités du jeu est de 10^{600} , et de 361!/100! différentes parties de moins de 260 coups possibles. Tout cela a rendu toute technique de recherche exhaustive (force brute) impossible, l'arbre étant beaucoup trop grand.

Pour preuve, alors que l'ordinateur IBM Deep Blue, que nous avons vu dans la partie précédente, battait les champions du monde d'échecs en 1997, il était incapable de battre un joueur amateur de bas niveaux au jeu de Go. Cependant, le monde de l'Intelligence Artificielle voit en cela un véritable défi.

En octobre 2015 de nouveaux travaux ont été effectués et une nouvelle approche est apportée : il s'agit de l'apprentissage profond (Deep Learning). C'est le programme AlphaGo de la société Deep Mind qui parvient le premier à battre un joueur humain professionnel sans handicap (5-0 en parties lentes et 3-2 en parties rapides). Plus tard, en mars 2016, ce même algorithme parvient à battre Lee Sedol (4-1), un des meilleurs joueurs mondiaux, dans une partie très médiatisée. Ce match très symbolique est considéré comme historique.

En 2017, DeepMind met au point un autre algorithme encore plus performant appelé AlphaGo Zero. Ce dernier n'utilise aucune connaissance humaine et se base uniquement sur les règles du jeu et l'apprentissage profond. En décembre 2017, une version de AlphaGo Zero appelée Alpha Zero reprend le même principe et permet de jouer aux échecs et au shogi à un niveau jamais égalé.

Par la suite, de nombreux programmes (Fine Art, Galaxy...) se sont inspirés d'AlphaGo et battent les meilleurs joueurs du monde. D'autres programmes moins performants comme Katago peuvent tourner sur des ordinateurs personnels et des smartphones et permettent à des joueurs humains de s'entraîner au jeu de go ce qui était impossible avant 2018.

Nous venons de voir pourquoi des programmes très performants comme AlphaGo ont vu le jour. Ainsi, l'existence de programmes utilisant l'apprentissage profond pour les échecs est intimement liée au problème de complexité du jeu de Go. Il est fondamental de comprendre comment Alpha Zero est né car c'est lui qui a bouleversé la manière de concevoir un programme d'échecs. Même des programmes très perfectionnés et longtemps considérés comme puissants comme Stockfish se sont initiés à la pratique de l'apprentissage profond.

Fonctionnement des programmes d'échecs se basant sur l'apprentissage profond

Tout d'abord, il est important de rappeler le but initial des algorithmes de Deep Learning : imiter l'être humain. De ce fait, AlphaGo est d'abord entraîné en observant des parties de joueurs professionnels et en se basant sur la méthode de Monte-Carlo.

La méthode de Monte-Carlo désigne une famille d'algorithmes visant à calculer une valeur numérique approchée en utilisant des éléments de probabilité. Le nom de ces méthodes fait allusion aux jeux de hasard pratiqués au Casino de Monte-Carlo. En effet, nous avons vu plus tôt dans ce rapport qu'il était possible de quantifier la valeur d'une position aux échecs. Même si cela reste parfois complexe et subjectif, il est possible en se basant sur le nombre de pièces sur l'échiquier, les valeurs des pièces (1 point par pion, 5 par tour...), la position relative des pièces entre elles, et en pondérant la valeur trouvée par les libertés d'évaluer la valeur d'une position aux échecs. Un tel procédé est appelé fonction d'évaluation. En revanche, un tel procédé n'est pas possible pour le jeu de Go du fait de l'enchevêtrement et de la complexité des positions locales et du nombre quasi infini de suites de coups possibles. C'est en 2006 que le mathématicien Rémi Coulom a

fait progresser de manière très sensible cette fonction d'évaluation dans le jeu de Go en utilisant la méthode de Monte-Carlo : on joue "au hasard" un grand nombre de fins de parties réalistes à partir de la position "en cours d'évaluation" et on comptabilise la proportion de parties gagnantes/perdantes.

En plus de ces méthodes, les algorithmes se basent sur le Deep Learning, ou apprentissage profond. Il s'agit d'une technique de l'Intelligence Artificielle visant à résoudre un problème, en s'inspirant de la biologie, à l'aide d'un réseau de neurones. Il s'agit d'un réseau dans lequel les neurones, que l'on imite en utilisant un perceptron, sont divisés en plusieurs couches successives. Il existe une couche où entrent les données et une couche de sortie des données qui correspondent à une solution du problème. Les neurones d'une couche sont reliés aux neurones de la couche précédente. Chaque neurone dispose d'une fonction avec laquelle il réalise une sommation des différentes entrées qu'il reçoit. En fonction de cette sommation, le neurone peut être activé ou non et ainsi activé les neurones de la couche suivante ou non. En plus de cela, il existe des poids qui quantifient l'importance d'une liaison entre deux neurones, ces poids sont des variables qu'il convient de modifier.

