

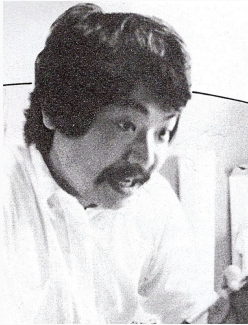
Résolution de niveaux du Sokoban

Nom Prénom

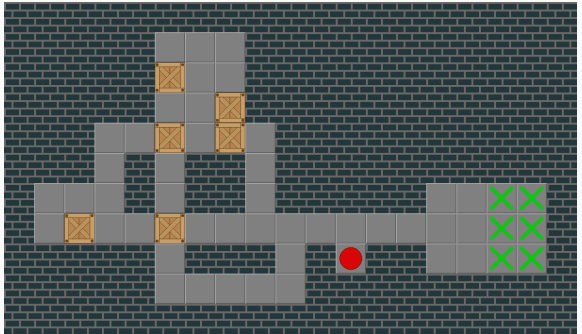
Candidat n°01234

Introduction

Le jeu du Sokoban



Hiroyuki Imabayashi

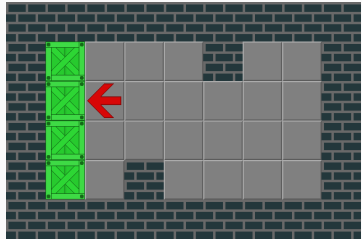
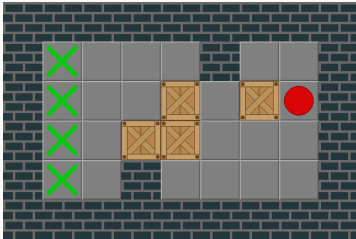


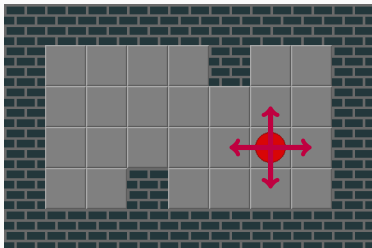
X Sokoban

Problème **PSPACE-complet**

But du jeu

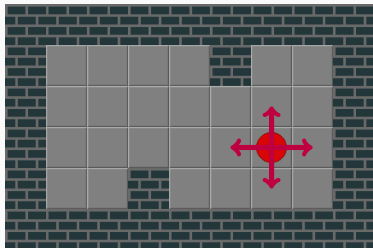
Déplacements



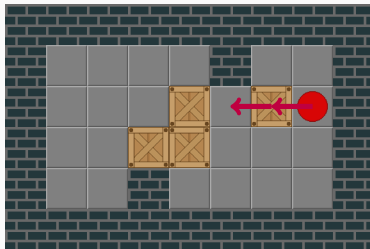


Déplacements autorisés

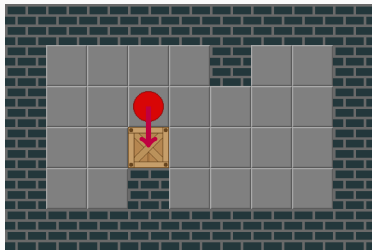
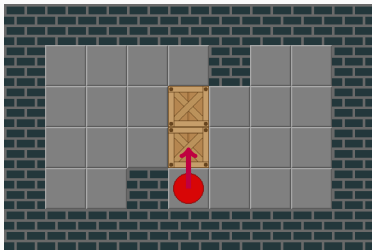
Règles



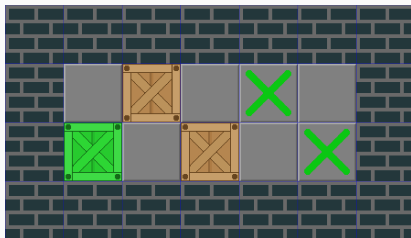
Déplacements autorisés



Règles



Tuiles



Mur



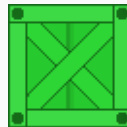
Sol



Caisse



Cible



Caisse sur une cible

Quelles stratégies adopter pour trouver une solution le plus rapidement possible à un niveau de Sokoban ?

```
Welcome to sokoshell - Version 1.0  
Type 'help' to show help. More help for a command with 'help command'  
sokoshell> █
```

