

Intelligence Artificielle



Dorra BEN AYED

Chapitre 3

Résolution de problème en IA

Les stratégies de recherche dans les arbres de jeux :
MinMax et Alpha-Beta





Plan

- ❖ **Introduction**
- ❖ **Arbre de jeu et arbre de recherche**
- ❖ **Notion de fonction d'évaluation**
- ❖ **Algorithme MinMax**
- ❖ **Algorithme Alpha-Beta**
- ❖ **Etat de l'art de quelques jeux : dames, échecs, backgammon, Othello et Go**



Introduction

Johan Huizinga, historien néerlandais :

❖ « Jouer est le propre de l'homme. »

Depuis le Moyen Age (tournois de gladiateurs)

- ❖ Jeux : activités comportant des règles précises.
- ❖ Vainqueur : celui qui a fait preuve d'intelligence et d'habileté.

But ultime de l'IA

- ❖ Réaliser un ordinateur qui joue aussi bien, voire mieux, qu'un humain.



Introduction à la théorie des jeux

La théorie des jeux :

- une branche des mathématiques
- technique de recherche opérationnelle
- s'intéresse aux situations dans lesquelles plusieurs personnes ont à prendre des **décisions** dont dépend un **résultat qui les concerne**.

Problème de jeu = présence de plusieurs **centres de décisions**.

Domaines

- économique
- politique
- diplomatique
- militaire

...



Introduction à la théorie des jeux

Dans les problèmes de jeux, deux facteurs essentiels :

- Coopération
- Compétition

Trois classes de problèmes :

- Jeux de coopération à l'état pur :
 - Étude de décisions concordantes
 - Étude des conditions amenant à un intérêt général
- Jeux de compétition à l'état pur :
 - duels = jeux à deux joueurs dont les intérêts sont strictement opposés
 - Partie la plus achevée de la théorie des jeux
- Jeux de compétition et de coopération :
 - Plus proche des situations réelles
 - Étude systématique plus difficile



Introduction à la théorie des jeux

Jeux à information complète :

Chaque joueur connaît lors de la prise de décision :

- ses possibilités d'action
- les possibilités d'action des autres joueurs
- les gains résultants de ces actions
- les motivations des autres joueurs

Jeux à information parfaite :

Jeux à mécanisme séquentiel, où chaque joueur a connaissance en détail de toutes les actions effectuées avant son choix.



Introduction à la théorie des jeux

Jeux à somme nulle :

Jeux où la somme « algébrique » des gains des joueurs est **constante**. Ce que gagne l'un est nécessairement perdu par un autre.

Jeux à somme non nulle :

Jeux dans lesquels certaines issues sont globalement plus profitables pour tous, ou plus dommageables pour tous.

Jeux synchrones :

Les joueurs décident de leur coup simultanément, sans savoir ce que les autres jouent.

Jeux asynchrones (alternatifs) :

Les joueurs se décident les uns après les autres, en disposant à chaque fois de l'information sur le coup des adversaires.



Classification de certains jeux

Jeux asynchrones, à somme nulle:

- Echecs, dames, dominos,
- Jeux de cartes (Poker, rami, belotte, tarot...),

Jeux synchrones, à somme nulle:

- Feuille-Papier-Ciseaux...

Tous les jeux ne sont pas adaptés à une étude par des techniques d'IA.

Les jeux les plus étudiés : jeux à **somme nulle**, à **information complète** et **parfaite**.



Exploration en situation d'adversaire

Soient 2 joueurs : *MAX* et *MIN*, jouant à tour de rôle.
MAX joue en 1er.

- Construction de l'espace d'états (arbre de jeu), avec **connaissance parfaite** des états :
 - Etat initial
 - Etats finaux
 - Opérateur **déterministe** de génération des états successeurs : aucune incertitude sur les effets de l'opérateur *succ.*
- Fonction *eval*, qui indique si un état terminal est gagnant, perdant ou de résultat nul pour le joueur MAX.
- Choix du meilleur coup : algorithme MinMax ou Alpha-Beta

