

# Contingent Planning using Counter-Examples from a Conformant Planner

S. PIEDADE, A. GASTIEN, C. LESIRE, G. INFANTES

ONERA, ANU, JOLIBRAIN

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

# Contexte

- Planification → séquence d'action menant d'un état initial à un but
- Environnement incertain
- Observabilité partielle
- Missions d'exploration, de sauvetage, avec observations locales
- Planification sous incertitude
- Trouver un plan permettant d'atteindre un but en réalisant des observations de l'environnement



# Etat de l'art

## Replanification

- Calculer un premier plan sans considérer les incertitudes
- Replanifier si un aléa arrive pendant l'exécution du plan
- FF-Replan (Yoon et al., 2007)

## Approches probabilistes

- Incertitude modélisée par des probabilités sur les transitions d'états et les effets des actions
- Politique optimale appliquant la meilleure action à chaque état
- **Processus de Decision Markovien** (MDPs) (Puterman, 2014)
- **MDP partiellement observable** (Kaelbling et al., 1998)
  - Etat de croyance sur l'état du monde
  - Introduction d'observations pour mettre à jour la croyance sur l'état du monde
- Dans les problèmes qu'on traite on ne peut pas avoir cette notion de probabilité

## Approches symboliques

- Incertitude modélisée par un ensemble d'états initiaux possibles
- **Planification conformante** (Bertoli et al., 2001)
  - pas d'observation
  - Calculer un plan (séquence d'actions) qui résoud le problème **quelque soit les états initiaux possibles**
  - Conformant-FF (Brafman and Hoffmann, 2004)
  - CPCES (Grastien et al., 2017)
- **Planification Contingente** (Hoffmann and Brafman, 2005)
  - Calculer un **plan conditionnel** contenant des branches permettant une **prise de décision en ligne** influencée par le résultat **d'observations**
  - Contingent-FF (Hoffmann and Brafman, 2005)
  - CLG (Albore et al., 2011)
  - Approches par compilation (Brafman and Shani, 2012)

# Motivations

- Problème d'explosion combinatoire de la planification contingente
- Essayer de trouver un moyen de réduire cette complexité
- Approches par compilation en problème de planification classique (Brafman and Shani, 2012)
- Réduire la complexité du calcul d'un plan contingent en utilisant un planificateur conformant
- Permet le calcul de sous-problèmes évitant de calculer des observations

# Approche

## Idée

- planificateur conformant CPCES (Grastien et al., 2017), en cas d'échec:
  - Retourne un **contre-exemple**
  - Retourne un **plan solution d'une partie des états initiaux possibles**
- Donner le problème à résoudre à CPCES
- En cas d'échec, utiliser le **contre-exemple** et le **plan échouant** pour déterminer **quelle observation** réaliser et **quand**
- Séparer le problème en **sous-problèmes** prenant l'observation en compte pour **réduire l'incertitude** dans les sous-problèmes
- Demander au planificateur conformant de résoudre ces sous-problèmes **itérativement**

# Plan

- Formalisme
- Principe de l'algorithme
- Résultats
- Conclusion
- Perspectives

# Formalisme

## Problème $(\mathcal{L}, \mathcal{O}, I, G)$

- $\mathcal{L} = \{p_1, \dots, p_n\}$  est un ensemble fini de **propositions**
- $\mathcal{W} = 2^{\mathcal{L}}$  est l'ensemble des **états du monde** possibles
- $\mathcal{O}$  est un ensemble fini **d'opérateurs**, partitionné en ensemble **d'actions**  $A$  et **d'observations**  $O$
- Chaque opérateur  $op \in \mathcal{O}$  est défini par des **préconditions**  $pre(op) \subseteq \mathcal{L}$  et un **ensemble d'effets**  $eff(op)$
- $I \subseteq \mathcal{W}$  est l'ensemble des **états initiaux possibles**
- $G \subseteq \mathcal{L}$  est l'ensemble des propositions définissant le **but**

## Formalisme

## Application d'une action dans un état du monde

- $a \in A$  est *applicable* dans l'état  $s \in \mathcal{W}$  ssi  $pre(a) \subseteq s$
- Un effet  $e \in eff(a)$  est défini par un triplet  $(con(e), add(e), del(e))$
- Si  $a$  est applicable dans  $s$ , alors l'application de  $a$  résulte dans un état  $T(s, a)$  avec  $T$  la **fonction de transition** tel que:

$$T(s, a) = s - \bigcup_{e \in eff(a) \text{ s.t. } con(e) \subseteq s} del(e) \cup \bigcup_{e \in eff(a) \text{ s.t. } con(e) \subseteq s} add(e)$$

## Application d'une observation dans un état du monde

- $o \in O$  est applicable dans  $s \in \mathcal{W}$  ssi  $pre(o) \subseteq s$
- $eff(o) \in \mathcal{L}$  est défini par la **valeur de vérité** de la proposition observée en appliquant  $o$
- L'application de  $o$  dans  $s$  n'a **pas d'effet** sur  $s$ ,  $T(s, o) = s$

# Formalisme

## Etat de croyance

- **Belief**  $\mathcal{B} = \{s_1, \dots, s_n\} \subseteq \mathcal{W}$  est la propagation des états initiaux possibles

## Application d'une action dans un belief

- $a \in A$  est applicable dans  $\mathcal{B}$  ssi  $\forall s \in \mathcal{B}, pre(a) \subseteq s$
- L'application de  $a$  dans  $\mathcal{B}$  résulte en un belief  $\mathcal{B}'$  tel que:

$$T(\mathcal{B}, a) = \{T(s, a), \text{ s.t. } s \in \mathcal{B}\}$$

## Application d'une observation dans un belief

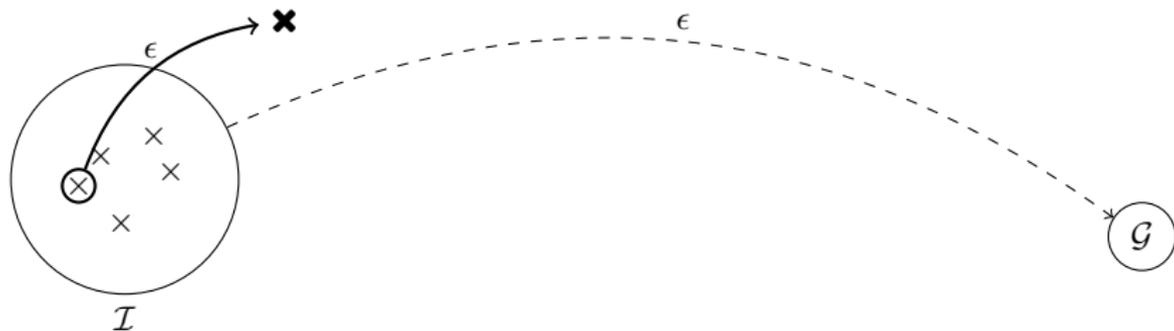
- $o \in O$  est applicable dans le belief  $\mathcal{B}$  ssi  $\forall s \in \mathcal{B}, pre(o) \subseteq s$
- $\nu(o)$  est la **valeur de vérité** des propositions observées par  $o$ .
  - $\nu^+(o) \subseteq \mathcal{L}$  est l'ensemble des propositions dont la valeur observée est contenue dans l'état courant
  - $\nu^-(o) \subseteq \mathcal{L}$  est l'ensemble des propositions dont la valeur observée n'est pas contenue dans l'état courant
- L'application de  $o$  dans un belief  $\mathcal{B}$  résulte en un belief  $T(\mathcal{B}, o)$  tel que:

$$T(\mathcal{B}, o) = \{s, \text{ s.t. } s \in \mathcal{B} \wedge \nu^+(o) \subseteq s \wedge \nu^-(o) \cap s = \emptyset\}$$

### Plan conditionnel

- **Graphe d'opérateurs**, menant un belief initial à un belief **but**
- Les **branchements** du graphe correspondent aux **résultats des observations**, selon que les propriétés observées soient contenues dans le belief courant ou non

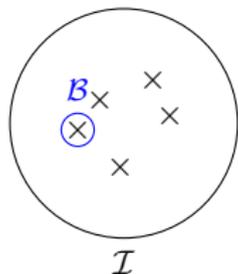
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- $\text{---}\rightarrow$  plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- $\text{---}\rightarrow$  plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

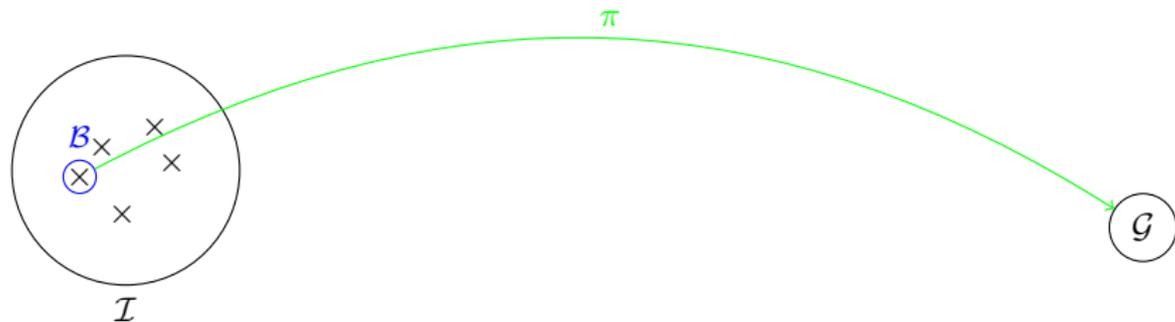
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- > plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- > plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

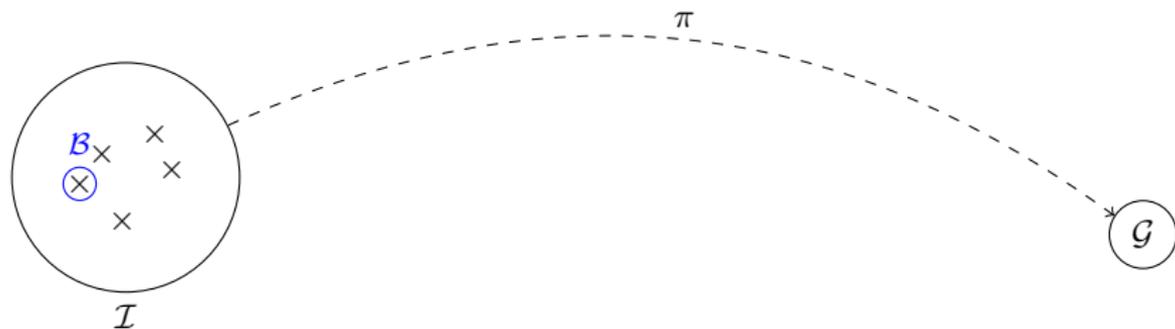
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- > plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

