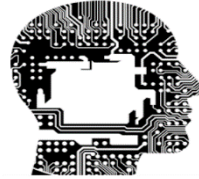




**Université Constantine 2**  
جامعة قسنطينة 2



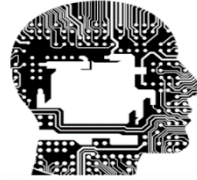
# Foundation of Artificial Intelligence

## TD 04 CSP

Dr. NECIBI Khaled  
Faculté des nouvelles technologies  
[Khaled.necibi@univ-constantine2.dz](mailto:Khaled.necibi@univ-constantine2.dz)



**Université Constantine 2**  
جامعة قسنطينة 2



# Systèmes Intelligents

## - CSP -

Dr. NECIBI Khaled  
Faculté des nouvelles technologies  
[Khaled.necibi@univ-constantine2.dz](mailto:Khaled.necibi@univ-constantine2.dz)

### Etudiants concernés

Faculté/Institut	Département	Niveau	Spécialité
Nouvelles technologies	IFA	Master 1	SDIA

## ● Exercice 01

- On représente un problème donné à l'aide d'un CSP binaire discret  $P$  suivant

- $A = \{1, 2, 3\}$
- $B = \{1, 2, 3\}$
- $C = \{1, 2, 3\}$
- $A > B$
- $B \neq C$

## ● Questions

- Appliquer l'algorithme Backtracking search au CSP  $P$
- Afficher pour chaque étape l'évolution des assignations

## ● Exercice 02

### ● Jeu à 03 Reines

- On représente le problème de trois reines à l'aide d'un CSP binaire discret  $P = (X, D, C)$ 
  - $X = \{X_1, X_2, X_3\}$
  - $D(X_i) = \{1, 2, 3\}$
  - La reine  $i$  se déplace sur la ligne  $i$  et la variable  $X_i$  désigne sa position sur la ligne

### ● Questions

- Donner l'ensemble  $C$  des contraintes de  $P$
- Appliquer l'algorithme de recherche **Forward Checking** au CSP  $P$
- Représenter au niveau de chaque nœud de l'arbre de recherche l'évolution des domaines des différentes variables
- Respecter l'ordre statique  $X_1, X_2, X_3$  d'instanciation des variables et l'ordre statique 1, 2, 3 de choix des valeurs du domaine commun  $\{1, 2, 3\}$

## ● Exercice 02 : Solution

- L'ensemble de contraintes  $C$  du problème  $P$  est comme suit :

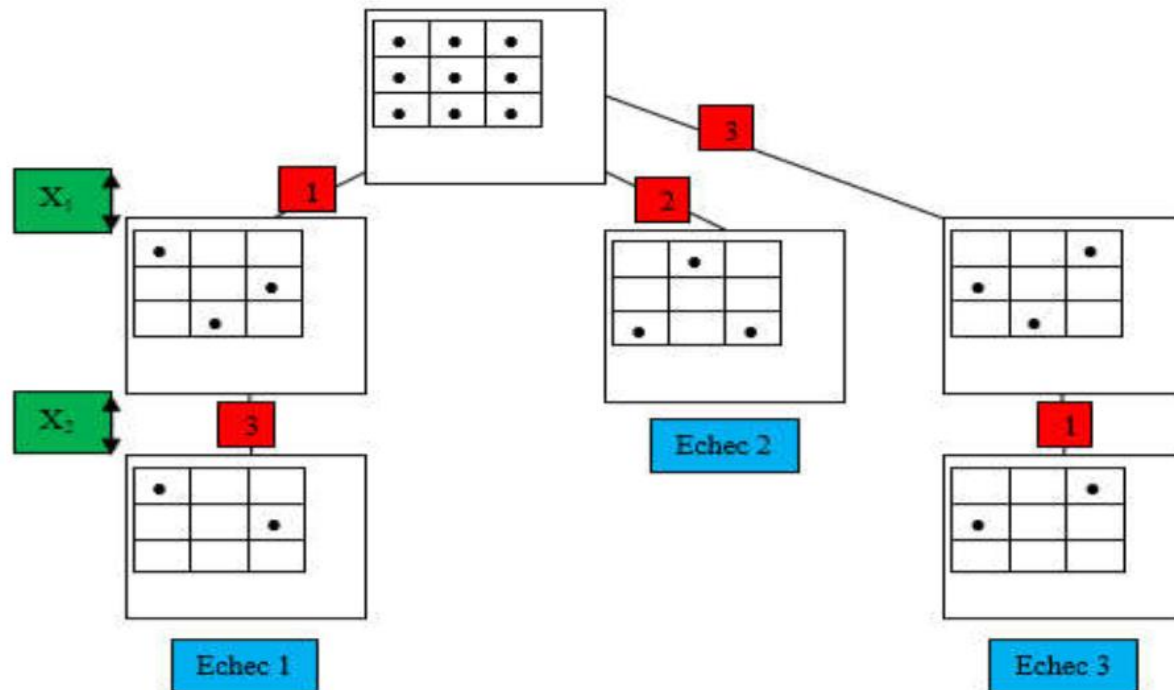
- $C = \{C_1 : X_2 \neq X_1,$   
 $C_2 : X_3 \neq X_2,$   
 $C_3 : X_3 \neq X_1,$   
 $C_4 : X_2 \neq X_1 - 1,$   
 $C_5 : X_3 \neq X_2 - 1,$   
 $C_6 : X_3 \neq X_1 - 2,$   
 $C_7 : X_2 \neq X_1 + 1,$   
 $C_8 : X_3 \neq X_2 + 1,$   
 $C_9 : X_3 \neq X_1 + 2\}$

