

**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**

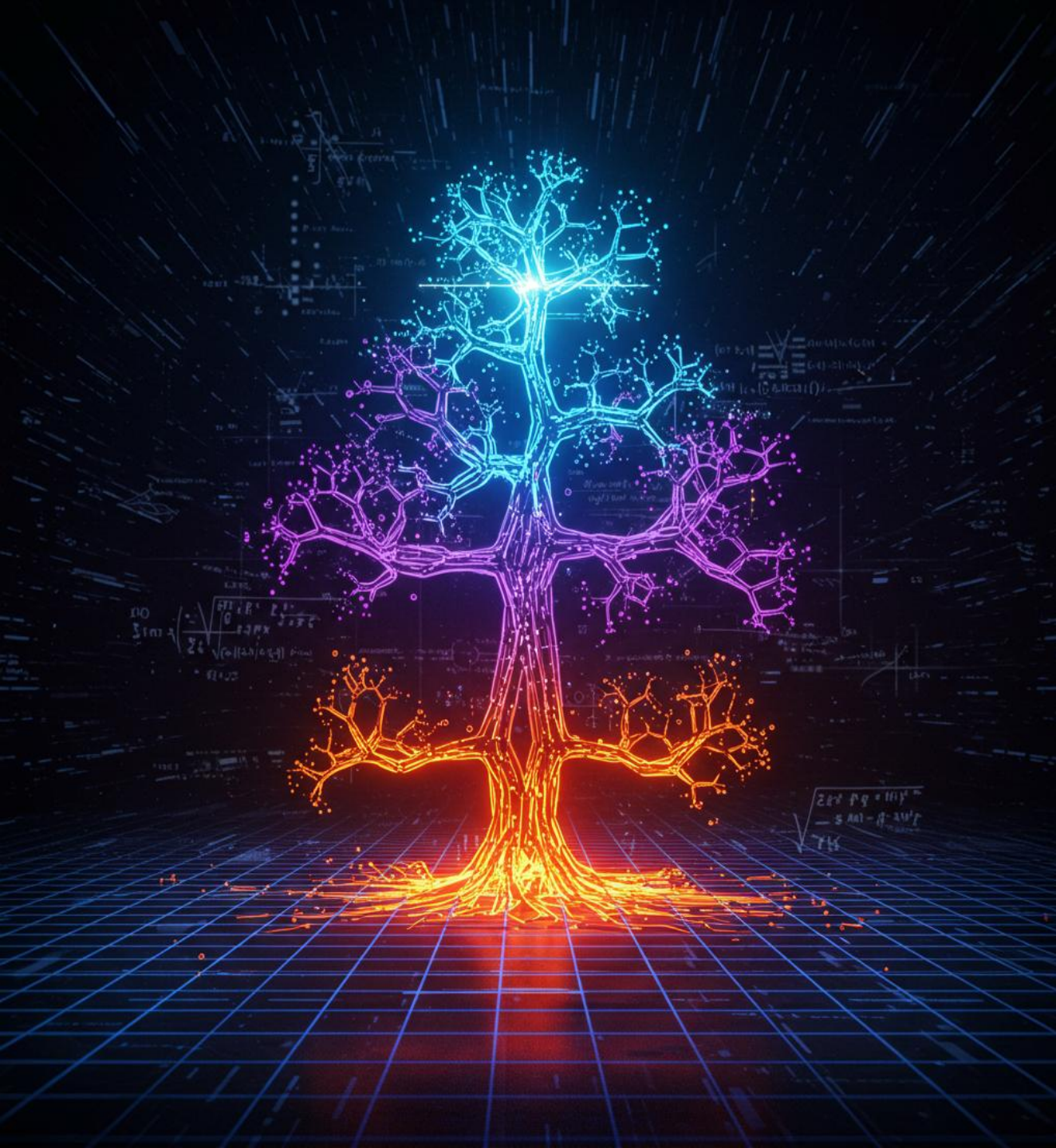
# **Chapitre 1 – partie 2**

## **Introduction aux systèmes experts**

# Les systèmes Experts

# Histoire de l'IA

“ Comment  
**l'explosion  
combinatoire**  
a fait  
naître  
**les systèmes  
experts ?** ”