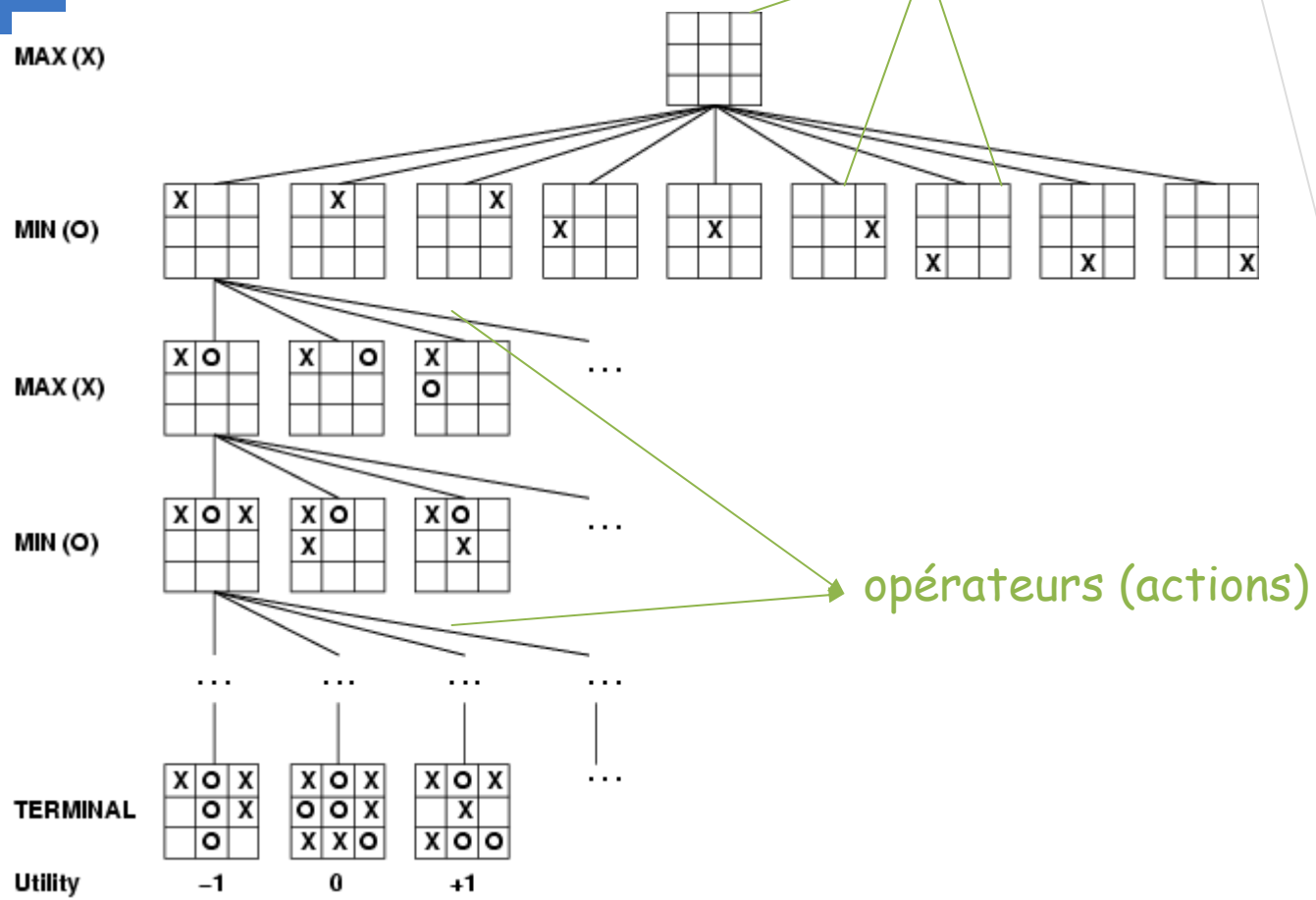


Définition d'un arbre de jeu MinMax

- ❖ Un arbre de jeu répertorie l'ensemble des coups réalisables au cours d'une partie, en partant du noeud racine, qui symbolise la configuration initiale, jusqu'aux noeuds terminaux : les positions finales.
- ❖ Chaque noeud de l'arbre représente une position de jeu et chaque arc un coup possible d'un joueur permettant de passer d'une position à une autre.
- ❖ A chaque noeud terminal est associé un **score ternaire** :
 - **+1 si MAX gagne**
 - **-1 si MIN gagne**
 - **0 s'il y a nulle**

Exemple: jeu Tic Tac Toe

objectes



opérateurs (actions)

espace de recherche



Algorithme MinMax

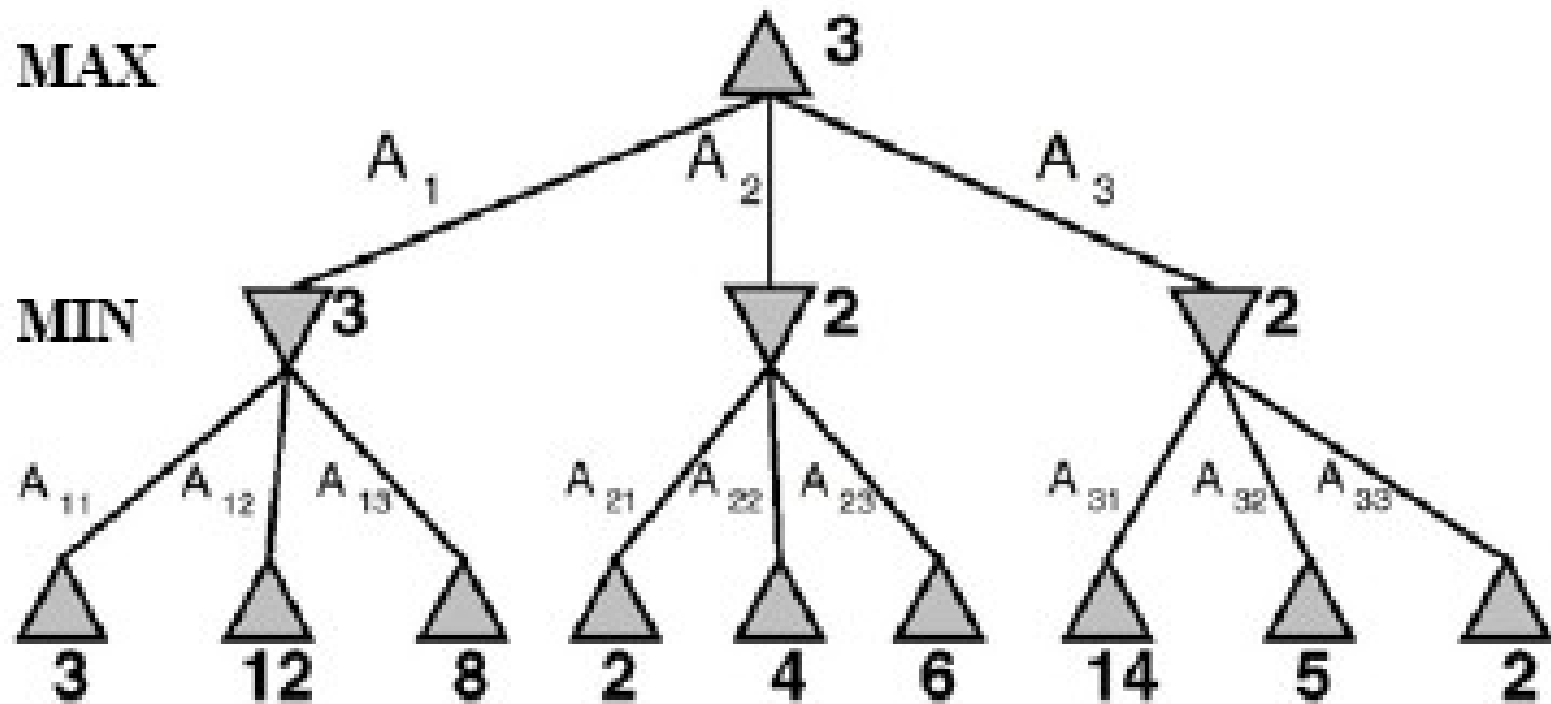
Principe :

