LISN
LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES DU NUMÉRIQUE

université
PARIS-SACLAY

cnrs

Artificial Intelligence

Cours9 - IA Symbolique

L3 - Informatique

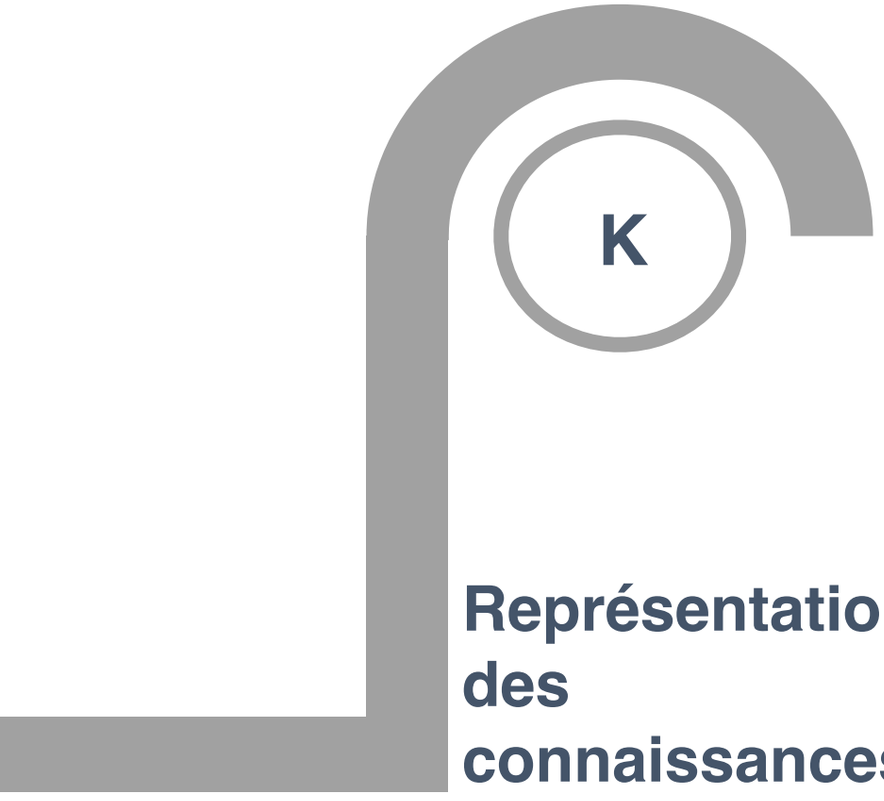
Nadjib Lazaar
Ing - Phd - HDR - Professor - Paris-Saclay University - LISN - LaHDAK
lazaar@lisn.fr https://perso.lisn.upsaclay.fr/lazaar/
18/04/2025

IA Symbolique

Une architecture complète du raisonnement explicite

IA Symbolique

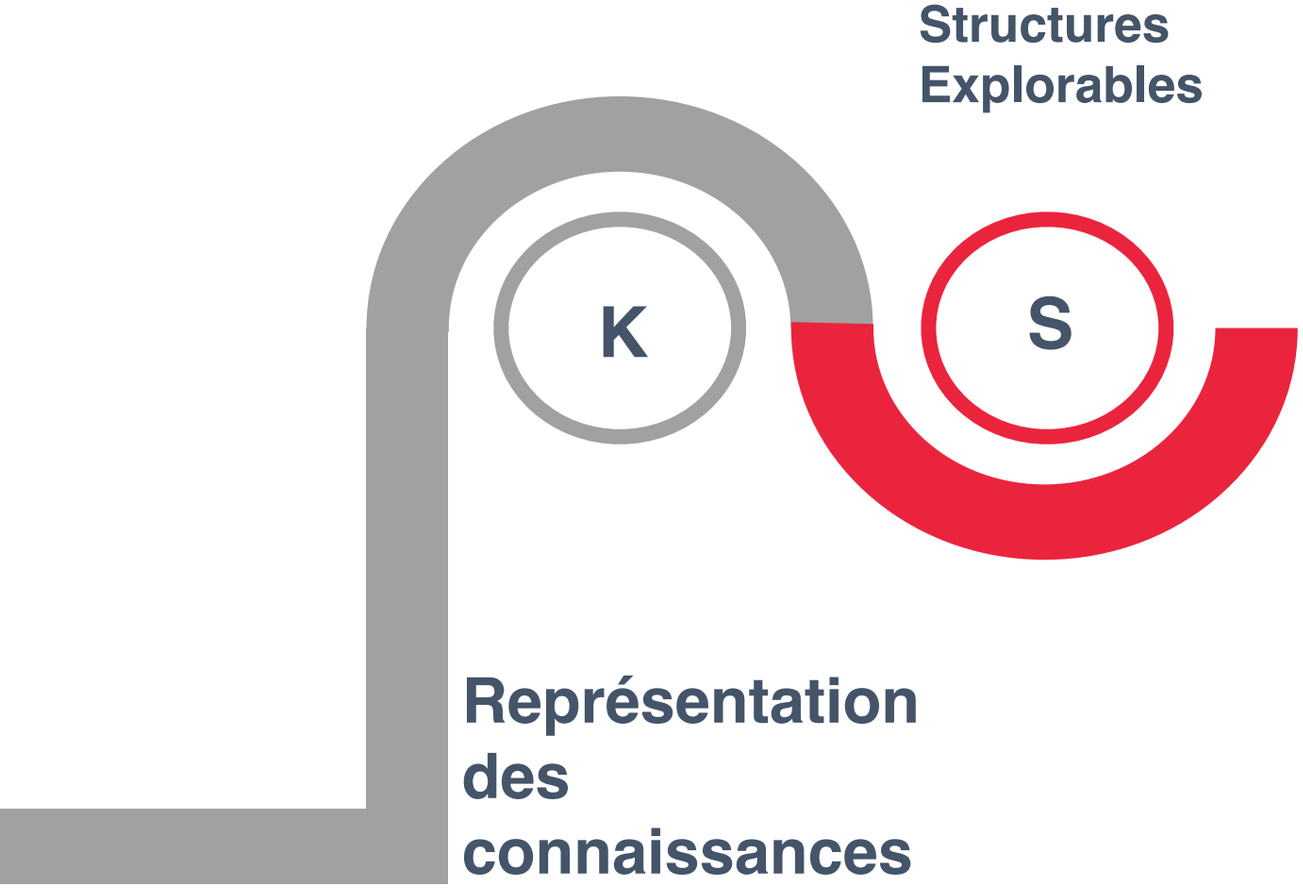
Une architecture complète du raisonnement explicite