Plan

Introduction

Principe de résolution

Réduction de l'espace de recherche

- Analyse statique

- Analyse dynamique

Recherche dirigée par une heuristique

Optimisations

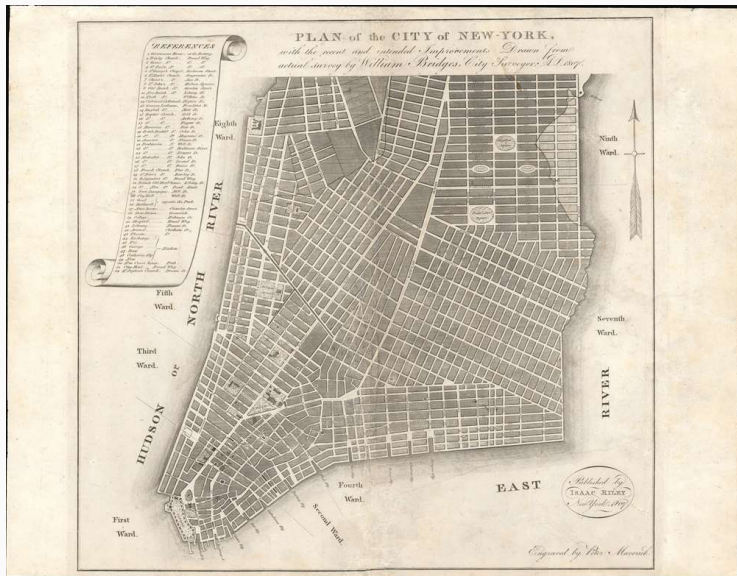
Résultats

Annexe

Lien avec le thème de l'année



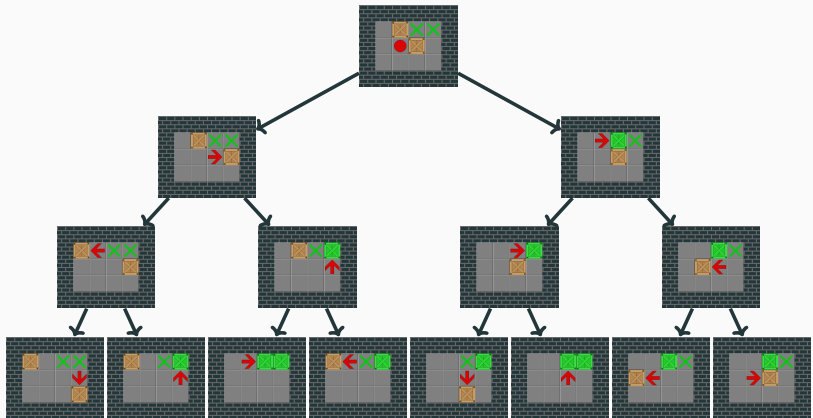
Lien avec le thème de l'année



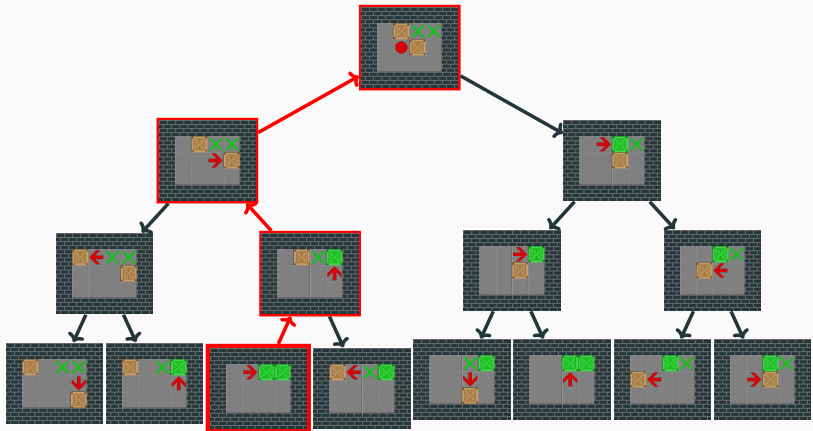
Principe de résolution



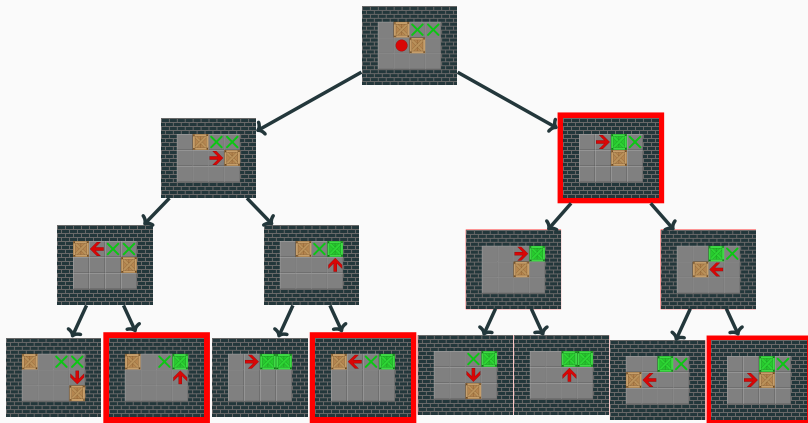
Arbre des états



Arbre des états



Arbre des états



Calcul du *hash* d'un état - Hash de Zobrist

Propriétés du **XOR** :

1. $a \mathbf{XOR} a = 0$
2. **XOR** commutatif, associatif
3. **XOR** préserve l'aléatoire

Initialisation :

$$T = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{caisse} & \text{joueur} & \text{case} \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 6357 & 01234 \\ -1378 & 42 \\ \vdots & \vdots \\ 93268 & -278 \end{pmatrix} & \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ wh - 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

Calcul du *hash* d'un état - Hash de Zobrist

- (c_1, \dots, c_n) n caisses et p position du joueur :

$$h = \mathbf{XOR}_{i=0}^n T[c_i][0] \mathbf{XOR} T[p][1]$$

en $\mathcal{O}(n)$

- **Connaissant le hash de l'état parent** : $c_i \rightarrow c'_i, p \rightarrow p'$

$$h' = h \mathbf{XOR} T[c_i][0] \mathbf{XOR} T[c'_i][0] \mathbf{XOR} T[p][1] \mathbf{XOR} T[p'][1]$$