Maximiser la valeur d'utilité pour MAX avec l'hypothèse que MIN joue systématiquement pour la minimiser.

Description :

- étendre l'arbre de jeu
- évaluer chaque noeud terminal
- propager ces valeurs aux noeuds non-terminaux :
 - la valeur minimum aux noeuds du joueur MIN
 - la valeur maximum aux noeuds du joueur MAX

Exemple d'Arbre de jeu MinMax





Propriété de l'algorithme MinMax

Complet : si l'arbre de jeu est fini.

Complexité en temps : $O(b^m)$

b = facteur de branchement

m = profondeur de l'arbre total

Complexité en espace : $O(b^m)$

Pour les échecs : $b \approx 35$, $m \approx 100$...

NB: L'algorithme MinMax est totalement intraitable pour certains problèmes.



MinMax avec profondeur limitée

Principe :

- Etendre l'arbre de jeu jusqu'à une profondeur N à partir du nœud courant
- Calculer la valeur de la fonction d'évaluation pour chaque nœud feuille, pas forcément terminal
- Propager ces valeurs jusqu'aux noeuds non-terminaux

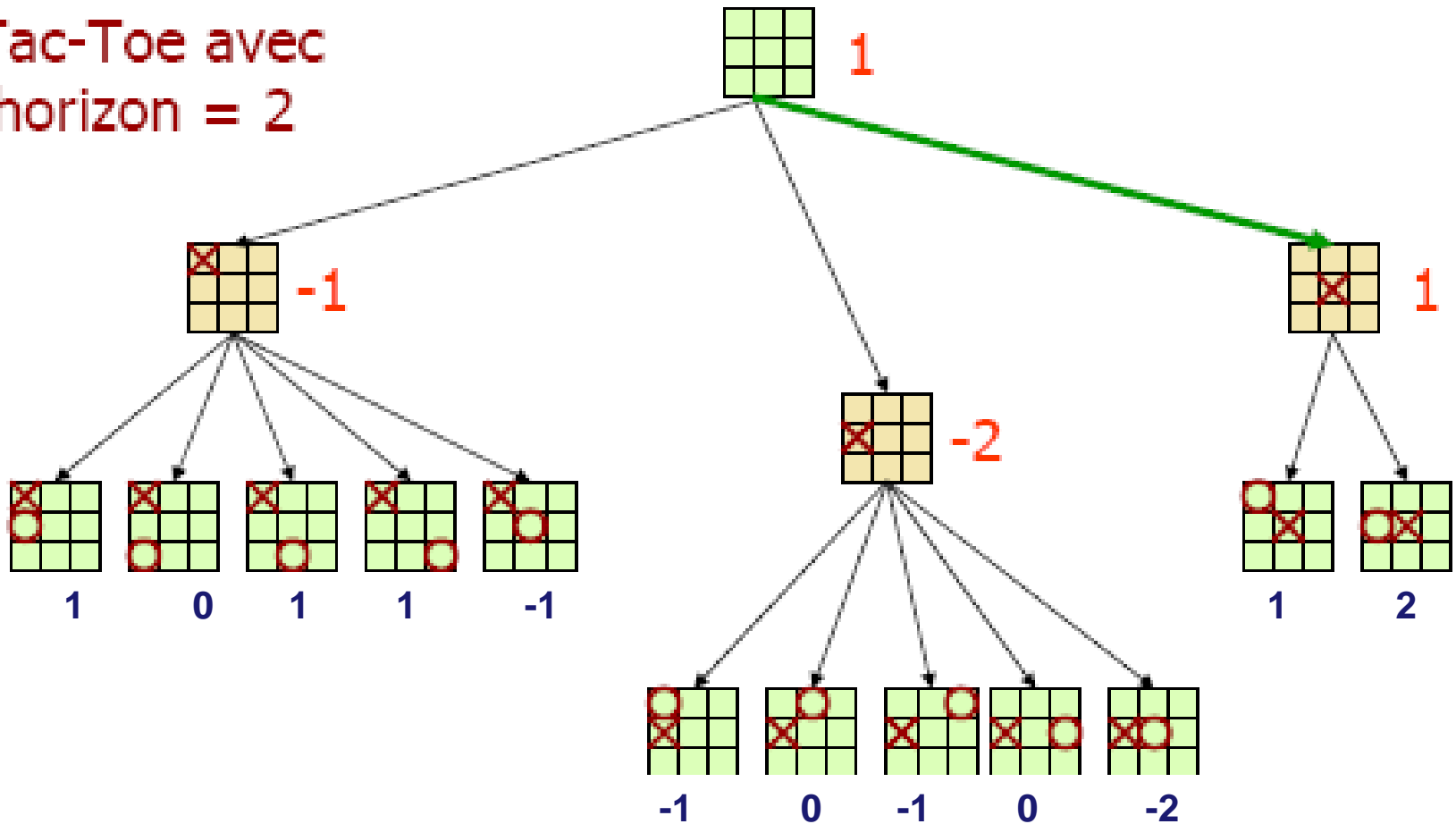


MinMax avec profondeur limitée

- 1) Etendre l'arbre de jeu à partir de l'état courant, où c'est à MAX de jouer, jusqu'à une **profondeur h**
- 2) Calculer la fonction d'évaluation pour chacune des feuilles
- 3) Rétro-propager les valeurs des noeuds feuilles vers la racine de l'arbre, de la manière suivante :