- $C_1, C_2, C_3$  : interdiction d'avoir deux reines sur la même colonne
- $C_4, C_5, C_6$  : interdiction d'avoir deux reines sur la même diagonale montante
- $C_7, C_8, C_9$  : interdiction d'avoir deux reines sur la même diagonale descendante

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 02 : Solution

## Forward Checking



- Exercice 02 : Solution

- Echec 01

- Instanciation de  $X_2$  avec la valeur 3 de son domaine
    - On supprime du domaine {2} de la variable non encore instanciée  $X_3$  l'unique valeur 2 qui n'est pas compatible avec ce choix 3 pour l'instanciation de  $X_2$  :
    - Le domaine de  $X_3$  devient ainsi vide

- Echec 02

- Instanciation de  $X_1$  avec la valeur de son domaine
    - Aucune valeur du domaine {1, 2, 3} de la variable non encore instanciée  $X_2$  n'est compatible avec ce choix 2 pour l'instanciation de  $X_1$  : le domaine de  $X_2$  devient ainsi vide

- Echec 03

- Instanciation de  $X_2$  avec la valeur 1 de son domaine
    - On supprime du domaine {2} de la variable non encore instanciée  $X_3$  l'unique valeur 2 qui n'est pas compatible avec ce choix 1 pour l'instanciation de  $X_2$  : Le domaine de  $X_3$  devient ainsi vide

## ● Exercice 03

- On représente un problème donné à l'aide d'un CSP binaire discret  $P$  suivant

- $X = \{1, 2, 3\}$
- $Y = \{1, 2, 3\}$
- $Z = \{1, 2, 3\}$
- $X > Y$
- $Y = Z$

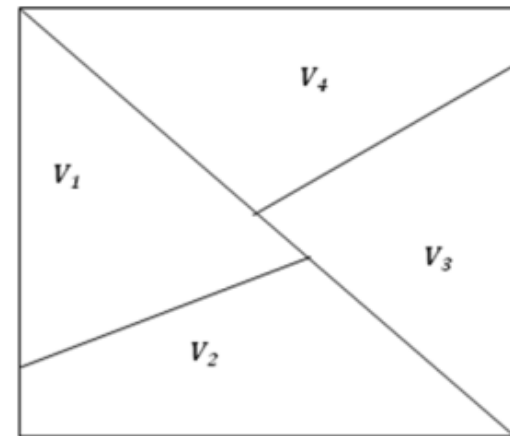
## ● Questions

- Appliquer l'algorithme de recherche **AC3** au CSP  $P$
- Afficher pour chaque itération l'évolution de la file d'attente des arcs