Représentation des connaissances

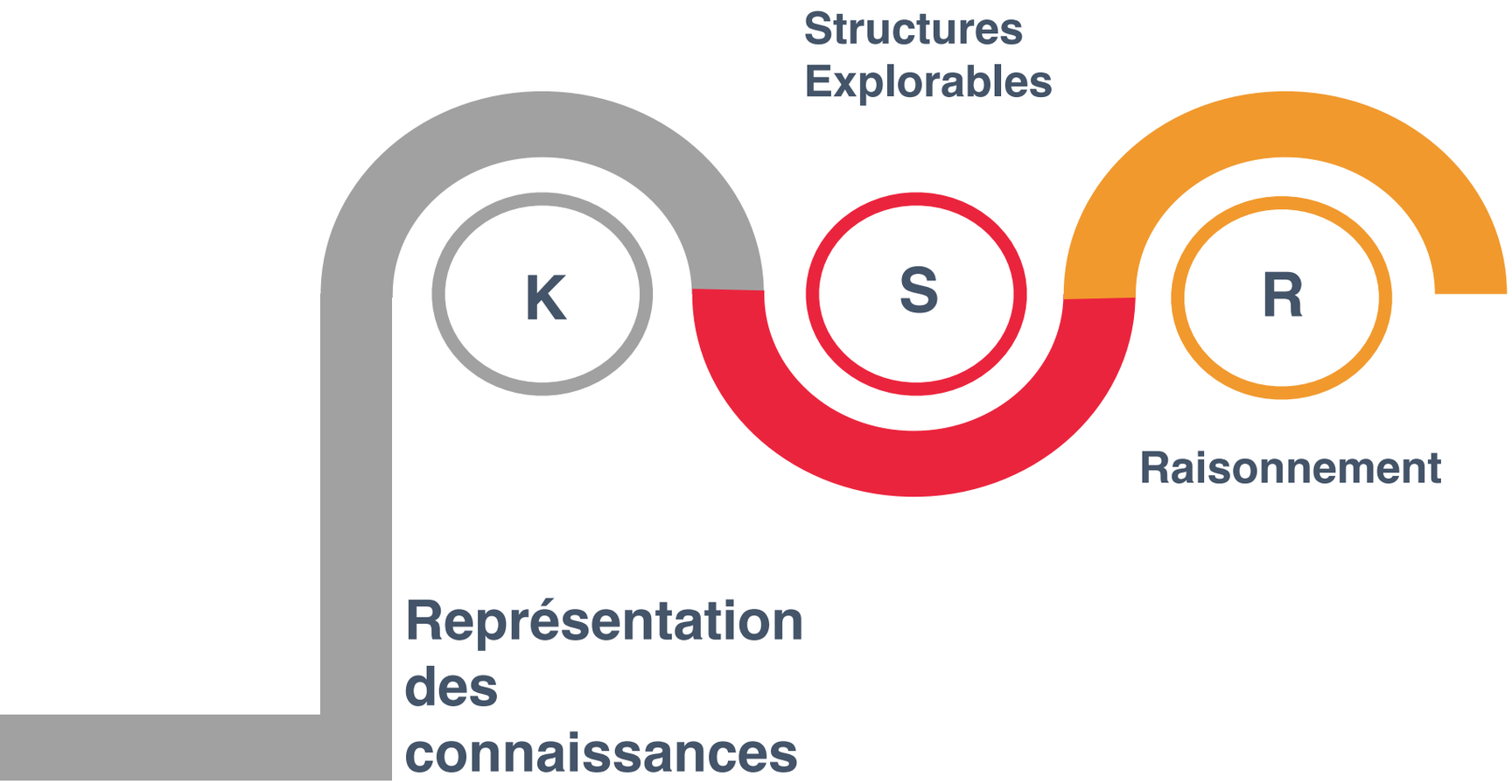
IA Symbolique

Une architecture complète du raisonnement explicite



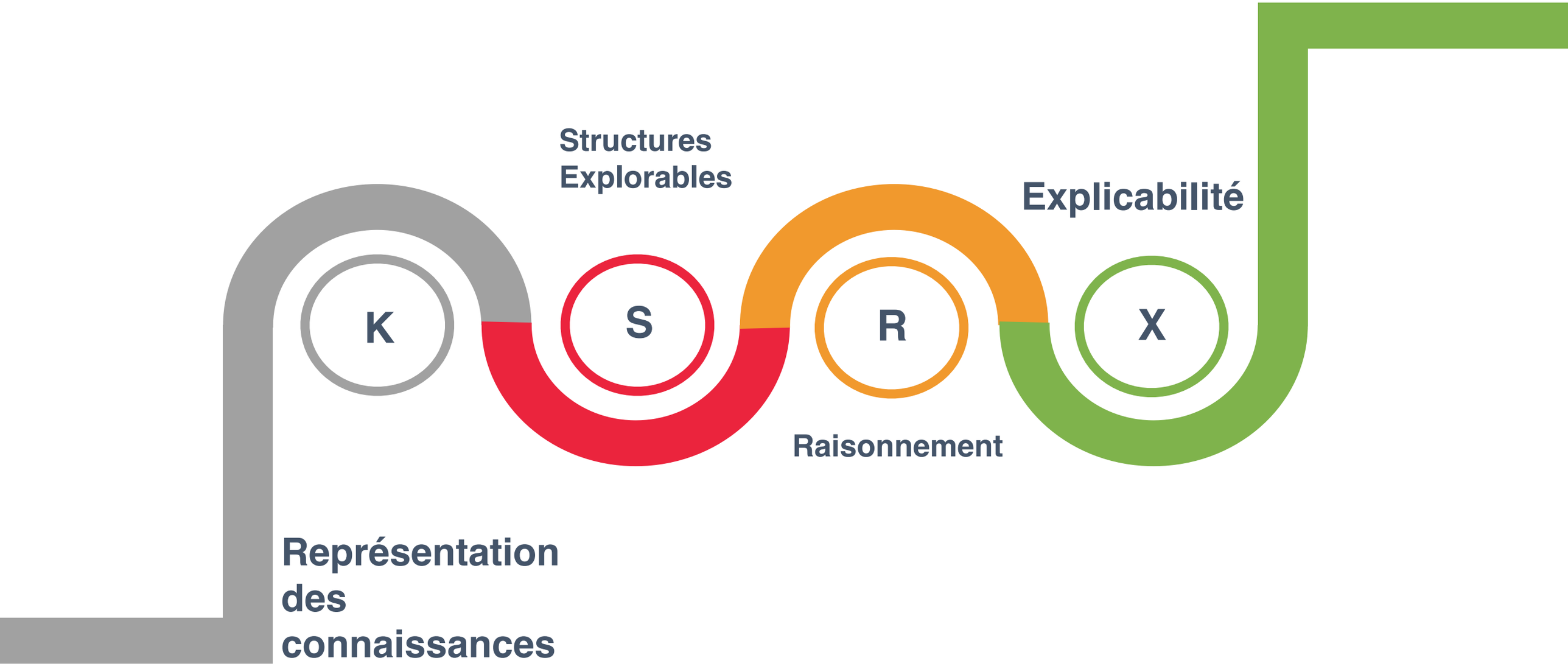
IA Symbolique

Une architecture complète du raisonnement explicite



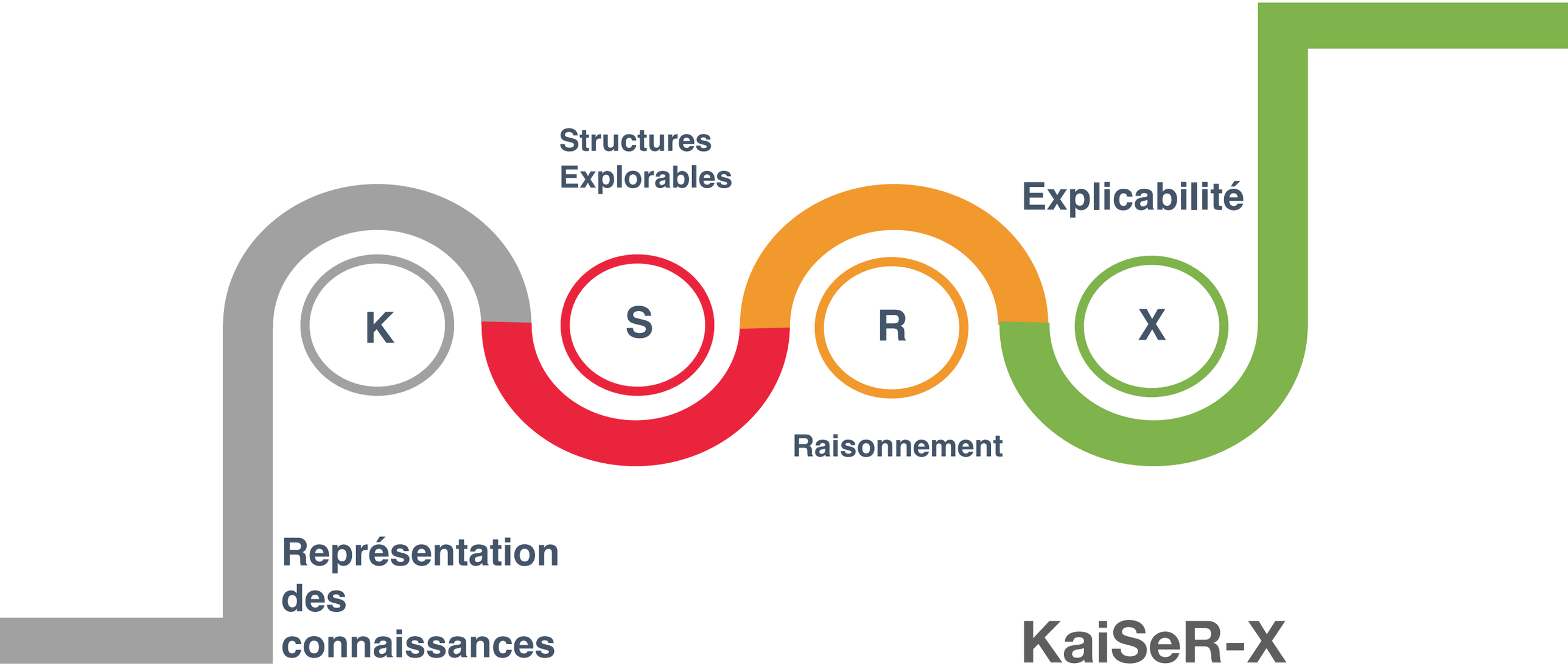
IA Symbolique

Une architecture complète du raisonnement explicite



IA Symbolique

Une architecture complète du raisonnement explicite



KaiSeR-X

Représenter la Connaissance

- La première étape fondamentale de l'IA symbolique, c'est de **représenter ce que l'on sait.** Cela implique une formalisation rigoureuse et explicite des éléments pertinents du problème

- **Exemples vus dans le cours :**
  - En **jeux**, la connaissance est l'état du jeu, les règles, et les fonctions d'évaluation
  - En **version space learning**, ce sont les exemples positifs/négatifs, et les hypothèses compatibles
  - En **programmation par contraintes**, la connaissance est encodée sous forme de **variables, domaines et contraintes**
  - En **fouille de données**, ce sont les **motifs**, les transactions, et les supports
  - En **explicabilité**, la connaissance est représentée par les **relations causales ou logiques** entre décisions et règles

KaiSeR-X

Représenter la Connaissance

- La première étape fondamentale de l'IA symbolique, c'est de **représenter ce que l'on sait.** Cela implique une formalisation rigoureuse et explicite des éléments pertinents du problème

- **Exemples vus dans le cours :**
  - En **jeux**, la connaissance est l'état du jeu, les règles, et les fonctions d'é
  - En atifs, et les hyp
  - En **programmation par contraintes**, la connaissance est encodée sous forme de **variables, domaines et contraintes**
  - En **fouille de données**, ce sont les **motifs**, les transactions, et les supports