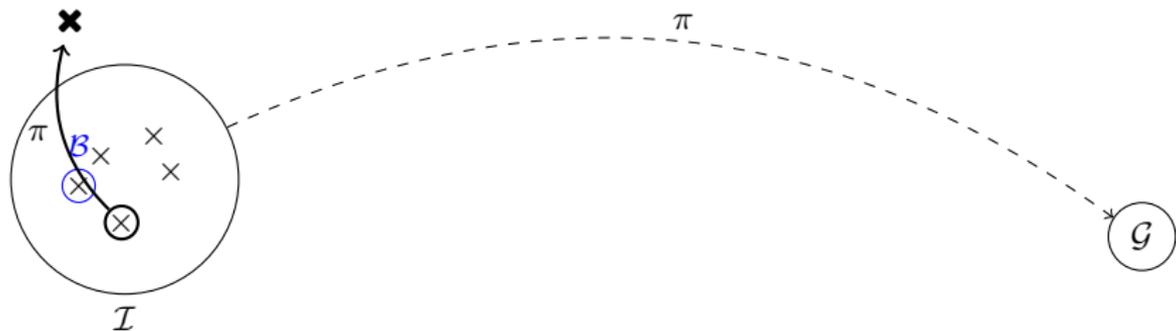
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- $\text{---}\rightarrow$  plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- $\text{---}\rightarrow$  plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

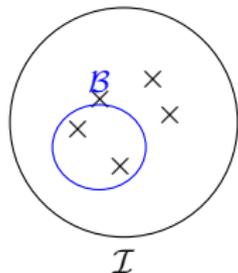
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- $-----\rightarrow$  plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- $\xrightarrow{\text{vert}}$  plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

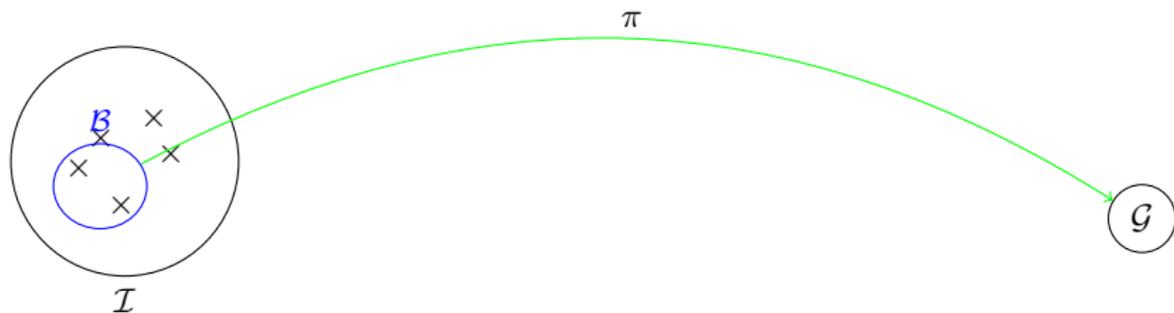
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- × état initial possible
- > plan proposé à Z3
- → × contre-exemple trouvé par Z3
- plan calculé avec FF
- a élément retourné

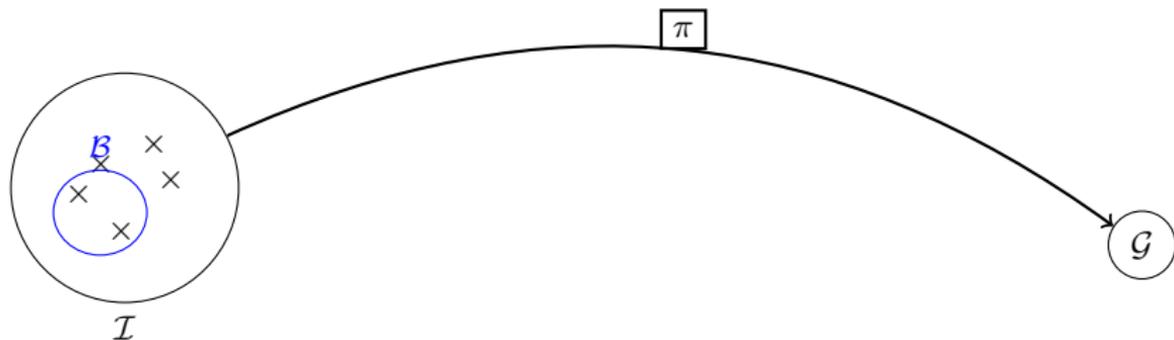
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- > plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

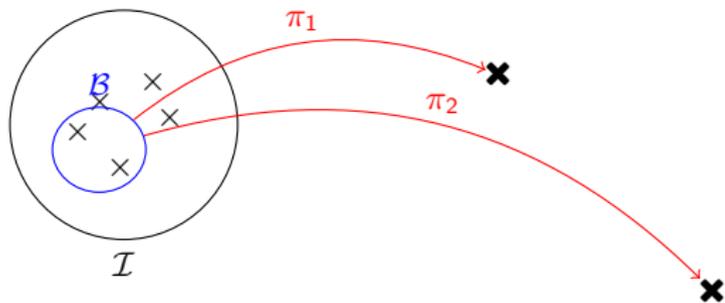
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- × état initial possible
- > plan proposé à Z3
- → ✕ contre-exemple trouvé par Z3
- plan calculé avec FF
- a élément retourné

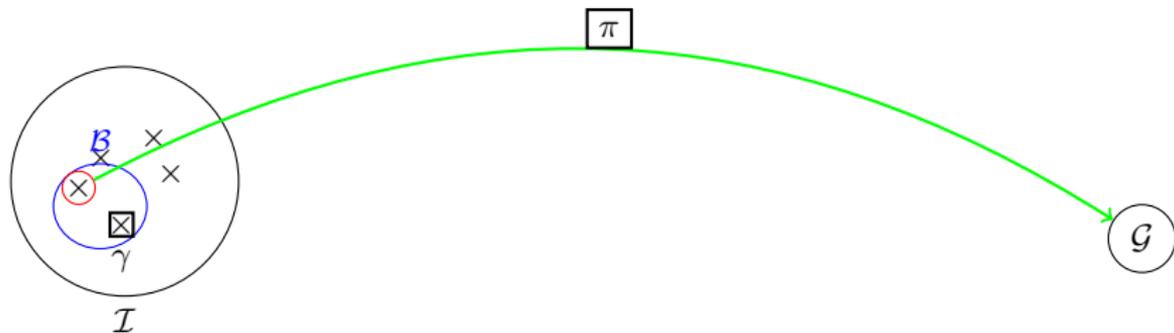
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- > plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- > plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

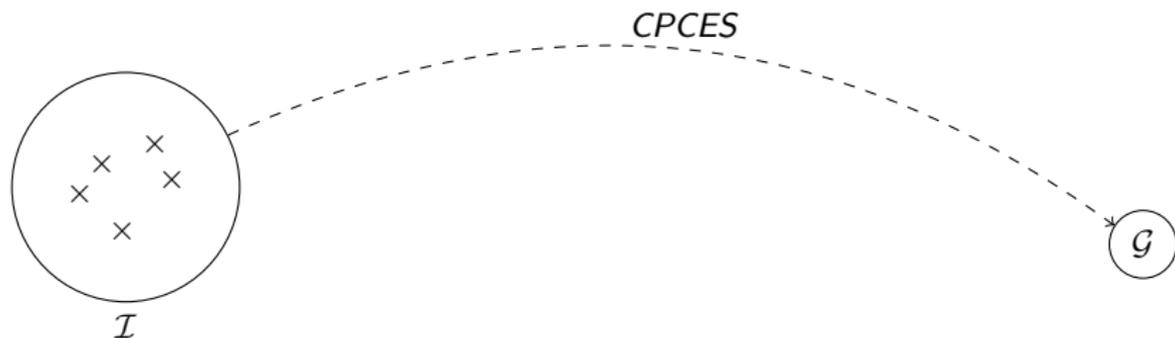
## CPCES (Grastien et al., 2017)



## Légende

- $\times$  état initial possible
- > plan proposé à Z3
- $\bigcirc \rightarrow \times$  contre-exemple trouvé par Z3
- > plan calculé avec FF
- $\boxed{a}$  élément retourné

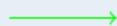
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

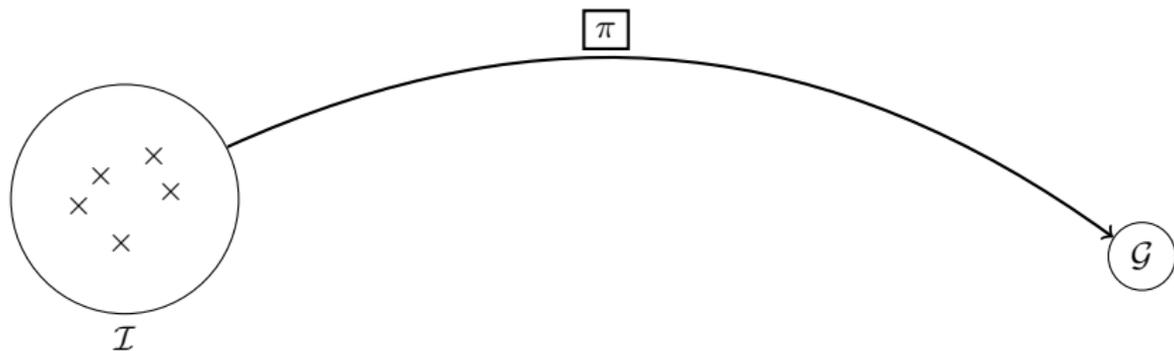


élément retourné

—&gt;

échec

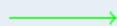
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