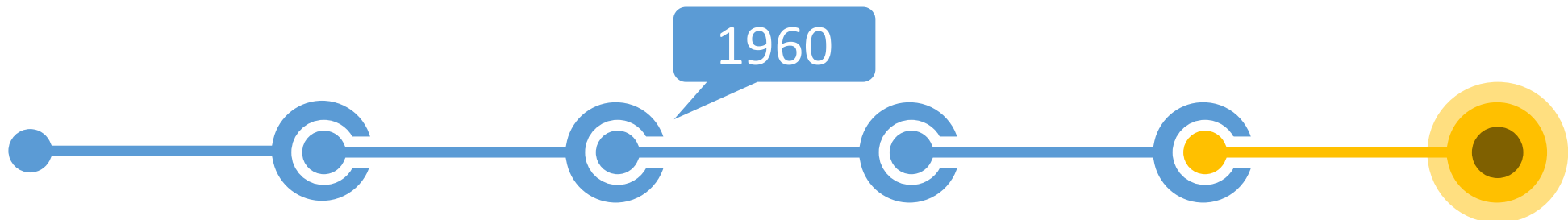
## Historique

- ✚ La conférence de Dartmouth : naissance de la discipline de « **l'intelligence artificielle** ».
- ✚ Les principaux participants : Allen Newell, John McCarthy, Marvin Minsky et Herbert Simon (pères de l'IA).
- ✚ « **Logic Theorist** » : un programme capable de démontrer des théorèmes mathématiques.
- ✚ L'idée du programme est de dépasser le stade de l'arithmétique (**calcul numérique**) et d'atteindre celui de **l'algèbre et de la logique** (où l'on manipule des **symboles**).
- ✚ Ce programme a convaincu les chercheurs de **l'importance de la manipulation des symboles par l'ordinateur**



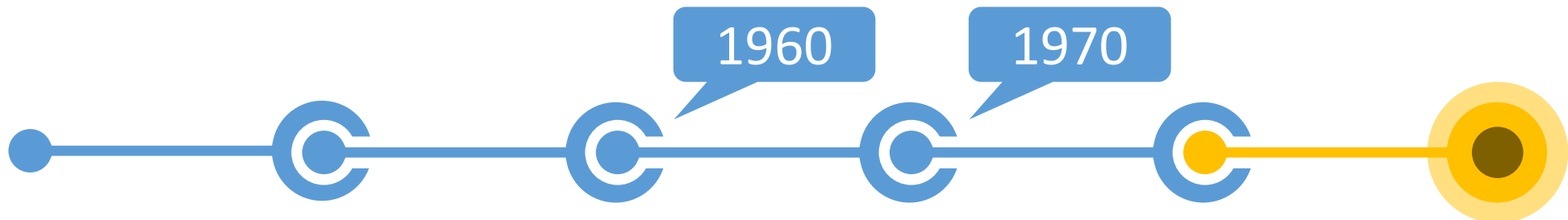
## Historique

- ✚ À partir de 1956, les travaux progressent rapidement : **traduction automatique, jeux d'échecs, résolution des problèmes dans divers domaines** (General Problem Solver GPS) , ...
- ✚ En 1958 : la création du langage le plus utilisé en intelligence artificielle « **LISP** » (**publié en 1960**).
- ✚ Par opposition à la programmation numérique, « LISP » est adapté à la manipulation de symboles, ce qui a facilité de concrétiser l'idée de « **IA symbolique** ».



## Historique

- ✚ La résolution des problèmes dans les travaux précédents a été basée sur le **test du maximum de possibilités** jusqu'à ce qu'une solution soit atteinte (en s'appuyant sur la **puissance de calcul de l'ordinateur**).
- ✚ La croissance rapide de la puissance de calcul des ordinateurs a laissé croire que « tout est faisable en augmentant simplement le nombre d'opérations ».
- ✚ De 1965 à 1970, la **puissance de l'ordinateur ne suffit plus** ! les domaines de l'IA se heurtent à l'**explosion combinatoire** : le nombre d'opérations **augmente** de façon **exponentielle** avec la difficulté du problème.





## Historique

✚ **Explosion combinatoire** : l'exemple du problème du voyageur de commerce ...



« Un voyageur de commerce doit visiter un ensemble déterminé de villes une seule fois avant de retourner à son ville de départ. Déterminer l'ordre optimal de visite des villes qui minimise la distance totale parcourue par le voyageur »



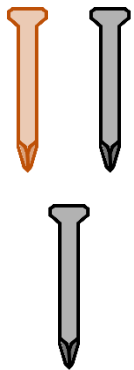
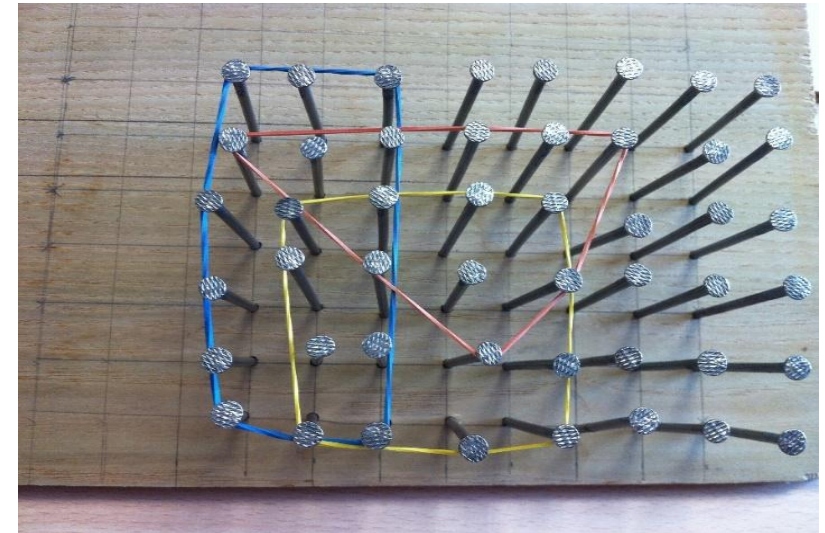
## Historique