 - Un noeud MAX reçoit la valeur maximum de l'évaluation de ses successeurs
 - Un noeud MIN reçoit la valeur minimum de l'évaluation de ses successeurs
- 4) Choisir le mouvement vers le noeud MIN qui possède la valeur rétro-propagée la plus élevée.

Exemple MinMax avec profondeur limitée

Tic-Tac-Toe avec un horizon = 2





Elagage Alpha-Beta

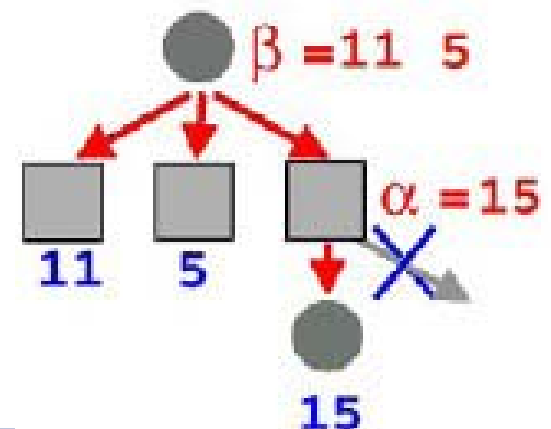
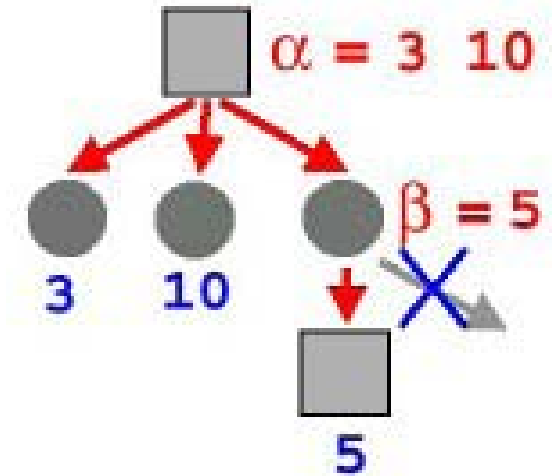
Principe :

- Etendre l'arbre de jeu jusqu'à une profondeur h par une recherche en profondeur
- Ne plus générer les successeurs d'un noeud dès qu'il est évident que ce noeud ne sera pas choisi, compte tenu des noeuds déjà examinés
- Chaque **noeud MAX** conserve la trace d'une **α -valeur**, qui est la valeur de son **meilleur successeur** trouvé jusqu'à présent
- Chaque **noeud MIN** conserve la trace d'une **β -valeur**, qui est la valeur de son **pire successeur** trouvé jusqu'à présent
- Valeurs initiales : $\alpha = -\infty$ et $\beta = +\infty$

Elagage Alpha-Beta

Deux règles :

- Interrompre la recherche d'un noeud MAX si son ∞ -valeur $\geq \beta$ -valeur de son noeud parent.
- Interrompre la recherche d'un noeud MIN si sa β -valeur $\leq \infty$ -valeur de son noeud parent.