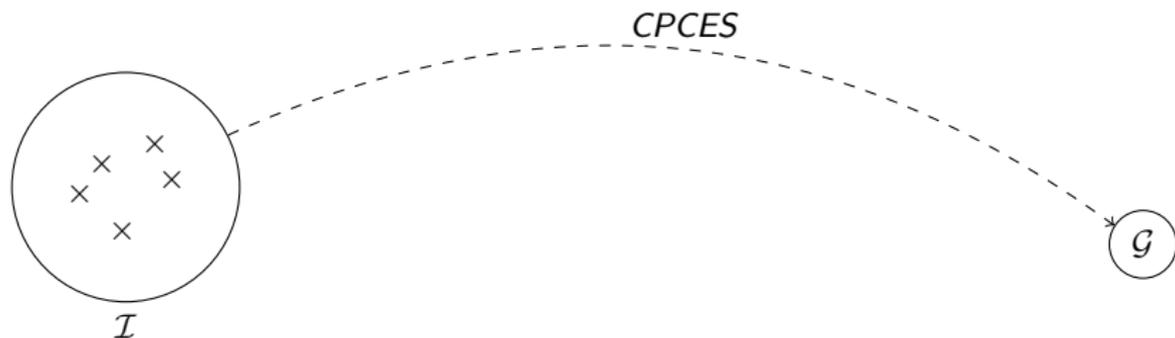


élément retourné

—&gt;

échec

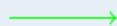
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

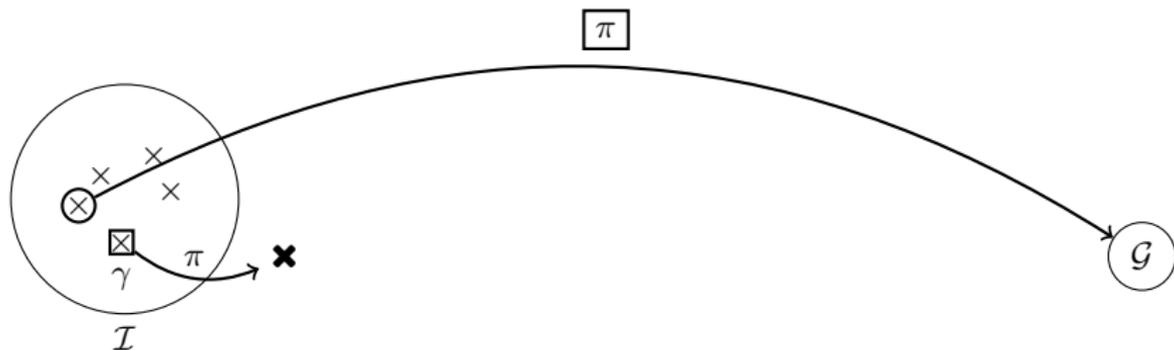


élément retourné

—&gt;

échec

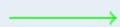
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

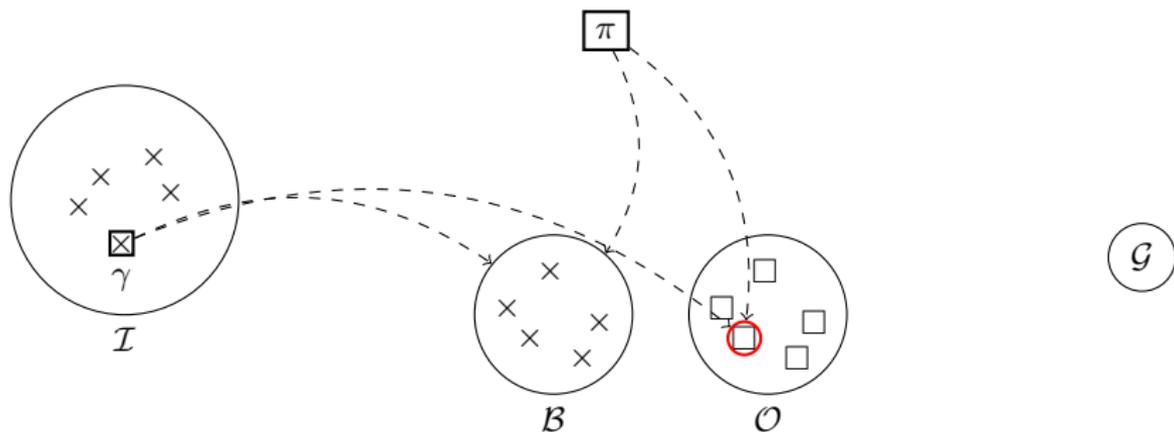


élément retourné

—&gt;

échec

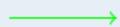
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

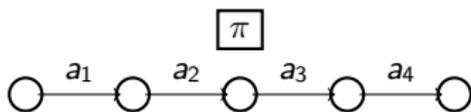
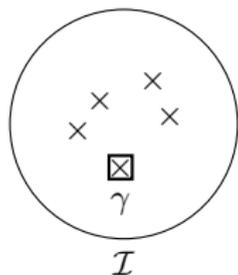


élément retourné

—&gt;

échec

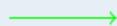
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

----->

application

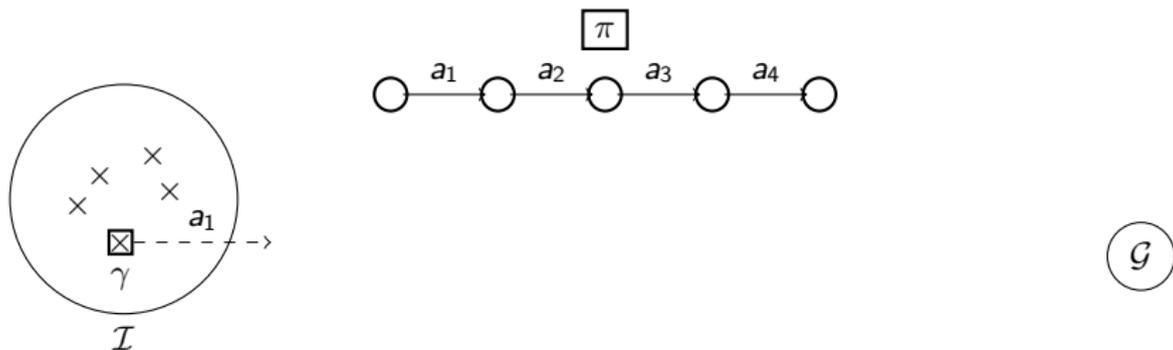


élément retourné

----->

échec

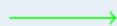
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

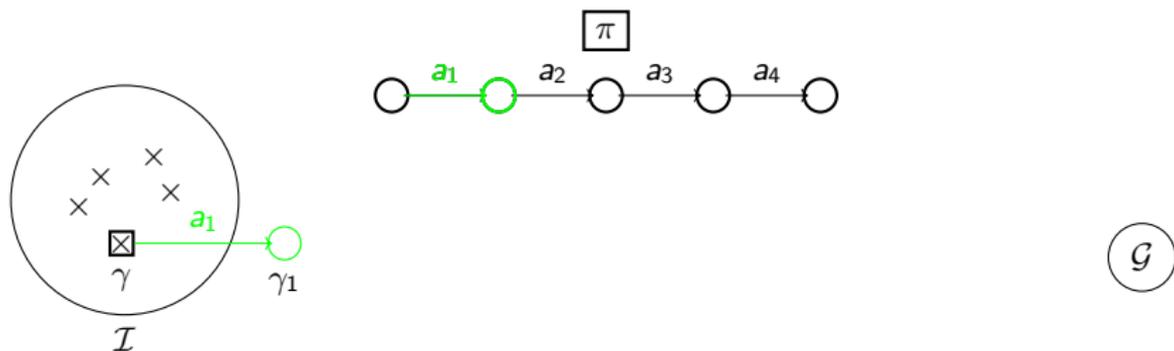


élément retourné

—&gt;

échec

# Processus Contingent



## Légende

×

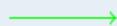
état

- - - - -&gt;

application

—&gt;

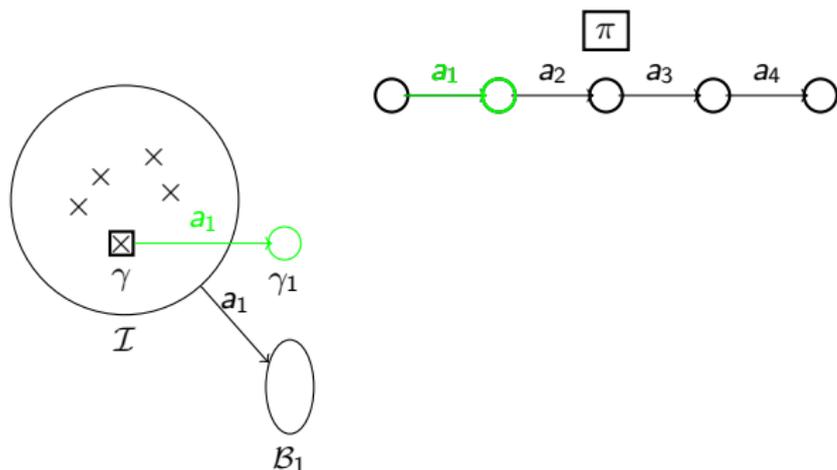
échec



réussite

élément retourné

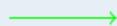
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

----->

application

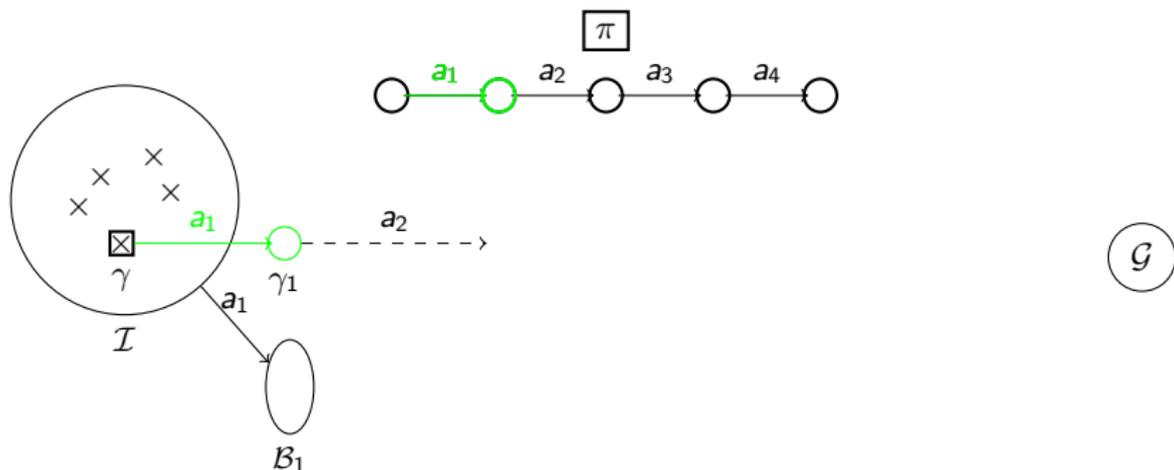


élément retourné

----->

échec

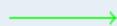
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

