



# ***Cours Master1***

## ***Introduction à l'Intelligence Artificielle (IA)***

Présenté par : SAHEB F.  
Email : [sahebt2002@yahoo.fr](mailto:sahebt2002@yahoo.fr)  
tlili.saheb@gmail.com

# **Les systèmes à base de connaissances (systèmes experts)**

- **Systeme expert = système capable de reproduire les mécanismes cognitifs d'un expert dans un domaine.**
- **Raisonnement à partir de faits et de règles connus (connaissances acquises auprès d'un expert).**
- **Aide à la décision.**
- **Domaines très limités.**
- **Nécessité d'un choix de langage pour exprimer les connaissances:**
  - **Instruction (par expert)**
  - **Consultation (par usager)**

# Les systèmes à base de connaissances (systèmes experts)

- **Base de connaissances** : elle contient l'ensemble des informations spécifiques au domaine d'expertise.
- **Base de faits** : elle contient l'ensemble des faits relatifs au problème. On y stocke les données symboliques et les données numériques.
- **Base de règles** : elle contient l'ensemble des règles de production et des connaissances heuristiques déterminant la résolution de problème.

# Les systèmes à base de connaissances (systèmes experts)

- **Règles : partie gauche → partie droite**
- **Partie gauche = condition d'application de la règle**
- **Partie droite = procédure de transformation de l'état courant**
- **Exemples:**
- **Si prop1 et prop2 ALORS action**
- **Si prop1 et prop3 ALORS action à 63%**

# Les systèmes à base de connaissances (systèmes experts)

- **Moteur – d'inférences:** il réalise le fonctionnement créatif du système en sélectionnant règles et faits pour générer de nouvelles règles et de nouveaux faits.
- **Méta – règles :** il s'agit des règles destinées à guider le moteur d'inférences quand à la stratégie de résolution ou à la maintenance des bases de règles ou de faits.

# Développement d'un système expert

## Raisons favorisant le développement d'un système expert :

- **Existence d'un grand nombre d'observations systémiques.**
- **Existence d'une procédure d'analyse et de prise de décisions acceptées.**
- **Importance des paramètres qualitatifs, non seulement quantitatifs « solution algorithmique impossible, solutions souhaitées non évidente du premier coup, ou difficile à obtenir autrement. »**
- **Intérêt économique du projet (disponibilité d'une information intelligente 24/24h, complexité excessive, etc.)**

# Phase de développement d'un système expert

1. **Spécification** du cahier des charges.
2. **choix d'une architecture** du système, de son interface utilisateur, et d'un langage de traitement, prévision des mécanismes de modification ultérieure du système.
3. **Sélection d'un sous – ensemble représentatif** du problème pour l'élaboration d'un démonstrateur.
4. **Acquisition des informations**, et élaboration du mécanisme d'ajout et de modification de la base de connaissances.
5. **Implantation du moteur – d'inférence** (règles d'inférence).
6. **Test, ajustement et documentation du système**

# Catégories des systèmes experts

Catégories	Type de problèmes
Interprétation	Décrire des situations à partir de données sensorielles
prédiction	Prédire des conséquences de situation données
diagnostic	Identifier des problèmes de fonctionnement à partir d'observations
Conception	Configurer des objets à partir de contraintes descriptives
Planification	Déterminer des plans d'action
Surveillance et contrôle	Comparer des observations à des défaillances possibles et remédier à ces défaillances
Préparation	Prescrire des remèdes à des mauvais fonctionnements. Exécuter des plans en fonction de remèdes prescrits
Formation	Identifier les failles dans les connaissances et proposer des stratégies pédagogiques pour remédier

