Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Jijel
Faculté des Sciences exactes et de l'informatique
Département d'informatique

– Module –
Systèmes Experts

Master 1 : SIAD

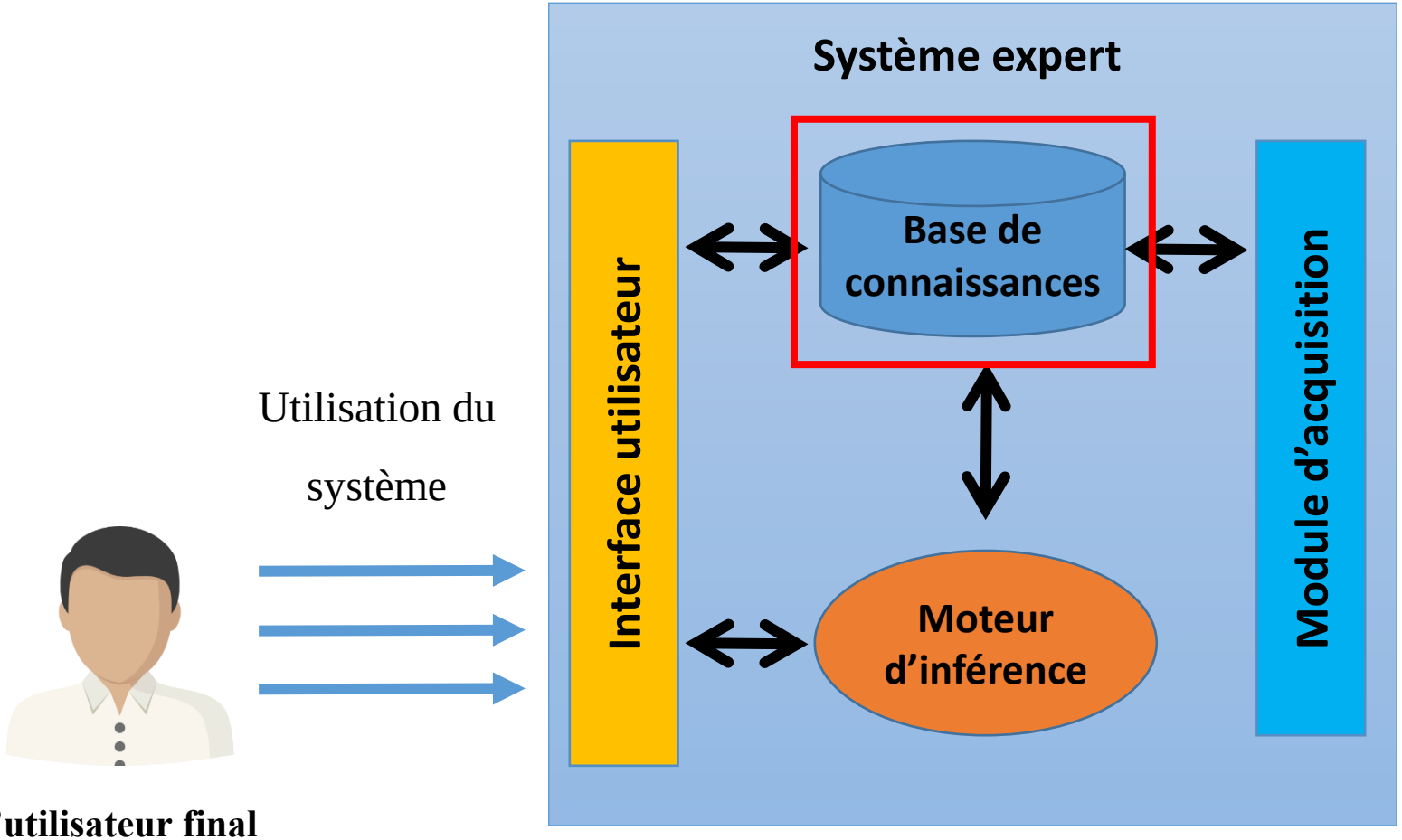
Enseignant du module : Dr. Hemza FICEL

Contact: hemza.ficel@univ-jijel.dz

Rappel

Architecture d'un système Expert

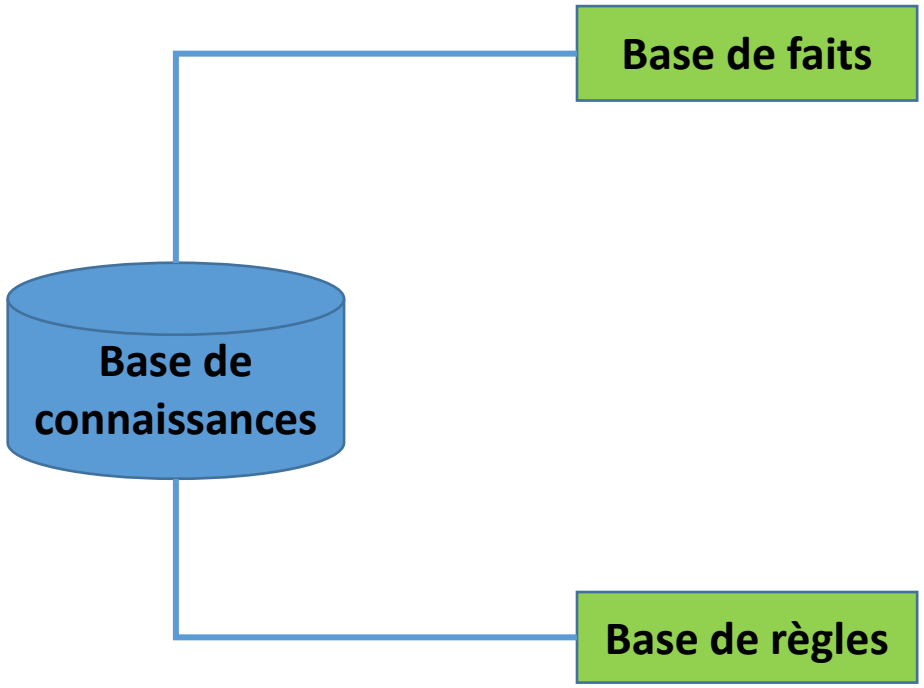
Les experts du domaine



L'utilisateur final

L'ingénieur de connaissances

Rappel



- Conserve la connaissance sur l'**étude en cours** (constats, réalité).
- Son état évolue au cours de l'expertise.
- Considérée comme un espace de travail temporaire
- Exemple : Ali est un étudiant algérien.