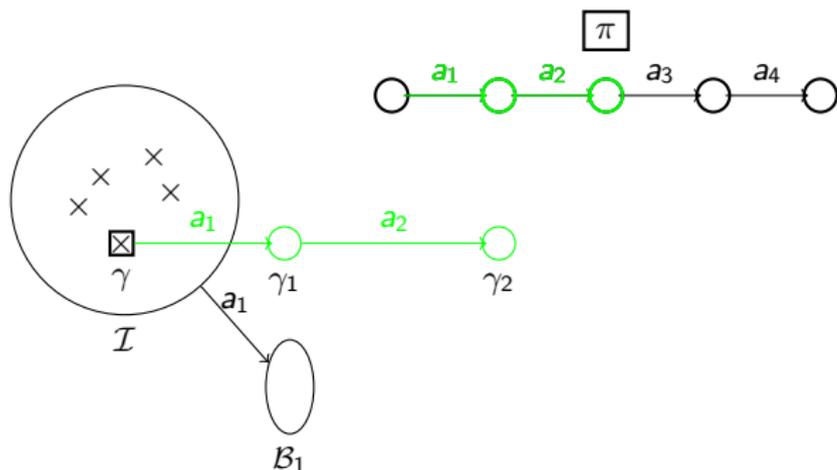


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

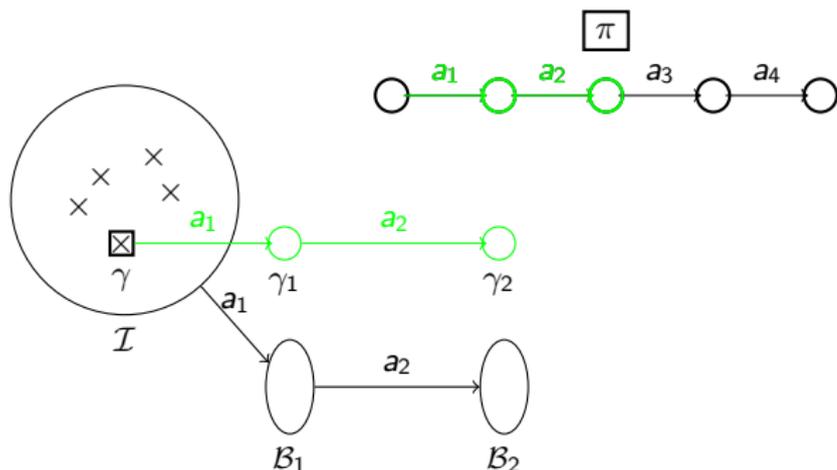


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

# Processus Contingent



## Légende

×

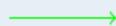
état

- - - - -&gt;

application

→

échec

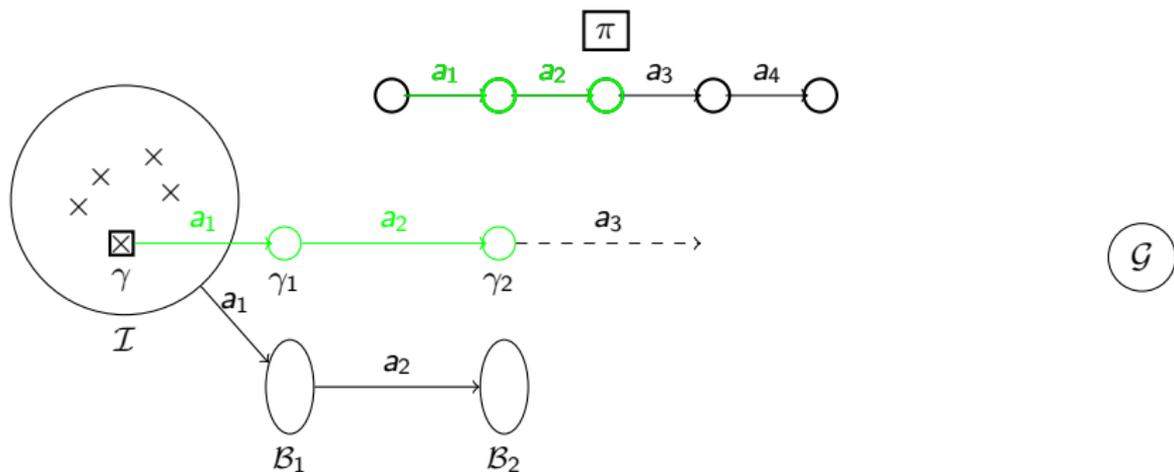


réussite



élément retourné

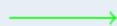
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

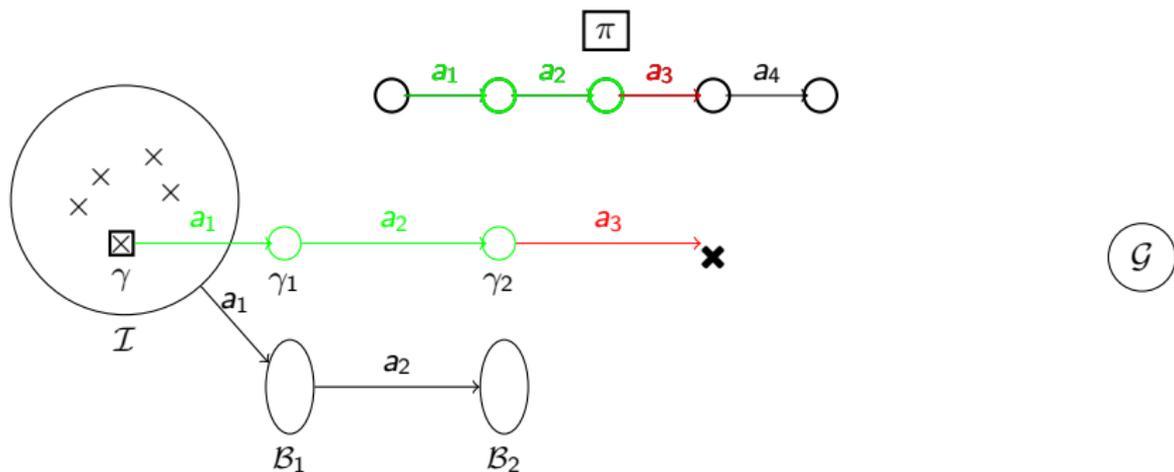


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

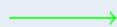
# Processus Contingent



## Légende

$\times$

état



réussite

----->

application

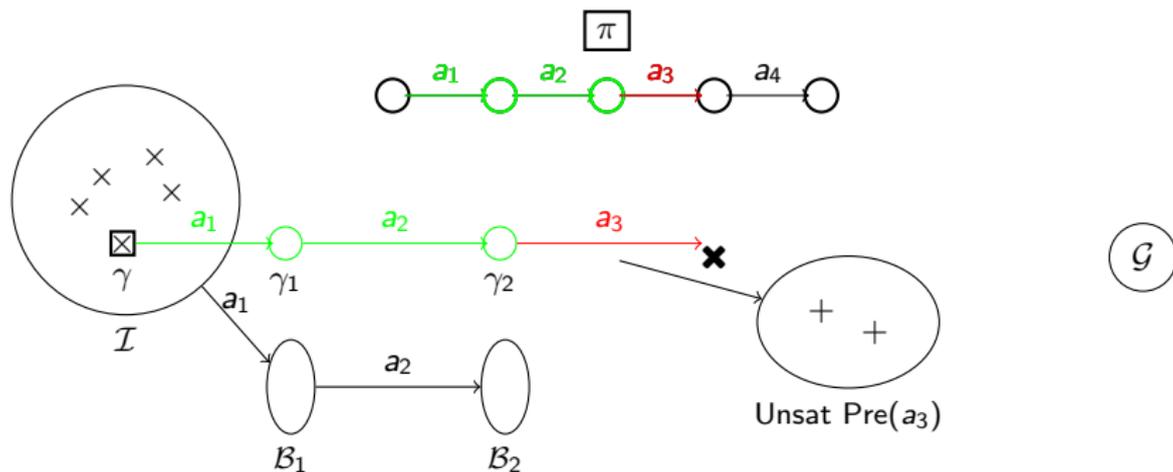


élément retourné

----->

échec

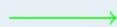
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