# Exemples de systèmes experts

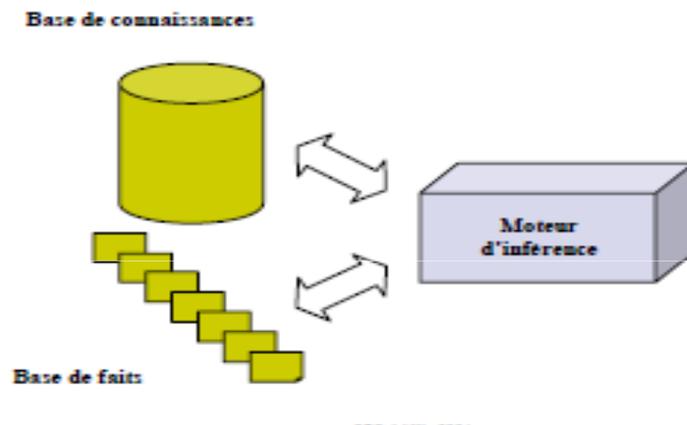
- **Systemes d'interprétation de données : des systèmes permettant de classifier de nouvelles observations par référence à des observations pré stockées.**
- **Systeme de diagnostic en médecine (« de quelle maladie s'agit – il »)**
- **Systemes d'évaluation psychologique (« s'agit – il d'un cas suicidaire? ») etc.**
- **Systeme de prédiction :des systèmes effectuant une interprétation prédictive à partir des observations pré stockées.**

# Exemples de systèmes experts

- **Systeme de prédition météorologique (« il pleut aujourd'hui à Annaba, va – il pleuvoir à Alger demain »)**
- **Prédiction géopolitique (« les conflits de guerre sont particulièrement fréquents en situation de crise économique. Quelles combinaisons précises de facteurs économiques, sociologiques et politiques prédirent un déclenchement d'hostilités »).**
- **Planification des actions d'assemblage d'un robot industriel, planification des interventions requises pour la construction d'un bâtiment;**

# Systemes à Base de connaissances(SE)

## Architecture d'un SBC



- Les connaissances expertes sont représentées par des règles de la forme
- Si (prémises) Alors (conclusions)
- Prémises = conditions de déclenchement de la règle
- Conclusions = effet du tirage de la règle

# Systemes à Base de connaissances (SE)

- La conclusion, qui est après Alors, est aussi appelée le corps de la règle.
- En formalisme logique, en notant les conditions  $C1, \dots, Cn$ , on écrit une règle ainsi :
- $C1 \wedge \dots \wedge Cn \Rightarrow [\text{Fait} = \text{valeur}]$
- En langage Prolog, la notation est en général :
- $[\text{Fait} = \text{valeur}] : - C1, \dots, Cn$
- ou
- $[\text{Fait} = \text{valeur}] \vdash C1, \dots, Cn$

# Systemes à Base de connaissances (SE)

- Déclencher une règle consiste à remplacer ses prémisses par sa conclusion (en chaînage avant),
- ou sa conclusion par ses prémisses (en chaînage arrière).

## Exemple :

Si [population  $\geq$  200000] et [ville-universitaire]

Alors [cinémaElkarama=VRAI]

- Une base de règles est un ensemble de règles dont la signification logique est la conjonction de la signification logique de chacune des règles.

# Systemes à Base de connaissances (SE)

- **En particulier, on peut aisément coder des règles de la forme**
  - **Si A ou B Alors C ou Si A Alors B et C**
- **Mais pas des règles de la forme :**
  - **Si A Alors B ou C**

# Systemes à Base de connaissances

## Les métrarègles et la méta connaissance

- La connaissance est traduite en règles, la méta-connaissance s'exprime par des métrarègles (c'est-à-dire des règles sur la manière d'utiliser les règles).
- On trouve par exemple dans MYCIN les métrarègles suivantes :

Si on recherche une thérapie Alors considérer dans cet ordre les règles qui permettent de :

- Acquérir les informations cliniques sur le patient
- Trouver quels organismes, s'il en existe, qui sont causes de l'infection
- Identifier les organismes les plus vraisemblables
- Trouver tous les médicaments potentiellement utiles
- Choisir les plus adaptés en plus petit nombre

# Systemes à Base de connaissances

## Les métarègles et la méta connaissance (Suite)

- L'organisation d'une base de connaissances au moyen de méta-règles reste essentiellement déclarative, par opposition à une organisation basée sur une structuration a priori de l'ensemble des règles (écrire les règles dans un ordre donné).
- D'un point de vue algorithmique, on remarquera que l'utilisation d'un ordre fixe sur les règles autorise la programmation récursive en essais successifs. Par contre, si on veut choisir à tout moment quelle règle appliquer parmi les règles applicables, il vaut mieux programmer itérativement.