- Conserve la connaissance sur le **domaine**.
- Les règles établissent des relations entre les faits.
- Représentation la plus utilisée : **Si** (prémisse) **Alors** (action)
- La **prémisse** est la **condition** d'application de la règle (partie déclencheur)
- La **conclusion** est le **résultat d'exécution** de la règle (partie effets).

Rappel

- **Les faits** sont des conditions initiales à partir desquelles d'autres connaissances pourront être utilisées.

- Exemple de faits : Ali habite Jijel.

- La valeur d'un **fait est toujours vraie** selon une propriété ou des critères donnés.

- Les **règles** représentent des **connaissances opératoires** (fournies par l'expert de domaines) qui **permettent de déduire d'autres connaissances (faits)**.

- **Une règle** est composée d'une **prémisse qui implique une conclusion**. Les prémisses et les conclusions sont constituées de **faits**.

Rappel

- **Attention à ne pas confondre** **une règle de déduction avec une règle d'inférence**

- **Une règle de déduction (Le Savoir)** correspond à une connaissance opératoire qui **fait partie de la base de connaissance** du système expert. Elle représente une part de vérité ou une expertise métier qui a été extraite du cerveau d'un expert humain (Prémisses – conclusions)

Exemple : SI (A et B) **alors** C.

- **Une règle de d'inférence (La Logique)** correspond à un mécanisme de raisonnement (une règle logique universelle) **externe à la base de connaissance**. Il permet de manipuler les règles de déduction pour établir de nouveaux faits.

Exemple : Le **modus Ponens**

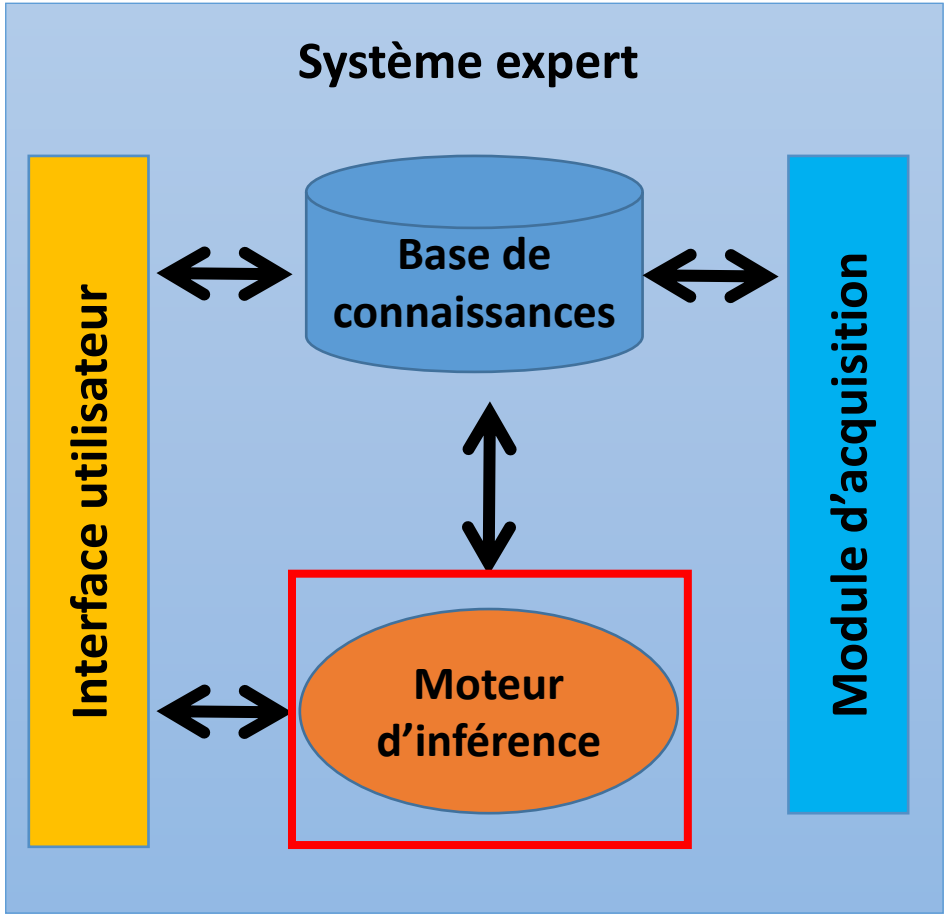
SI (P est vrai et P → Q) **alors Q est vrai.**

Chapitre 3 – Moteur d’Inférence

Moteur d'Inférence

Architecture d'un système Expert

Les experts du domaine



Utilisation du système

Transfert de l'expérience

L'utilisateur final

L'ingénieur de connaissances

Moteur d’Inférence

Un « **moteur d’Inférence** », c’est quoi exactement ?