----->

application

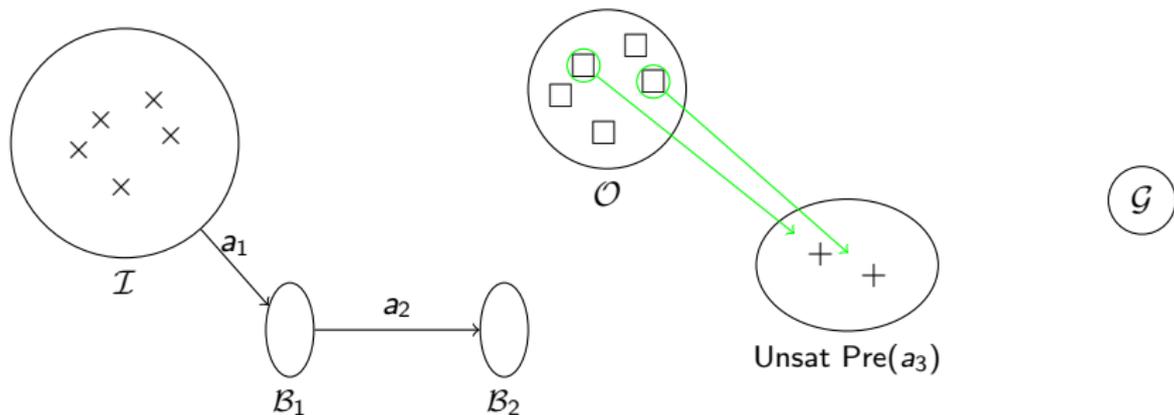


élément retourné

----->

échec

# Processus Contingent



## Légende

×

état

- - - - -&gt;

application

→

échec

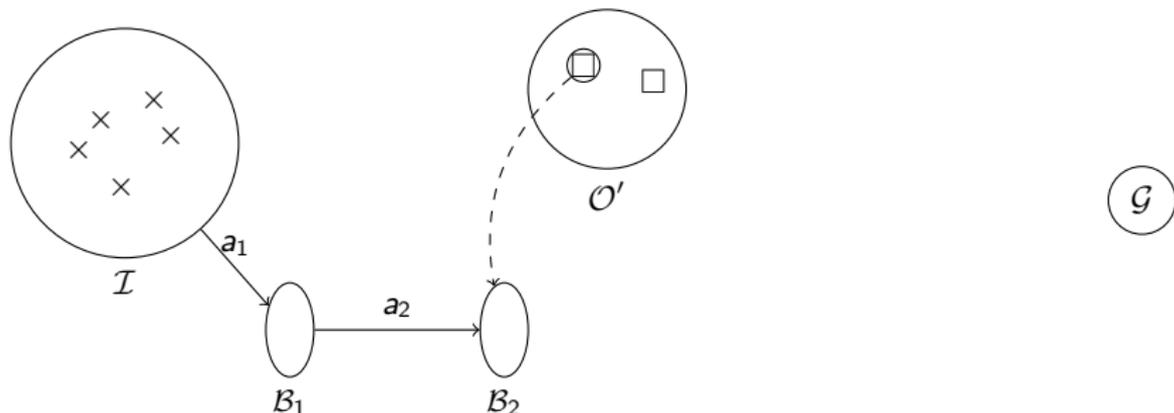
→

réussite

 $a$ 

élément retourné

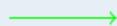
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

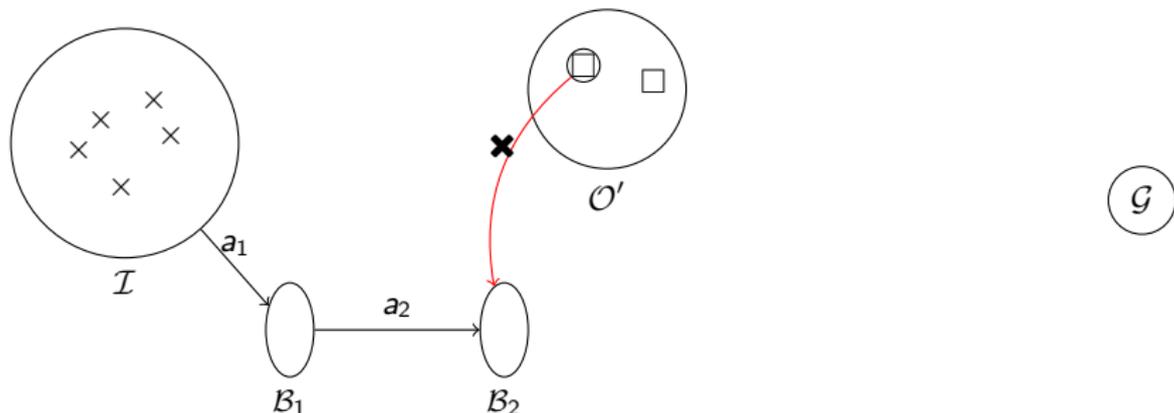


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

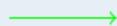
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

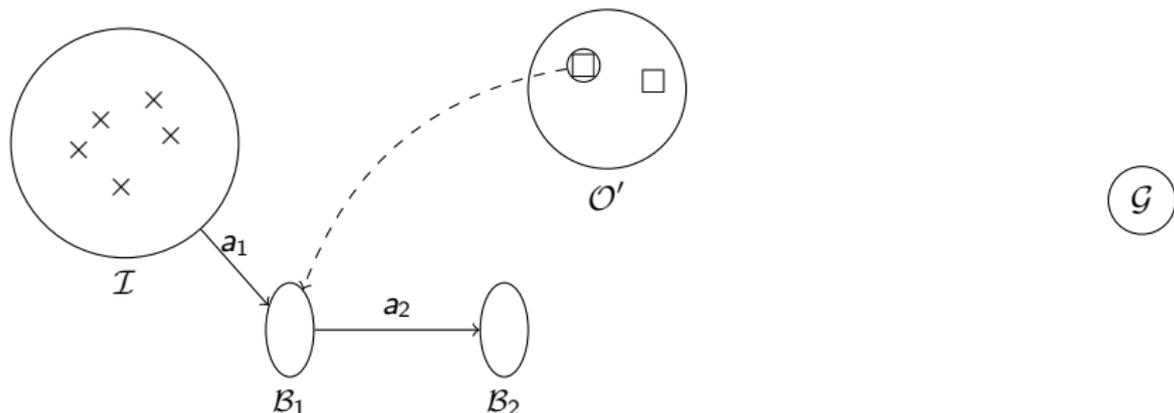


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

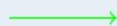
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

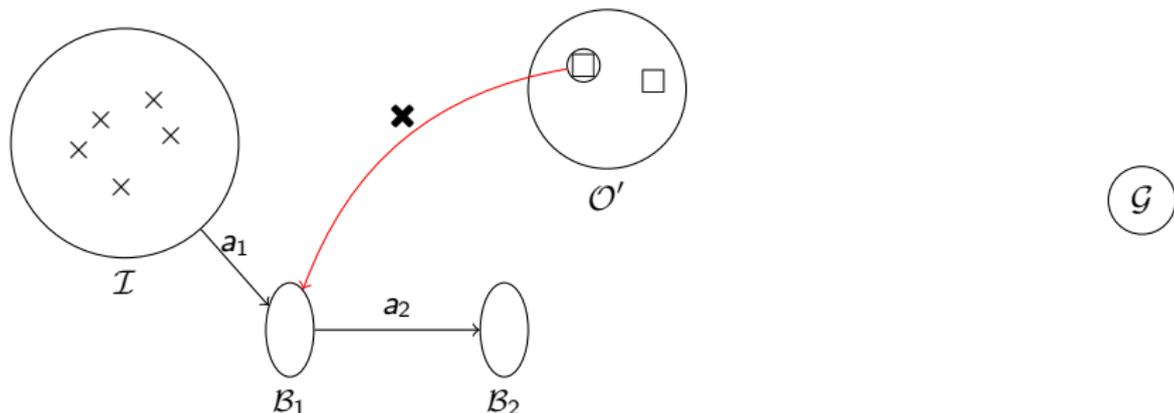


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

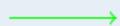
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

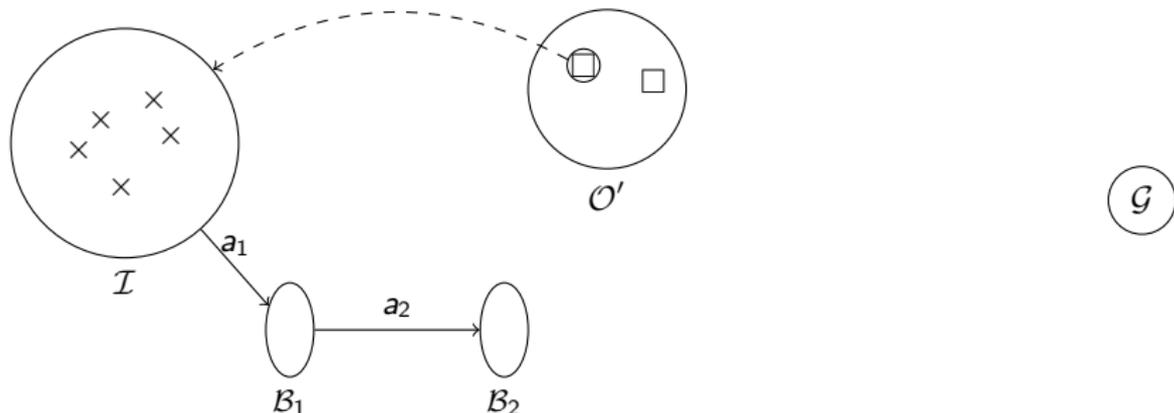


élément retourné

—&gt;

échec

# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

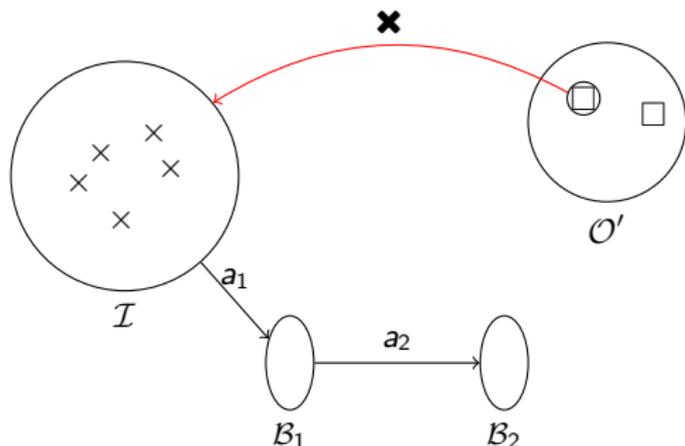


élément retourné

—&gt;

échec

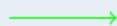
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

----->

application

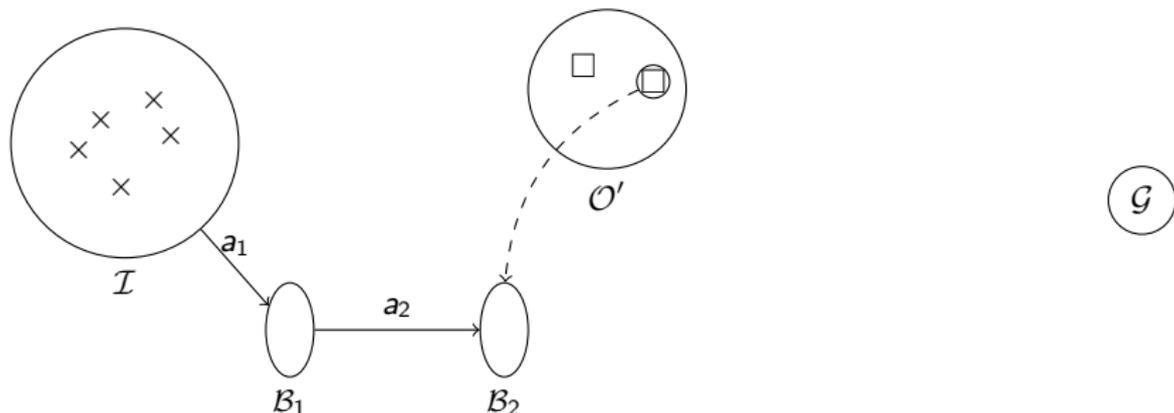


élément retourné

----->

échec

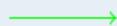
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