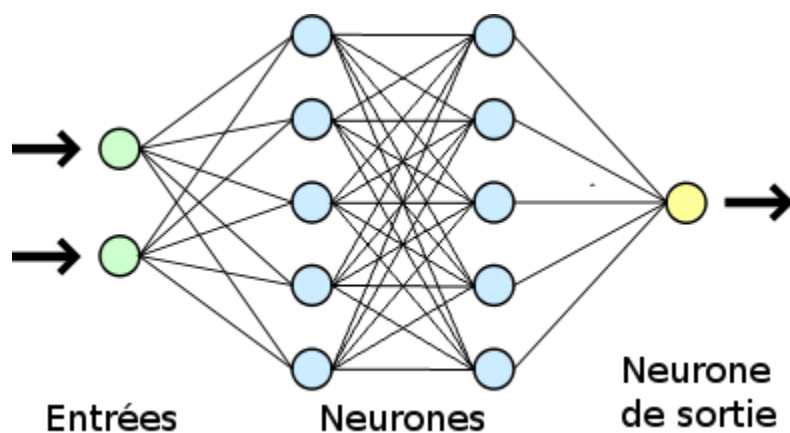
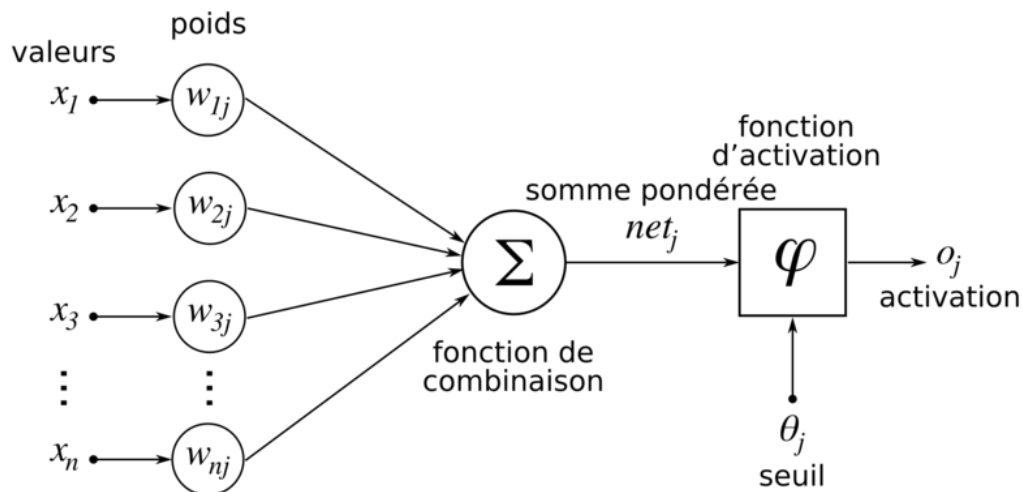


Schéma simplifié d'un réseau de neurones (crédits Juri'Predis)



Architecture d'un réseau neuronal (crédits Juri'Predis)

Le premier algorithme utilisant cette technique, AlphaGo, s'est basé sur une base de données de 120 000 parties de joueurs professionnels de Go, ce qui représente 30 000 000 de coups. Lorsque ces données sont soumises au réseau neuronal, ce dernier ajuste les différents poids présents pour proposer la meilleure solution possible, ce procédé représente l'apprentissage. Plus précisément, AlphaGo est basé sur deux réseaux de neurones distincts : un pour le choix des branches et l'autre pour le choix de la position. La plupart des algorithmes se basant sur l'apprentissage profond font de même.

De l'apprentissage supervisé à l'apprentissage par renforcement

La méthode classique de l'apprentissage machine (Machine Learning) consiste à réaliser un apprentissage supervisé comme c'est le cas pour l'algorithme AlphaGo. Il s'agit de présenter un exemple d'exemple à un algorithme ou un réseau de neurones sur lequel celui-ci va apprendre avant de le confondre à d'autres données pour tester la performance de cet apprentissage. Or, il existe aussi l'approche non supervisée comme pour le programme Alpha Zero. Nous nous intéressons ici à la différence entre ces deux approches.