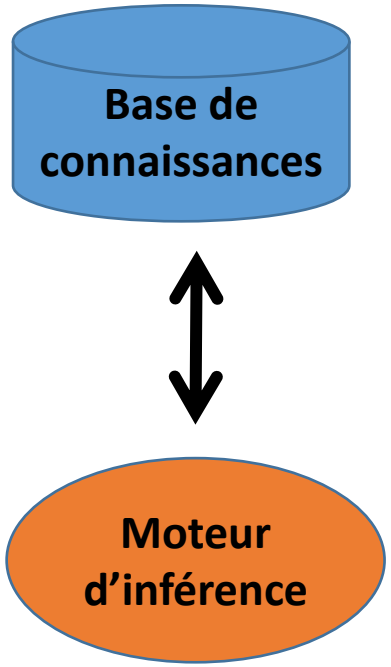
Moteur d'Inférence

Définition

- Inférer : **tirer une conséquence** de quelque chose, **conclure**, **induire** quelque chose de quelque chose. **Dictionnaire Larousse**.

- Le moteur d'inférence : est un programme qui **utilise les connaissances** stockées dans la base de connaissances **pour résoudre un problème** posé par un utilisateur.

- Le moteur d'inférence **applique les règles aux faits** (réalité, hypothèses) de départ **pour déduire de nouveaux faits** afin d'atteindre un objectif.



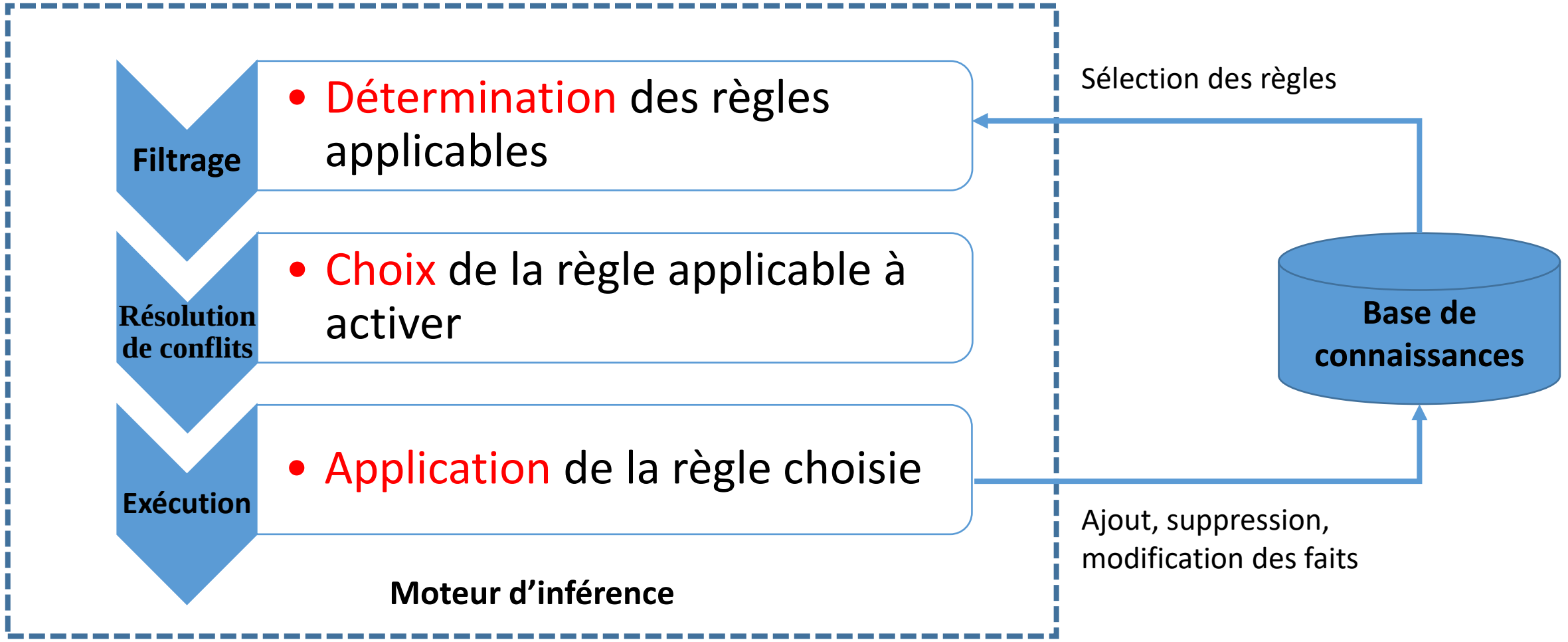
- Le moteur d'inférence **simule l'esprit logique** de l'expert humain en **raisonnant sur des vérités connus pour en sortir de nouvelles vérités**.

Moteur d’Inférence

Le moteur d'inférence suit un processus logique pour résoudre les problèmes en utilisant les règles et les faits disponibles dans la base de connaissances …

