

# Intelligence Artificielle Logique et Contraintes

---

Philippe Chatalic  
chatalic@lri.fr

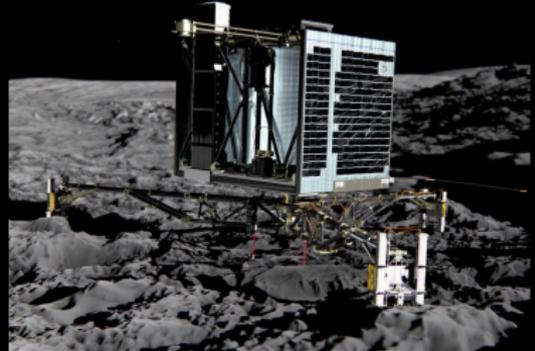
<http://www.lri.fr/~chatalic/Enseignement/ia-lc-m1>

4 novembre 2019

# Objectif à long terme de l'I.A.

## Construire des agents intelligents

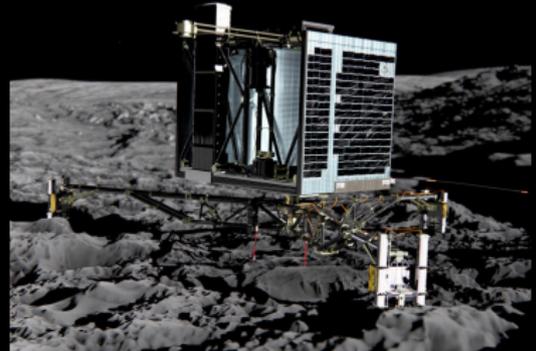
- capable de résoudre des problèmes variés
- de façon autonome
- en s'adaptant au contexte rencontré



# Objectif à long terme de l'I.A.

## Construire des agents intelligents

- capable de résoudre des problèmes variés
- de façon autonome
- en s'adaptant au contexte rencontré



## Principale difficulté

- proposer des méthodes génériques
- sans trop d'hypothèses sur les problèmes à résoudre
- mais suffisamment précises pour pouvoir proposer des théories et des algorithmes

### **Problèmes avec résolution de contraintes**

- objets à configurer / valeurs à déterminer
- diverses contraintes à satisfaire

## Dans ce cours

### Problèmes avec résolution de contraintes

- objets à configurer / valeurs à déterminer
- diverses contraintes à satisfaire

Ex : Problèmes du Sudoku

		9	8		7			1
		4	9			7	6	
7	2	5	4	6	1	3	9	8
		2	7	8		1	5	6
		6	1	4		2	3	7
	7	1	6		2	9	8	4
		8	3	9			7	
	9	7	5	1		8		3
		3	2	7	8	6	1	9

## Dans ce cours

### Problèmes avec résolution de contraintes

- objets à configurer / valeurs à déterminer
- diverses contraintes à satisfaire

#### Ex : Problèmes du Sudoku

- placer un chiffre entre 1 et 9 dans chaque case vide

		9	8		7			1
		4	9			7	6	
7	2	5	4	6	1	3	9	8
		2	7	8		1	5	6
		6	1	4		2	3	7
	7	1	6		2	9	8	4
		8	3	9			7	
	9	7	5	1		8		3
		3	2	7	8	6	1	9

## Dans ce cours

### Problèmes avec résolution de contraintes

- objets à configurer / valeurs à déterminer
- diverses contraintes à satisfaire

#### Ex : Problèmes du Sudoku

- placer un chiffre entre 1 et 9 dans chaque case vide
- sans jamais avoir deux fois le même chiffre sur une même ligne,

		9	8		7			1
		4	9			7	6	
7	2	5	4	6	1	3	9	8
		2	7	8		1	5	6
		6	1	4		2	3	7
	7	1	6		2	9	8	4
		8	3	9			7	
	9	7	5	1		8		3
		3	2	7	8	6	1	9

## Dans ce cours

### Problèmes avec résolution de contraintes

- objets à configurer / valeurs à déterminer
- diverses contraintes à satisfaire

#### Ex : Problèmes du Sudoku

- placer un chiffre entre 1 et 9 dans chaque case vide
- sans jamais avoir deux fois le même chiffre sur une même ligne,
- ni sur une même colonne,

		9	8		7			1
		4	9			7	6	
7	2	5	4	6	1	3	9	8
		2	7	8		1	5	6
		6	1	4		2	3	7
	7	1	6		2	9	8	4
		8	3	9			7	
	9	7	5	1		8		3
		3	2	7	8	6	1	9

## Dans ce cours

### Problèmes avec résolution de contraintes

- objets à configurer / valeurs à déterminer
- diverses contraintes à satisfaire

### Ex : Problèmes du Sudoku

- placer un chiffre entre 1 et 9 dans chaque case vide
- sans jamais avoir deux fois le même chiffre sur une même ligne,
- ni sur une même colonne,
- ni dans un même sous-carré