### ✚ Explosion combinatoire : Problème du voyageur de commerce.

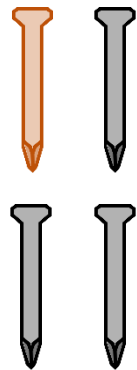
Sur une planche à clous, on fait passer un fil une fois et une seule par chaque clou avant de revenir au point de départ

(Pour  $N$  villes, il existe  $(N-1)!$  trajets possibles)

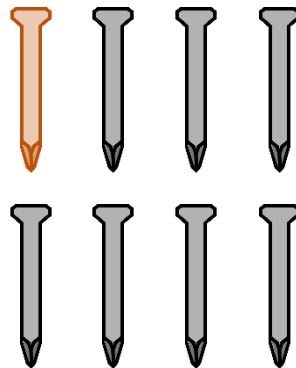
**Comment trouver le circuit le plus court ?**



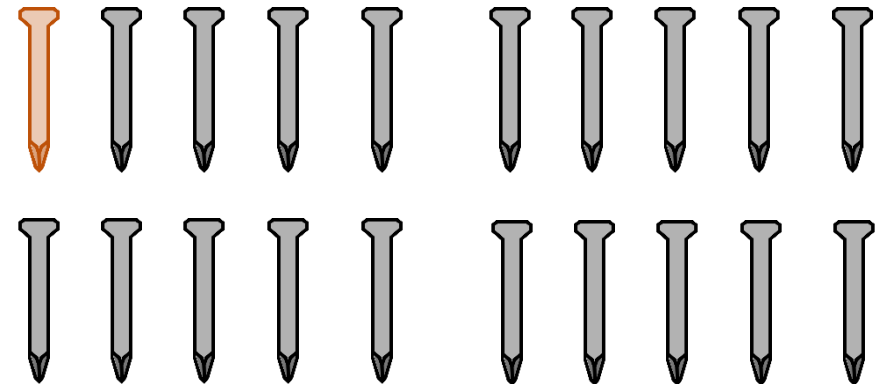
Possibilités : 2



Possibilités : 6



Possibilités : 5040



Possibilités : 121 645 100 408 832 000

## Historique

✚ **Explosion combinatoire** : le nombre de chemins possibles augmente de façon exponentielle avec le nombre de villes.



Ce phénomène rend **impossible l'exploration exhaustive des solutions en un temps raisonnable**, même avec des ordinateurs très puissants !



Par contre, on peut s'inspirer de méthodes qu'on utilise dans notre quotidien pour faire des **approximations**. Ce n'est pas une solution exacte (un algorithme), mais ça s'appelle « **une heuristique** ».

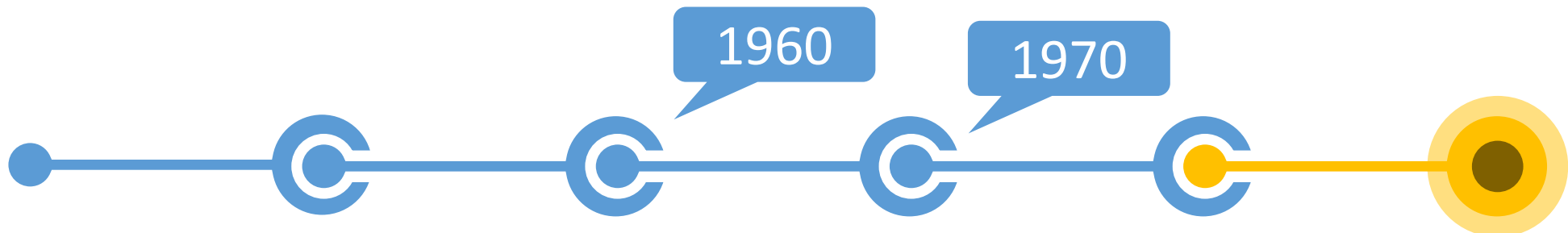
## Historique

✚ **L'heuristique au secours !** la solution est **d'éviter de considérer toutes les possibilités** en simulant l'homme qui est capable trouver des solutions acceptables en un temps raisonnable.

✚ Le système expert « DENDRAL », 1968 : le programme permettait d'identifier les constituants chimiques d'un matériau.

**La quantité de connaissances** nécessaires pour accomplir cette tâche **est énorme et non répertoriée.**

✚ La solution : « **Imiter la logique d'un expert humain** dans la sélection et le traitement des informations pertinentes au lieu de passer par les méthodes de programmation traditionnelles », **d'où le programme est dit « système expert »** .