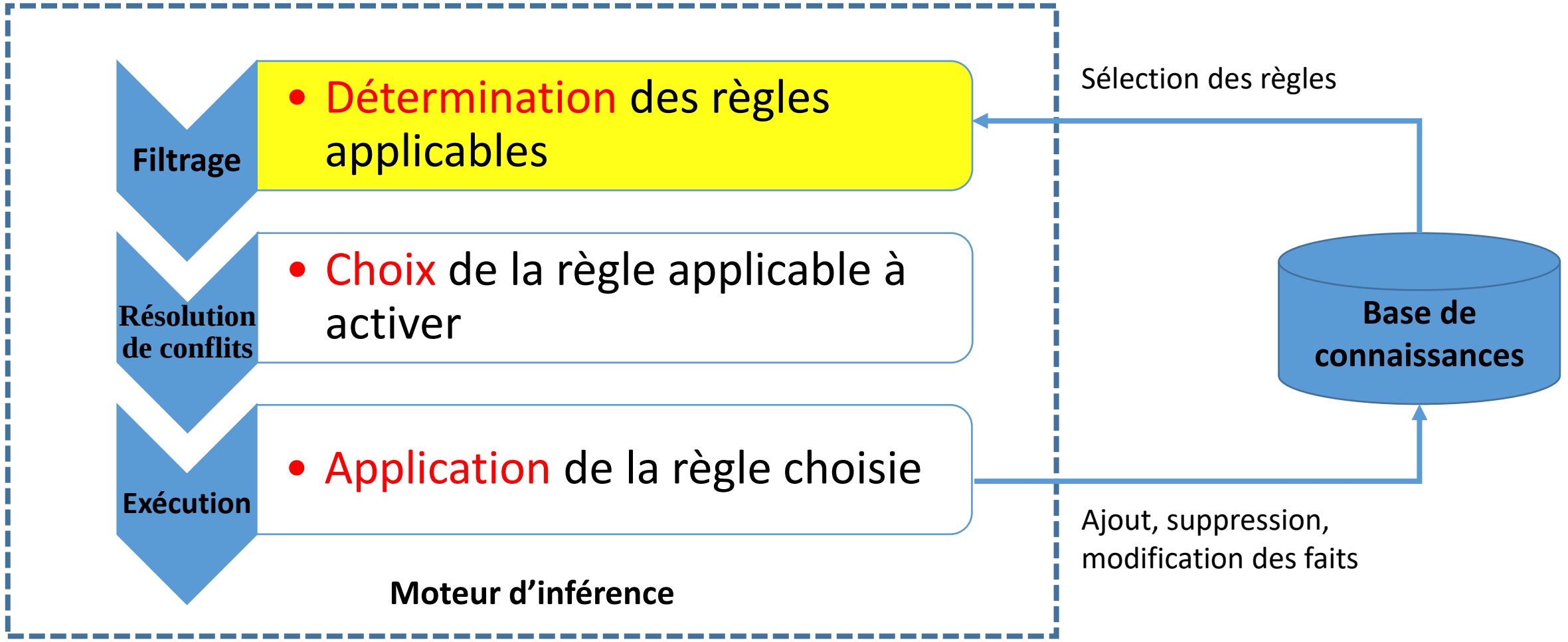
Moteur d'Inférence

Cycle de base d'un moteur d'inférence



Moteur d'Inférence

Cycle de base d'un moteur d'inférence



Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de filtrage

- **Détermination des règles applicables** : le moteur d'inférence commence par examiner toutes les règles de la base de connaissances pour trouver celles qui sont **applicables** aux faits disponibles. Ainsi, les **règles candidates** sont sélectionnées lors de cette première étape (**étape de filtrage**) du cycle de base d’un moteur d’inférence.

- **Règle candidate** : est une règle dont le déclencheur (la partie conditionnelle) s’apparie avec les faits présents dans la base de connaissances (**toutes les conditions de la règle sont satisfaites**). Cela veut dire que la règle est **potentiellement applicable** à la situation actuelle.

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de filtrage

- Pour chaque règle, le moteur d'inférence vérifie si **les prémisses de la règle sont satisfaites par les faits actuels**. Si c'est le cas, la règle est considérée comme applicable.

Exemple : Système expert pour la détection de fraudes

Base de règles	Base de faits (Utilisateur 1)
R1: Si **Achats > 10** et **Session < 5 minutes**, alors **signaler la transaction comme suspecte**.	**Achats = 15;** **Session = 3 minutes ;** **Montant = 2000 €**
R2 : Si **Achats = 1** et **Montant > 5000 €**, alors **demander une vérification manuelle d'une possible fraude**.	

R1, est-elle applicable ? / Tous les faits de R1 sont-ils dans la base des faits ?

R2, est-elle applicable ? / Tous les faits de R2 sont-ils dans la base des faits ?

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de filtrage

- Pour chaque règle, le moteur d'inférence vérifie si **les prémisses de la règle sont satisfaites par les faits actuels**. Si c'est le cas, la règle est considérée comme applicable.

Exemple : Système expert pour la détection de fraudes

Base de règles	Base de faits (Utilisateur 2)
R1: Si **Achats > 10** et **Session < 5 minutes**, alors **signaler la transaction comme suspecte**.	**Achats = 1;** **Session = 4 minutes ;** **Montant = 9000 €**
R2 : Si **Achats = 1** et **Montant > 5000 €**, alors **demander une vérification manuelle d'une possible fraude**.	

R1, est-elle applicable ? / Tous les faits de R1 sont-ils dans la base des faits ? ✗

R2, est-elle applicable ? / Tous les faits de R2 sont-ils dans la base des faits ? ✓

Moteur d’Inférence

On peut avoir plusieurs règles applicables à la fois.

Quelle règle à activer ?

Situation de conflits

Moteur d'Inférence

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Exemple d'une situation de conflits dans un système expert pour la détection de fraudes

Base de règles	Base de faits (Utilisateur 3)
R1: Si **Achats > 10** et **Session < 5 minutes**, alors **signaler la transaction comme suspecte**.	**Achats = 1 ;** **Session = 2 minutes ;** **Montant = 12000 €**
R2 : Si **Achats = 1** et **Montant > 4000 €**, alors **demander une vérification manuelle d'une possible fraude**.	
R3 : Si **Session < 5 minutes** et **Montant > 8000 €**, alors **bloquer immédiatement l'accès au compte de l'utilisateur**.	

R1, est-elle applicable ? / Tous les faits de R1 sont-ils dans la base des faits ? ✗

R2, est-elle applicable ? / Tous les faits de R2 sont-ils dans la base des faits ? ✓