		9	8		7			1
		4	9			7	6	
7	2	5	4	6	1	3	9	8
		2	7	8		1	5	6
		6	1	4		2	3	7
	7	1	6		2	9	8	4
		8	3	9			7	
	9	7	5	1		8		3
		3	2	7	8	6	1	9

# Problèmes à base de contraintes

- emploi du temps

mardi									mercredi					jeudi							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8
TA- VRB D10	NED1 Her C5	AAR Vanl A14	BID Ver1 A15	FRA Hor C6	LLV Gla C4				FRA Hor C6	WIS Gla C4	GO va C7	NED Her C5		AAR Vanl A14	WIS Gla C4	LO1 Teu HOOID	NED Her C5	FRA Hor C6	GES Sel A11	PO Ver1 D2	TA-RE Vek D2
NED Her C5	TA- Her D10	LO1 Teu HOOID	MO Dom C2	WIS Ver1 C4	TO- Vek D10				WIS Ver1 C4	NED Her C5	AAR Vanl A14	FRA Kra C6		NED Her C5	GO VLO C7	FRA Kra C6	GES Sel A11	WIS Ver1 C4	PO Ver1 D2	TA-RE Vek D2	
LO1 Teu SPRZ	BID Ver1 A15	TO- Str D10	NED Ver3 C5	AAR Vanl A14	FRA Sch C6				NED Ver3 C5	FRA Sch C6	WIS Ver1 C4	GO Sch C7		FRA Sch C6	AAR Vanl A14	GES Sel A11	WIS Ver1 C4	PO Ver1 D2	NED Ver3 C5	LLV Ver1 C1	
WIS Ja C4	TO1 VRB C8	TO-RE VRB D2	LO1 Teu SPRZ	NAT VGI A15					MA Her C2	NED Va D10	PO VTE REF1		WIS Ja C4	NED Va C1	TO-RE D2	GO VLO C7	NAT VGI A15	PO VTE REF			
TO-RE Str D2	TO- Str D10	WIS Str C2	PO Str REF	NAT VGI A15	NED Va C5				TO-RE Str D2	NED Va D10	TO1 Str D10		NED Va C3	WIS Str C2	GO VLO D4	MA Her C5	LO1 Teu SPRZ	MO Dom C2			
TO1 Vek C8	WIS Ver1 C4	PO REF1	TO-RE Vek D2	MA VTE C7					NED D10	WIS Ver1 C7	TO-RE Vek D2		TO-RE D2	MA VTE C5	GO VLO C7	NED C3	WIS C4	NAT Ver1 A15			
NED1 Va A11	WISK1 Gla C7	GO Sch C7	LLV Va C6	ENG Ver A14					REAL1 VanG CR	GES Verb A11	NED Va A11		LO1 Teu TRN7	WIS Gla C7	NED Va A11	GO Sch D2	MO Dom A14	FRA Sch A14			

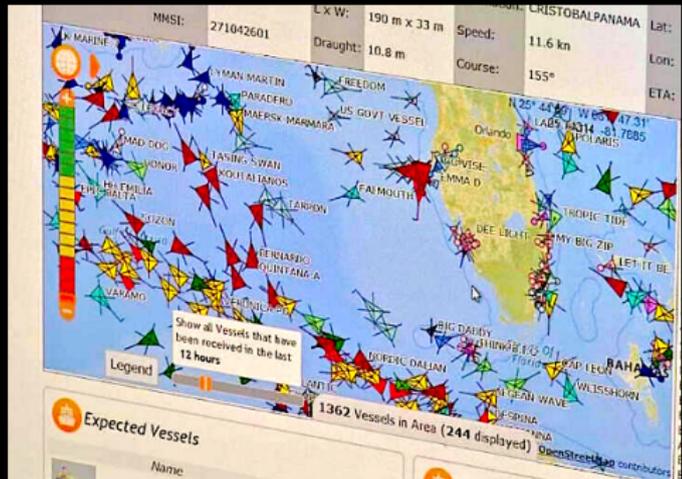
# Problèmes à base de contraintes

- emploi du temps
- gestion de personnel  
(vacances / rotations)



# Problèmes à base de contraintes

- emploi du temps
- gestion de personnel (vacances / rotations)
- transports (aérien, maritime, routier)



# Problèmes à base de contraintes

- emploi du temps
- gestion de personnel (vacances / rotations)
- transports (aérien, maritime, routier)
- logistique, stocks



# Problèmes à base de contraintes

- emploi du temps
- gestion de personnel (vacances / rotations)
- transports (aérien, maritime, routier)
- logistique, stocks



Parfois plusieurs milliers de

- variables
- contraintes

# Problèmes à base de contraintes

- emploi du temps
- gestion de personnel (vacances / rotations)
- transports (aérien, maritime, routier)
- logistique, stocks
- gestion de production
- réseaux sans fil
- pubs TV/Radio
- bio-informatique
- design, architecture
- interfaces utilisateurs