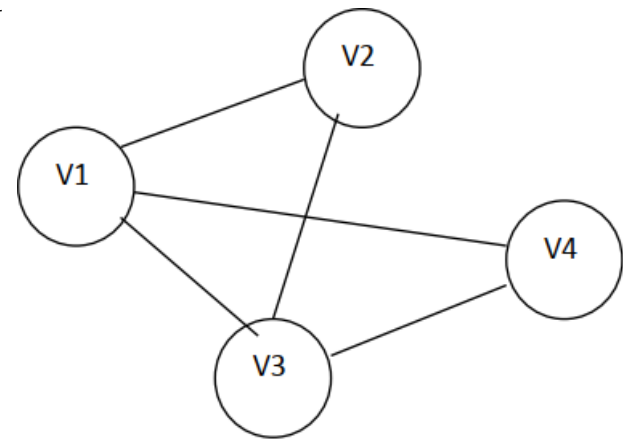


## ● Exercice 04

- On considère la carte suivante décrivant les frontières entre les quatre villes  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  et  $V_4$  en utilisant les couleurs : rouge, bleu et vert
- Les villes adjacentes ne peuvent avoir la même couleur et :
  - $V_1$  doit avoir la couleur rouge ou en vert,
  - $V_2$  et  $V_3$  doivent être en bleue ou en vert
  - $V_4$  doit avoir la couleur verte
- Questions
  - Appliquer l'algorithme de recherche **AC3** à ce problème
  - Afficher pour chaque itération l'évolution de la liste d'attente pour vérifier la consistance des arcs



- Exercice 04 : Solution
- Variables et domaine de valeur
  - $V1 = \{r, v\}$
  - $V2 = \{b, v\}$
  - $V3 = \{b, v\}$
  - $V4 = \{v\}$



Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =  
 $\{ \langle V1, V1 \neq V2 \rangle, \langle V1, V1 \neq V4 \rangle, \langle V1, V1 \neq V3 \rangle, \langle V2, V1 \neq V2 \rangle, \langle V2, V2 \neq V3 \rangle, \langle V3, V1 \neq V3 \rangle, \langle V3, V3 \neq V4 \rangle, \langle V3, V3 \neq V2 \rangle, \langle V4, V1 \neq V4 \rangle, \langle V4, V3 \neq V4 \rangle \}$

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

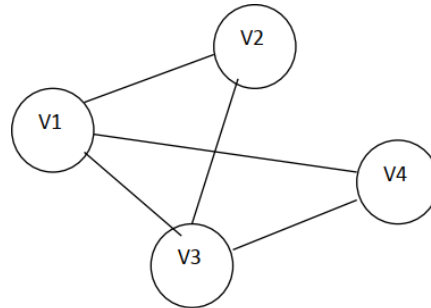
- Variables et domaine de valeur

- $V1 = r \text{ } \cancel{\{r, v\}}$

- $V2 = \{b, v\}$

- $V3 = \{b, v\}$

- $V4 = \{v\}$



$\langle V1, V1 \neq V2 \rangle$

$\langle V1, V1 \neq V4 \rangle$

$\langle V1, V1 \neq V3 \rangle$

Pas de réduction de domaine  
et pas d'arcs reliés à V2, V3 et  
V4 à ajouter puisqu'ils sont déjà  
dans la liste

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{

$\langle V2, V1 \neq V2 \rangle, \langle V2, V2 \neq V3 \rangle,$

$\langle V3, V1 \neq V3 \rangle, \langle V3, V3 \neq V4 \rangle, \langle V3, V3 \neq V2 \rangle,$

$\langle V4, V1 \neq V4 \rangle, \langle V4, V3 \neq V4 \rangle$

}

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

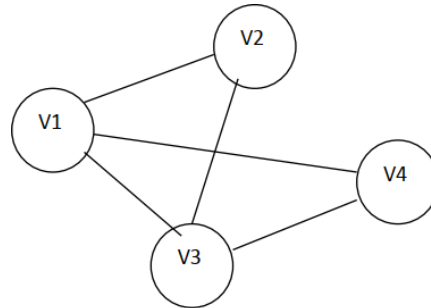
- Variables et domaine de valeur

- $V1 = r \ \overline{\{r, v\}}$

- $V2 = b \ \overline{\{b, v\}}$

- $V3 = \{b, v\}$

- $V4 = \{v\}$



$\langle V2, V1 \neq V2 \rangle$

Pas de réduction de domaine  
et pas d'arcs reliés à V2, V3 et  
V4 à ajouter puisqu'ils sont déjà  
dans la liste

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{

$\langle V2, V2 \neq V3 \rangle,$

$\langle V3, V1 \neq V3 \rangle, \langle V3, V3 \neq V4 \rangle, \langle V3, V3 \neq V2 \rangle,$