en $\mathcal{O}(1)$

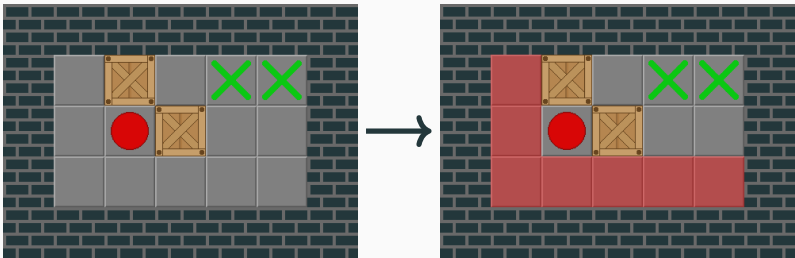
Réduction de l'espace de recherche

Réduction de l'espace de recherche

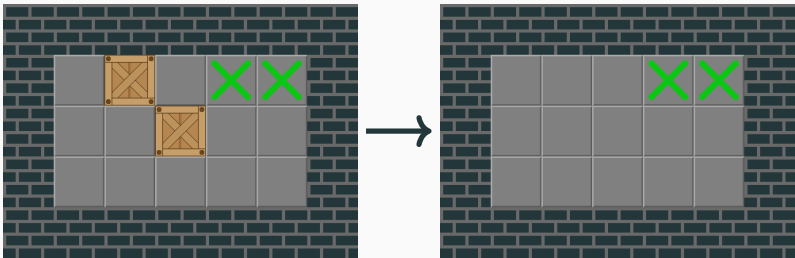


Analyse statique

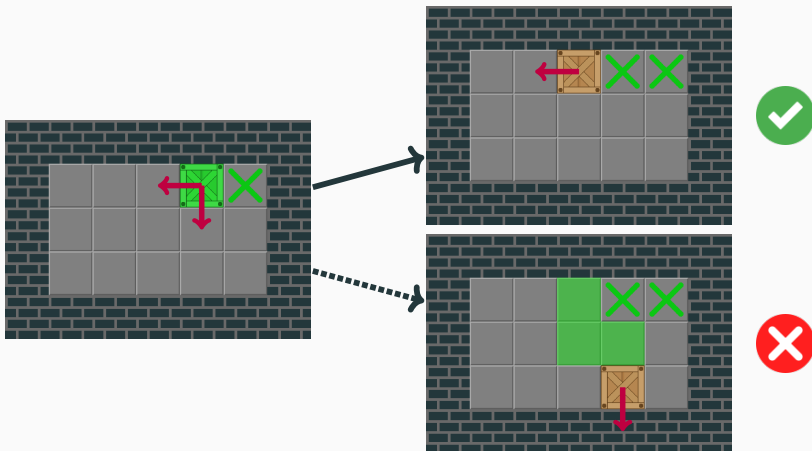
Détection des positions mortes (*dead positions*)



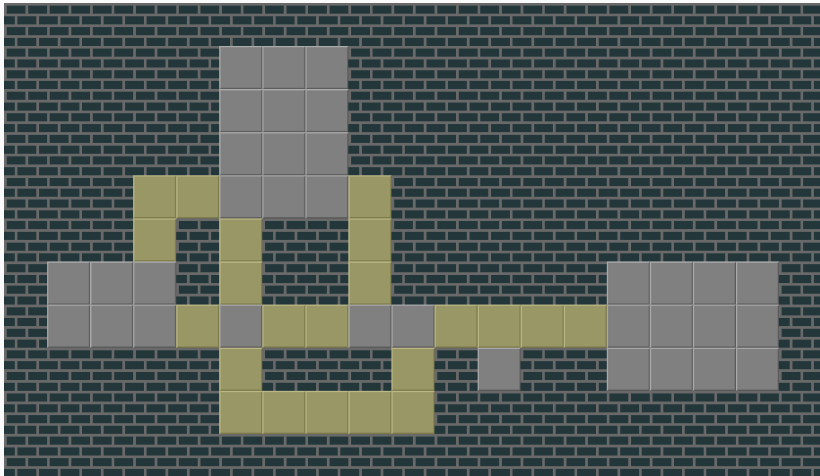
Détection des positions mortes (*dead positions*)



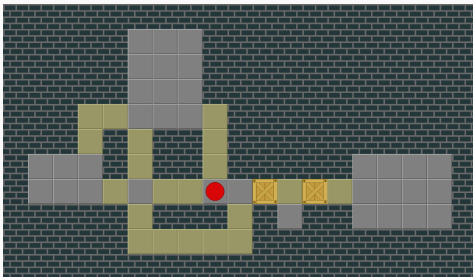
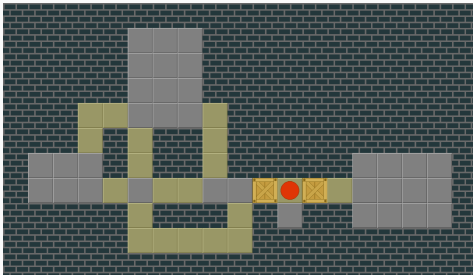
Détection des positions mortes (dead positions)