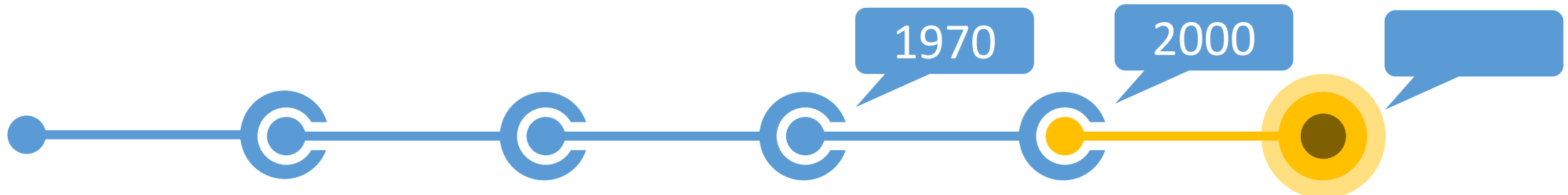


## Historique

✚ Le succès de « Dendral » a poussé le développement des systèmes experts dans les années qui suivent. P. ex. **le système expert « MYCIN »** aide les médecins à effectuer le diagnostic et prescrire des traitements aux maladies du sang .

✚ **Le domaine des systèmes experts prend son essor (années 2000) :** la plupart des grandes entreprises se donnent un ou plusieurs projets de développement de systèmes experts.

✚ Aujourd'hui, les systèmes experts constituent une technologie bien définie faisant partie des **systèmes à base de connaissances**.



## Historique

✚ **La morale de l'histoire** : pour que l'ordinateur comprenne le langage naturel, reconnaisse une image, conseille un expert, joue aux échecs, ..., **il faut d'abord** :

✚ **1)** comprendre la façon dont l'intelligence humaine s'acquitte de ces tâches ?



✚ **2)** Comment doter la machine de cette capacité ?

La solution est « **l'IA symbolique** » : modéliser les facultés intellectuelles d'un expert de domaine (connaissances relatives à un domaine donné) sous la forme de **systèmes de symboles** (qui représentent à la fois les connaissances et leurs méthodes de traitement).

# QUIZ

- 1) Dans les années 1960-1970, l'IA reposait principalement sur des algorithmes de recherche et d'exploration **exhaustive** qui tentaient d'explorer toutes les possibilités.
- 2) **L'explosion combinatoire** réduit le nombre de possibilités à explorer à mesure que le problème devient plus complexe.
- 3) **L'explosion combinatoire** désigne la croissance exponentielle du nombre de possibilités à explorer lorsqu'un problème devient plus complexe.
- 4) Face à **l'explosion combinatoire**, les méthodes **heuristiques** se sont révélées inefficaces pour des problèmes complexes nécessitant des décisions rapides et précises.
- 5) Face à **l'explosion combinatoire**, les méthodes **exhaustives** se sont révélées inefficaces pour des problèmes complexes nécessitant des décisions rapides et précises.
- 6) **L'explosion combinatoire** a mis en évidence les limites **des méthodes heuristiques**, car dans des problèmes complexes le nombre de possibilités à examiner devenait rapidement inabordable pour les ordinateurs, même les plus performants.
- 7) Les **heuristiques et les méthodes exhaustives** évitent de tester inutilement des millions d'options.
- 8) **L'explosion combinatoire** a favorisé l'émergence des systèmes experts, qui imitent l'intelligence humaine (un expert) en utilisant des **calculs exhaustifs** et des règles plutôt que des **heuristiques**.



Un « **système expert** », c'est quoi exactement ?

## Définition

✚ “Expert system is an intelligent computer program that uses knowledge and inference procedures to solve problems that are difficult enough to require significant human expertise for their solution.” **Edward Feigenbaum**



✚ Les systèmes experts sont des programmes informatiques basées sur **les connaissances et les procédure de raisonnement** d'un expert humain pour résoudre des problèmes pour lesquelles **on ne dispose pas de solution « exacte »** (algorithmique)/ ou dans le cas où **les solutions exactes sont coûteuses** à cause de l'explosion combinatoire.

## Définition

✚ “Expert system is an intelligent computer program that uses knowledge and inference procedures to solve problems that are difficult enough to require significant human expertise for their solution.” **Edward Feigenbaum**



✚ Un système expert essaye **d'imiter** le raisonnement d'un expert humain dans **un domaine** précis pour prendre des décisions. Le terme « **imite** » signifie que le système tente de procéder (raisonner) comme l'expert humain.

## Définition

✚ “Expert system is an intelligent computer program that uses knowledge and inference procedures to solve problems that are difficult enough to require significant human expertise for their solution.” **Edward Feigenbaum**



✚ Exemple : un système expert suit le même raisonnement d'un mécanicien pour le diagnostic et la détection des pannes d'une voiture (applique les mêmes règles).