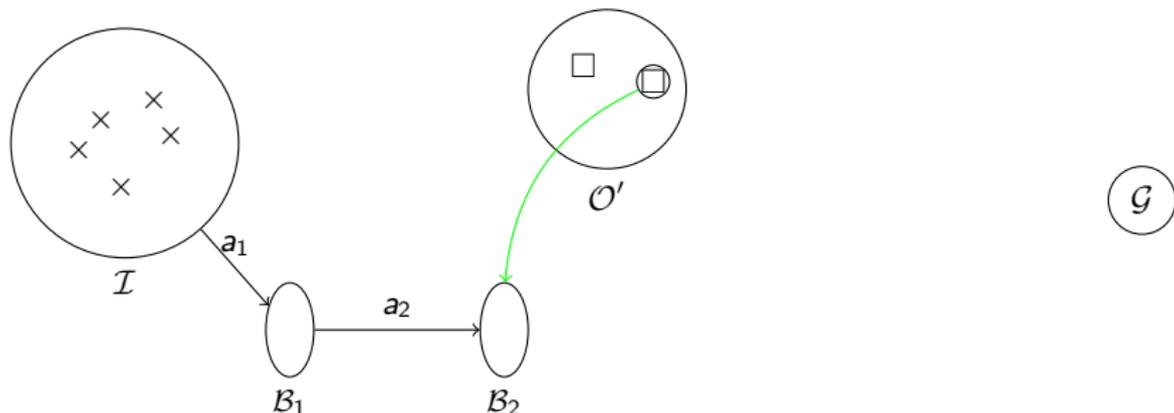


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

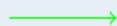
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

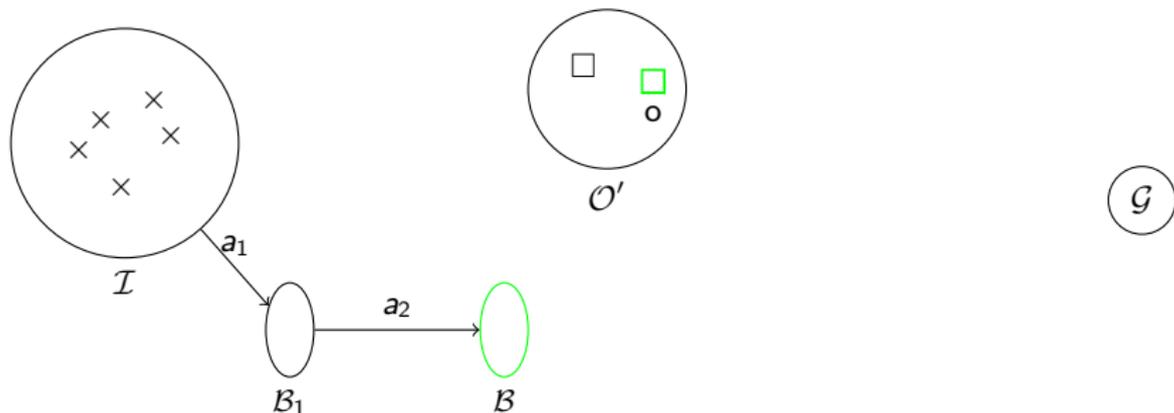


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

# Processus Contingent



## Légende

×

état

----->

application

----->

échec

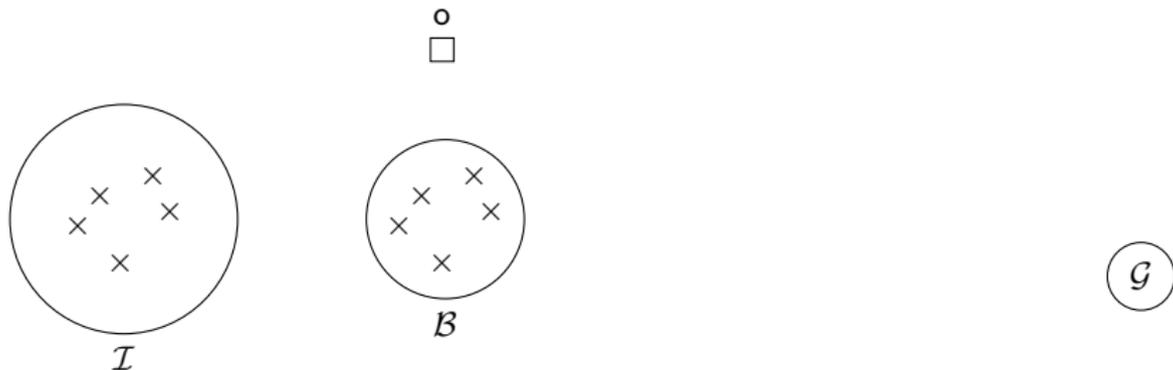
----->

réussite

$a$

élément retourné

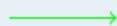
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

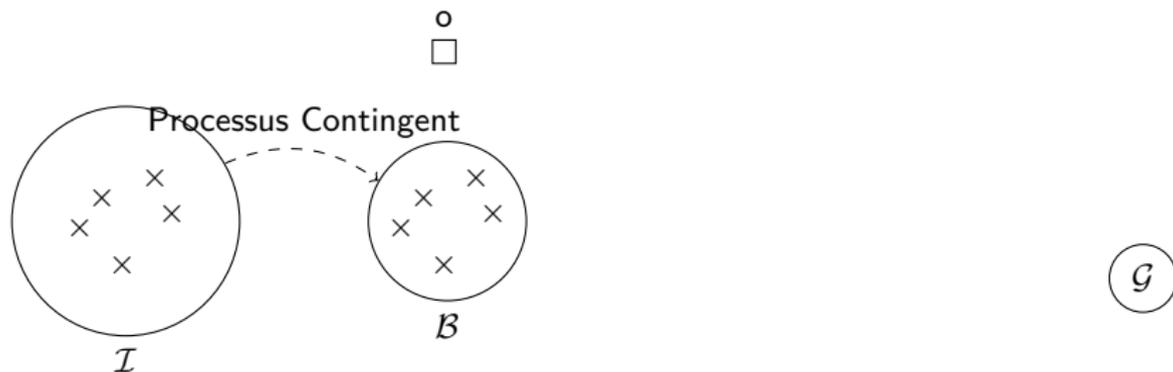


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

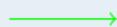
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application

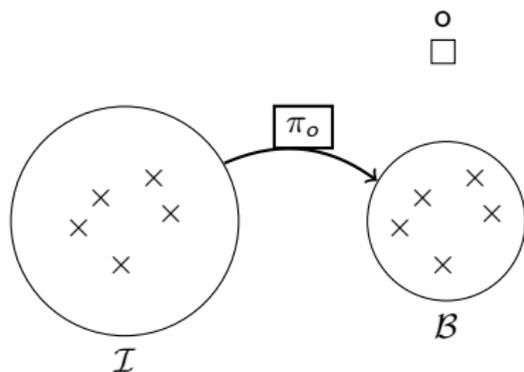


élément retourné

—&gt;

échec

# Processus Contingent



## Légende

x

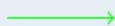
état

- - - - -&gt;

application

—&gt;

échec

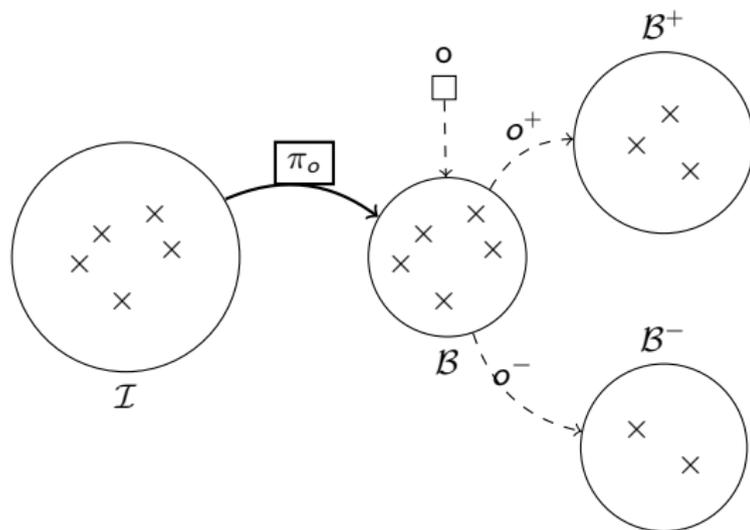


réussite



élément retourné

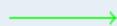
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

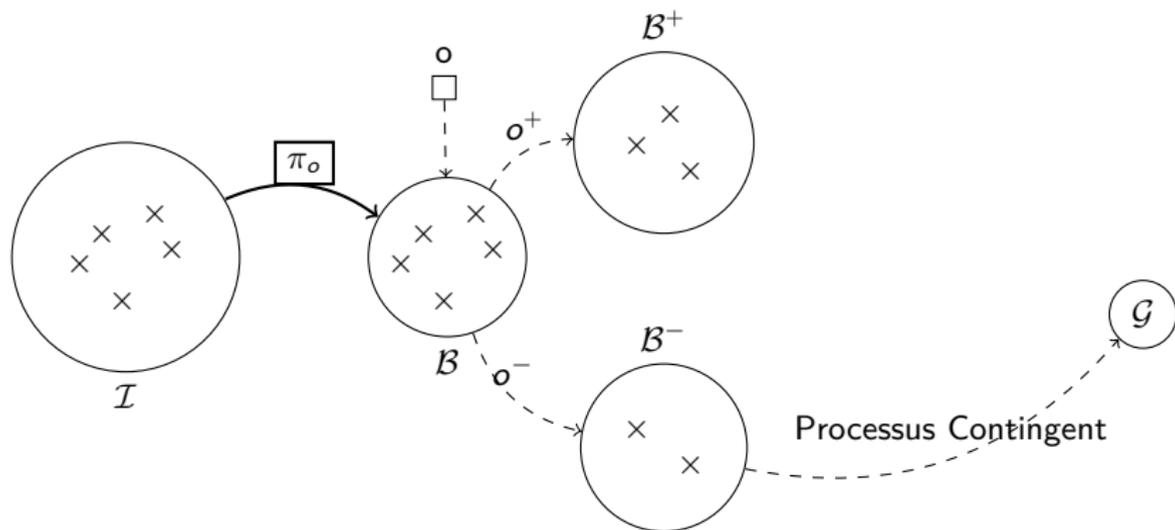


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

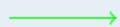
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