  - En **explicabilité**, la connaissance est représentée par les **relations causales ou logiques** entre décisions et règles

L'IA symbolique commence par **faire exister la connaissance dans une forme manipulable**

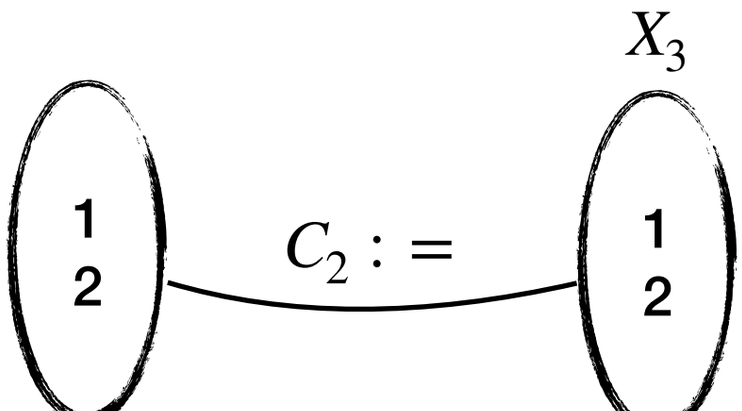
KaiSeR-X

Représenter la Connaissance

s_i :

X	X	O
	X	
O	O	X

$eval(s_i) = +\infty$



$I = \{p_1, \ldots, p_n\}$

$D = \{T_1, \ldots, T_m\}$

allDifferent(X)

- h_1: « *Toutes les formes sont des carrés* » $\Rightarrow h_1 \equiv (_, S, _)$

KaiSeR-X

Organiser la connaissance dans des structures explorables

- La richesse de l'IA symbolique vient du fait qu'elle **organise cette connaissance** dans des **structures logiques** qui permettent l'exploration efficace de l'espace des solutions ou des hypothèses

- **Structures vues dans le cours :**

  - **Arbres :** Arbres de jeux (Minimax, Alpha-Bêta); Arbres de recherche en CSP (backtracking); Arbres d'exploration dans QuickXplain

  - **Treillis :** Treillis d'inclusion en fouille de données (lattice des itemsets); Treillis des hypothèses en version space learning (plus général / plus spécifique)

- **Espaces de recherche combinatoire :**

  - États d'un problème de jeu ou de contraintes

  - Hypothèses compatibles avec les exemples

  - Itemsets fréquents construits par niveaux

KaiSeR-X

Organiser la connaissance dans des structures explorables

- La richesse de l'IA symbolique vient du fait qu'elle **organise cette connaissance** dans des **structures logiques** qui permettent l'exploration efficace de l'espace des solutions ou des hypothèses

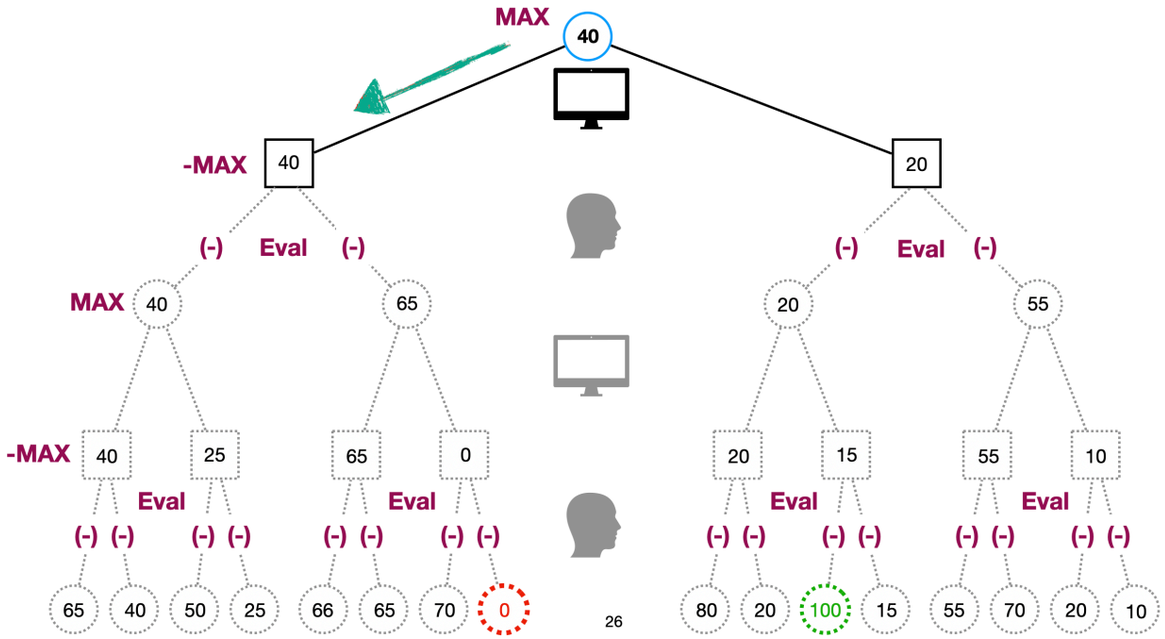
- **Structures vues dans le cours :**
  - **Arbr** CSP (bac
  - **Trei** Treillis des hypothèses en version space learning (plus général / plus spécifique)