Parfois plusieurs milliers de

- variables
- contraintes

# Les méthodes employées

## 1) Etape de formalisation

### Variables

$$X = \{x_{11}, x_{12}, \dots, \dots, x_{99}\}$$

### Domaines

$$D = \{d, d, \dots, d\}$$

avec  $d = 1..9$

### Contraintes logiques

$$C = \{x_{11} \neq x_{12}, x_{11} \neq x_{13}, \dots, \dots, x_{98} \neq x_{99}, x_{13} = 9, x_{65} = 2, \dots\}$$

$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	...				...	$x_{19}$
$x_{21}$	$x_{22}$	...						...
$x_{31}$	...	...						
...								
...							...	...
$x_{91}$	...						...	$x_{99}$

# Les méthodes employées

## 1) Etape de formalisation

### Variables

$$X = \{x_{11}, x_{12}, \dots$$

...

$$x_{99}\}$$

### Domaines

$$D = \{d, d, \dots, d\}$$

avec  $d = 1..9$

### Contraintes logiques

$$C = \{x_{11} \neq x_{12}, x_{11} \neq x_{13}, \dots,$$

...

$$\dots, x_{98} \neq x_{99},$$

$$x_{13} = 9, x_{65} = 2, \dots\}$$

$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	...				...	$x_{19}$
$x_{21}$	$x_{22}$	...						...
$x_{31}$	...	...						
...								
...							...	...
$x_{91}$	...						...	$x_{99}$

## 2) Utilisation d'un solveur de contraintes

# Résolution : le méthodique

Utiliser des **méthodes de recherche exhaustives**



# Résolution : le méthodique (et sa fin probable)

Utiliser des **méthodes de recherche exhaustives**

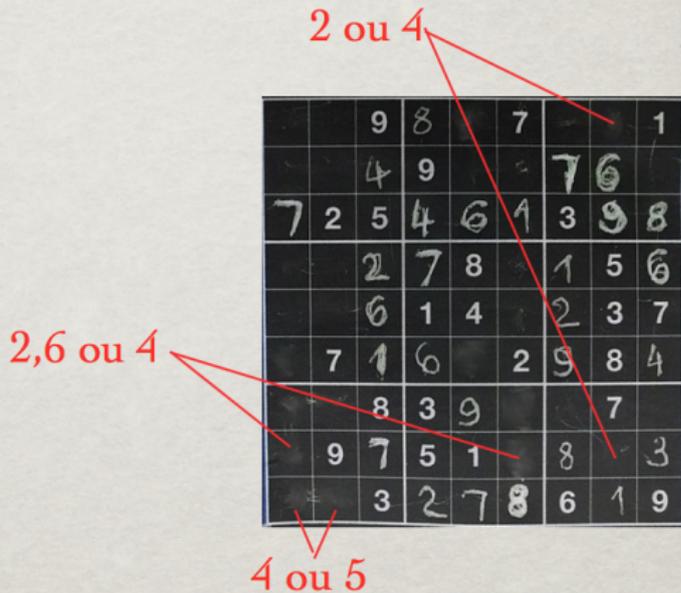


Avec 1 milliard de combinaisons/seconde il faudrait  $3 \cdot 10^{27}$  millions d'années ! ( $= 10^{19}$  fois l'âge de la terre)

# Résolution : l'astucieux

Méthodes de **raisonnement sur les contraintes**

Propagations locales de contraintes



Mais généralement insuffisant !

# Résolution : l'artiste - bricoleur

Aléatoire + corrections locales



3	6	9	8	5	7	5	4	1
①	5	4	9	2	3	7	6	2
7	②	5	4	6	1	3	9	8
5	1	2	7	8	9	1	5	6
4	3	6	1	4	5	2	3	7
9	7	1	6	3	2	9	8	4
①	②	8	3	9	6	4	7	5
6	9	7	5	1	4	8	2	3
5	4	3	2	7	8	6	1	9

## Combinaison de différentes techniques

- Etude de mécanismes génériques et efficaces
- Intégration dans des environnements de programmation par contraintes (PPC)

### Objectif

n'avoir quasiment plus qu'à se concentrer sur l'étape de modélisation

### PPC

- génération du modèle
- stratégies d'exploration de l'espace de recherche

```
sudoku(N, Board) :-  
    /* Variables */  
    N2 is N*N,  
    dim(Board, [N2,N2]),  
    Board[1..N2,1..N2] :: 1..N2,  
    /* Constraints */  
    (for(I,1,N2), param(Board,N2) do  
        Row is Board[I,1..N2],  
        alldifferent(Row),  
        Col is Board[1..N2,I],  
        alldifferent(Col)  
    ),  
    ( multifor([I,J],1,N2,N), param(Board,N) do  
        ( multifor([K,L],0,N-1), param(Board,I,J),  
          foreach(X,SubSquare) do  
              X is Board[I+K,J+L]  
          ),  
        alldifferent(SubSquare)  
    ),  
    term_variables(Board, Vars),  
    /* Search */  
    labeling(Vars).
```

## Contenu

- un peu de théorie
- algorithmes génériques
- des applications
- des outils de PPC

## Evaluation

- Examen final (60%)
- Contrôle continu (40%) report en seconde session
  - Partiel + TPs notés

## Cours commun avec le M1-Miage

## Prérequis

Aucun