

# Intelligence Artificielle & Données

## Les jeux, recherche totale

Akka Zemmari

LaBRI, Université de Bordeaux

2024 - 2025



# Un problème simple

## Les dominos de couleurs

### Principe

Sur une grille  $n \times n$ , on doit être le dernier à poser son domino  $2 \times 1$ . Violet joue horizontalement et jaune verticalement.



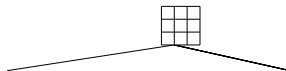
### Un jeu simple mais illustratif

Nous allons utiliser ce jeu simple pour schématiser les approches



## Exploration de l'arbre de jeu

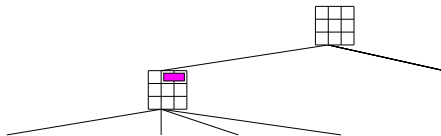
La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.





## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

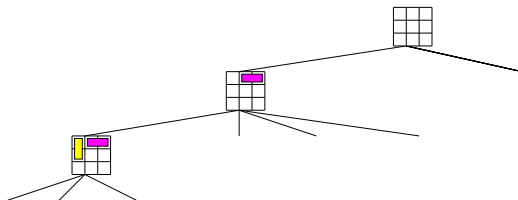


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

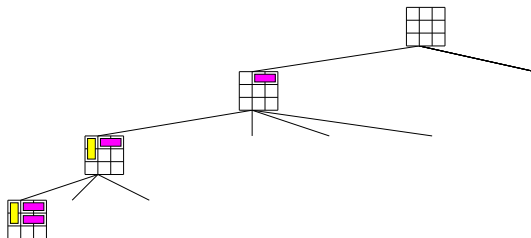


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

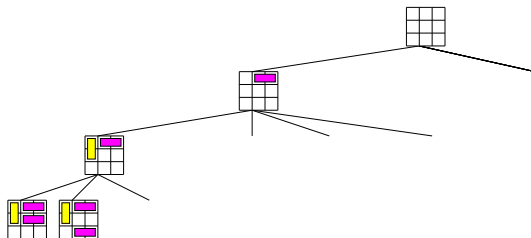


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

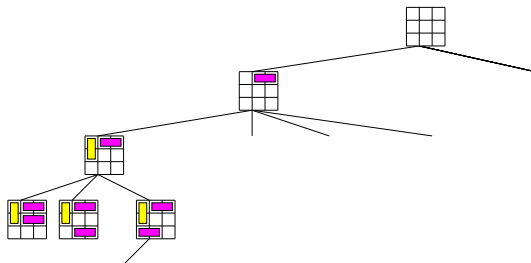


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

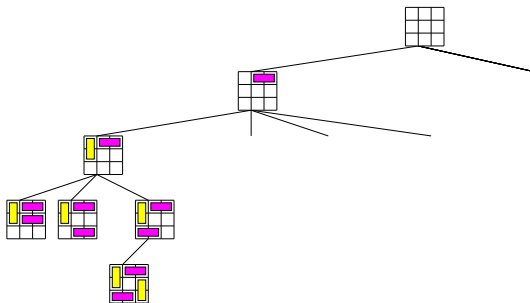


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

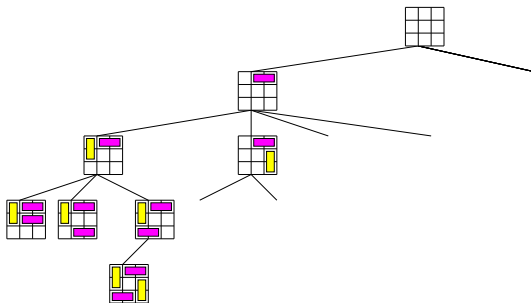


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

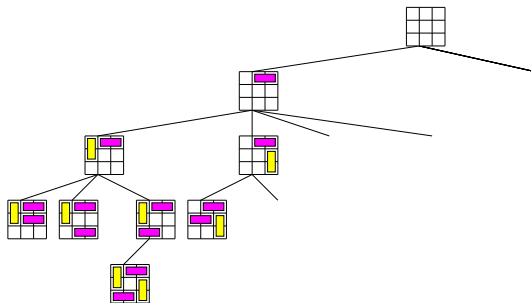


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

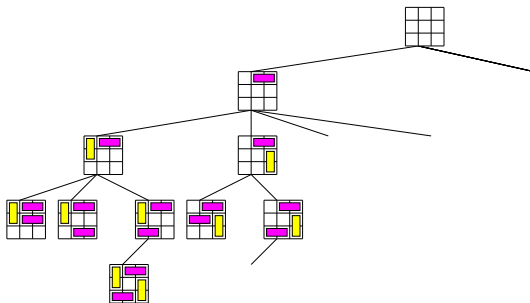
La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.




Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



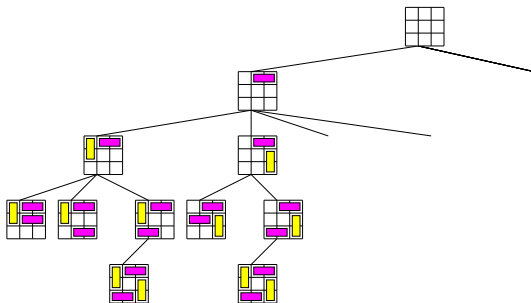
La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.




Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera 



La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

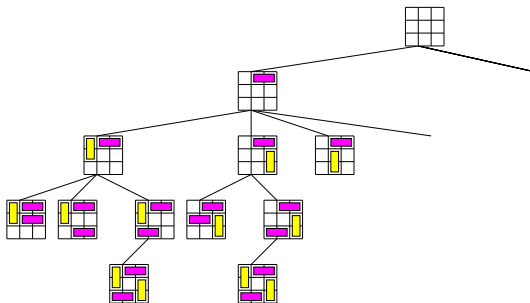


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera 



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

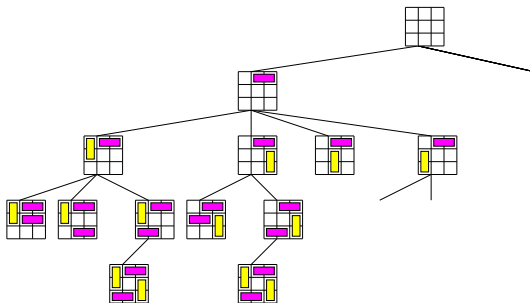


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

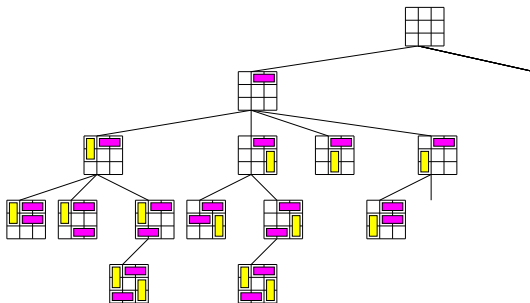


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

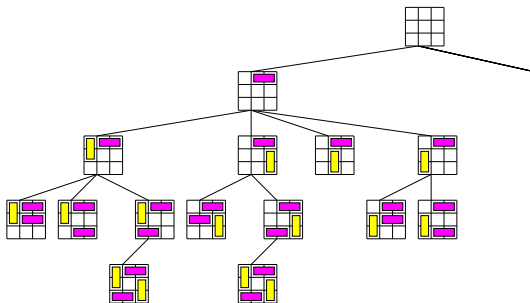


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

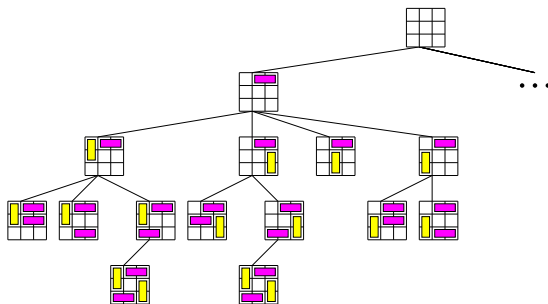


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

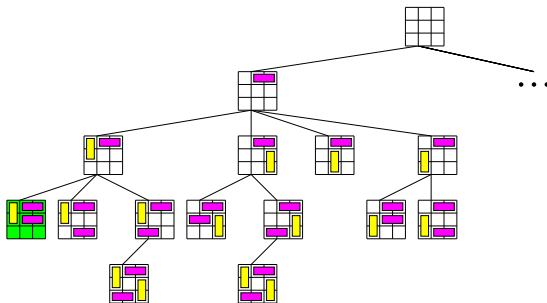


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

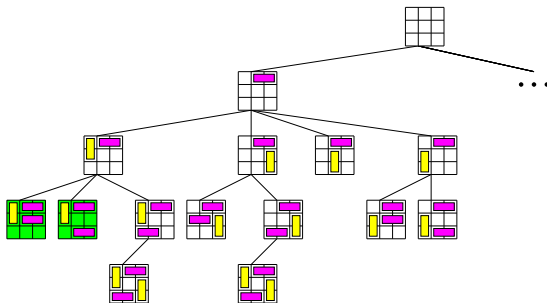


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

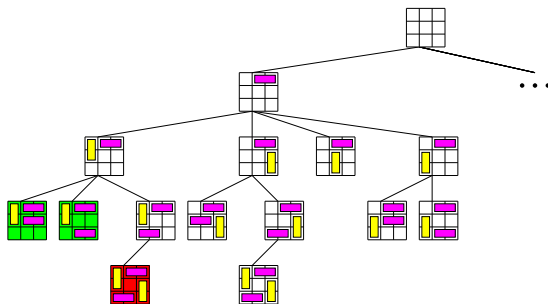


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



# Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

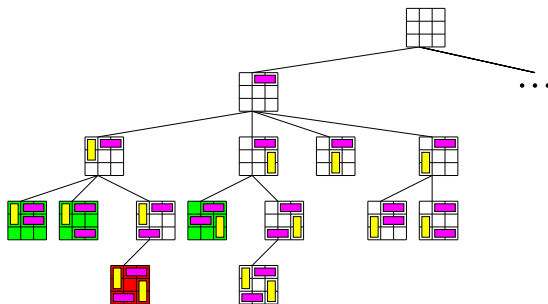


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

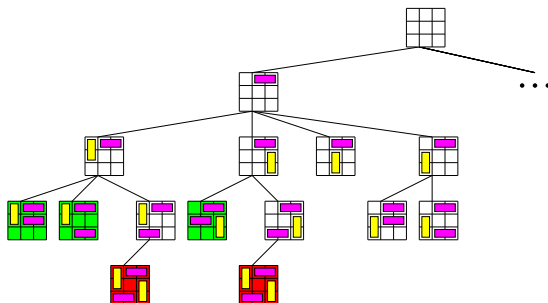


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

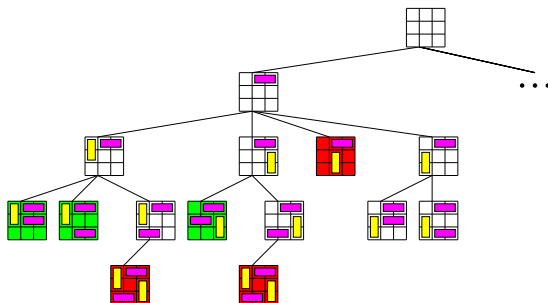


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

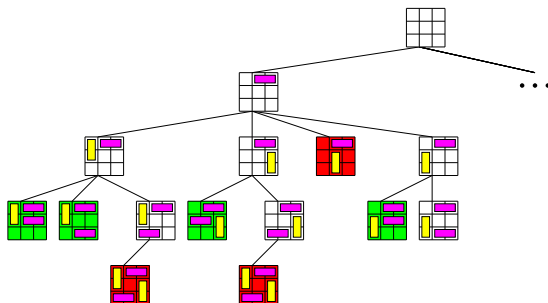


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

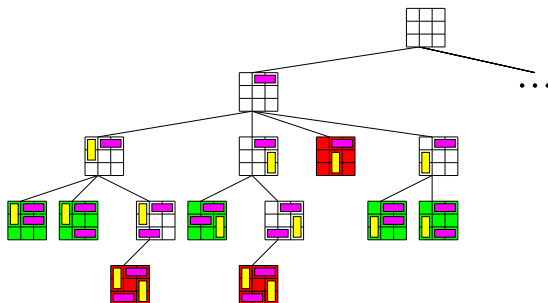


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



# Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

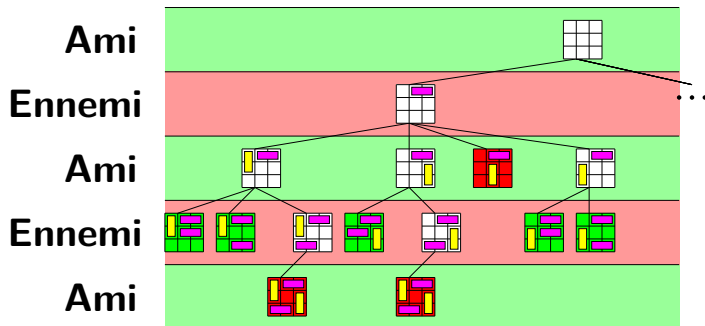


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

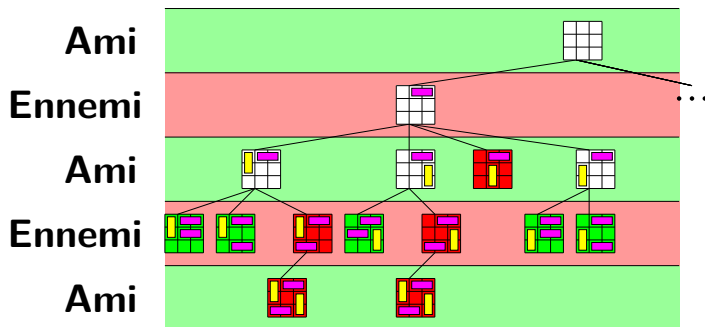


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

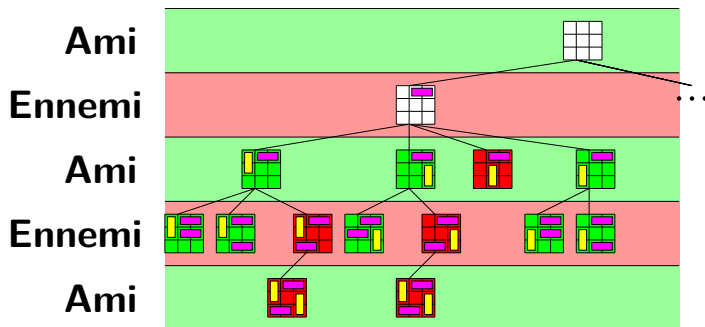


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

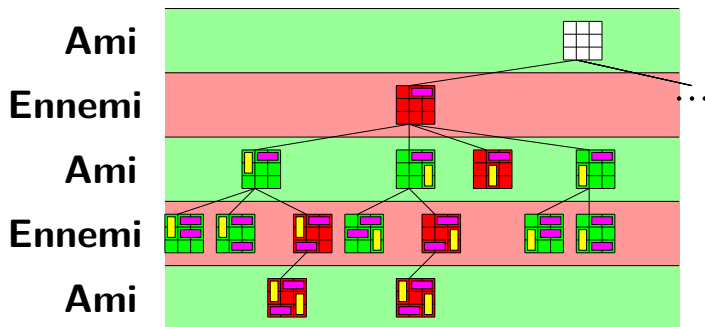


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



## Exploration de l'arbre de jeu

La simulation de tous les coups possibles depuis la position initiale permet de construire *l'arbre de jeu*.