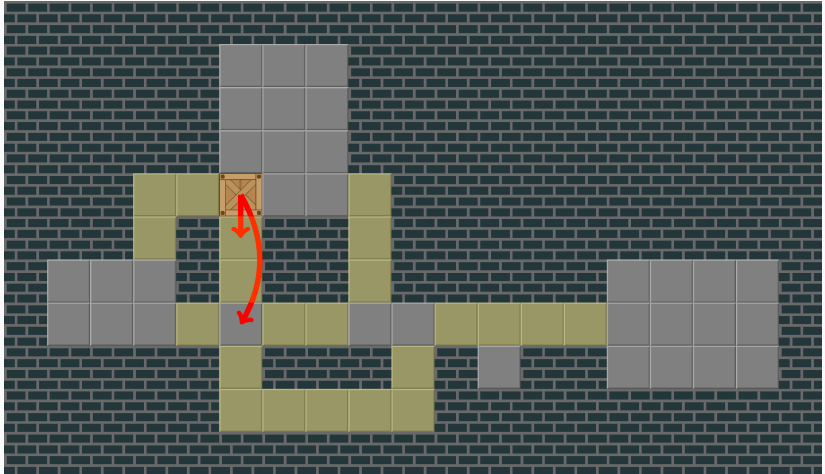
Détection de tunnels



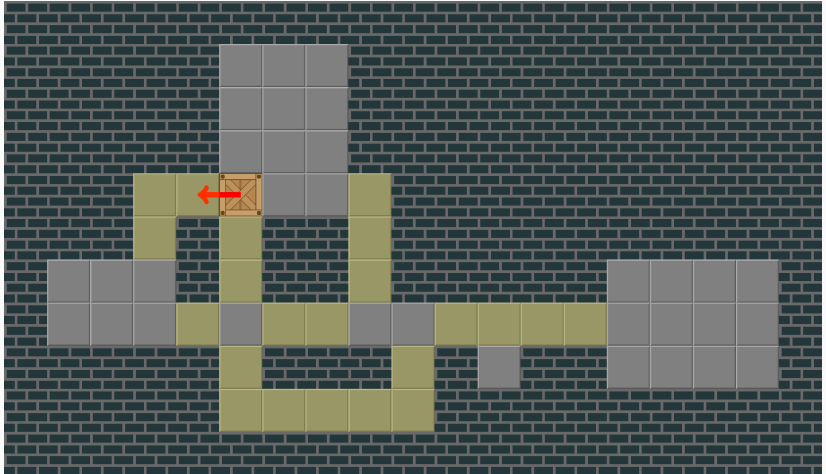
Détection de tunnels



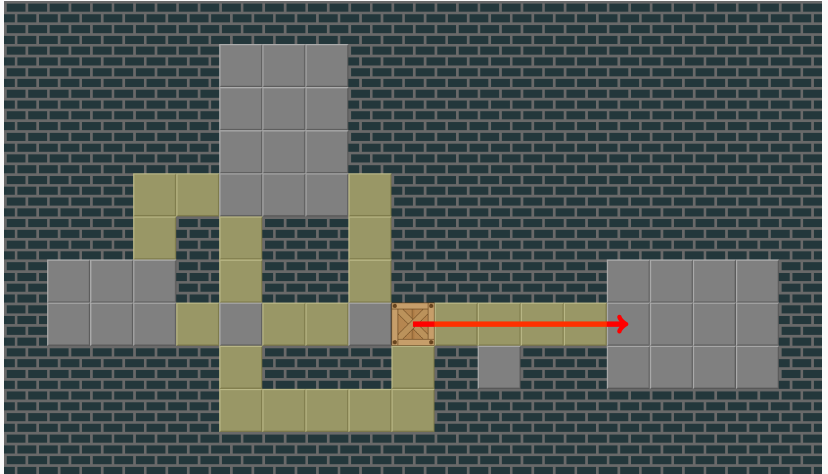
Détection de tunnels

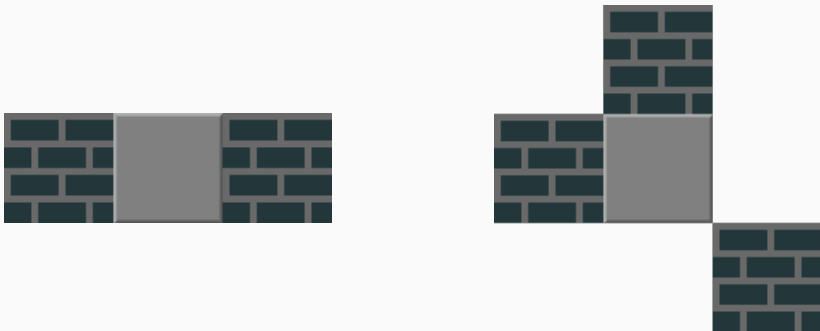


Détection de tunnels



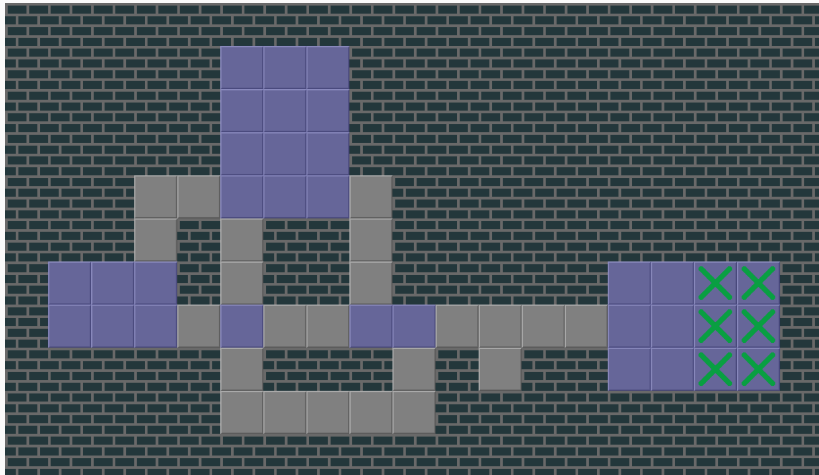
Détection de tunnels



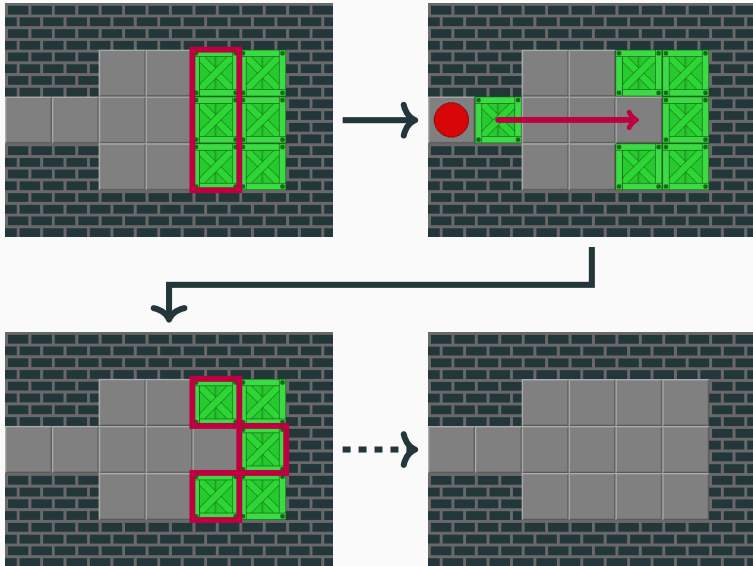


Composition d'un tunnel

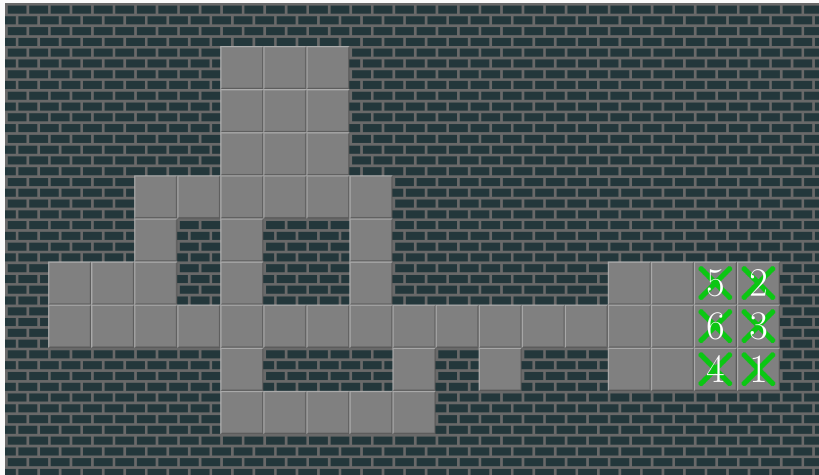
Salles et ordre de rangement (*packing order*)