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences

- **Un moteur d'inférences** est un mécanisme qui permet d'inférer des connaissances nouvelles à partir de la base de connaissances du système.
- **Quelques notions fondamentales sur les moteurs d'inférence :**
  - Le cycle de base d'un moteur d'inférences : évaluation, exécution.
  - Le fonctionnement en régime irrévocable.
  - Les rapports entre le mode d'inférence et le raisonnement logique.
  - La stratégie de recherche d'un moteur d'inférence.

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(suite1)

### 1. L'évaluation:

- la sélection (restriction)
- le filtrage en pattern – matching (modèle de correspondance): on détermine un ensemble de règles R2 de la base de règle R1 qu'il est possible de déclencher, appelé ensemble de conflit.
- la résolution de conflit: consiste à choisir dans la base de règles R2 un sous-ensemble de règles R3 qu'il va falloir effectivement déclencher.

Ici encore, on utilise des métarègles, mais non liées au problème. Par exemple, déclencher de préférence les règles qui ont le moins souvent servi, ou celles qui introduisent le moins de nouveaux sous-problèmes

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(suite2)

**2. Régime irrévocable et retour en arrière:** Lorsque R3 est vide, les systèmes les plus simples se contentent de s'arrêter.

- Ils fonctionnent selon un algorithme glouton. On dit que ces moteurs d'inférence sont en régime irrévocable

**3. L'exécution :** son mode de raisonnement

Trois modes principaux de fonctionnement (trois façon de raisonner):

- Chaînage avant
- Chaînage arrière
- Chainage mixte

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(chainage avant)

### - Le chaînage avant :

- Le mécanisme du chaînage avant est très simple : pour déduire un fait particulier, on déclenche une règle dont les prémisses sont connues dans BF. Sa conclusion est ajoutée à BF comme fait connu. La règle est ensuite désactivée
- (une règle n'a besoin d'être déclenchée qu'une fois au plus, puisque ses prémisses restent dans BF). L'algorithme tourne ainsi jusqu'à ce que le fait à déduire soit connu ou qu'aucune règle ne soit plus déclenchable. Il s'agit d'un algorithme d'essais successifs, programmé en version itérative.

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(châinage avant)

Algorithme : raisonnement par châinage avant

ENTREE: BF, BR, F

**F est le fait à dèduire**

- tant que F n'est pas dans BF et qu'il existe dans BR une règle applicable faire  
choisir une règle applicable R par les ètapes de filtrage et de rèsolution  
de conflits, grâce à l'utilisation d'heuristiques et de mètarègles  
BR = BR - R (dèsactivation de R)
- fin tant que
- si F appartient à BF alors  
F est ètabli
- sinon  
F n'est pas ètabli
- fin si

# Systemes à base de connaissances

## Exemple(châinage avant)

### EXEMPLE

$B = \{a,b,f\}$

$R =$

1)  ~~$a \& b \rightarrow h$~~   $B = \{a,b,f\}$

2)  ~~$a \rightarrow e$~~   $a \& b \rightarrow h$

3)  $e \& b \rightarrow g$

4)  $h \& g \rightarrow k$

5)  ~~$e \& f \rightarrow c$~~

6)  $a \& g \& f \rightarrow u$

$G = \{c\}$

$B = \{a,b,f,h\}$

$a \rightarrow e$

$B = \{a,b,f,h,e\}$

$e \& f \rightarrow c$

$R: \{ R3 \text{ et } R4 \text{ et } R6 \}$

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(châinage avant)