- - - - -&gt;

application

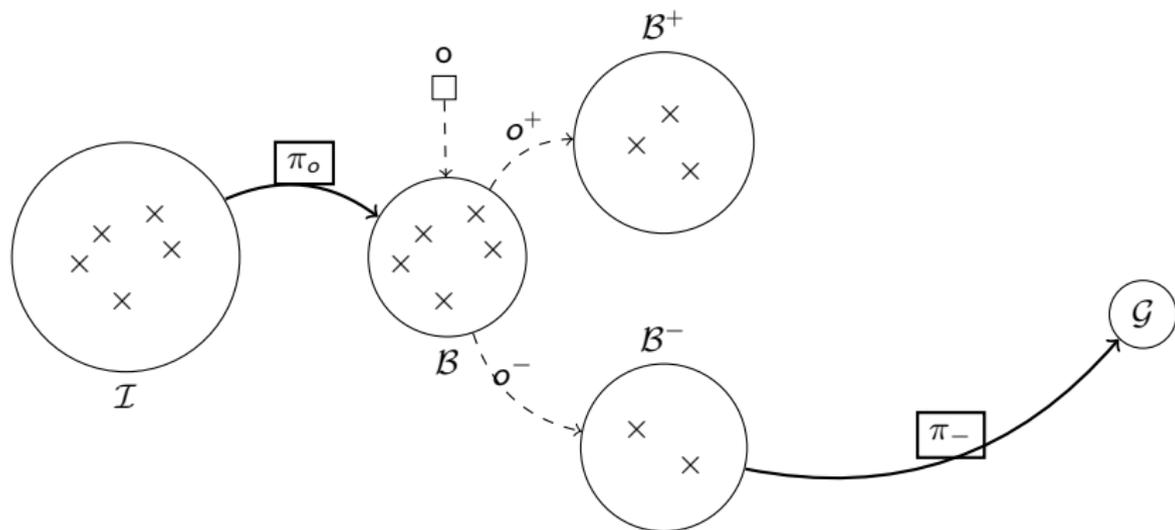


élément retourné

- - - - -&gt;

échec

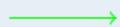
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

-----&gt;

application

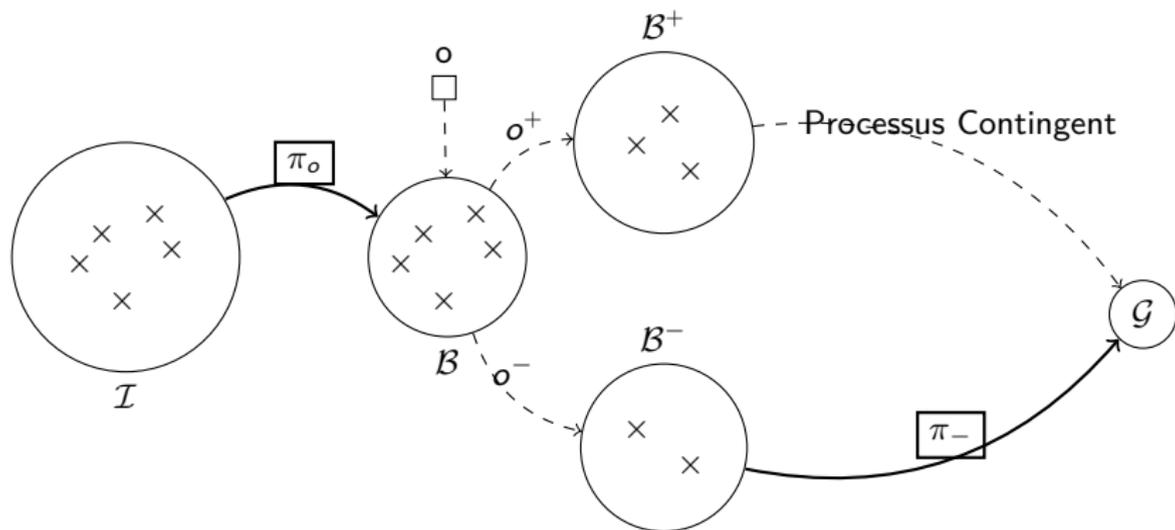


élément retourné

-----&gt;

échec

# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

-----&gt;

application

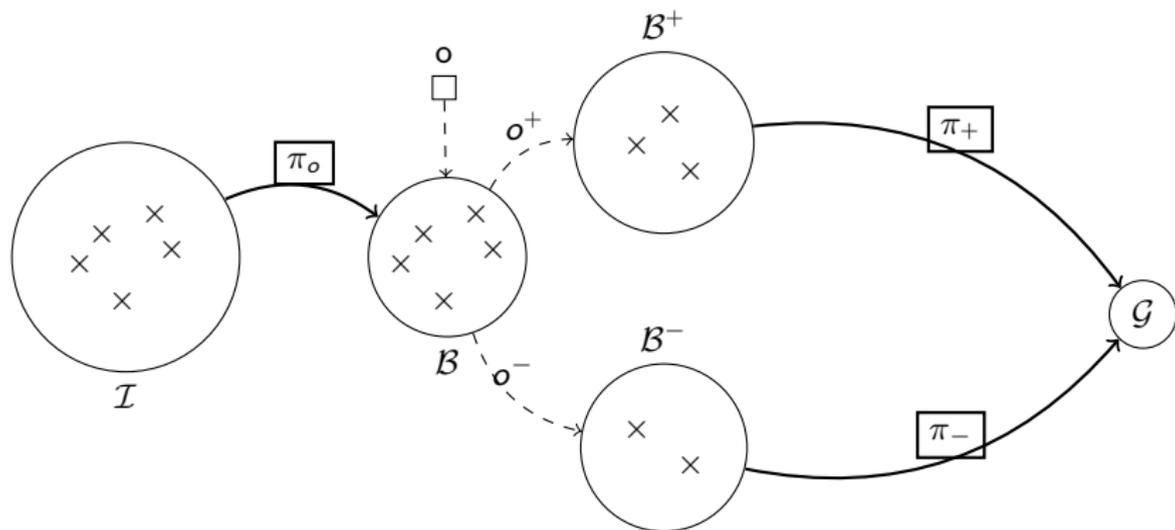


élément retourné

-----&gt;

échec

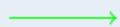
# Processus Contingent



## Légende

x

état



réussite

-----&gt;

application

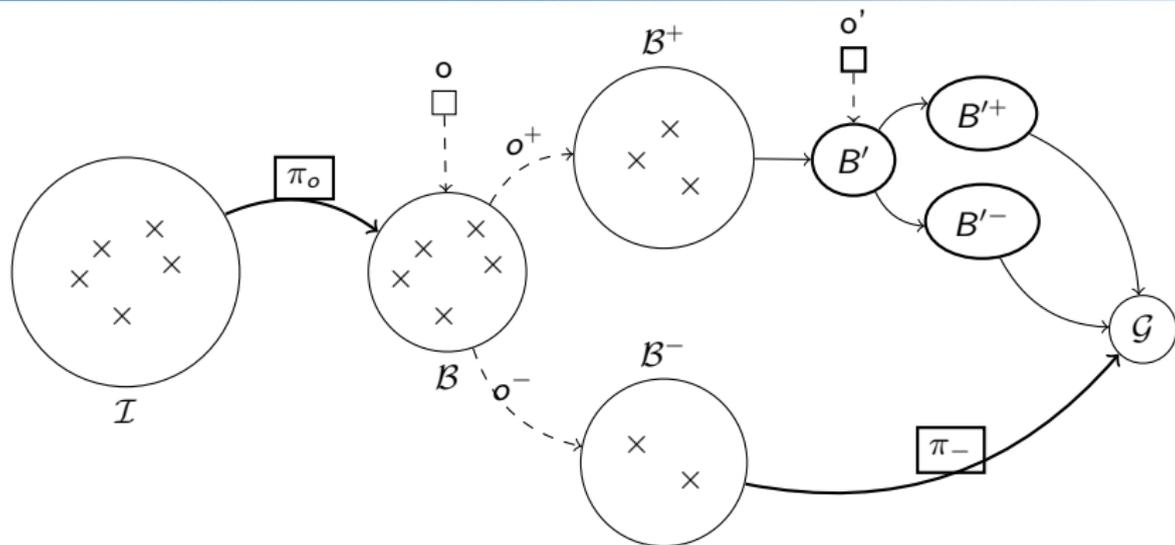


élément retourné

-----&gt;

échec

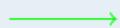
# Processus Contingent



## Légende

×

état



réussite

- - - - -&gt;

application



élément retourné

—&gt;