En effet, nous avons vu le fonctionnement de l'algorithme AlphaGo. Ce dernier est basé sur des données qui reposent sur des parties de joueurs professionnels de Go. AlphaGo adopte une approche qui consiste à imiter le comportement des grands joueurs. Il s'agit de l'apprentissage supervisé. En cela, AlphaGo ne peut pas être considéré comme un algorithme vraiment créatif (même si cela peut être relativiser). D'une manière grossière, on pourrait considérer que la manière qu'à de jouer AlphaGo englobe toutes les manières de jouer des joueurs sur lesquels il est basé. Cette manière de faire est rapide et moins complexe car l'algorithme est guidé. En revanche, elle limite la créativité

de l'algorithme car certaines stratégies ne sont peut-être pas incluses dans l'ensemble d'apprentissage de départ.

C'est ainsi qu'a été abordée la méthode que l'on appelle apprentissage par renforcement avec l'algorithme Alpha Zero. Cette technique consiste à entraîner un algorithme par essais/erreurs en faisant des tentatives successives qui sont plus ou moins récompensés. Dans le cadre du jeu de Go ou des échecs, cela consiste à apprendre les règles du jeu à l'algorithme (rien d'autre) et de le laisser jouer des millions de parties contre lui-même afin de se perfectionner. L'algorithme peut ainsi explorer toutes les possibilités afin de remporter une partie et voir lesquelles fonctionnent le mieux. Alpha Zero s'est ainsi entraîné plus de 140 000 000 de parties pour le jeu de Go contre lui-même en deux semaines. Puis ce nouvel algorithme a été confronté à l'ancien algorithme AlphaGo au cours de 100 parties de Go. Il les a toutes remportées. Pour ce qui est des échecs, Alpha Zero a joué 44 000 000 de parties contre lui-même en neuf heures. Il a ensuite été confronté au meilleur programme d'échecs de l'époque : Stockfish. Alpha Zero a gagné 155 parties, il en a perdu 6 et il y a eu 839 matchs nuls.

Cette approche a ainsi permis à Alpha Zero de redécouvrir toutes les ouvertures des échecs par lui-même. Elle lui a également permis de développer son propre style de jeu qui lui est propre. En effet, Alpha Zero est connu pour réaliser beaucoup de sacrifices et avoir un jeu assez agressif. Il semble attribuer beaucoup plus de valeurs à la position des pièces qu'à leur valeur en elle-même, chose qui est différente chez l'humain car nous avons tendance à sous-évaluer la position au profit de la valeur intrinsèque des pièces.

Pour aller plus loin dans cette sous-partie, nous pouvons parler d'une autre approche de l'apprentissage par renforcement qui consiste à ne même pas apprendre les règles à l'algorithme. Ce dernier doit les découvrir par lui-même. C'est le cas du programme MuZero. Ce dernier est capable d'apprendre lui-même les règles du jeu. Il est utilisé sur d'anciens jeux vidéo de la console Atari 2600. Cette approche est encore plus performante car l'algorithme n'est plus guidé du tout et peut explorer toutes les possibilités.

Les avantages de l'apprentissage profond

Ce qui différencie considérablement les approches entre les algorithmes de Deep Learning et les algorithmes par force-brute est aussi lié à la quantité de positions évaluées. En effet, un algorithme comme Stockfish évalue environ 60 000 000 de positions par seconde alors qu'un algorithme comme Alpha Zero en évalue 60 000 par

seconde, c'est-à-dire 1000 fois moins. Cela n'empêche pas Alpha Zero d'être meilleur que Stockfish comme nous l'avons vu dans la sous-partie précédente. Il est intéressant de se demander comment cela est possible, comment un algorithme qui évalue moins de positions est meilleur ?

Cela est dû aux choix des branches dans l'arbre des possibilités. Un algorithme comme Stockfish teste beaucoup de branches de l'arbre y compris celles qui correspondent à des déplacements qui peuvent être qualifiés de stupides pour tout bon joueur d'échecs. En revanche, un algorithme comme Alpha Zero parvient à sélectionner les meilleures branches possibles ce qui lui permet de réaliser moins de calculs. Par analogie chez les humains, un bon joueur d'échecs lorsqu'il planifie ou envisage des coups, fait complètement abstraction des coups qui pourraient paraître stupide alors qu'un joueur débutant passe beaucoup de temps à évaluer des positions qui sont mauvaises.

Un autre avantage de cette approche est la capacité de réaliser des algorithmes de différents niveaux. En effet, nous avons vu qu'il avait fallu 44 000 000 de parties et 9 heures pour permettre à Alpha Zero de battre son prédécesseur. Il est possible d'imaginer un algorithme ayant réalisé moins de parties contre lui-même. De cette manière, l'algorithme sera moins performant et son niveau pourrait convenir aux usages qui nous concernent.