Etat de l'art : jeu d'échecs

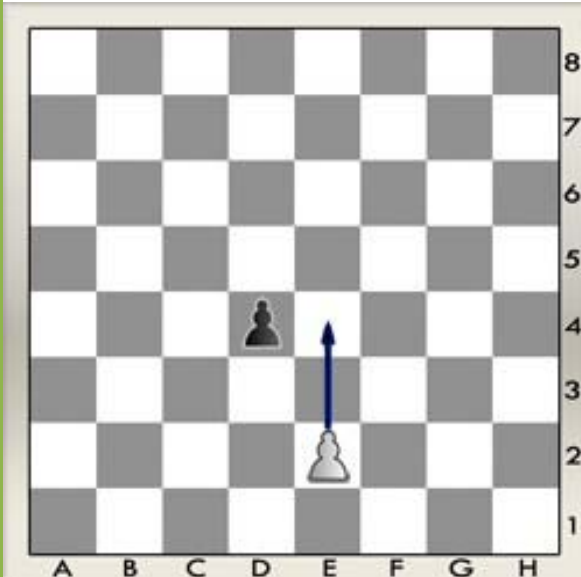
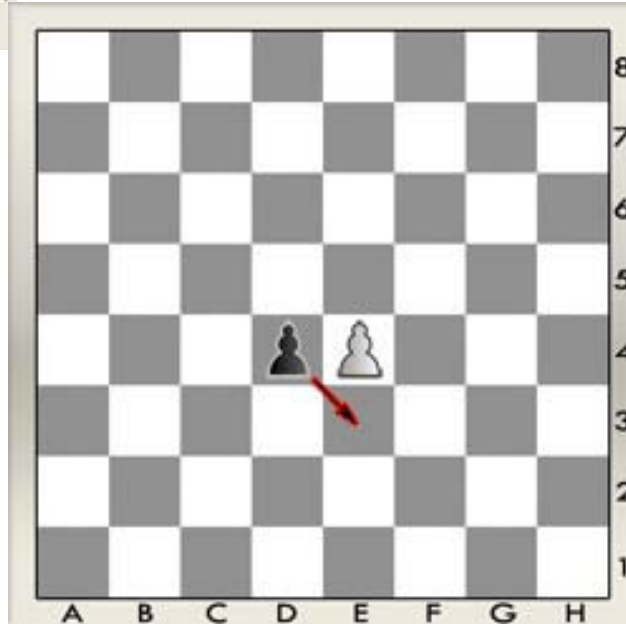
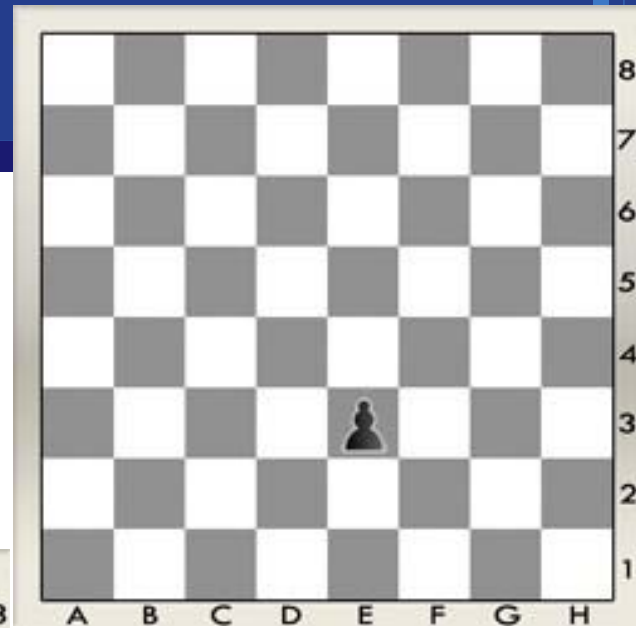
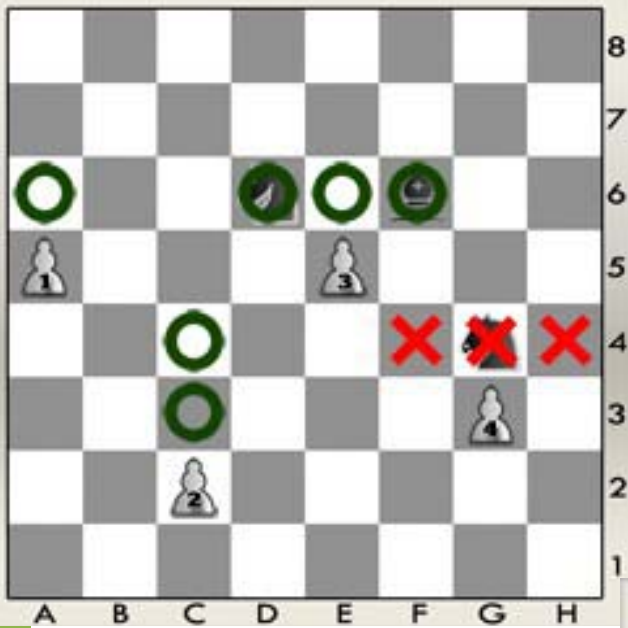


Position initiale

Quelles sont les règles du jeu ?