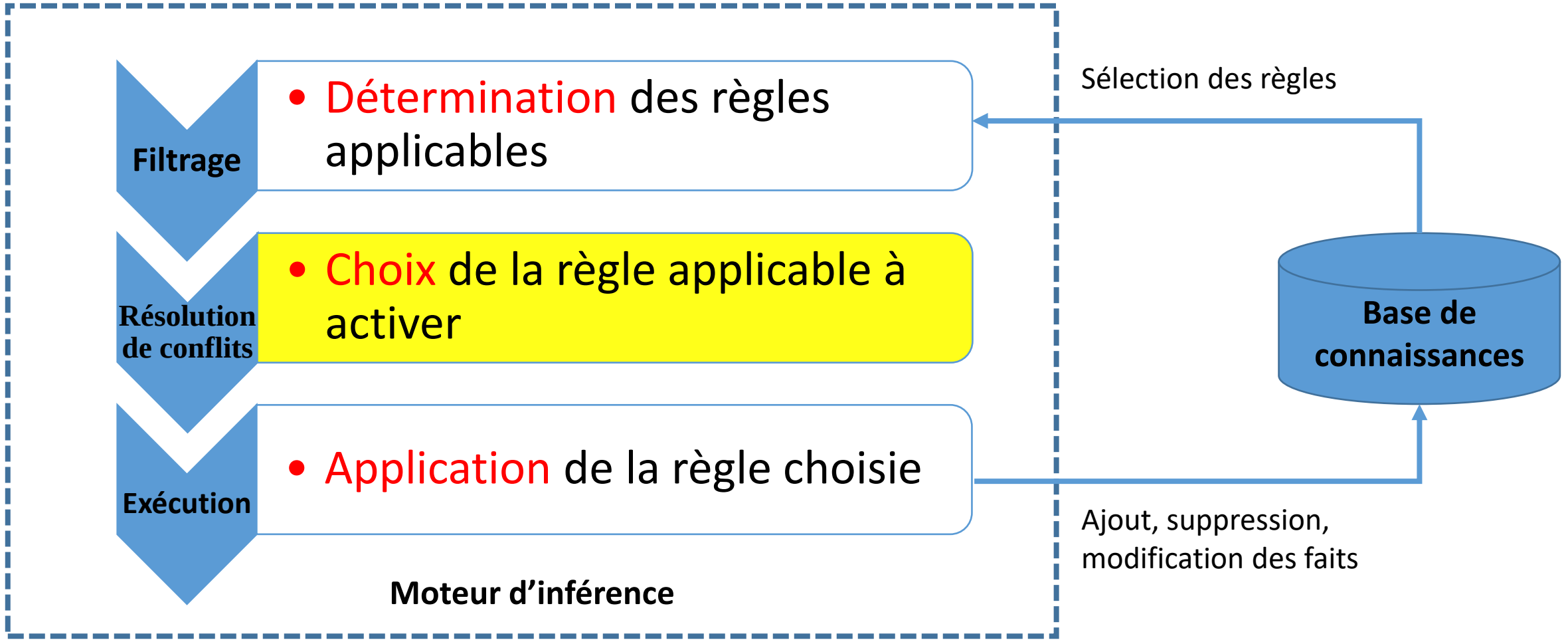
R3, est-elle applicable ? / Tous les faits de R3 sont-ils dans la base des faits ? ✓

Moteur d’Inférence

Comment choisir la **règle à activer dans cette situation ?**

Moteur d'Inférence

Cycle de base d'un moteur d'inférence



Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de résolution de conflits

- Dans un système expert, **une situation de conflits** peuvent survenir lorsque plusieurs règles sont applicables pour un même ensemble de faits. **Dans cette situation une seule règle peut être déclenchée à la fois !**

- Le système expert doit donc mettre en place des **stratégies de résolution de conflits** qui permettent de **choisir la règle applicable à activer** (**étape de résolution de conflits**)

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de résolution de conflits

- **Une stratégie de résolution de conflits** comporte un ensemble de règles que le système applique pour résoudre des situations **où des règles contradictoires s'appliquent pour un même ensemble de faits**.

- Il existe plusieurs stratégies de résolution de conflits :
  - Au hasard.
  - Stratégie de priorité ou de confiance.
  - A partir des méta-règles (règles de contrôle)
  - …

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de résolution de conflits

- **Stratégie de priorité ou de confiance** : en attribuant des coefficients de priorité/confiance aux règles en fonction de leur fiabilité ou importance, cette stratégie assure que les conditions les plus graves/importantes sont traitées en priorité.

Exemple : Système expert d'aide au diagnostic médical

Base de règles	Base de faits (Utilisateur 1)
R1: Si **douleur thoracique** et **fréquence cardiaque rapide**, alors **crise cardiaque**.	**Douleur thoracique,** **Fréquence cardiaque rapide,** **Fièvre** **Douleurs articulaires**
R2 : Si **fièvre** et **douleurs articulaires**, alors **grippe**.	

R1, est-elle applicable ? / Tous les faits de R1 sont-ils dans la base des faits ? ✓

R2, est-elle applicable ? / Tous les faits de R2 sont-ils dans la base des faits ? ✓

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de résolution de conflits

- **Stratégie de priorité ou de confiance** : en attribuant des coefficients de priorité/confiance aux règles en fonction de leur fiabilité ou importance, cette stratégie assure que les conditions les plus graves/importantes sont traitées en priorité.

Exemple : Système expert d'aide au diagnostic médical

Base de règles	Base de faits (Utilisateur 1)
R1: Si **douleur thoracique** et **fréquence cardiaque rapide**, alors **crise cardiaque**.	**Douleur thoracique,** **Fréquence cardiaque rapide,** **Fièvre** **Douleurs articulaires**
R2 : Si **fièvre** et **douleurs articulaires**, alors **grippe**.	

R1 indique **une condition potentiellement mortelle (crise cardiaque)** => **R1** doit avoir **une priorité plus élevée que R2** qui indique une condition moins grave (grippe).

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de résolution de conflits

- **Méta-règles de résolution de conflit :** sont des règles introduites par les experts pour déterminer comment un système expert doit gérer les situations de conflits.

- P. ex. **La règle de précédence (critère de l'ordre)** : on choisit la règle applicable qui apparaît en premier dans la base de connaissances sera sélectionné.

SI R1 et R2 **ALORS** R1.

SI R5 et R8 **ALORS** R5.

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape de résolution de conflits

- **Méta-règles de résolution de conflit :** sont des règles introduites par les experts pour déterminer comment un système expert doit gérer les situations de conflits.