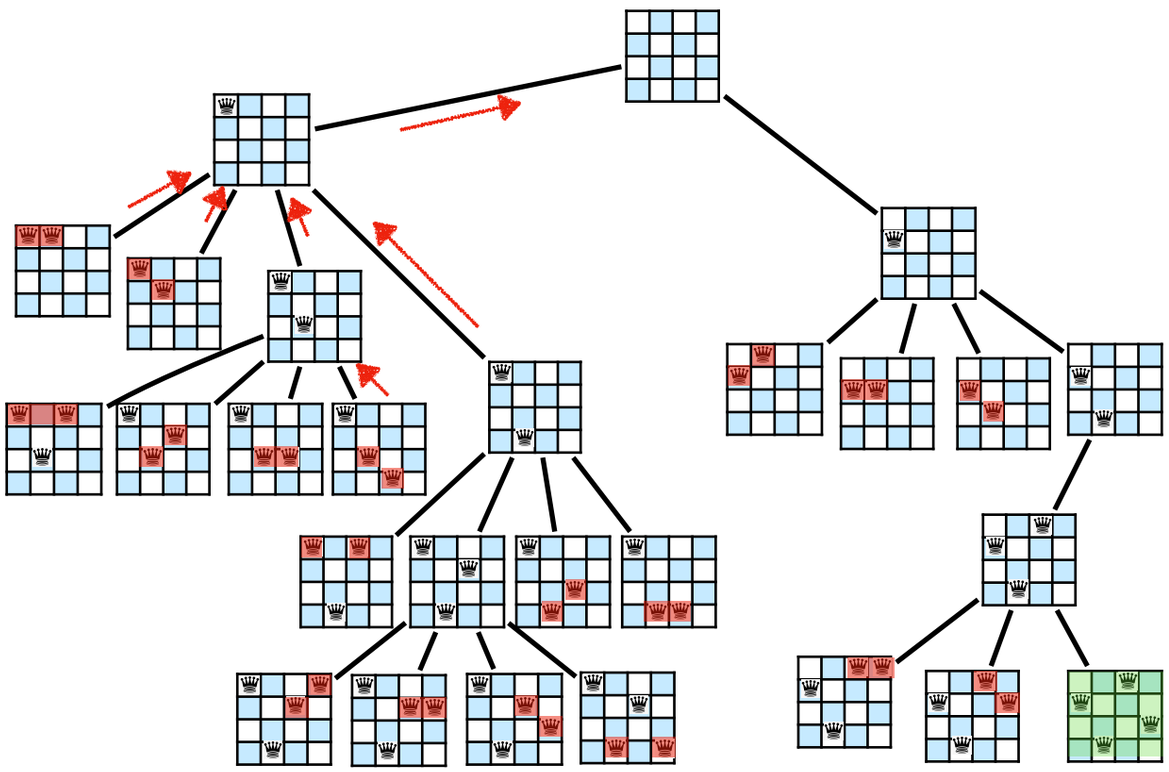
Ces structures permettent de parcourir intelligemment des ensembles énormes de possibilités.

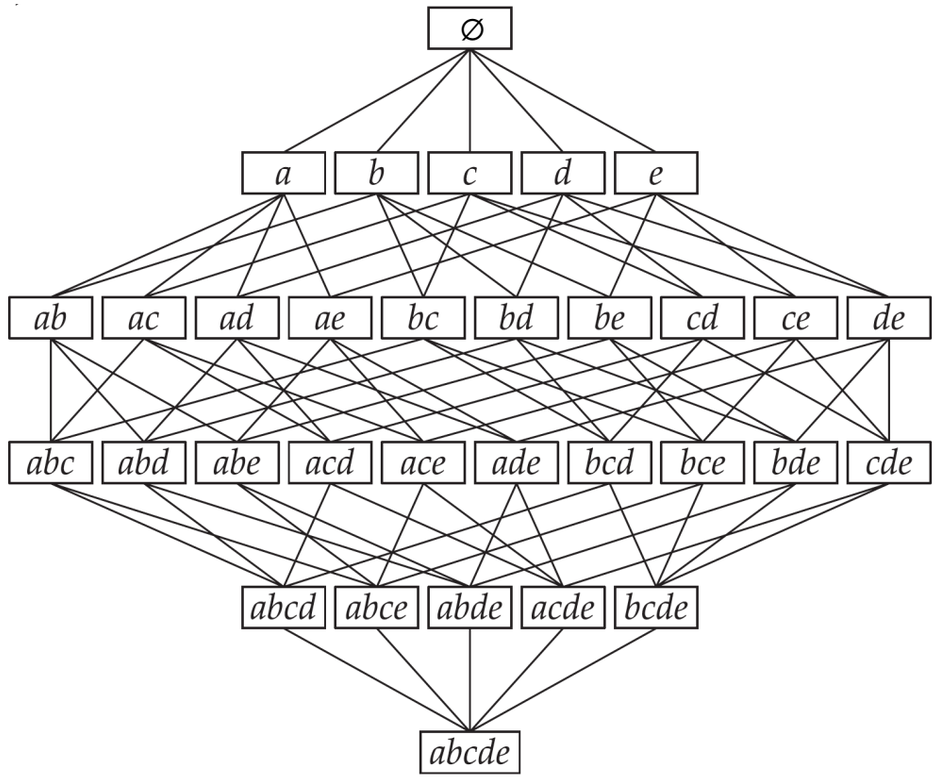
- **Espaces de recherche combinatoire :**
  - États d'un problème de jeu ou de contraintes
  - Hypothèses compatibles avec les exemples
  - Itemsets fréquents construits par niveaux