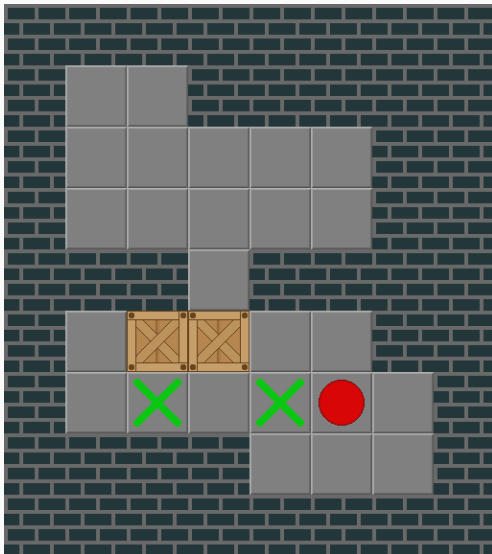
Salles et ordre de rangement (*packing order*)



Salles et ordre de rangement (*packing order*)



Salles et ordre de rangement (*packing order*)

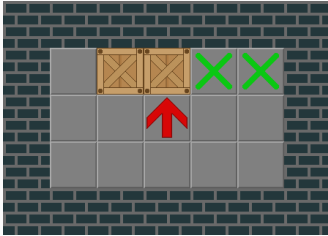


Réduction de l'espace de recherche

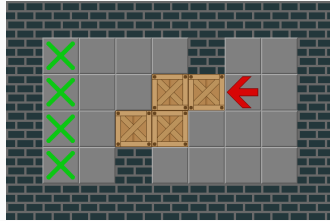


Analyse dynamique

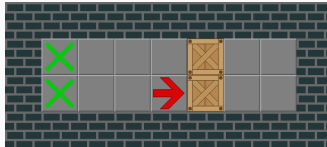
Détection d'impasses (*deadlocks*)



(a) *Freeze deadlock n°1*



(b) *Freeze deadlock n°2*

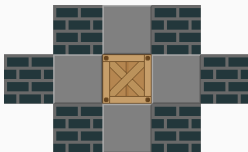


(c) *PI Corral deadlock*

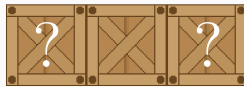
Détection de *freeze deadlocks*



(a) Règle n°1

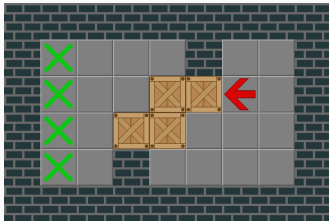


(b) Règle n°2

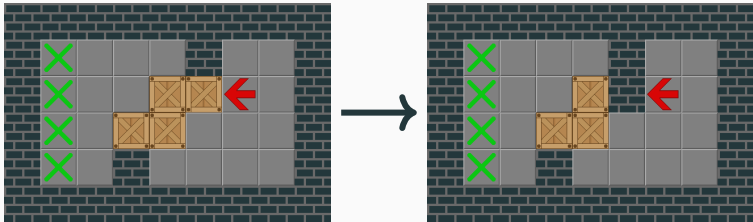


(c) Règle n°3

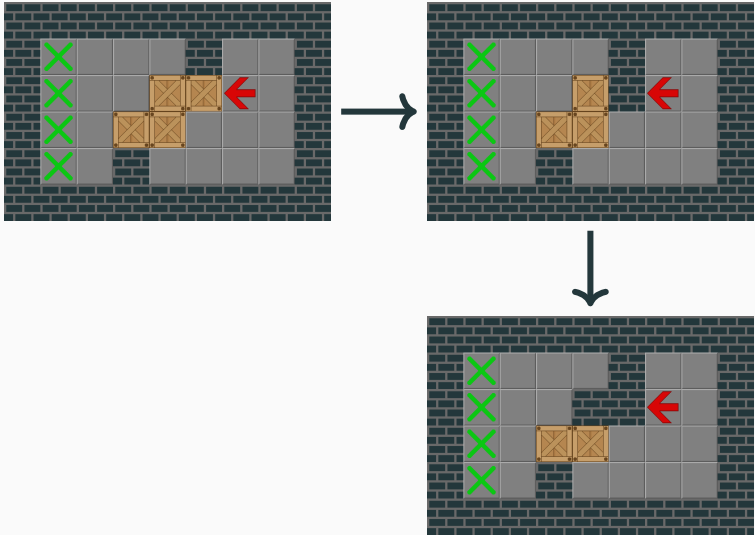
Détection de *freeze deadlocks*



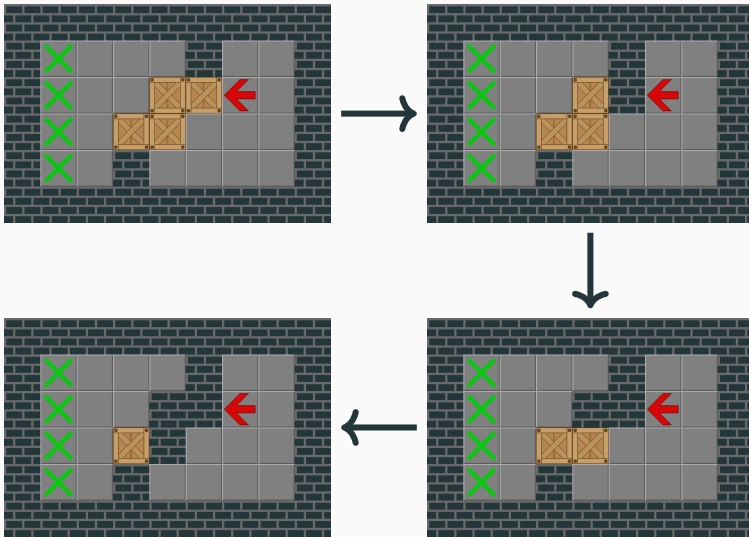
Détection de *freeze deadlocks*



Détection de *freeze deadlocks*

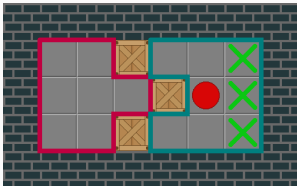


Détection de *freeze deadlocks*

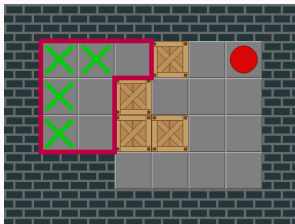


Gelée!