- P. ex. **La règle de spécificité** : on choisit la règle applicable la plus spécifique dans sa description.

Base de règles	Base de faits
R1: Si **personne atteinte de diabète,** alors **les fruits sont un bon choix.**	**Personne atteinte de diabète**
R2 : Si **personne atteinte de diabète,** alors **les pommes sont un bon choix.**	

R1 et R2 sont applicables, mais R2 est plus spécifique que R1 => R2 sera sélectionnée

Cycle de base d'un moteur d'inférence

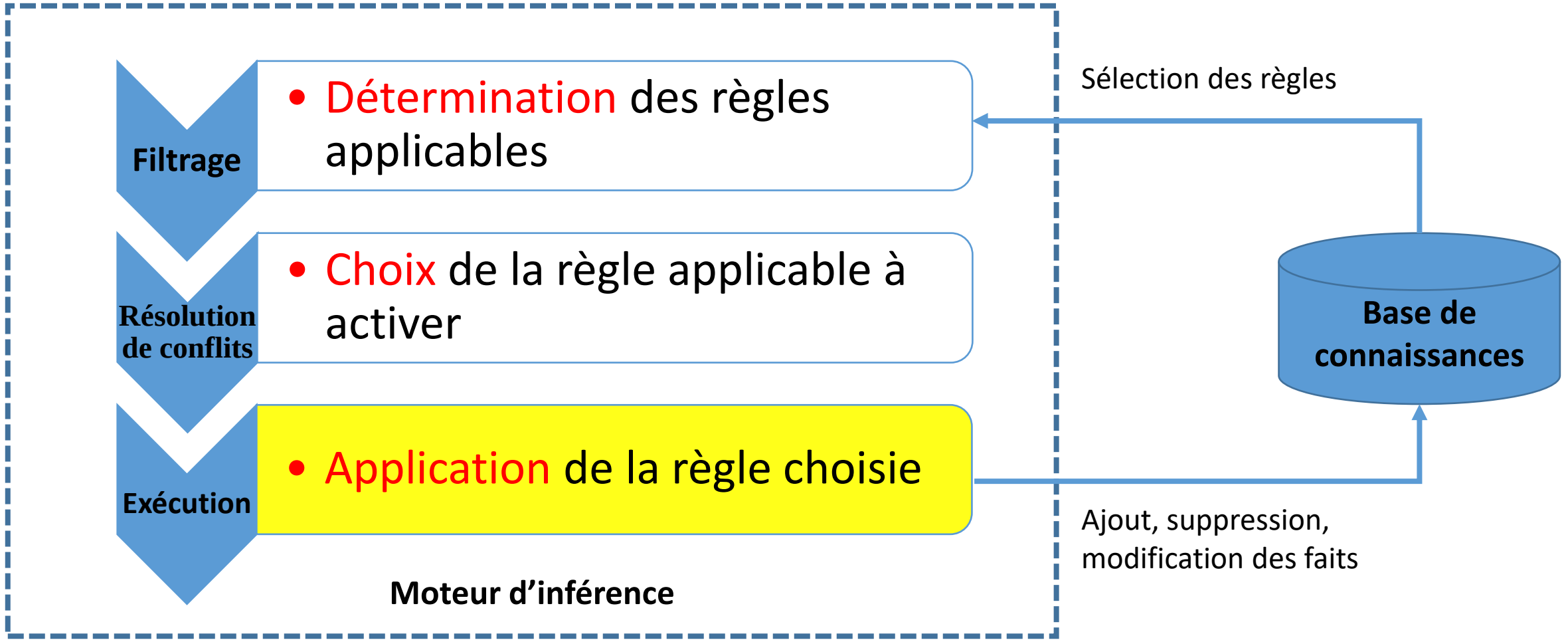
Etape de résolution de conflits

- **Méta-règles de résolution de conflit :** sont des règles introduites par les experts pour déterminer comment un système expert doit gérer les situations de conflits.

- Autres règles:
  - **La récence** : on choisit la règle applicable qui utilise les faits les plus récemment déduits.
  - **La fréquence** : on choisit la règle applicable qui a été appliquée le moins souvent.
  - …

Moteur d'Inférence

Cycle de base d'un moteur d'inférence



Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape d'exécution

- Il existe plusieurs types de moteurs d'inférence selon **la logique formelle** utilisée et **le mode du raisonnement** adopté.

- **Type de la logique formelle :**
  - Un moteur d'inférence d'ordre 0 est basé sur la logique des propositions, qui ne manipule que des valeurs booléennes (vrai ou faux).
  - Moteur d'inférence d'ordre 0+ est basé sur l'extension de l'ordre 0 avec des prédicats, des constantes et des fonctions, **mais sans l'utilisation de quantificateurs**.
  - Moteur d'inférence d'ordre 1 est basé sur la logique des prédicats (prédicats, fonctions, quantificateurs) pour permettre le raisonnent sur des situations plus complexes.
  - ….

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape d’exécution

- Il existe plusieurs types de moteurs d’inférence selon **la logique formelle** utilisée et **le mode du raisonnement** adopté.

Type de moteur d'inférence	Variables	Quantificateurs	Expressivité
Ordre 0	✗	✗	Basique (propositions)
Ordre 0+	☑	✗	Moyenne (prédicats sans généralisation)
Ordre 1	☑	☑	Élevée (prédicats avec généralisation)

Cycle de base d'un moteur d'inférence

Etape d'exécution

- Il existe plusieurs types de moteurs d'inférence selon **la logique formelle** utilisée et **le mode du raisonnement** adopté.

- **Mode du raisonnement** :

  - Le chaînage avant (forward chaining) : un mécanisme d'inférence **guidé par les faits**

  - Le chaînage arrière (backward chaining) : un mécanisme d'inférence **guidé par les buts**

  - Le chaînage mixte (mixed chaining) : un mécanisme d'inférence qui combine le chaînage avant et le chaînage arrière.