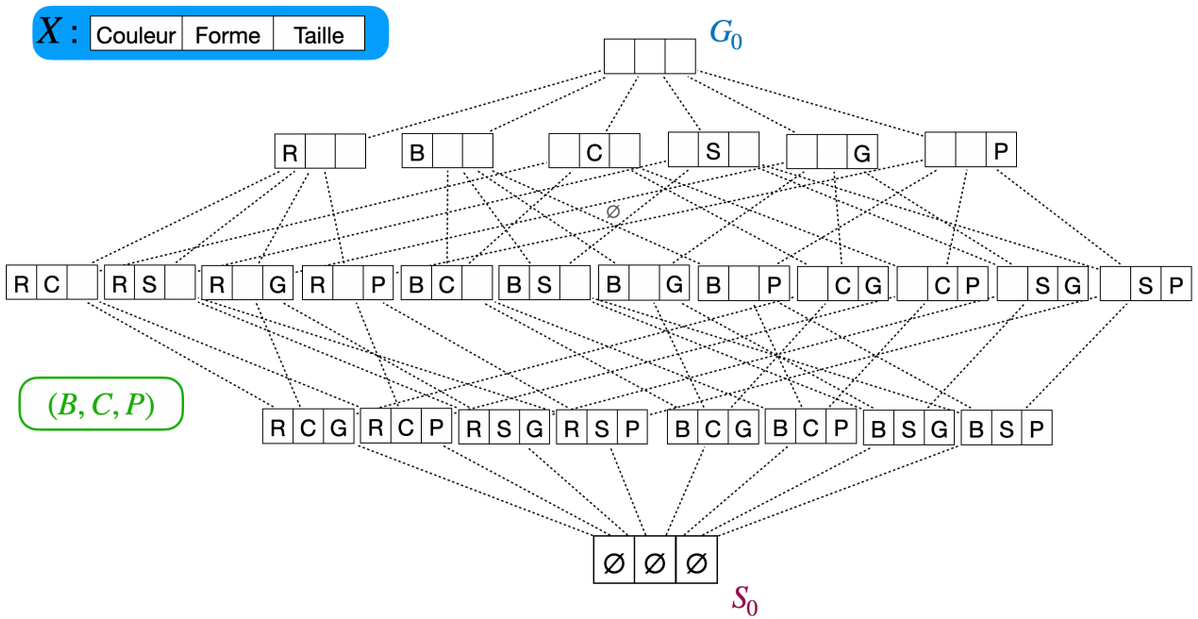
KaiSeR-X

Organiser la connaissance dans des structures explorables









KaiSeR-X

Raisonner avec des algorithmes efficaces

- Les structures seules ne suffisent pas : l'IA symbolique met en œuvre des **algorithmes puissants pour explorer** ces espaces. Ce qui revient à résoudre des **problèmes de recherche**, de **décision**, ou d'**optimisation**

- **Principes vus en cours :**

  - **Récursivité** comme moteur fondamental :
    - Minimax est récursif par construction
    - Le backtracking est un appel récursif à soi-même avec contraintes restreintes
    - QuickXplain utilise un appel récursif diviser-pour-mieux-expliquer

- **Réduction de complexité :**
  - Alpha-bêta réduit le nombre de nœuds explorés dans l'arbre de jeu
  - Apriori exploite l'anti-monotonie pour éviter d'explorer des sous-ensembles inutiles
  - Les heuristiques de filtrage (arc consistency, etc.) restreignent l'espace dans les CSP

KaiSeR-X

Raisonner avec des algorithmes efficaces

- Les structures seules ne suffisent pas : l'IA symbolique met en œuvre des **algorithmes puissants pour explorer** ces espaces. Ce qui revient à résoudre des **problèmes de recherche**, de **décision**, ou d'**optimisation**

- **Principes vus en cours :**

La **puissance de l'IA symbolique** vient de sa capacité à **raisonner efficacement sur des structures logiques**, souvent grâce à des stratégies récursives et des découpages intelligents.

  - Alpha-bêta réduit le nombre de nœuds explorés dans l'arbre de jeu
  - Apriori exploite l'anti-monotonie pour éviter d'explorer des sous-ensembles inutiles
  - Les heuristiques de filtrage (arc consistency, etc.) restreignent l'espace dans les CSP

KaiSeR-X

Raisonner avec des algorithmes efficaces

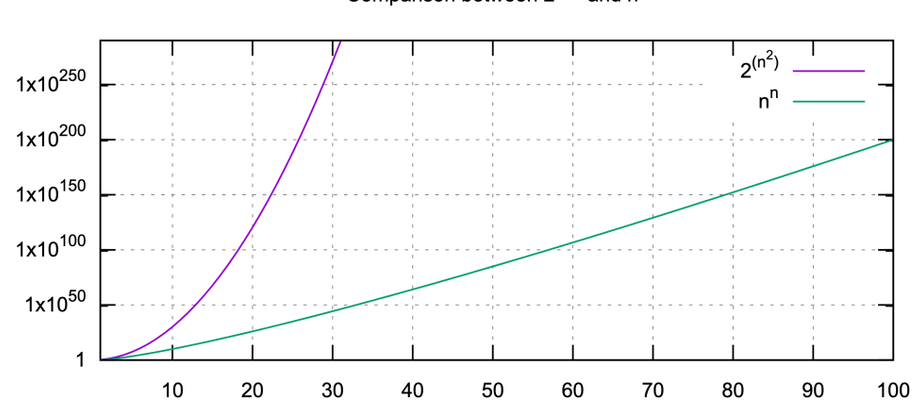
- Classes de complexité :
  - Beaucoup de problèmes symboliques appartiennent à des classes de complexité élevées, souvent **NP-complets** voire plus durs.
  - Mais la **structure** du problème (contraintes, heuristiques, hiérarchies) permet de raisonner **efficacement en pratique**

KaiSeR-X

Raisonner avec des algorithmes efficaces

- Classes de complexité :
  - Beaucoup de problèmes symboliques appartiennent à des classes de complexité élevées, souvent **NP-complets** voire plus durs.
  - Mais la **structure** du problème (contraintes, heuristiques, hiérarchies) permet de raisonner **efficacement en pratique**

Comparison between $2^{(n^2)}$ and n^n

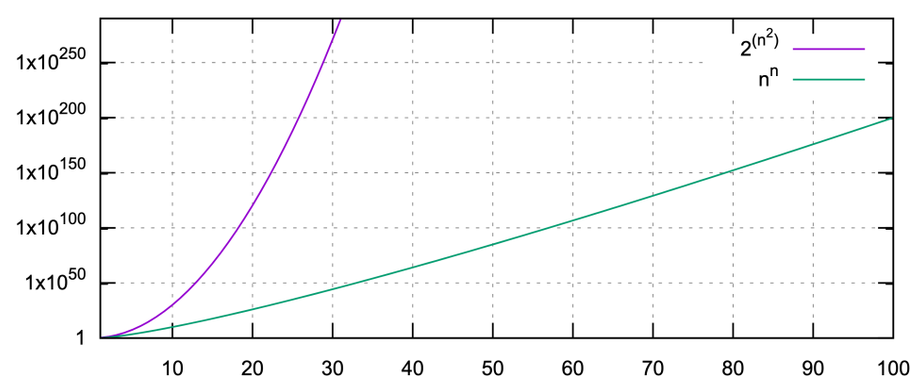


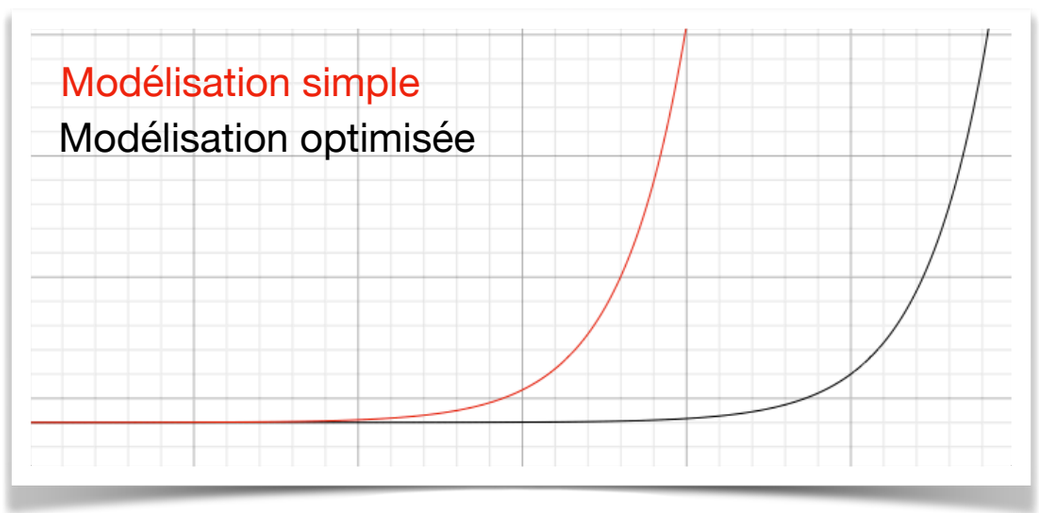
KaiSeR-X

Raisonner avec des algorithmes efficaces

- Classes de complexité :
  - Beaucoup de problèmes symboliques appartiennent à des classes de complexité élevées, souvent **NP-complets** voire plus durs.
  - Mais la **structure** du problème (contraintes, heuristiques, hiérarchies) permet de raisonner **efficacement en pratique**