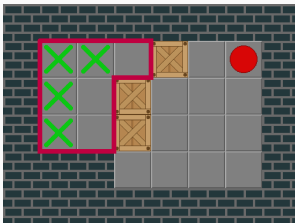
Détection de *PI Corral* deadlocks



(a) *Corral*

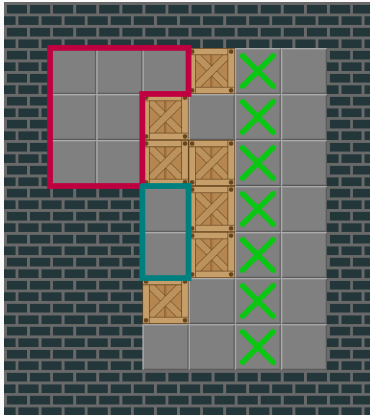


(b) *I Corral*

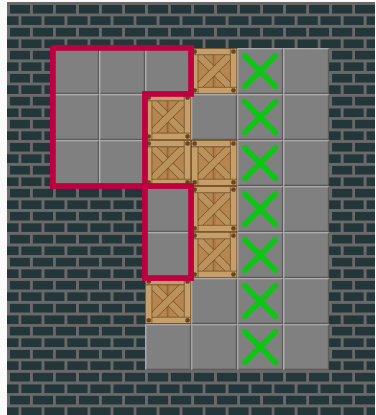


(c) *PI Corral*

Détection de *PI Corral* deadlocks



Deux *I*-Corrals



Un multi *PI-Corrals*

Brian Damgaard : émonde d'au moins **20%** l'arbre de recherche !

Table de *deadlocks*

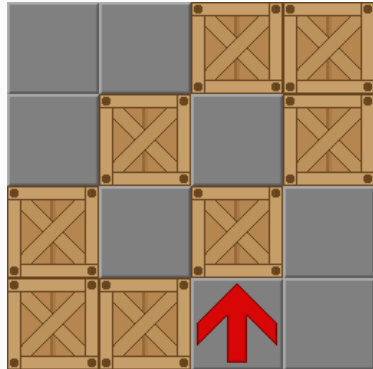
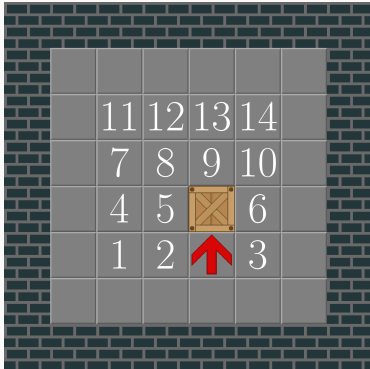
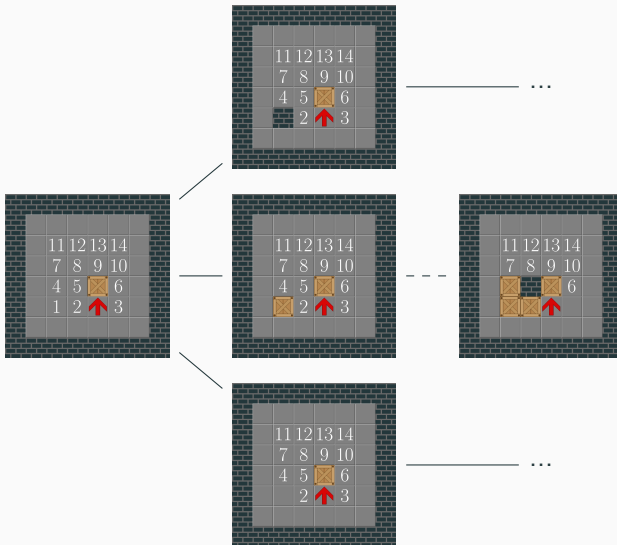


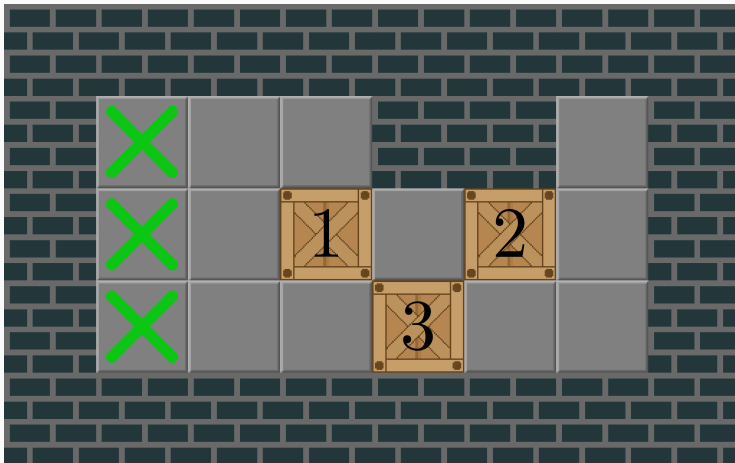
Table de *deadlocks*



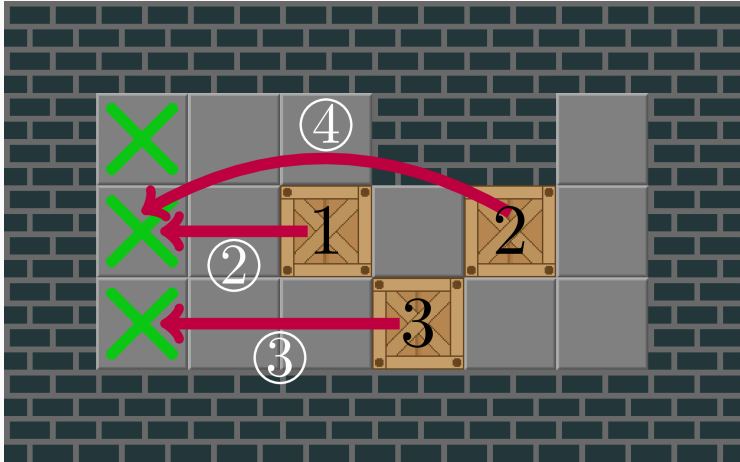
Recherche dirigée par une heuristique



Heuristique simple (*Simple Lower Bound*)