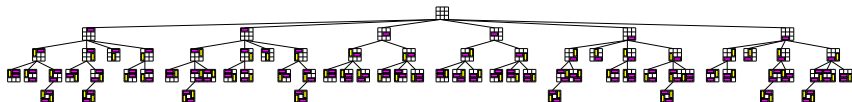


Si Ennemi joue bien, jouer ce coup en premier me fera



# Exploration de l'arbre de jeu

Exemple total sur le domino 3 :



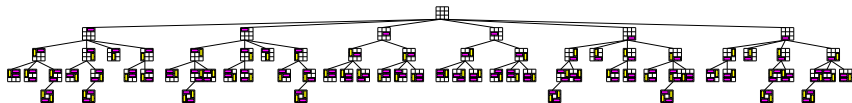


# Exploration de tout l'arbre de jeu

## Analyse

L'exploration peut se voir comme un parcours classique en profondeur à main gauche dans un arbre décrit *en intention*.

Dans l'exemple on a trouvé une **Stratégie Gagnante** en 75 noeuds développés.





# Exploration de tout l'arbre de jeu

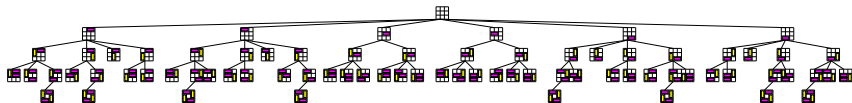
## Analyse

L'exploration peut se voir comme un parcours classique en profondeur à main gauche dans un arbre décrit *en intention*.

Dans l'exemple on a trouvé une **Stratégie Gagnante** en 75 noeuds développés.

## Question

Jusqu'où pourrait-on aller avec cette méthode sur un problème simple comme celui-ci ?





# Exploration de tout l'arbre de jeu

## Analyse

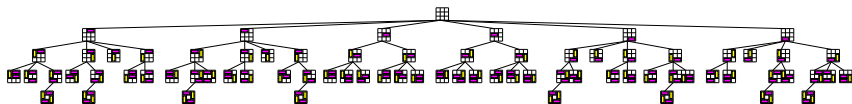
L'exploration peut se voir comme un parcours classique en profondeur à main gauche dans un arbre décrit *en intention*.

Dans l'exemple on a trouvé une **Stratégie Gagnante** en 75 noeuds développés.