Comparison between $2^{(n^2)}$ and n^n

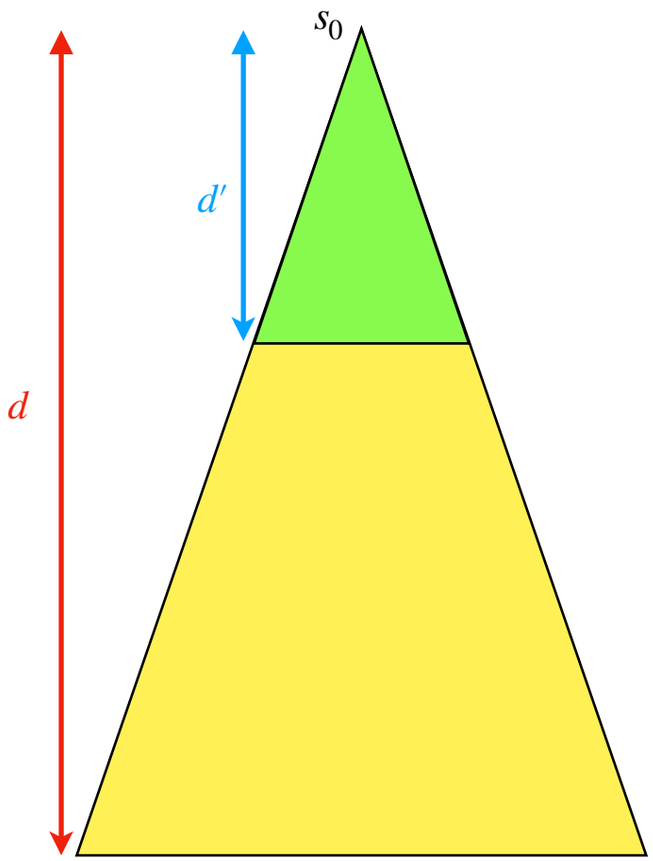




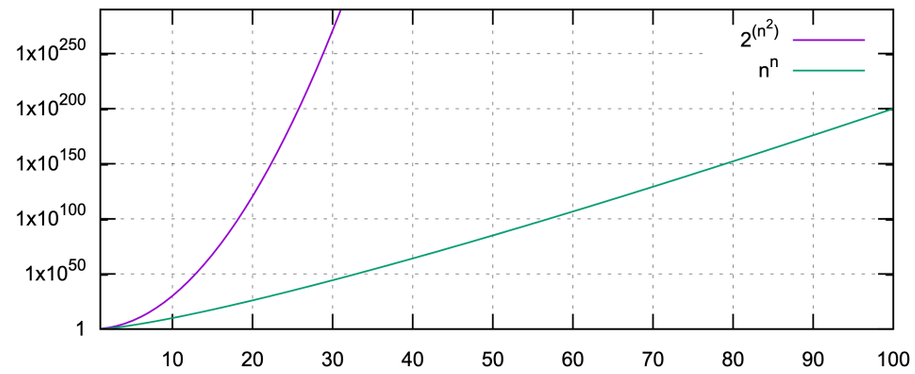
KaiSeR-X

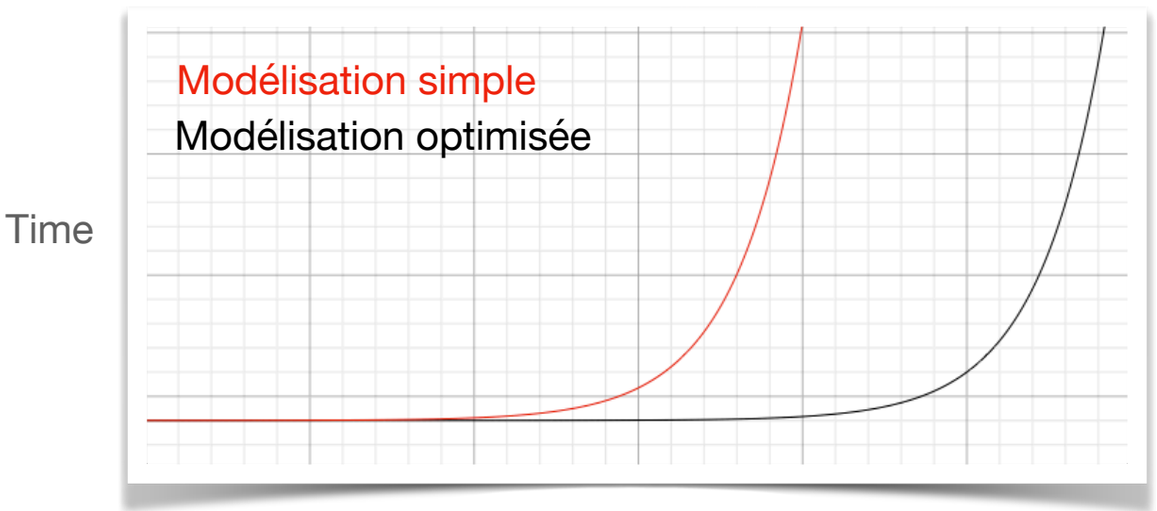
Raisonner avec des algorithmes efficaces

- Classes de complexité :
  - Beaucoup de problèmes symboliques appartiennent à des classes de complexité élevées, souvent **NP-complets** voire plus durs.
  - Mais la **structure** du problème (contraintes, heuristiques, hiérarchies) permet de raisonner **efficacement en pratique**



Comparison between $2^{(n^2)}$ and n^n





KaiSeR-X

Expliquer et justifier le raisonnement

- L'un des atouts majeurs de l'IA symbolique, c'est qu'elle produit naturellement des **explications** de son raisonnement. Parce que tout est **défini symboliquement**, il est facile de :
  - Justifier une décision
  - Montrer la règle ou contrainte ayant conduit à une solution
  - Identifier les causes d'une incohérence ou d'un échec
- Ce que vous avez vu :
  - **QuickXplain** : isole les sous-ensembles de contraintes responsables d'une incohérence
  - **Explicabilité légale** (RGPD, AI Act) : la symbolique fournit naturellement des **justifications compréhensibles**
  - En CSP, on peut **tracer le raisonnement** menant à un échec ou une réussite
  - Dans les jeux, on peut **expliquer une décision** par la profondeur de l'arbre et les évaluations des positions

KaiSeR-X

Expliquer et justifier le raisonnement

- L’un des atouts majeurs de l’IA symbolique, c’est qu’elle produit naturellement des **explications** de son raisonnement. Parce que tout est **défini symboliquement**, il est facile de :
  - Justifier une décision
  - Montrer la règle ou contrainte ayant conduit à une solution
  - Ide
- Ce qu
  - **QuickXplain** : isole les sous-ensembles de contraintes responsables d’une incohérence
  - **Explicabilité légale** (RGPD, AI Act) : la symbolique fournit naturellement des **justifications compréhensibles**
  - En CSP, on peut **tracer le raisonnement** menant à un échec ou une réussite
  - Dans les jeux, on peut **expliquer une décision** par la profondeur de l’arbre et les évaluations des positions