## Définition



✚ Contrairement aux techniques de l'IA numérique qui essayent d'aboutir à une modélisation cognitive en s'inspirant du fonctionnement du cerveau humain, **les systèmes experts utilisent les stratégies heuristiques adaptées par les experts humain pour résoudre des problèmes spécifiques.**

## Architecture

✚ D'une manière générale, deux acteurs distinguent un système expert

**Bénéficiaire de l'expertise**



**L'utilisateur final**

Utilisation du  
système



Transfert de  
l'expérience



**Les experts du domaine**

**Fournisseur de l'expertise**



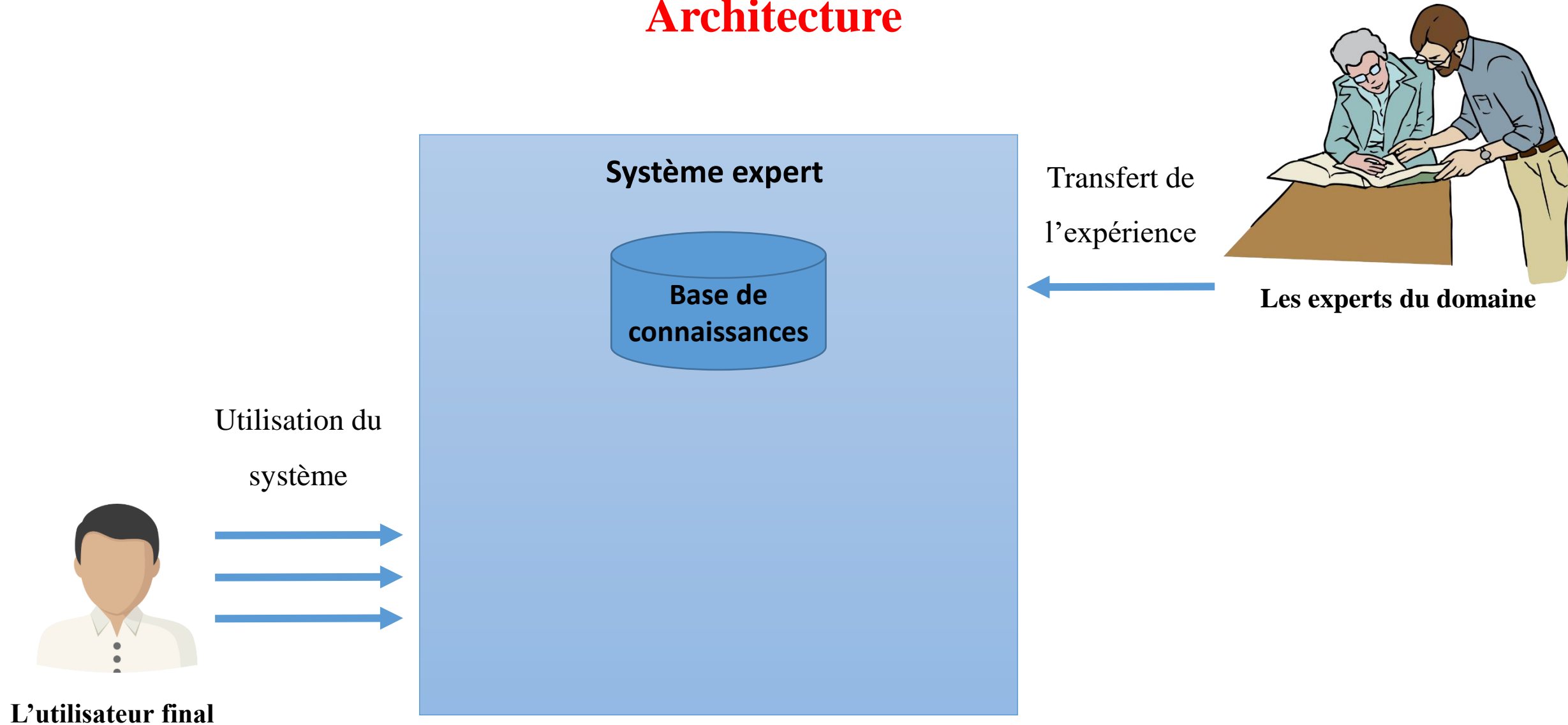
## Architecture

Les décisions complexes nécessitent une combinaison complexes de **connaissances** !



**Base de connaissances** : structure et conserve les **connaissances** concernant la résolution du problème  
(les connaissances sont séparées des traitements).