Modes de raisonnement

Nous faisons l'hypothèse selon laquelle : « une règle dans la base de règles se met sous la forme **d'une règle de production** »:

SI condition **Alors** action

La partie gauche est une premisse

La partie droite est une conclusion.

SI l'animal vole et l'animal pond des œufs **ALORS** l'animal est un oiseau

Moteur d’Inférence

Modes de raisonnement

Démarche 1: avec les ingrédients (les faits) qu'est-ce que je peux faire ?

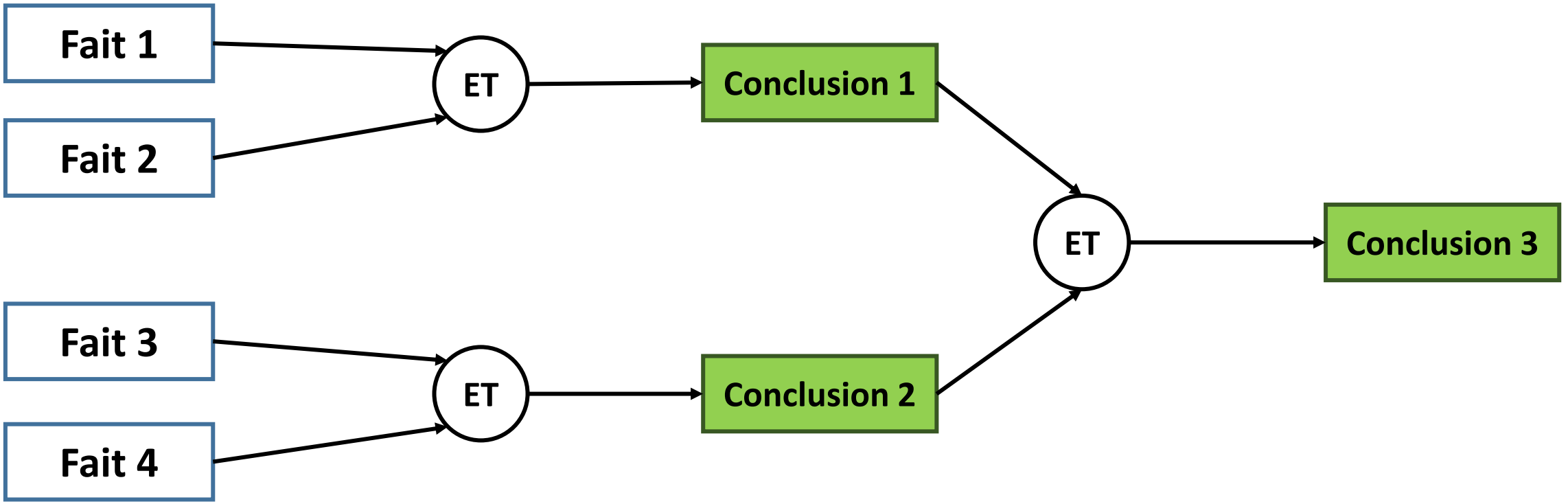
Chaînage-avant

Un mécanisme d’inférence qui applique **les règles d’inférences** sur **les connaissances disponibles (**faits/réalité) pour extraire de nouvelles connaissances jusqu’à ce que **un but soit atteint**.

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant



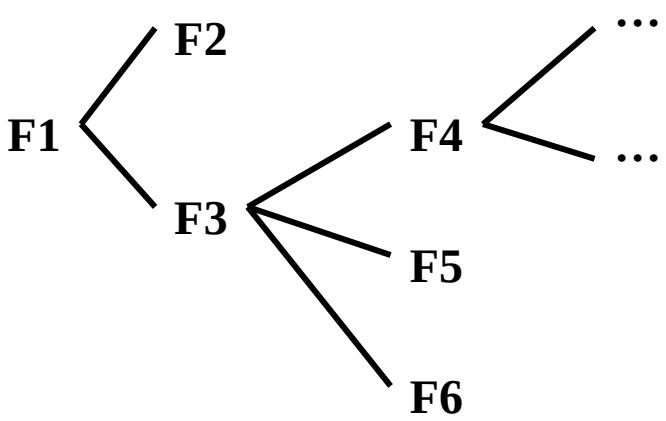
Modes de raisonnement

Chaînage-avant

- Un mécanisme d'inférence **guidé par les faits** : il applique **les règles d'inférences** sur **les connaissances disponibles** (les faits/réalités) pour extraire de nouvelles connaissances afin d'atteindre **un but précis** (il va des faits vers les buts).

- La traduction du **modus ponens** (raisonnement direct/implication) : **SI** (F1 → F2 et F1 est vrai) **alors** F2 est vrai.

- Le chaînage-avant traduit un raisonnement **déductif** : de F1 sont déduits F2 et F3, de F3 sont déduits F4, F5 et F6, etc.



Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Les règles applicables sont celles dont toutes les prémisses (partie gauche) sont satisfaites.

Algorithme Chaînage-avant
Entrée : BF = base de faits; BR = base de règles; FD = fait à déduire
Début
Déterminer les règles applicables (Filtrage)
TQ (FD n'est pas dans BF et il existe une règle applicable) **Faire**
Choisir une règle R applicable dans BR (Résolution des conflits)
Appliquer la règle choisie R (Exécution)
BR = BR – R (Désactivation de la règle)
BF = BF + Conclusion (R)
Modifier l'ensemble des règles applicables
FTQ
Si (FD appartient à BF) **Alors**
FD déduit
Sinon
FD ne peut pas être déduit
FSi
Fin

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Quand s'arrêter ?