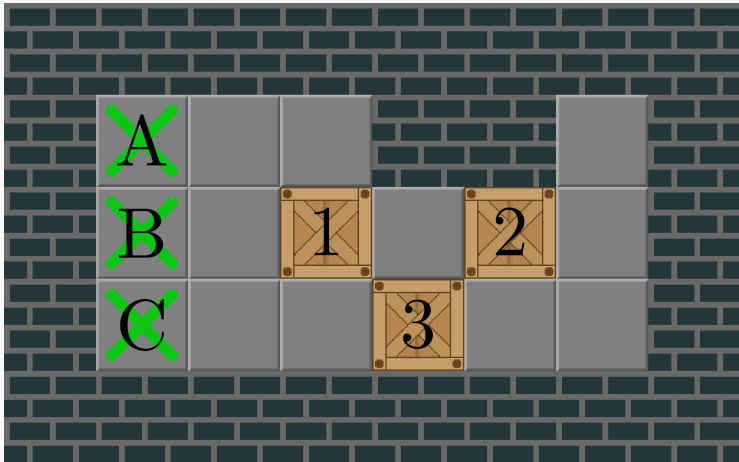


Heuristique simple (*Simple Lower Bound*)



$$2 + 4 + 3 = 9$$

Heuristique gloutonne (*Greedy Lower Bound*)



Heuristique gloutonne (*Greedy Lower Bound*)

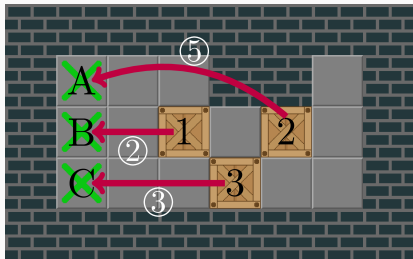


Caisse → Cible	Distance
1 → A	3
1 → B	2
1 → C	3
2 → A	4
2 → B	4
2 → C	5
3 → A	5
3 → B	4
3 → C	3



Caisse → Cible	Distance
1 → B	2
1 → A	3
1 → C	3
3 → C	3
2 → B	4
3 → B	4
2 → A	5
2 → C	5
3 → A	5

Heuristique gloutonne (*Greedy Lower Bound*)



$$2 + 3 + 5 = 10$$

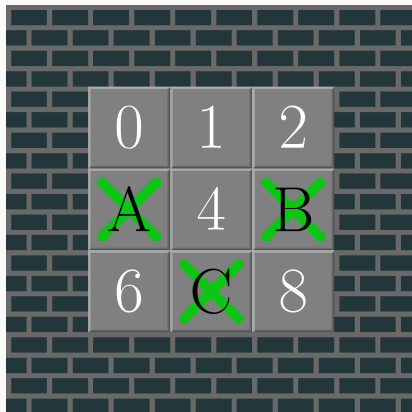
Caisse → Cible	Distance
1 → B	2
1 → A	3
1 → C	3
3 → C	3
2 → B	4
3 → B	4
2 → A	5
2 → C	5
3 → A	5

Optimisations



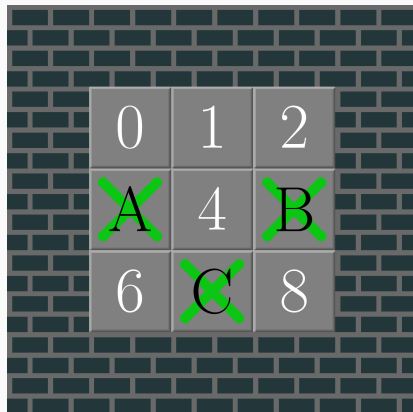
Précalcul des distances caisses-cibles

Case	Distances		
	A	B	C
0	1	3	3
1	2	2	2
2	3	1	3
3	0	2	2
4	1	1	1
5	2	0	2
6	1	3	1
7	2	2	0
8	3	1	1

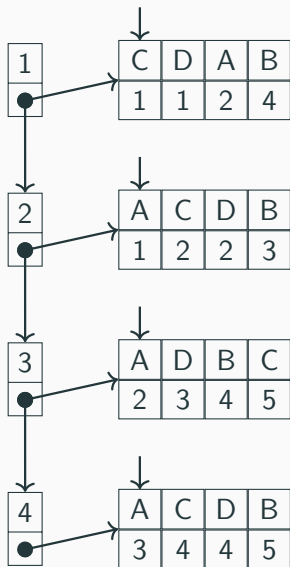


Précalcul des distances caisses-cibles

Case	Distances triées		
0	A : 1	B : 3	C : 3
1	A : 2	B : 2	C : 2
2	B : 1	A : 3	C : 3
3	A : 0	B : 2	C : 2
4	A : 1	B : 1	C : 1
5	B : 0	A : 2	C : 2
6	A : 1	C : 1	B : 3
7	C : 0	A : 2	B : 2
8	B : 1	C : 1	A : 3