## Architecture



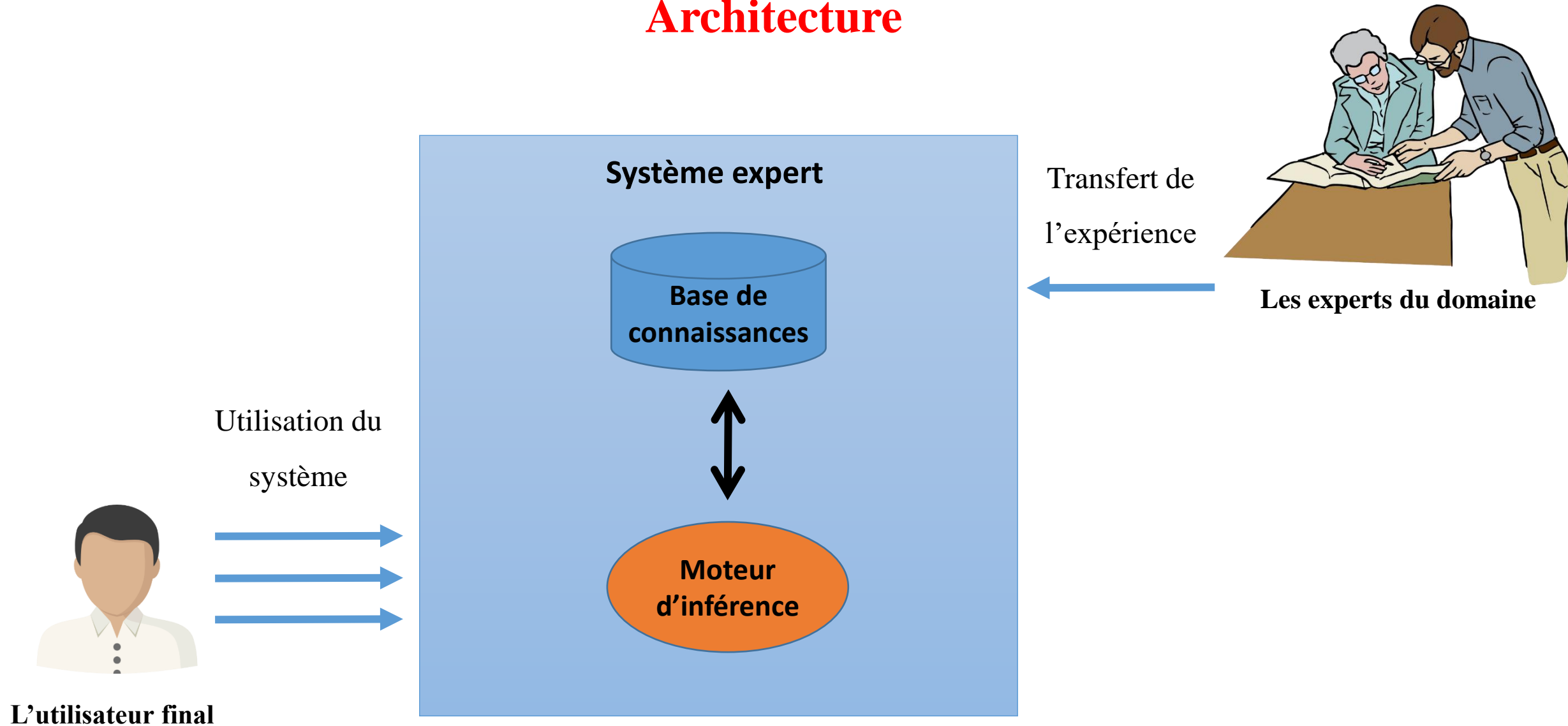
## Architecture

Comment exploiter les connaissances ?



**Moteur d'inférence :** applique des stratégies de résolution sur les connaissances pour en dériver de nouvelles informations.

## Architecture



## Architecture



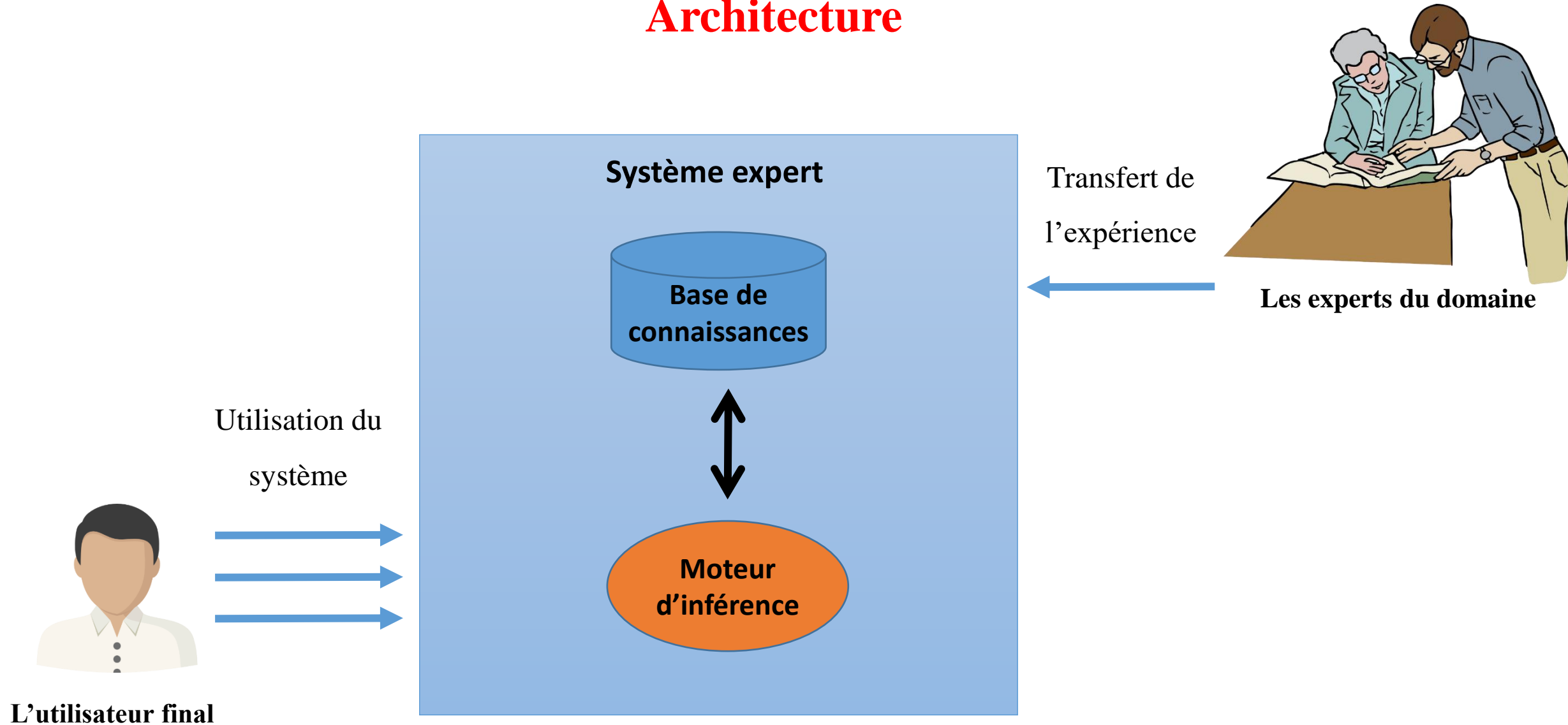
✚ Il est très important de remarquer la séparation faite entre les connaissances et l'inférence.