échec

# Algorithme de planification contingente

---

## Algorithm 1: Contingent Planning Procedure

---

**Input:**  $\mathbb{P} = (\mathcal{L}, \mathcal{O}, I, G)$

**Output:**  $\pi_c$

```

1 begin
2    $\pi, \gamma := \text{conformantPlanner}(\mathbb{P})$ 
3   if  $\gamma = \emptyset$  then
4     return  $\pi$ 
5    $\mathcal{B}_o, o := \text{findObservation}(I, \mathcal{O}, \pi, \gamma)$ 
6    $\pi_o := \text{ContingentPlanning}((\mathcal{L}, \mathcal{O}, I, \mathcal{B}_o))$ 
7    $\mathcal{B}^+ := T(\mathcal{B}_o, o)$  with  $\nu^+(o) = \text{eff}(o)$ 
8    $\pi_p := \text{ContingentPlanning}((\mathcal{L}, \mathcal{O}, \mathcal{B}^+, G))$ 
9    $\mathcal{B}^- := T(\mathcal{B}_o, o)$  with  $\nu^-(o) = \text{eff}(o)$ 
10   $\pi_n := \text{ContingentPlanning}((\mathcal{L}, \mathcal{O}, \mathcal{B}^-, G))$ 
11  return  $(\pi_o ; \text{if } o \text{ then } \pi_p \text{ else } \pi_n)$ 

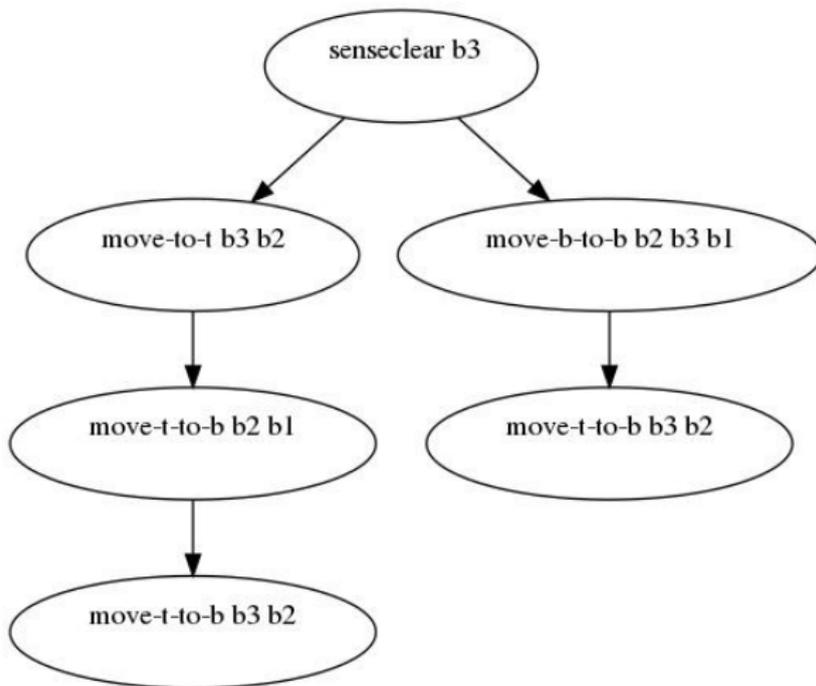
```

---

## Propriétés de l'algorithme

- Notre approche est saine car on se base sur un planificateur conformant sain pour calculer chaque branche du plan.
- Les solutions retournées sont solutions du problème en étant conformantes ou contingentes
- On compare notre approche avec Contingent-FF (Hoffmann and Brafman, 2005)
- 7 benchmarks de 4 problèmes chacun
- Time out à partir de 5 min

Figure: Plan blocks p3



# Résultats

Problem	Contingent Planning with counter-examples					Contingent-FF			
	time	size	depth	shortest	observations	time	size	depth	observations
blocks/p3	0.94	6	4	3	1	0.00	6	4	1
blocks/p7	5.6	89	16	10	7	0.05	<b>55</b>	<b>9</b>	7
blocks/p11	6.4	169	29	20	7	0.43	<b>117</b>	<b>18</b>	7
blocks/p15	8.05	244	39	27	7	3.20	<b>163</b>	<b>25</b>	7
btcs/p10	0.76	19	19	19	<b>0</b>	0.02	19	10	9
btcs/p30	2.36	59	59	59	<b>0</b>	0.8	59	30	29
btcs/p50	8.13	99	99	99	<b>0</b>	9.79	99	50	49
btcs/p70	24.11	139	139	139	<b>0</b>	57.31	139	70	69
ebtcs/p10	6.21	19	10	2	9	0.01	19	10	9
ebtcs/p30	22.73	59	30	2	29	0.42	59	30	29
ebtcs/p50	56.8	99	50	2	49	4.93	99	50	49
ebtcs/p70	156.11	139	70	2	69	29.10	139	70	69
grid/p2	3.61	9	9	9	0	0.01	9	9	0
grid/p3	4.05	<b>19</b>	<b>19</b>	19	<b>0</b>	9.78	174	43	15
grid/p4	21.24	<b>45</b>	<b>45</b>	45	<b>0</b>	227	464	68	17
grid/p5	18.64	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>0</b>	TO	-	-	-
erovers/p2	1.09	<b>11</b>	<b>9</b>	5	1	0.00	13	10	1
erovers/p4	3.39	23	17	5	3	0.00	23	<b>14</b>	3
erovers/p6	NO	-	-	-	-	0.09	<b>346</b>	<b>48</b>	<b>7</b>
erovers/p8	3.34	<b>44</b>	<b>21</b>	15	3	0.01	95	36	3
logistics/p1	0.39	<b>9</b>	9	9	<b>0</b>	0.01	10	7	1
logistics/p3	0.49	<b>14</b>	14	14	<b>0</b>	0.01	18	8	2
logistics/p5	0.58	<b>29</b>	29	29	<b>0</b>	0.054	172	26	7
logistics/p7	0.75	<b>31</b>	31	31	<b>0</b>	0.2	247	27	11
elogistics/p1	1.07	10	7	4	1	0.00	10	7	1
elogistics/p3	1.8	18	8	5	2	0.00	18	8	2
elogistics/p5	9.02	<b>138</b>	<b>22</b>	20	7	0.12	172	26	7
elogistics/p7	10.63	<b>185</b>	26	21	11	0.13	247	26	11

# Résultats

- Généralement on trouve des **plans plus courts**
- Quand il existe une **solution conformante**:
  - On trouve un **plan conformant** alors que Contingent-FF (Hoffmann and Brafman, 2005) inclut des **observations**
- Quand il n'y a pas de solution conformante:
  - Généralement le **même nombre d'observation** mais des **plans plus courts**
- Inconvénient:
  - Manque de complétude
  - temps de calcul

## Conclusion

- Planificateur contingent calculant des plans contingents avec une complexité diminuée
- Utilise un planificateur conformant, pour calculer des **sous-plans conformants** si possible
- Utilise un **contre-exemple** et un **plan défaillant** pour trouver une **observation**
- Décompose le problème en **sous-problèmes** avec **moins d'incertitude**
- Itère jusqu'à ce qu'il n'existe plus de contre-exemple au plan conditionnel
- N'importe quel planificateur conformant est utilisable du moment qu'il retourne un contre-exemple

## Publication

- S.Piedade, A.Grastien, C.Lesire, and G.Infantes. *Contingent planning using counter-examples on deterministic plans*. JFPDA, 2019.
- S.Piedade, A.Grastien, C.Lesire, and G.Infantes. *Contingent Planning Using Counter-examples From a Conformant Planner*. International Conference on Autonomic and Autonomous Systems, 2020.

### Version Early

- Récupérer le contre-exemple qui fait échouer le plan le plus tôt
- Garanti que le préfixe du plan qui fonctionne est conformant
- En théorie cette version permet de réduire le temps de calcul
  - Réutilisation du préfixe conformant au lieu de rappeler la procédure contingente
- Version en développement

### Version Huge Space

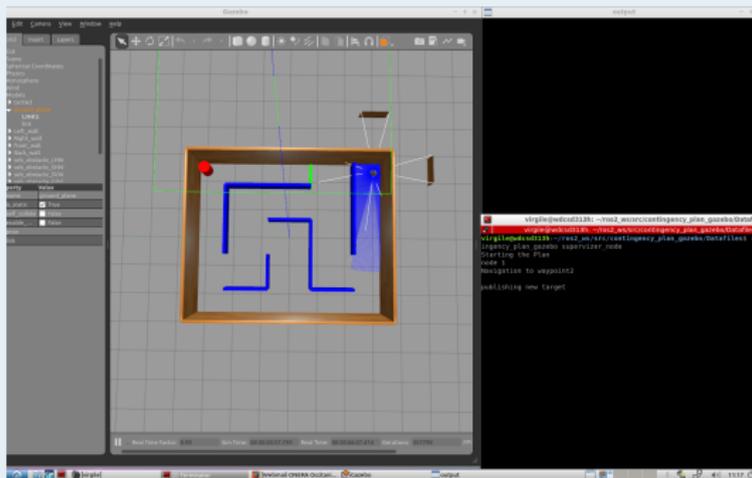
- On ne représente plus les beliefs en interne, on modifie directement le probleme et domaine PDDL
- On demande a CPCES (Grastien et al., 2017) de trouver un plan menant a une des observations
- Pour le calcul des branches on force CPCES à démarrer par le plan menant à l'observation et on transmet une contrainte SMT pour indiquer le résultat de chaque observation du plan précédent
- Version dépendante de CPCES
- Résultats en cours

## Backtracking

- Implémenter un backtracking sur les observations choisies
- Gérer une liste des différents plans calculés à partir de chacune des observations possibles
- Permet de rendre l'approche plus complète
- Version indépendante de CPCES (Grastien et al., 2017)
- En développement

# Environnement de simulation

- Simulation d'environnement de mission robotique
- Travail de Virgile De La Rochefoucauld en stage à l'Onera



- Albore, A. et al. (2011).  
Translation-based approaches to automated planning with incomplete information and sensing.  
PhD thesis, Universitat Pompeu Fabra.
- Bertoli, P., Cimatti, A., and Roveri, M. (2001).  
Heuristic search+ symbolic model checking= efficient conformant planning.  
In IJCAI, pages 467–472. Citeseer.
- Brafman, R. and Hoffmann, J. (2004).  
Conformant planning via heuristic forward search: A new approach.  
In International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS), Whistler, Canada.
- Brafman, R. and Shani, G. (2012).  
A multi-path compilation approach to contingent planning.  
In Twenty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence.
- Grastien, A., Scala, E., and Kessler, F. B. (2017).  
Intelligent belief state sampling for conformant planning.  
In Proceedings of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 4317–4323. AAAI Press.
- Hoffmann, J. and Brafman, R. (2005).  
Contingent planning via heuristic forward search with implicit belief states.  
In Proc. ICAPS, volume 2005.
- Kaelbling, L. P., Littman, M. L., and Cassandra, A. R. (1998).  
Planning and acting in partially observable stochastic domains.  
Artificial intelligence, 101(1-2):99–134.
- Puterman, M. L. (2014).  
Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming.  
John Wiley & Sons.
- Yoon, S. W., Fern, A., and Givan, R. (2007).  
Ff-replan: A baseline for probabilistic planning.  
In ICAPS, volume 7, pages 352–359.