L’IA symbolique ne se contente pas de trouver des solutions ; elle peut les expliquer, justifier, et corriger

vision transversale

Chapitres du cours

Structure	Jeux	CSP	Fouille	Version Space	Explicabilité
Arbre	arbre de jeu	arbre de recherche	arbre d'itemsets	arbre d'hypothèses	arbre de conflits
Treillis	(moins visible)	(possibilité de treillis de solutions)	inclusion ensembliste	général/ spécifique	(structure causale implicite)
Exploration	récursive (minimax)	récursive (backtracking)	niveau par niveau (Apriori)	double frontière (S/G)	récursive (QuickXplain)

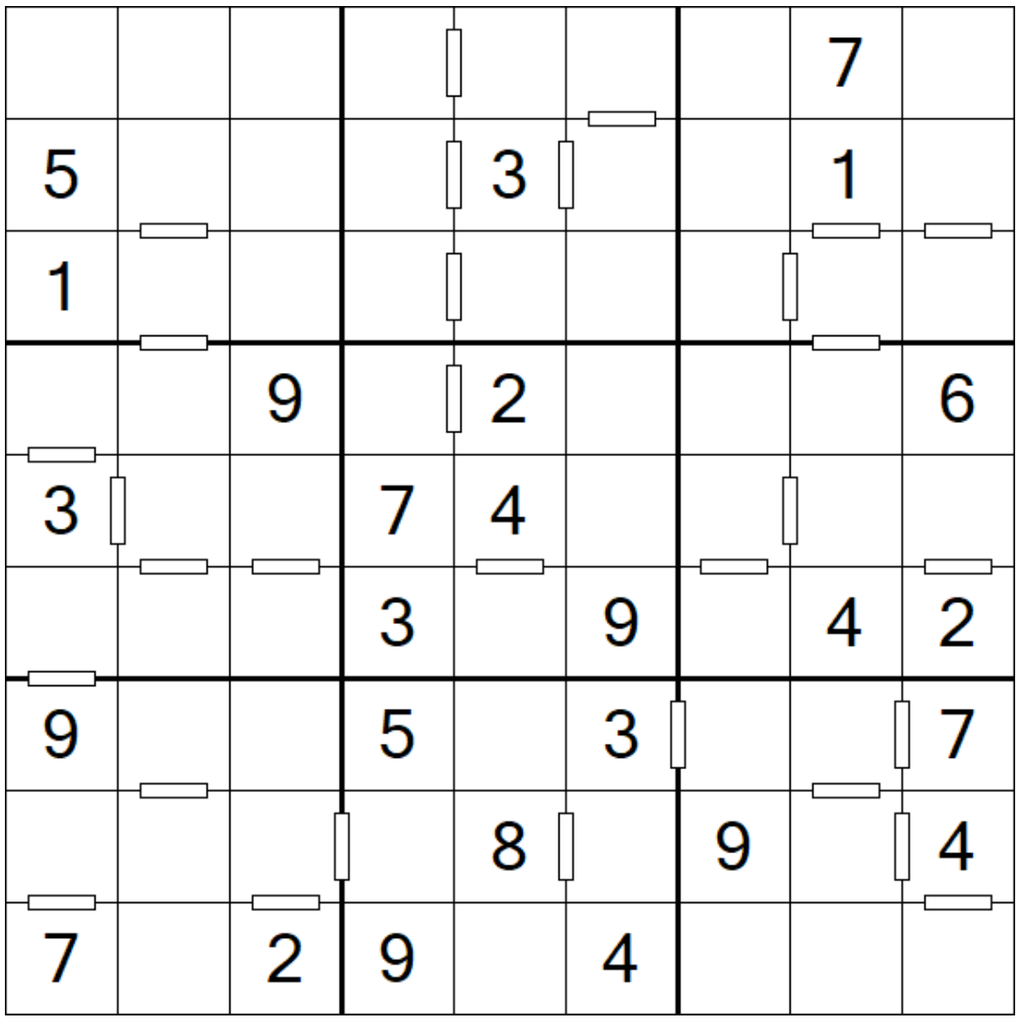
Synthèse

L’IA symbolique, c’est…

1. **Une représentation** formelle de la connaissance
2. **Une organisation logique** dans des structures (arbres, treillis…)
3. **Un raisonnement algorithmique** souvent récursif, optimisé, et guidé
4. **Une capacité native d’explication**, de transparence, et de traçabilité

Tournoi IA
Dual CSudoku

Classement & Résultats finaux



Format du tournoi

- **Règles & organisation :**
  - Format : tournoi round-robin (aller-retour)
  - 12 binômes – IA étudiantes
- **Sudoku Consecutive – grilles :**
  - **4x4** : 1 vide + 3 pré-remplies
  - **9x9** : 1 vide + 3 pré-remplies
- **Temps limite :**
  - **4x4** : 2 minutes / IA
  - **9x9** : 5 minutes / IA
- **Score : Victoire = 3 pts | Nul = 1 pt | Défaite = 0 pt**

Équipes & Participants

	Nom de l'équipe / IA	Participants
1	ANES	DEBA & GAROUI
2	cccp	TAIR & VADIM
3	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ
4	Dual Otters	LEE & PAN
5	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE
6	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI
7	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT
8	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK
9	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS
10	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI
11	AMCY	KASDI & OUATMANI
12	Jerem&Seb	LABICHE & LEGLISE

Résultats

Sudoku 4 - Instance 1

-	-	3	-
-	2	-	-
2	-	-	3
4	-	2	-

Résultats

Sudoku 4 - Instance 1

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
🥇 1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**51**	17	0	1
🥈 2	ANES	DEBA & GAROUI	**45**	15	0	3
🥉 3	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**27**	9	0	9
4	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**27**	9	0	9
5	cccp	TAIR & VADIM	**27**	9	0	9
6	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**27**	9	0	9
7	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**24**	8	0	10
8	Dual Otters	LEE & PAN	**24**	8	0	10
9	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**9**	3	0	15
10	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**9**	3	0	15