### Pourquoi cette indépendance est importante ?

- ✚ Faire évoluer les connaissances sans avoir à reprogrammer les mécanismes de raisonnement.
- ✚ Tester plusieurs types d'inférence sur la même base de connaissances.
- ✚ Réutilisation du même moteur d'inférence sur d'autres bases de connaissances.

## Architecture





## Architecture

Le savoir et le savoir-faire (connaissances) des experts sont incompréhensibles par la machine.

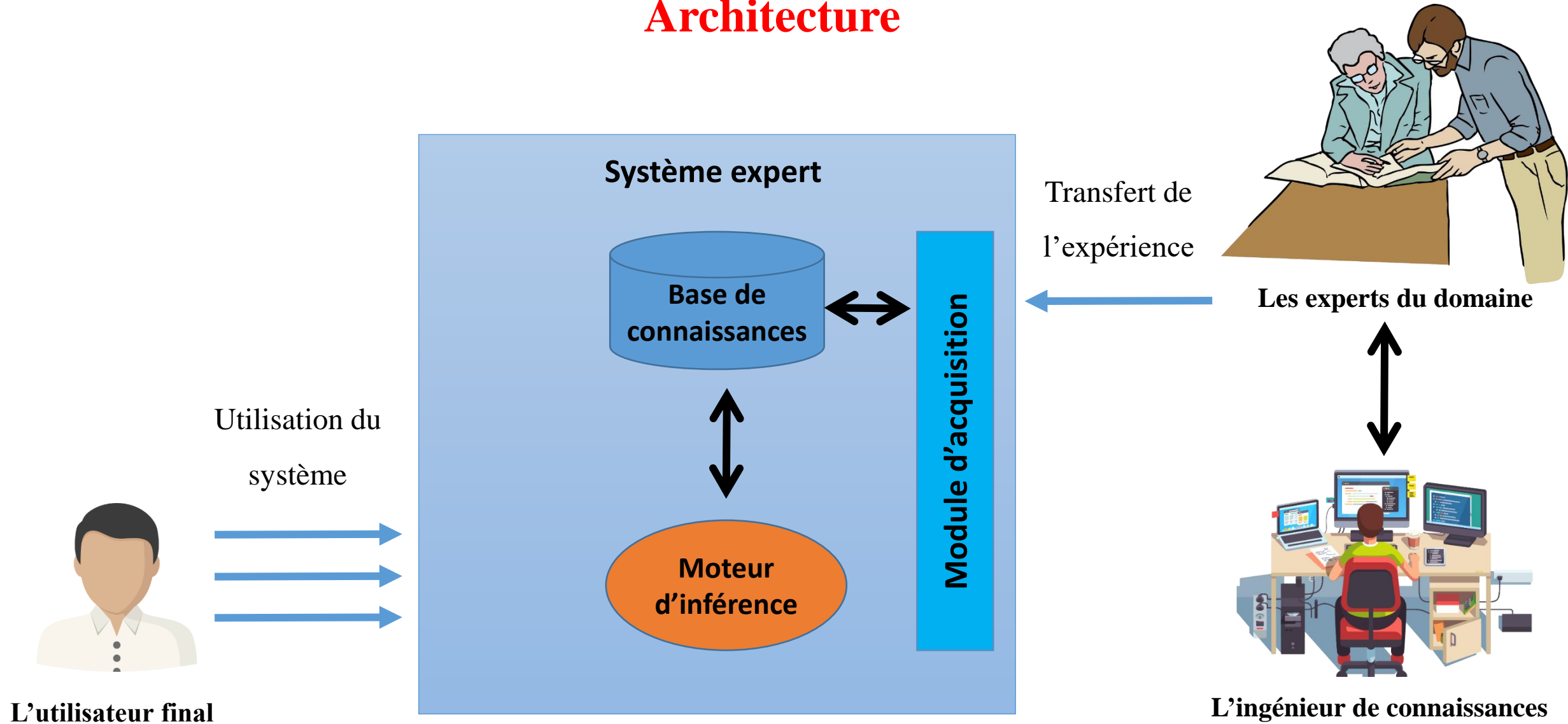


Il faut **un interpréteur (ingénieur de connaissances (cogniticien))** : un ingénieur capable de transformer ces connaissances dans un formalisme manipulable par la machine.