## Question

Jusqu'où pourrait-on aller avec cette méthode sur un problème simple comme celui-ci ?

Domino 4, 5, 6, 10, 50, 500 ?





# Exploration de tout l'arbre de jeu

## Analyse

L'exploration peut se voir comme un parcours classique en profondeur à main gauche dans un arbre décrit *en intention*.

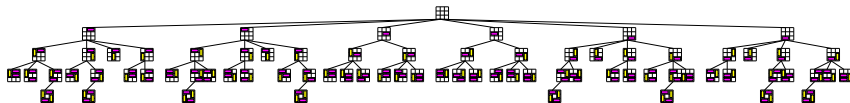
Dans l'exemple on a trouvé une **Stratégie Gagnante** en 75 noeuds développés.

## Question

Jusqu'où pourrait-on aller avec cette méthode sur un problème simple comme celui-ci ?

Domino 4, 5, 6, 10, 50, 500 ?

Des idées?





# Exploration de tout l'arbre de jeu

Impossibilité, même pour des jeux simples

Quelques expérimentations :

Taille	Nombre de noeuds	Temps
3	75	0.00
4	65 081	0.00
5	2 103 584 600	727.9
6	—	—



# Exploration de tout l'arbre de jeu

Impossibilité, même pour des jeux simples

Quelques expérimentations :

Taille	Nombre de noeuds	Temps
3	75	0.00
4	65 081	0.00
5	2 103 584 600	727.9
6	—	—

On se trouve face à une **véritable explosion combinatoire**



# Exploration de tout l'arbre de jeu

Impossibilité, même pour des jeux simples

Quelques expérimentations :

Taille	Nombre de noeuds	Temps
3	75	0.00
4	65 081	0.00
5	2 103 584 600	727.9
6	—	—

On se trouve face à une **véritable explosion combinatoire**

Comment arriver à aller plus loin ?



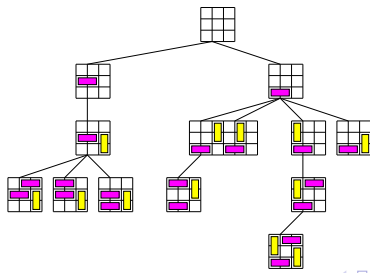
# Exploration d'un graphe de jeu

Ne pas réexplorer des sous-graphes commun

**Idée :** dans certains jeux, un même état peut être atteint par différents endroits. Il faut introduire un mécanisme permettant de ne pas réexplorer des sous-arbres déjà vus.

**On peut aller plus loin :** considérer tous les états symétriques du plateau de jeu.

L'arbre de jeu précédent se réécrit en





## Exploration d'un graphe de jeu

Cela ne change pas le fond des choses

**Problèmes** : il faut introduire un mécanisme pour retrouver les noeuds déjà explorés. Il faut aussi tous les garder en mémoire.

**En pratique** :

Taille	Arbre	Graphe	Temps (Graphe)
3	75	23	0.00
4	65 081	2 120	0.00
5	2 103 584 600	718 582	83.3
6	—	—	—

En *profilant* l'exécution, tout le temps est maintenant passé à vérifier si un noeud a déjà été vu.

**Toujours pas suffisant ! On ne va pas significativement plus loin !**



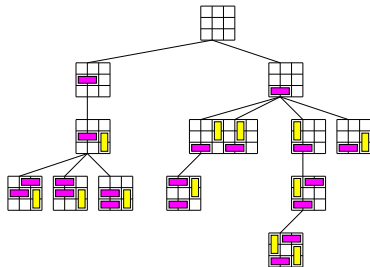
# Une première recherche *intelligente*

Les premières *coupes* pas trop idiotes

## Idée

Si une branche *amie* mène à la victoire à coups sûrs, ne pas développer les branches voisines.

Si une branche *ennemie* mène à la défaite, ne pas développer les branches voisines.





# Une première recherche *intelligente*

Les premières *coupes* pas trop idiotes

- ▶ Trouve s'il existe *une stratégie gagnante*
  - ▶ Permet de couper (élaguer) des parties entières de l'arbre
  - ▶ Garde les propriétés de l'exploration complète de l'arbre
- 
- ▶ Oblige à aller jusqu'aux feuilles de l'arbre (déroulement de toute une partie sur chaque branche non coupée)
  - ▶ En pratique, aucun jeux ne permet cette technique (ou alors en toute fin de partie)

**Toujours pas suffisant ! Il faut pouvoir couper l'arbre sans  
devoir aller jusqu'aux feuilles**