$\langle V4, V1 \neq V4 \rangle, \langle V4, V3 \neq V4 \rangle$

}

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

- Variables et domaine de valeur

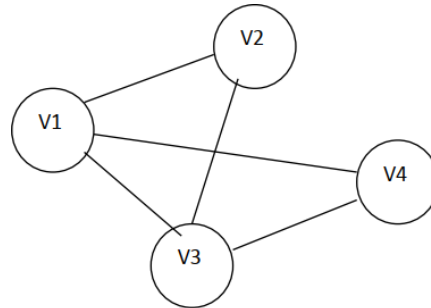
$\langle V2, V2 \neq V3 \rangle$

- $V1 = r \ \{\cancel{r}, v\}$

- $V2 = b \ \{\cancel{b}, v\}$

- $V3 = \{v\}$

- $V4 = \{v\}$



Réduction de domaine et ajout de contraintes liées à V3

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{  
 $\langle V3, V1 \neq V3 \rangle$ ,  $\langle V3, V3 \neq V4 \rangle$ ,  $\langle V3, V3 \neq V2 \rangle$ ,  
 $\langle V4, V1 \neq V4 \rangle$ ,  $\langle V4, V3 \neq V4 \rangle$ ,  
 $\langle V1, V1 \neq V3 \rangle$ ,  
}

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

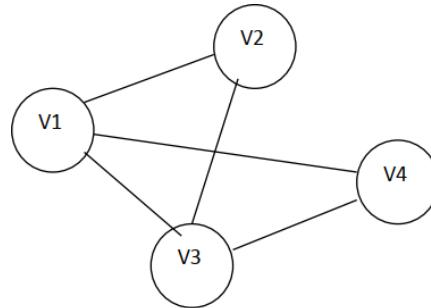
- Variables et domaine de valeur

- $V1 = r \ \overline{\{r, v\}}$

- $V2 = b \ \overline{\{b, v\}}$

- $V3 = v$

- $V4 = \{v\}$



$\langle V3, V1 \neq V3 \rangle$

Pas de réduction de domaine

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{  
 $\langle V3, V3 \neq V4 \rangle$ ,  $\langle V3, V3 \neq V2 \rangle$ ,  
 $\langle V4, V1 \neq V4 \rangle$ ,  $\langle V4, V3 \neq V4 \rangle$ ,  
 $\langle V1, V1 \neq V3 \rangle$ ,  
}

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

- Variables et domaine de valeur

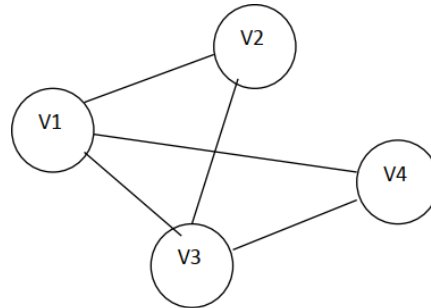
$\langle V3, V3 \neq V4 \rangle$

- $V1 = r$   ~~$\{r, v\}$~~

- $V2 = b$   ~~$\{b, v\}$~~

- $V3 = v$

- $V4 = \{\}$



Réduction de domaine

Domaine de V4 vide

Backtrack sur le dernier choix

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{  
 $\langle V3, V3 \neq V2 \rangle$ ,  
 $\langle V4, V1 \neq V4 \rangle$ ,  $\langle V4, V3 \neq V4 \rangle$ ,  
 $\langle V1, V1 \neq V3 \rangle$ ,  
}

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

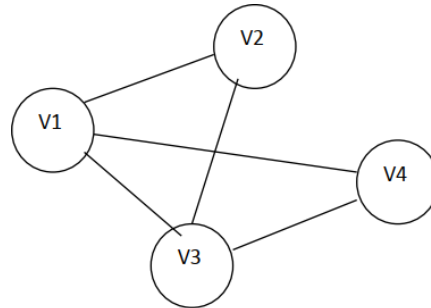
- Variables et domaine de valeur

- $V1 = r \text{ } \overline{\{r, v\}}$

- $V2 = v \text{ } \overline{\{b, v\}}$

- $V3 = \{b, v\}$

- $V4 = \{v\}$



$\langle V2, V1 \neq V2 \rangle$

Pas de réduction de domaine  
et pas d'arcs reliés à V2, V3 et  
V4 à ajouter puisqu'ils sont déjà  
dans la liste