### Remarques sur l'algorithme

- Il s'arrête toujours;
  - Il peut être très long;
  - Sature la base = déduire tous les faits;
  - En utilisation de règles à conclusion négatives; Soit :
    - $F \in BF$  : le fait est établi
    - $F \notin BF$  et  $\neg F \notin BF$  : on ne peut rien dire sur F
    - $F \in BF$  et  $\neg F \in BF$ : la base de faits est incohérente  $\longrightarrow$  Nécessite un méta fait.
- « BaseIncohérente » et une méta\_règle permettant de le déduire

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(châinage avant)

**Ex :**

**Soit BF = {B,C} et soit H le fait à établir**

**Soit BR composée des règles :**

- 1. Si B et D et E Alors F**
- 2. Si G et D Alors A**
- 3. Si C et F Alors A**
- 4. Si B Alors X**
- 5. Si D Alors E**
- 6. Si X et A Alors H**
- 7. Si C Alors D**
- 8. Si X et C Alors A**
- 9. Si X et B Alors D**

**L'algorithme précédent appliqué à ces paramètres prouve que H se déduit de la base de connaissances. En effet :**

**Etape 1 Règles applicables : 4 ou 7. On choisit 4.**

**BF = {B,C,X}**

**La règle 4 est désactivée.**

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(châinage avant)

Etape 2 Règles applicables : 7, 8 ou 9. On choisit 7.

$BF = \{B,C,X,D\}$

La règle 7 est désactivée.

Etape 3 Règles applicables : 5, 8 ou 9. On choisit 5.

$BF = \{B,C,X,D,E\}$

La règle 5 est désactivée.

Etape 4 Règles applicables : 1, 8 ou 9. On choisit 1.

$BF = \{B,C,X,D,E,F\}$

La règle 1 est désactivée.

Etape 5 Règles applicables : 3, 8 ou 9. On choisit 3.

$BF = \{B,C,X,D,E,F,A\}$

La règle 3 est désactivée.

Etape 6 Règles applicables : 6, 8 ou 9. On choisit 6.

H est établi.

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(châinage arrière)

- Le mécanisme de châinage arrière s'appuie sur le fait que l'on souhaite établir, à rechercher toutes les règles qui concluent sur ce fait, à établir la liste des faits qu'il suffit de prouver pour qu'elles puissent se déclencher puis appliquer récursivement le même mécanisme aux faits contenus dans ces listes.
- Ces faits deviennent à leur tour des faits à démontrer. La récursion s'arrête quand le but à établir appartient à la base des faits.
- L'algorithme de châinage arrière est nettement plus compliqué que le précédent. Nous nous contenterons d'étudier un exemple.

# Systemes à base de connaissances

## Moteurs d'Inférences: Chaînage Arrière

- Dédution d'un nouveau fait à partir des faits et règles existants
- Algorithme
  - Soit BF, une base de faits et BR, une base de règles ( conclusion positive); Fait, le fait que l'on cherche à établir
  - Recherche de la déduction possible de fait

Chaînage arrière(BF, BR, F)

Si ( $F \in BF$ ) Alors chaînage arrière  $\leftarrow$  OK

Sinon

Construire ER ensemble de règles R, telle que  $F \in$  conclusion (R)

Faire

valide  $\leftarrow$  vrai

R  $\leftarrow$  premier élément de ER

Pour tout  $Fr \in$  premisses (R )

Valide  $\leftarrow$  valide et chaînageArrière (BF, BR, Fr)

fin pour

Jusqu'à (valide ou  $ER \neq \emptyset$  )

Si valide alors  $BF = BF \cup \{F\}$

chaînageArrière  $\leftarrow$  valide

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(chainage arriere)

- **L'exécution de l'algorithme de chaînage arriere peut être décrit par un arbre dont les nœuds sont étiquetés soit par un fait, soit par un des deux mots ET, OU (une variante graphique consiste à étiqueter les arcs associés par un ET ou un OU).**
- **Par la suite une représentation du raisonnement en chaînage arriere par un arbre ET-OU de L'exemple qui a été traité en chaînage avant.**