- Le but souhaité est-il démontré ? : cet algorithme suppose que l'utilisateur du moteur veut **obtenir une proposition particulière** (but du problème). Si ce fait vient d'être obtenu, il est inutile de poursuivre le travail. Exemple : **Peut-on obtenir une tarte aux cerises avec les ingrédients disponibles ?**

- Dans le cas où **aucun but particulier n'est demandé**, le moteur fonctionne jusqu'au moment où aucune règle n'est applicable (condition d'arrêt). On dit alors que **le moteur fonctionne par saturation**. Exemple : **Qu'est-ce que je peux faire avec les ingrédients (faits) disponibles ?**

Modes de raisonnement

Le système expert « pâtisserie » :

Base de règles	Base de faits
R1 : Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel
R2 : Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**	
R3 : Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Comment fonctionne en pratique un système expert ?

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Base de règles	Base de faits
R1 : Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel
R2 : Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**	
R3 : Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Résolution de conflits : la règle de précédence (ordre d'écriture des règles)

R1, est-elle applicable ? / Tous les faits de **R1** sont-ils dans la base des faits ?

Oui alors : le fait **pâte (conclusion de R1)** est donc rajouté dans la base des faits et **R1** est **désactivée** (une règle peut seulement être activée une fois)

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Base de règles	Base de faits
R1 : Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel, **pâte**
R2 : Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**	
R3 : Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Résolution de conflits : la règle de précédence (ordre d'écriture des règles)

R2, est-elle applicable ? / Tous les faits de R2 sont-ils dans la base des faits ?

Oui alors : le fait **pommes sucrées (conclusion de R2)** est donc rajouté dans la base des faits et **R2** est désactivée.

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Base de règles	Base de faits
R1 : Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel, **pâte** **pommes sucrées**
R2 : Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**	
R3 : Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Résolution de conflits : la règle de précédence (ordre d'écriture des règles)

R3, est-elle applicable ? / Tous les faits de **R3** sont-ils dans la base des faits ?

Oui alors : le fait **tarte aux pommes (conclusion de R3)** est donc rajouté dans la base des faits et **R3** est désactivée.

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Base de règles	Base de faits
~~**R1 :** Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**~~	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel, **pâte** **pommes sucrées, tarte aux pommes**
~~**R2 :** Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**~~	
~~**R3 :** Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**~~	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Résolution de conflits : la règle de précédence (ordre d'écriture des règles)

R4, est-elle applicable ? / Tous les faits de **R4** sont-ils dans la base des faits ?

Oui alors : le fait **tarte aux abricots (conclusion de R4)** est donc rajouté dans la base des faits et **R4** est désactivée.

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Base de règles	Base de faits
R1 : Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel, **pâte** **pommes sucrées, tarte aux pommes** **tarte aux abricots**
R2 : Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**	
R3 : Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Résolution de conflits : la règle de précédence (ordre d'écriture des règles)

R5, est-elle applicable ? / Tous les faits de **R5** sont-ils dans la base des faits ?

Oui alors : le fait **tarte aux poires (conclusion de R5)** est donc rajouté dans la base des faits et **R5** est désactivée.

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Base de règles	Base de faits
R1 : Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel, **pâte** **pommes sucrées, tarte aux pommes** **tarte aux abricots, tarte aux poires**
R2 : Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**	
R3 : Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Résolution de conflits : la règle de précédence (ordre d'écriture des règles)

R6, est-elle applicable ? / Tous les faits de R6 sont-ils dans la base des faits ?

Non (le fait "cerises" n'existe pas dans la BF) alors Le mécanisme ne peut plus effectuer de déductions et le moteur d'inférence s'arrête. La BF est saturée.

Moteur d'Inférence

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

Base de règles	Base de faits
R1 : Si farine et beurre et œufs et sel alors **pâte**	Œufs, Pommes , Poires Abricots, Farine Beurre, Sucre Sel, **pâte** **pommes sucrées, tarte aux pommes** **tarte aux abricots, tarte aux poires**
R2 : Si pommes et sucre alors **pommes sucrées**	
R3 : Si pommes sucrées et pâte alors **tarte aux pommes**	
R4 : Si abricots et pâte alors **tarte aux abricots**	
R5 : Si poires et pâte alors **tarte aux poires**	
R6 : Si cerises et pâte alors **tarte aux cerises**	

Avec les ingrédients (faits) qu'est-ce que je peux faire ?

Peut-on obtenir une tarte aux cerises (but) avec les ingrédients (faits) disponibles ?

Modes de raisonnement

Chaînage-avant

- **Avantage** : la réception de nouvelles données peut déclencher de nouvelles inférences, ce qui rend le moteur plus dynamique.

- **Inconvénients** :
  - Il déclenche toutes les règles, même celles sans intérêt ;
  - la base de faits doit contenir suffisamment de faits;
  - Il est facilement explosif, ce qui risque de provoquer une explosion combinatoire.

Moteur d'Inférence

Exercice

Jijel est une ville **au bord de la mer** méditerranée qui offre de superbes **espaces verdoyants.**

Avec ces **avenues larges,** ces **grottes touristique**s, et les plages de **la corniche**, elle demeure une véritable curiosité pour les touristes.

Jijel mérite-t-elle d'être visitée ?

Base de règles	Base de faits
R1 : Si belle ville **et** bon restaurants **alors** ville méritant une visite**.**	
R2 : Si ville historique **alors** ville méritant une visite**.**	
R2 : Si ville maritime **et** ville touristique **alors** ville méritant une visite**.**	
R3 : Si ville maritime **et** belle ville **alors** ville méritant une visite**.**	
R4 : Si végétation abondante **et** ville maritime **alors** belle ville	
R5 : Si tradition culinaire **et** restaurants 3 étoiles **alors** bons restaurants**.**	
R6 : Si musées **et** ville ancienne **alors** ville historique**.**	
R7 : Si parc animalier **et** grottes touristiques **alors** ville touristique**.**	
R8 : Si monuments célèbres **et** moyens de transport **alors** ville touristique**.**	
R9 : Si espaces verdoyants **et** avenues larges **alors** végétation abondante**.**	
R10 : Si corniche **et** bord de mer **alors** ville maritime**.**	