Résultats

Sudoku 4 - Instance 2

1	-	3	-
-	2	-	4
2	-	-	3
4	-	2	-

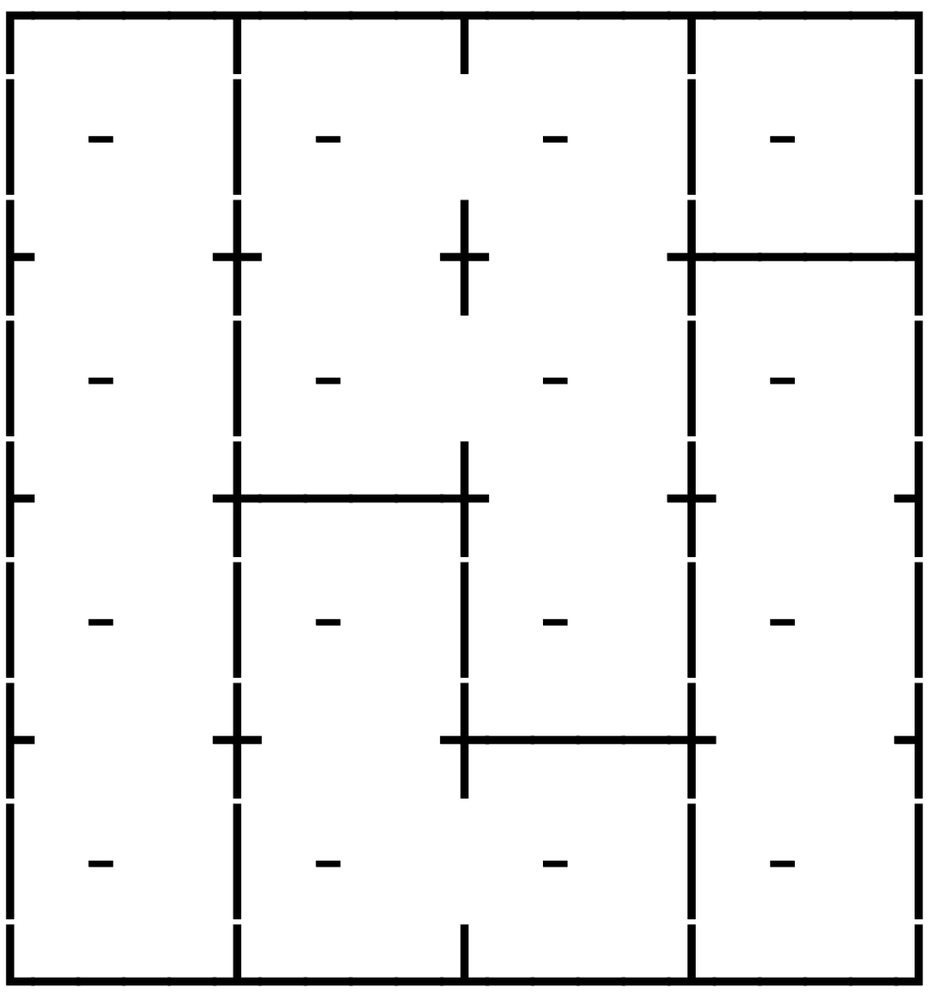
Résultats

Sudoku 4 - Instance 2

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**51**	17	0	1
2	ANES	DEBA & GAROUI	**45**	15	0	3
3	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**36**	12	0	6
4	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**33**	11	0	7
5	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**33**	11	0	7
6	cccp	TAIR & VADIM	**27**	9	0	9
7	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**18**	6	0	12
8	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**15**	5	0	13
9	Dual Otters	LEE & PAN	**9**	3	0	15
10	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**3**	1	0	17

Résultats

Sudoku 4 - Instance 3



Résultats

Sudoku 4 - Instance 3

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
🥇 1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**51**	17	0	1
🥈 2	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**42**	14	0	4
🥉 3	cccp	TAIR & VADIM	**39**	13	0	5
4	Dual Otters	LEE & PAN	**33**	11	0	7
5	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**30**	10	0	8
6	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**27**	9	0	9
7	ANES	DEBA & GAROUI	**24**	8	0	10
8	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**15**	5	0	13
9	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**9**	3	0	15
10	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**0**	0	0	18

Résultats

Sudoku 4

-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Résultats

Sudoku 4

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
🥇 1	ANES	DEBA & GAROUI	**45**	15	0	3
🥈 2	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**42**	14	0	4
🥉 3	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**42**	14	0	4
4	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**33**	11	0	7
5	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**30**	10	0	8
6	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**24**	8	0	10
7	Dual Otters	LEE & PAN	**24**	8	0	10
8	cccp	TAIR & VADIM	**18**	6	0	12
9	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**12**	4	0	14
10	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**0**	0	0	18

Résultats

Sudoku 4 (all instances)

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points
🥇 1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**195**
🥈 2	ANES	DEBA & GAROUI	**159**
🥉 3	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**120**
4	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**117**
5	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**114**
6	cccp	TAIR & VADIM	**111**
7	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**108**
8	Dual Otters	LEE & PAN	**90**
9	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**54**
10	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**12**

Résultats

Sudoku 9 - Instance 1

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

Résultats

Sudoku 9 - Instance 1

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
🥇 1	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**45**	15	0	3
🥈 2	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**45**	15	0	3
🥉 3	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**39**	13	0	5
4	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**36**	12	0	6
5	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**33**	11	0	7
6	cccp	TAIR & VADIM	**27**	9	0	9
7	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**18**	6	0	12
8	ANES	DEBA & GAROUI	**9**	3	0	15
9	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**9**	3	0	15
10	Dual Otters	LEE & PAN	**9**	3	0	15

Résultats

Sudoku 9 - Instance 2

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

Résultats

Sudoku 9 - Instance 2

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
🥇 1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**48**	16	0	2
🥈 2	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**39**	13	0	5
🥉 3	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**30**	10	0	8
4	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**30**	10	0	8
5	cccp	TAIR & VADIM	**30**	10	0	8
6	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**30**	10	0	8
7	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**27**	9	0	9
8	ANES	DEBA & GAROUI	**24**	8	0	10
9	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**6**	2	0	16
10	Dual Otters	LEE & PAN	**6**	2	0	16

Résultats

Sudoku 9 - Instance 3

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

Résultats

Sudoku 9 - Instance 3

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
1	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**54**	18	0	0
2	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**45**	15	0	3
3	ANES	DEBA & GAROUI	**42**	14	0	4
4	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**30**	10	0	8
5	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**30**	10	0	8
6	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**27**	9	0	9
7	cccp	TAIR & VADIM	**21**	7	0	11
8	Dual Otters	LEE & PAN	**12**	4	0	14
9	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**9**	3	0	15
10	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**0**	0	0	18

Résultats

Sudoku 9

-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Résultats

Sudoku 9

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points	V	D	L
🥇 1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**45**	15	0	3
🥈 2	ANES	DEBA & GAROUI	**45**	15	0	3
🥉 3	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**39**	13	0	5
4	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**39**	13	0	5
5	cccp	TAIR & VADIM	**33**	11	0	7
6	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**27**	9	0	9
7	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**24**	8	0	10
8	Dual Otters	LEE & PAN	**12**	4	0	14
9	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**6**	2	0	16
10	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**0**	0	0	18

Résultats

Sudoku 9 (all instances)

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	Points
🥇 1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	**174**
🥈 2	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	**168**
🥉 3	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	**153**
4	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	**123**
5	ANES	DEBA & GAROUI	**120**
6	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	**117**
7	cccp	TAIR & VADIM	**111**
8	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	**54**
9	Dual Otters	LEE & PAN	**39**
10	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	**21**

Résultats

Classement final !

Rang	Nom de l'équipe / IA	Participants	4x4	9x9	Total
🥇 1	The Outlier Taskers	LEONARDI & PRAS	174	195	369
🥈 2	ANES	DEBA & GAROUI	120	159	279
🥉 3	WisinYandel	PEÑA CASTAÑO & HERRERA NATIVI	168	108	276
4	promptengineers	GORELOV & KOSTIUK	153	114	267
5	Deniz et Hassan	ABDELGOW & YILMAZ	123	120	243
6	McLaren	HERMIER–GASTINEAU & BUGGENHOUDT	117	117	234
7	cccp	TAIR & VADIM	111	111	222
8	Dual Otters	LEE & PAN	39	90	129
9	KaijiAndAbdel	MOUGARI & KAIJI	54	54	108
10	Elouan_Jade	GUICHERD & LAHOUGUE	21	12	33

Artificial Intelligence

Cours9 - IA Symbolique : Une architecture complète du raisonnement explicite

L3 - Informatique

Nadjib Lazaar
Ing - Phd - HDR - Professor - Paris-Saclay University - LISN - LaHDAK
lazaar@lisn.fr https://perso.lisn.upsaclay.fr/lazaar/
14/03/2025