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(chainage arrière)

Soit  $BF = \{ B, C \}$  ,  $Fait = H$  et  $R$  composée des Règles

1-  $B \wedge D \wedge E \rightarrow F$

2-  $G \wedge D \rightarrow A$

3-  $C \wedge F \rightarrow A$

4-  $B \rightarrow X$

5-  $D \rightarrow E$

6-  $X \wedge A \rightarrow H$

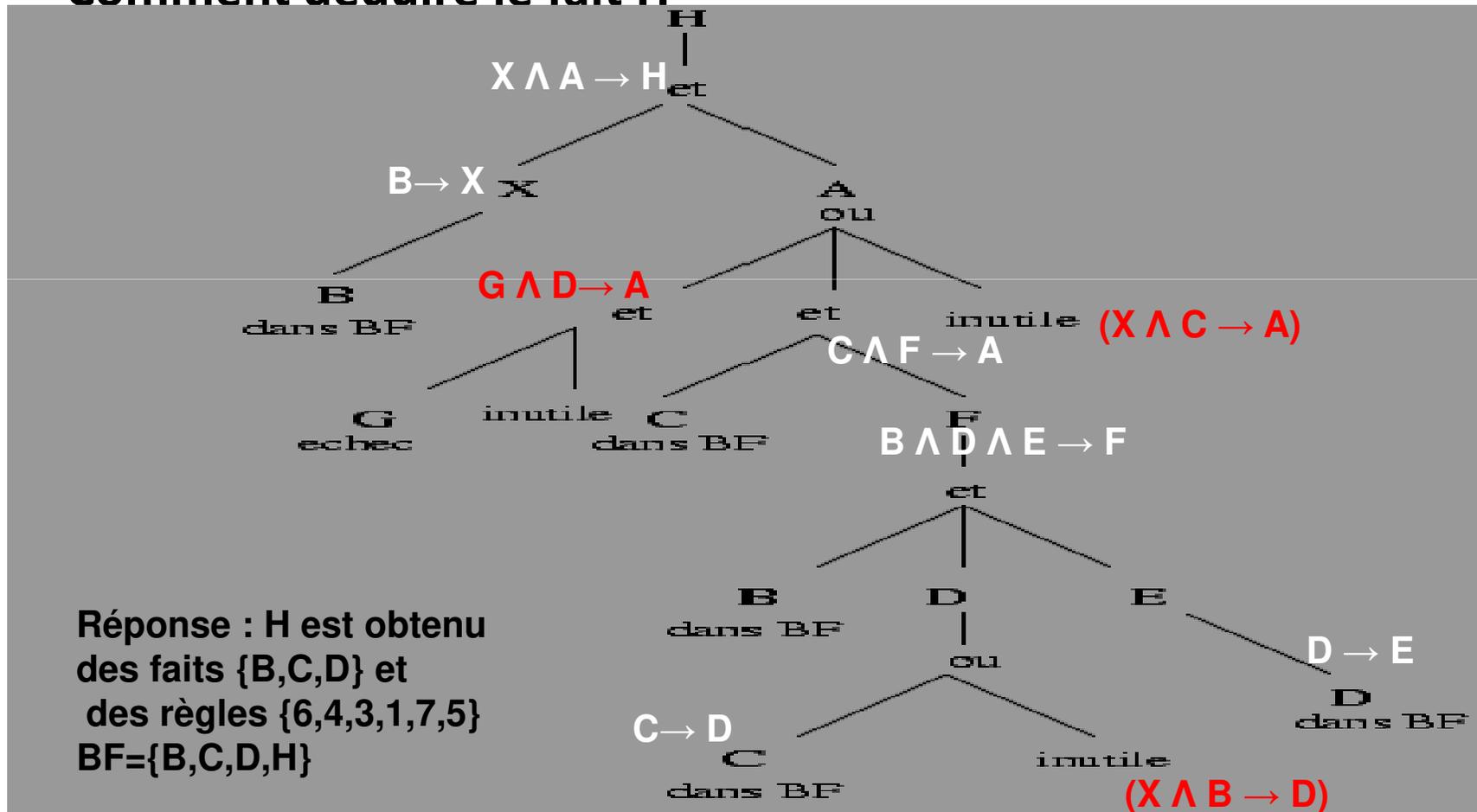
7-  $C \rightarrow D$

8-  $X \wedge C \rightarrow A$

9-  $X \wedge B \rightarrow D$

# Systeme à base de connaissances

- Comment déduire le fait H



# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(chainage arriere)