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{

$\langle V2, V2 \neq V3 \rangle,$

$\langle V3, V1 \neq V3 \rangle, \langle V3, V3 \neq V4 \rangle, \langle V3, V3 \neq V2 \rangle,$

$\langle V4, V1 \neq V4 \rangle, \langle V4, V3 \neq V4 \rangle$

}



# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

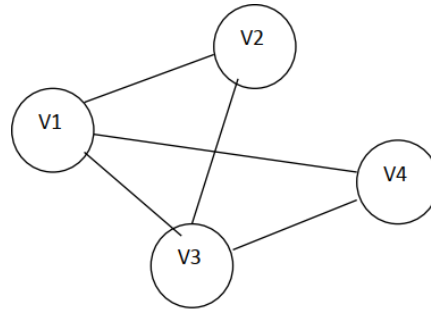
- Variables et domaine de valeur

- $V1 = r \ \{\cancel{r}, \cancel{v}\}$

- $V2 = v \ \{\cancel{b}, \cancel{v}\}$

- $V3 = \{b\}$

- $V4 = \{v\}$



$\langle V2, V2 \neq V3 \rangle$

Réduction de domaine et pas d'ajout de contraintes liées à V3

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{  
 $\langle V3, V1 \neq V3 \rangle$ ,  $\langle V3, V3 \neq V4 \rangle$ ,  $\langle V3, V3 \neq V2 \rangle$ ,  
 $\langle V4, V1 \neq V4 \rangle$ ,  $\langle V4, V3 \neq V4 \rangle$ ,  
 $\langle V1, V1 \neq V3 \rangle$ ,  
}

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

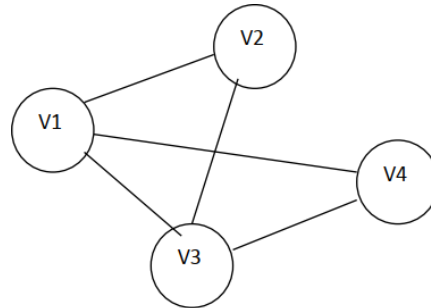
- Variables et domaine de valeur

- $V1 = r \text{ } \overline{\{r, v\}}$

- $V2 = v \text{ } \overline{\{b, v\}}$

- $V3 = \{b\}$

- $V4 = \{v\}$



$\langle V3, V1 \neq V3 \rangle$

$\langle V3, V3 \neq V4 \rangle$

$\langle V3, V3 \neq V2 \rangle$

Pas de réduction de domaine

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =

{  
 $\langle V4, V1 \neq V4 \rangle, \langle V4, V3 \neq V4 \rangle,$   
}

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

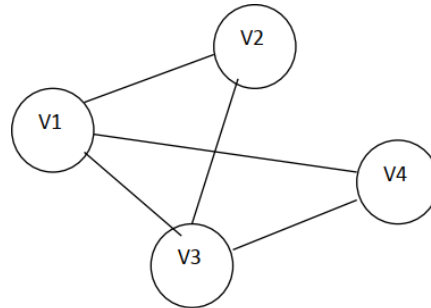
- Variables et domaine de valeur

- $V1 = r \text{ } \overline{\{r, v\}}$

- $V2 = v \text{ } \overline{\{b, v\}}$

- $V3 = b$

- $V4 = \{v\}$



$\langle V4, V1 \neq V4 \rangle$

$\langle V4, V3 \neq V4 \rangle$

Pas de réduction de domaine

Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =  
{ }

# Résolution de problèmes CSP

- Exercice 04 : Solution

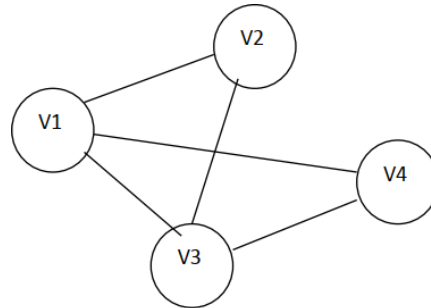
- Variables et domaine de valeur  $\{\}$

- $V1 = r$   ~~$\{r, v\}$~~

- $V2 = v$   ~~$\{b, v\}$~~

- $V3 = b$

- $V4 = v$



Queue (ensemble des arcs de contrainte entre variables) =  $\{\}$

$\{V1 = r, v2 = v, V3 = b, V4 = v\}$  :  
Affectation complète et consistante