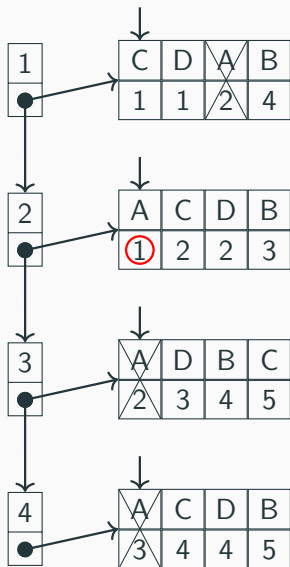


Greedy Lower Bound en $\mathcal{O}(n^2)$



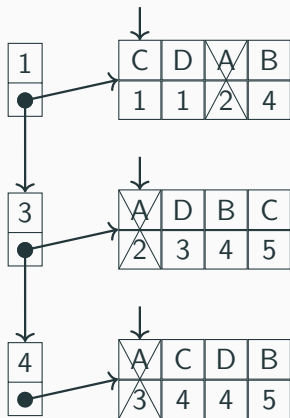
$h =$

Greedy Lower Bound en $\mathcal{O}(n^2)$



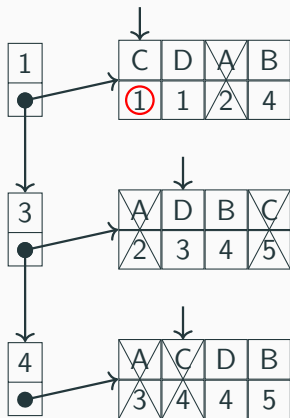
$$h = 1 +$$

Greedy Lower Bound en $\mathcal{O}(n^2)$



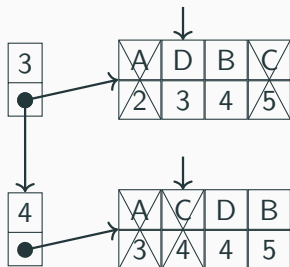
$$h = 1 +$$

Greedy Lower Bound en $\mathcal{O}(n^2)$



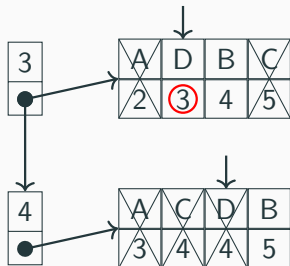
$$h = 1 + 1 +$$

Greedy Lower Bound en $\mathcal{O}(n^2)$



$$h = 1 + 1 +$$

Greedy Lower Bound en $\mathcal{O}(n^2)$



$$h = 1 + 1 + 3 +$$

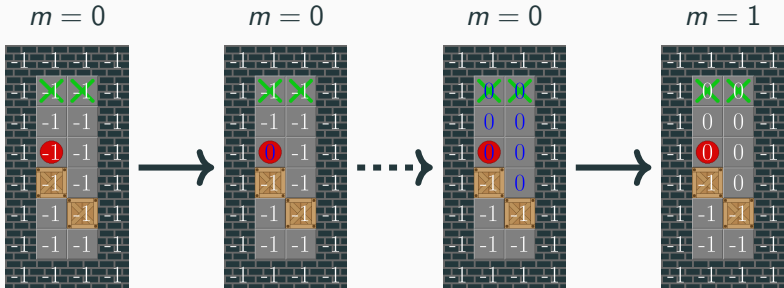
Greedy Lower Bound en $\mathcal{O}(n^2)$



$$h = 1 + 1 + 3 + 5 = 10$$

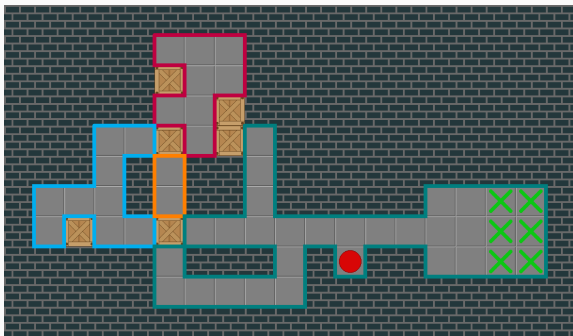
Parcours de graphes : démarquer tous les nœuds en $\mathcal{O}(1)$

nœud marqué ssi valeur = m



Calcul des *corrals* en $\mathcal{O}(wh)$

Utilisation de *Union-Find* : partition de $\llbracket 0; wh - 1 \rrbracket$.



Résultats



Nombre de niveaux résolus

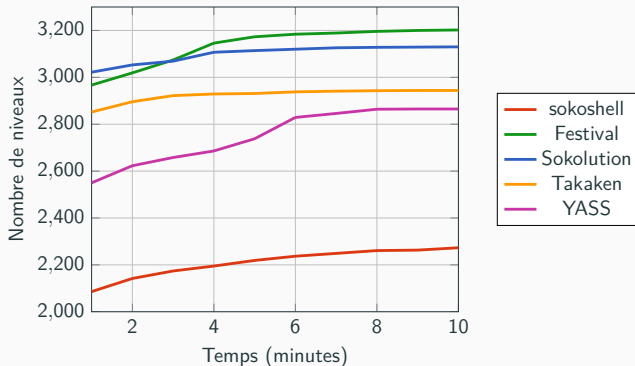
Limite de temps : 10 min. Limite de RAM : 32 Gio.

Ensemble de niveaux	XSokoban	<i>Large test suite</i>
Nombre de niveaux	90	3272
A*	11	2204
fess0	15	2273
Festival (Yaron Shoham)	90	3202
Sokolution (Florent Diedler)	90	3130
Takaken (Ken'ichiro Takahashi)	90	2944
YASS (Brian Damgaard)	89	2865

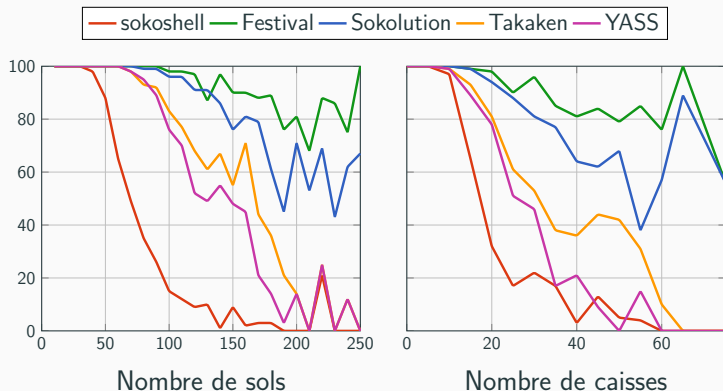
Temps moyen passé par niveaux

Solveur	A*	fess0	Festival	Sokolution	Takaken	YASS
Temps moyen	3min 28s	3min 16s	3s	2s	7s	24s

Nombre de niveaux résolus (cumulés) en fonction du temps



Pourcentage de niveaux résolus selon la composition des niveaux



Annexe



Tableau des complexités