### Remarques sur l'algorithme

- Plus complexe à mettre en œuvre
- Possibilité de bouclage s'il est impossible de mémoriser le chemin;
- Ne donne pas forcément la solution optimale
- Possibilité de demander un fait à l'utilisateur (D dans l'exemple précédent) ➔ attribut demandable

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(chainage mixte)

L'algorithme de chaînage mixte combine les algorithmes de chaînage avant et le chaînage arrière, son principe est donné par l'algorithme suivant:

### ChainageMixte

#### Début

Tantque F n'est pas déduit mais peut encore l'être faire saturer la base de faits par chaînage avant

Chercher quels sont les faits encore éventuellement déductibles

déterminer une question pertinente à poser à l'utilisateur et ajouter sa réponse à la base de faits (chainageMixte)

Fin tanque

Fin

# Systemes à base de connaissances

## Les moteurs d'inférences(chainage mixte)

### Exercice:

Chaînage mixte:

BF [Ahmed, Belaid, Cherif ne sont pas tous présent]

- Si Dahleb vient, Cherif vient aussi
- Si Belaid vient, la réunion commence aussi
- Si la réunion commence en retard, cherif n'y sera pas
- Si Ahmed et Dahleb assistent à la réunion, elle ne sera pas calme
- Si Ahmed, Belaid et Esma assistent à la réunion et si Cherif ne vient pas, la réunion sera fructueuse.
- Que peut on déduire du fait « la réunion ne sera pas calme »?
- Que peut on déduire du fait « la réunion sera fructueuse »?

# Exemple chainage mixte

Soit la Base de connaissances :

- **Base de faits : Les\_Saintes**
- **Base de règles :**
  - R1 : SI Tropiques ALORS Les\_Saintes
  - R2 : SI Saint-Bart et hôtel ALORS Hôtel Paradisio
  - R3 : SI dépressif ALORS Tourisme chaud
  - R4 : SI tourisme chaud ALORS tropiques
  - R5 : SI Les\_Saintes ALORS Hôtel Paradisio
  - R6 : SI Les\_Saintes ALORS tourisme chaud
  - R7 : SI P.D.G. ALORS tourisme chaud
  - R8 : SI tourisme chaud et Les\_Saintes ALORS tourisme chaud et voilier
  - R9 : SI Hôtel Paradisio ALORS Caraïbes

# Exemple chainage mixte (suite1)

- Déduire le fait « tourisme chaud »
- Base de faits état initial :  
**Les\_Saintes**
- Règle déclenchée R5.  
Base de faits état 1 cycle :  
**Les\_Saintes**  
**Hôtel Paradisio**
- Règle déclenchée R9.  
Base de faits état 2 cycles :  
**Les\_Saintes**  
**Hôtel Paradisio**  
**Caraïbes**

# Exemple chaînage mixte (suite2)

- Le moteur est maintenant bloqué en chaînage avant. Il n'existe pas de prémisse qui contienne *Caraïbes*. Il passe donc en chaînage arrière mais il n'existe pas de règle activable ayant une partie droite (conclusion) qui contienne *Caraïbes*.  
Le moteur passe à nouveau en chaînage avant.
- Les règles activables sont R1, R2, R3, R4, R6, R7,R8. La règle R6 est sélectionnée et activée. Elle permet de déduire *tourisme chaud*.
- etc...
- Graphe du chaînage mixte :

# Exemple chainage mixte (suite3)