Règles du jeu

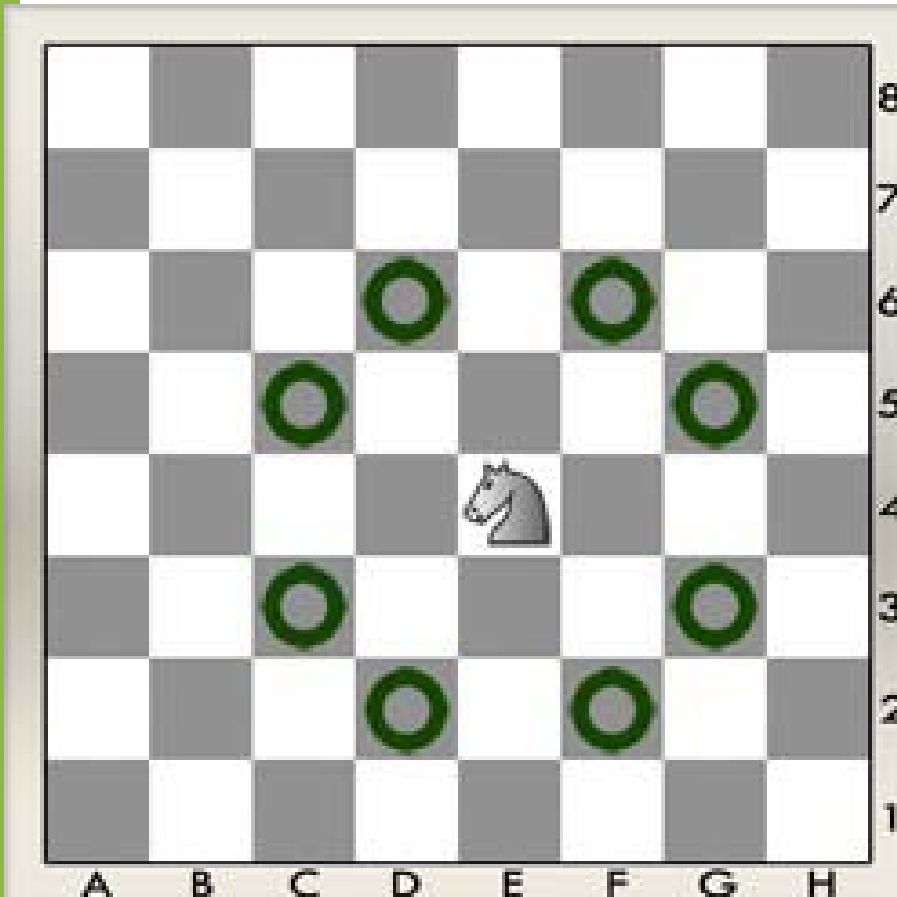
Déplacement du pion



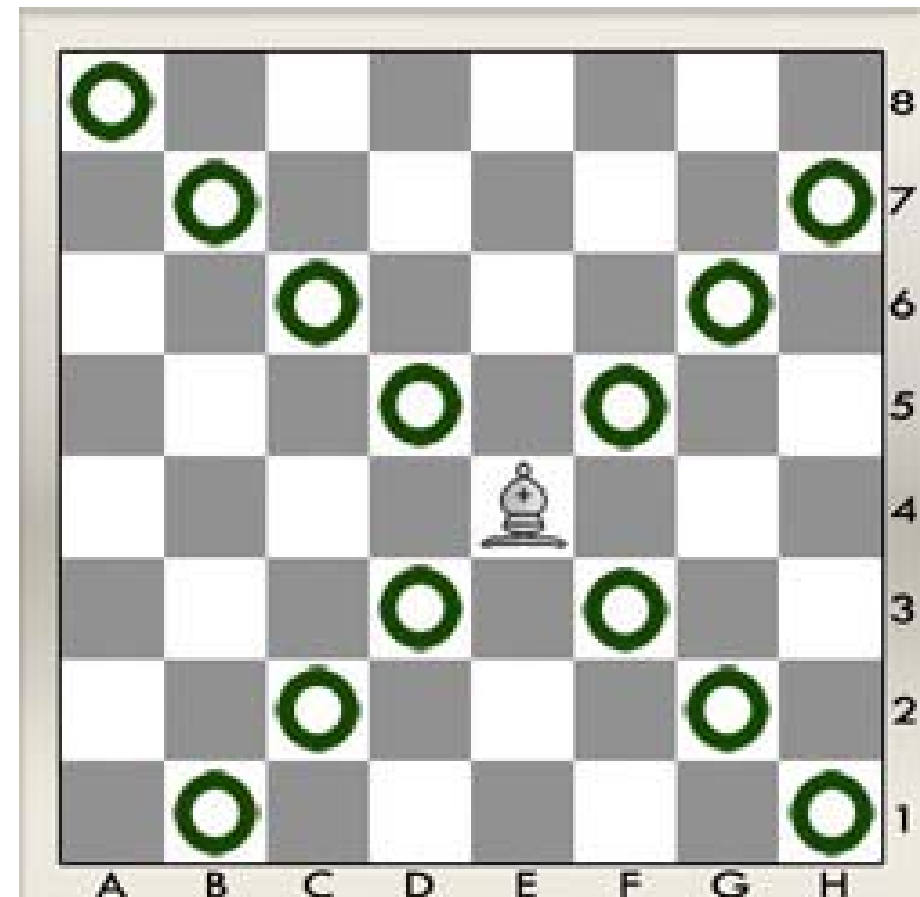


Règles du jeu

déplacement du cavalier

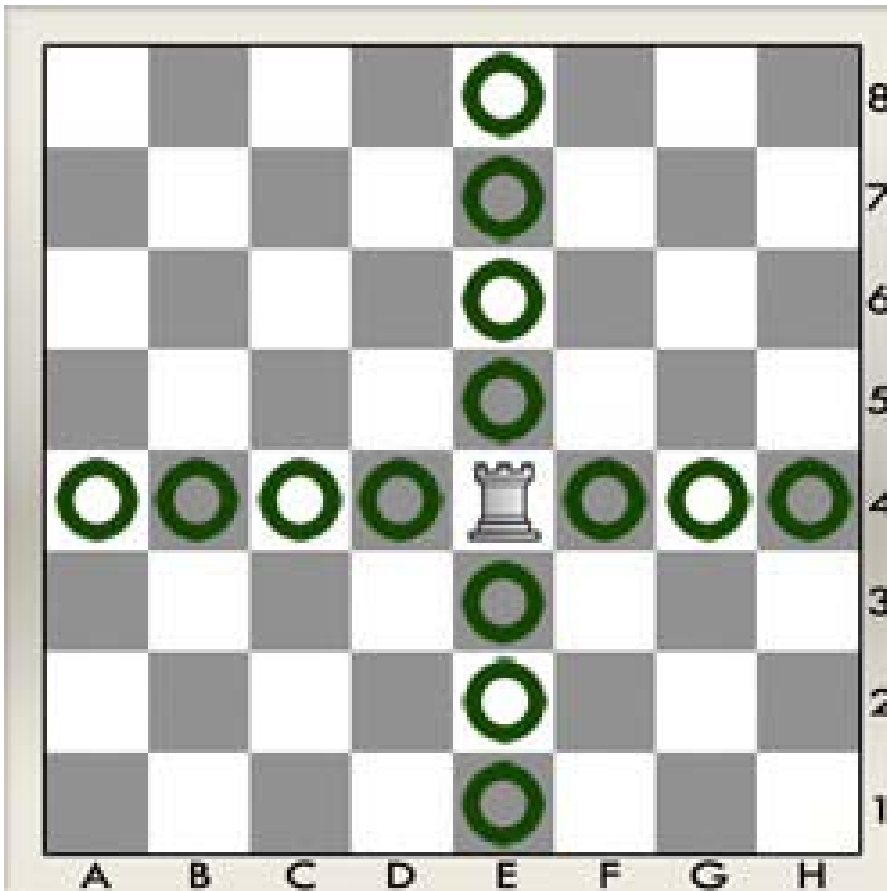


déplacement du fou

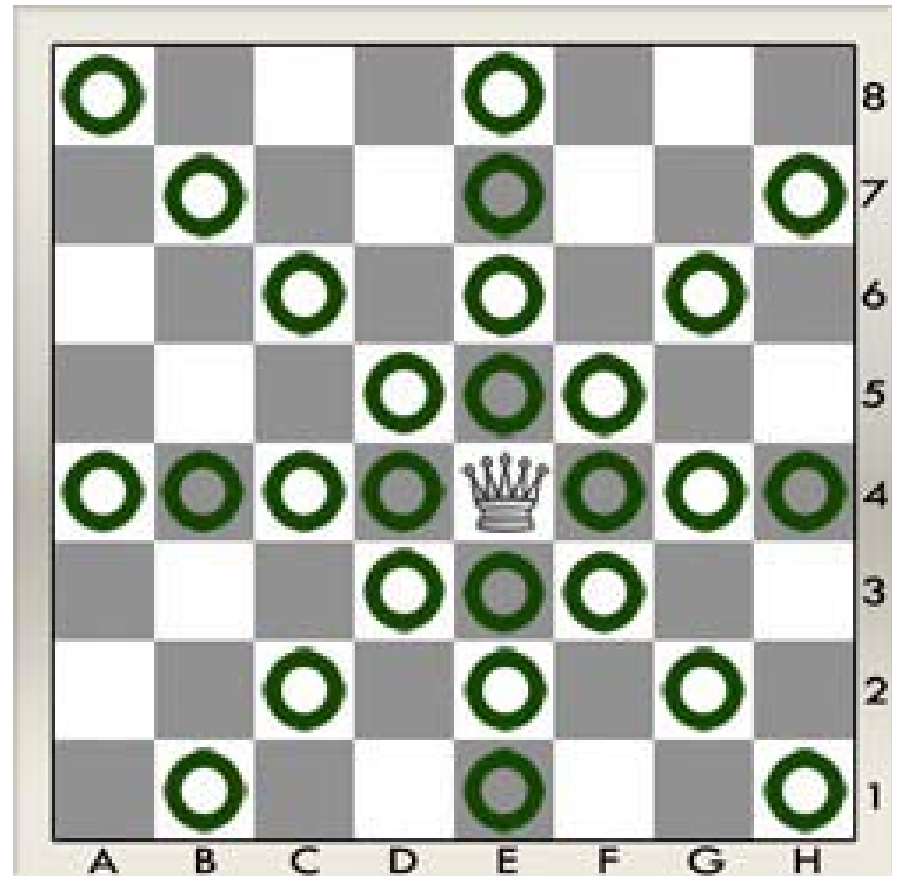


Règles du jeu

déplacement de la tour

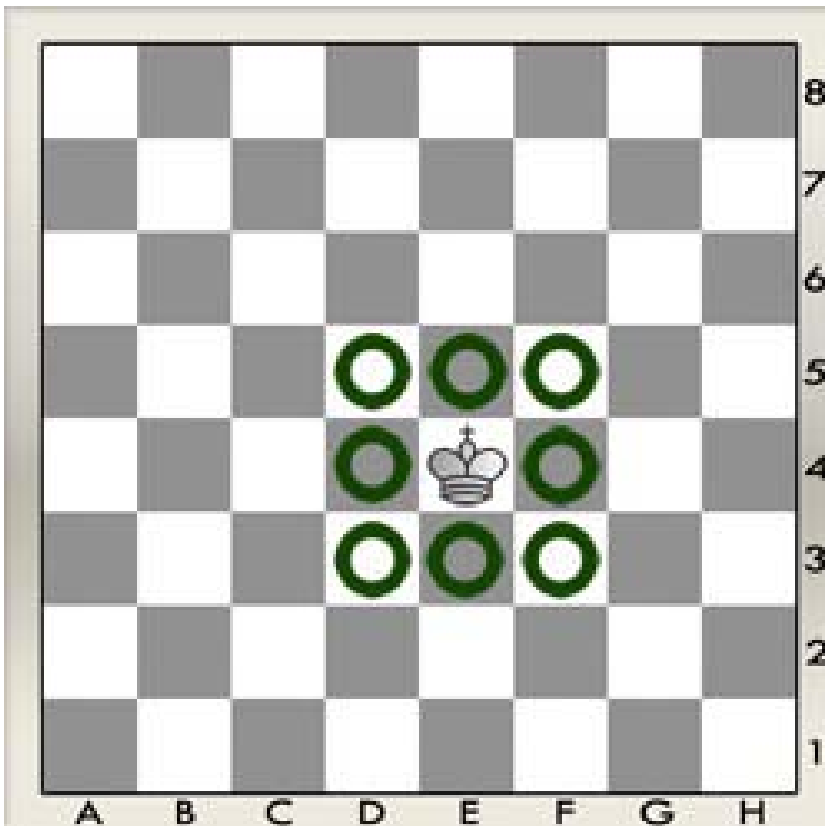


déplacement de la reine



Règles du jeu

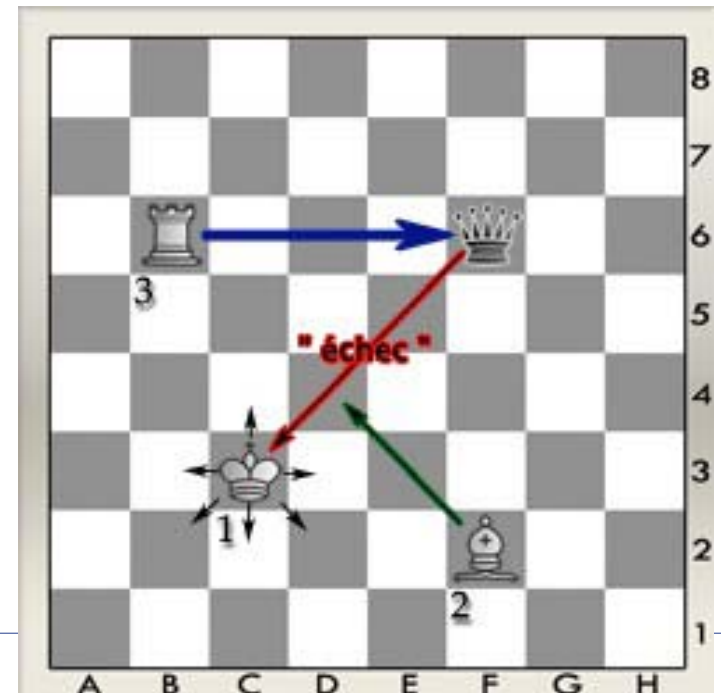
Déplacement du Roi



Echec au roi lorsqu'une pièce attaque le roi ennemi.

Trois manières de parer un échec :

- Bouger le roi attaqué
- Prendre la pièce attaquant le roi
- Intercaler une pièce entre le roi et la pièce menaçante





Règles du jeu

... encore d'autres règles et contraintes

- Jeu qui a suscité le plus d'attention et d'efforts.
- Au début les progrès ont été très lents.