De plus, il est important de noter que cette approche du problème de programme d'échecs nécessite d'importantes ressources matérielles pour pouvoir fonctionner à son plein potentiel. Effectivement, les algorithmes comme Alpha Zero ont demandé des milliers de processeurs pour pouvoir évoluer à leur plein potentiel. Cependant, cela ne veut pas dire qu'il est impossible d'implémenter des réseaux de neurones sur des appareils moins gourmands comme des ordinateurs personnels ou des smartphones. C'est le cas par exemple du programme d'IA Katago qui permet aux joueurs de Go de s'entraîner sur leurs smartphones. De plus, des solutions comme Leela Chess Zero mettent à disposition des exécutable pour plusieurs architectures qui permettent au programme de pouvoir se lancer sur des dispositifs moins gourmands. Une autre approche pourrait consister à créer un serveur puissant sur lequel s'exécute le programme d'échecs d'apprentissage profond et des entités client qui se connectent à ce serveur.

Enfin, il est important de dire que pour la plupart des programmes d'échecs que nous avons vus, les sources des programmes sont dites "open-source" c'est-à-dire

qu'elles sont ouvertes à tous. Il est possible de les utiliser tels quels ou de les modifier. De cette manière, il est possible pour une application d'échecs de réaliser son propre programme d'échecs à partir de ce qui a déjà pu être réalisé par le passé. Dans cette même idée, il apparaît que cette approche soit clairement à la mode étant donné que tous les algorithmes sur le marché se basent de plus en plus sur cette technique. De plus en plus d'outils existent afin de démocratiser l'apprentissage profond. C'est l'exemple du framework TensorFlow.

Les algorithmes les plus utilisés se basant sur l'apprentissage profond les plus utilisés au moment de la rédaction de ce rapport sont : AlphaGo Zero, Alpha Zero, Leela Chess, Leela Chess Zero, Stockfish, Komodo.

Conclusion

Nous avons vu au fil de ce rapport comment ont évolué les programmes d'échecs dans le temps. Nous avons tout d'abord abordé le fonctionnement des premiers programmes d'échecs qui peuvent paraître un peu limités de nos jours. Puis nous nous sommes intéressés à l'approche exhaustive qui consiste à évaluer le plus de positions possibles. Bien que cette méthode ait déjà dépassé l'être humain, elle disposait de nombreuses contraintes notamment liées à la puissance de calcul nécessaire. Enfin, nous avons abordé l'apprentissage profond qui constitue une véritable révolution dans le domaine de l'intelligence artificielle. Chacune des approches dispose d'avantages et d'inconvénients en termes de complexité, de temps de calcul, de ressources nécessaires, de difficulté d'implémentation qu'il est important de garder à l'esprit.

Nous espérons que cette veille technologique soit assez complète et qu'elle puisse aider chacun à choisir sa manière de développer son programme d'échecs. Les programmes d'échecs sont sans cesse de plus en plus performants, il est courant de penser que l'intelligence artificielle bat l'être humain sur beaucoup de domaines mais, étant donné que c'est l'être humain qui développe l'intelligence artificielle, c'est en réalité l'être humain qui se dépasse lui-même sans cesse.

Sitographie

Sur Youtube, vidéo qui nous a inspiré pour ce sujet :

<https://www.youtube.com/watch?v=xuBzQ38DNhE>

Classement des meilleurs programmes d'échecs :

<https://www.youtube.com/watch?v=wlgxS7tZVE>

Ressources de Chess.com

<https://www.chess.com/fr/terms/les-pieces-dechecs>

<https://www.chess.com/fr/terms/cadences-echecs>

Articles de référence :

<https://www.queenside.net/>

<https://en.chessbase.com/post/leela-chess-zero-alphazero-for-the-pc>

<https://scienceetonnante.com/2019/01/23/ia-creativite/>

<https://sifflez.org/misc/tronbot/index.html>

<https://www.juripredis.com/fr/blog/id-19-demystifier-le-machine-learning-partie-2-les-reseaux-de-neurones-artificiels>

<https://www.chess-and-strategy.com/2017/12/intelligence-artificielle-alphazero.html>

Sur Wikipédia :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_d%27échecs

https://fr.wikipedia.org/wiki/Élagage_alpha-bêta

https://fr.wikipedia.org/wiki/Classement_Elo

Depôts Git :

<https://git.savannah.gnu.org/cgit/xboard.git>

<https://github.com/LeelaChessZero/lc0>

Comparatif des jeux d'échecs électroniques :

<https://lejustechoix.fr/les-meilleurs-jeux-dechecs-electroniques-comparatif/>