- 1970 : 1er programme à gagner le championnat ACM d'échecs informatiques. Il utilisait un élagage a-b, un répertoire d'ouvertures classiques et un répertoire de fins de partie.
- 1985 : Hitech (*Berliner*) se classe parmi les 800 meilleurs joueurs du monde. Il est capable d'analyser plus de 10 Millions de positions par coup.



Techniques utilisées pour les échecs

Le milieu de partie

- Royaume de l'**Alpha-Beta** et de la fonction d'évaluation
- Fonction d'évaluation extrêmement complexe. Prend en compte :
 - Valeurs des pièces :
 - Dame : 9*
 - Tour : 5*
 - Cavalier, fou : 3*
 - Pion : 1*
 - Sécurité du roi
 - Paire de fous
 - Domination du centre
 - Mobilité
 - Cavaliers centralisés
 - Tours placées sur des colonnes ouvertes
 - Fous placés sur des diagonales ouvertes
 - Qualité de la structure de pions
 - ...



Techniques utilisées pour les échecs

L'algorithme **Alpha-Beta** utilisé dans un programme d'échecs incorpore quelques améliorations :

- Élagage de futilité
- Test prioritaire des coups meurtriers
- Retour à l'équilibre
- Heuristique du coup nul (*Null Move Heuristic*)

Fonction d'évaluation généralement de la forme :

$eval(s) = w_1 f_1(s) + w_2 f_2(s) + \dots + w_n f_n(s)$ avec :

- $f_i(s)$: caractéristique de la position
- w_i : poids associé à une caractéristique

Inconvénients de Alpha-Beta

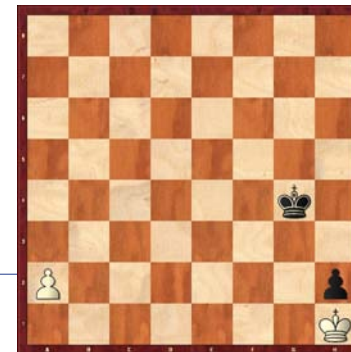
Premier défaut : manque total de stratégie

- Programmes utilisant $\infty-\beta$ ne sont pas guidés par un plan
- Jouent des positions totalement indépendantes les unes des autres
- Pas de vision à long terme de la partie



Deuxième défaut : l'effet d'horizon (*Berliner, 1974*)

- Dû à la nécessité de fixer a priori une profondeur
- Programme ne peut percevoir les effets d'un coup au delà de la profondeur choisie
- Tendance à repousser au delà de son horizon une position défavorable



Question?