**Module d'acquisition** : permet à l'ingénieur de connaissances d'alimenter et de tester la base de connaissances.

## Architecture



## Architecture

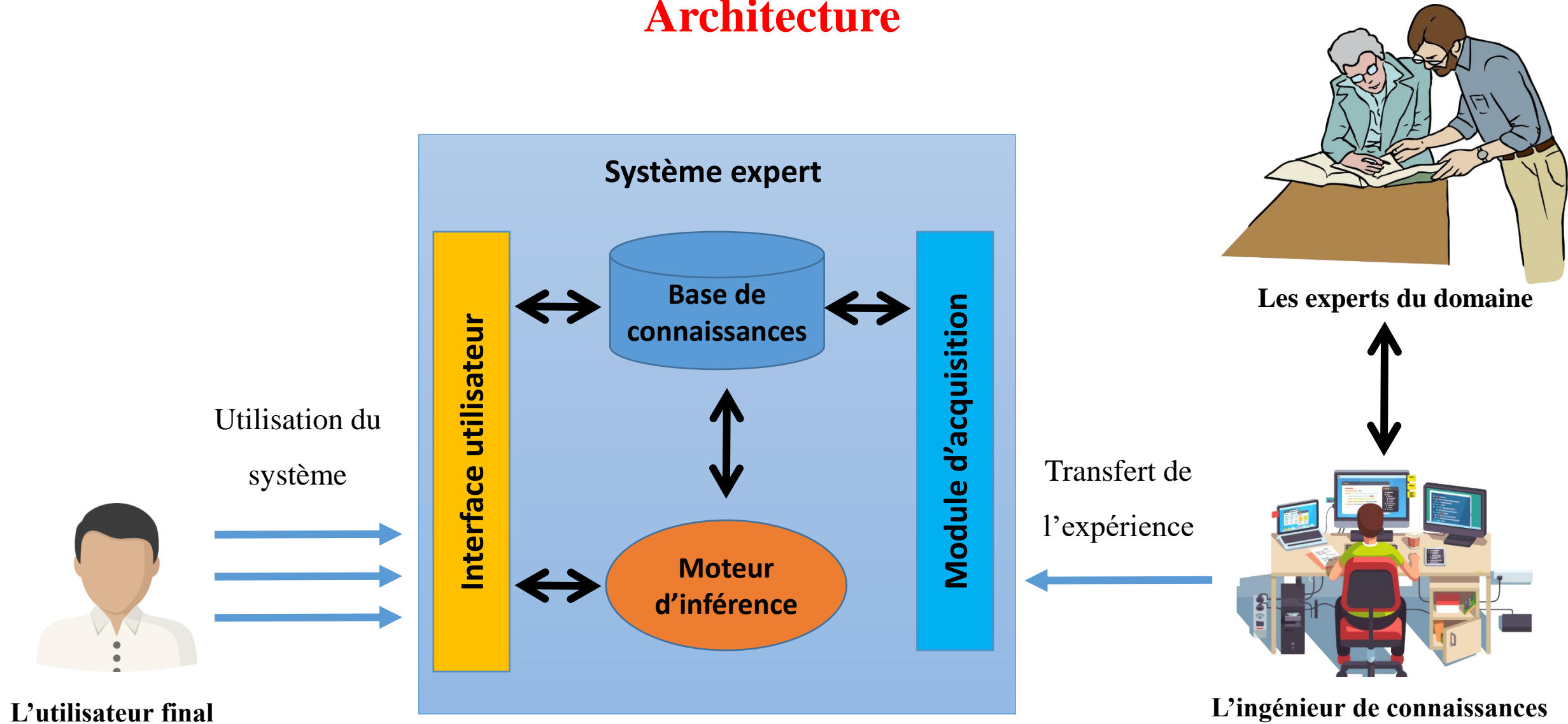
Le SE, comment peut-il communiquer avec l'utilisateur ?



**Interface utilisateur :** un module de communication qui facilite le dialogue entre le système et l'utilisateur.

**Dialogue :** questions, réponses par langage naturel, réponses à l'aide de graphiques, explication du raisonnement, ....

## Architecture



## Architecture

**L'interaction** entre les composants précédents amènera à l'élaboration d'une **première version** du SE.



+ Architecture client server, Architecture orientée services, **Architecture Microservices.**

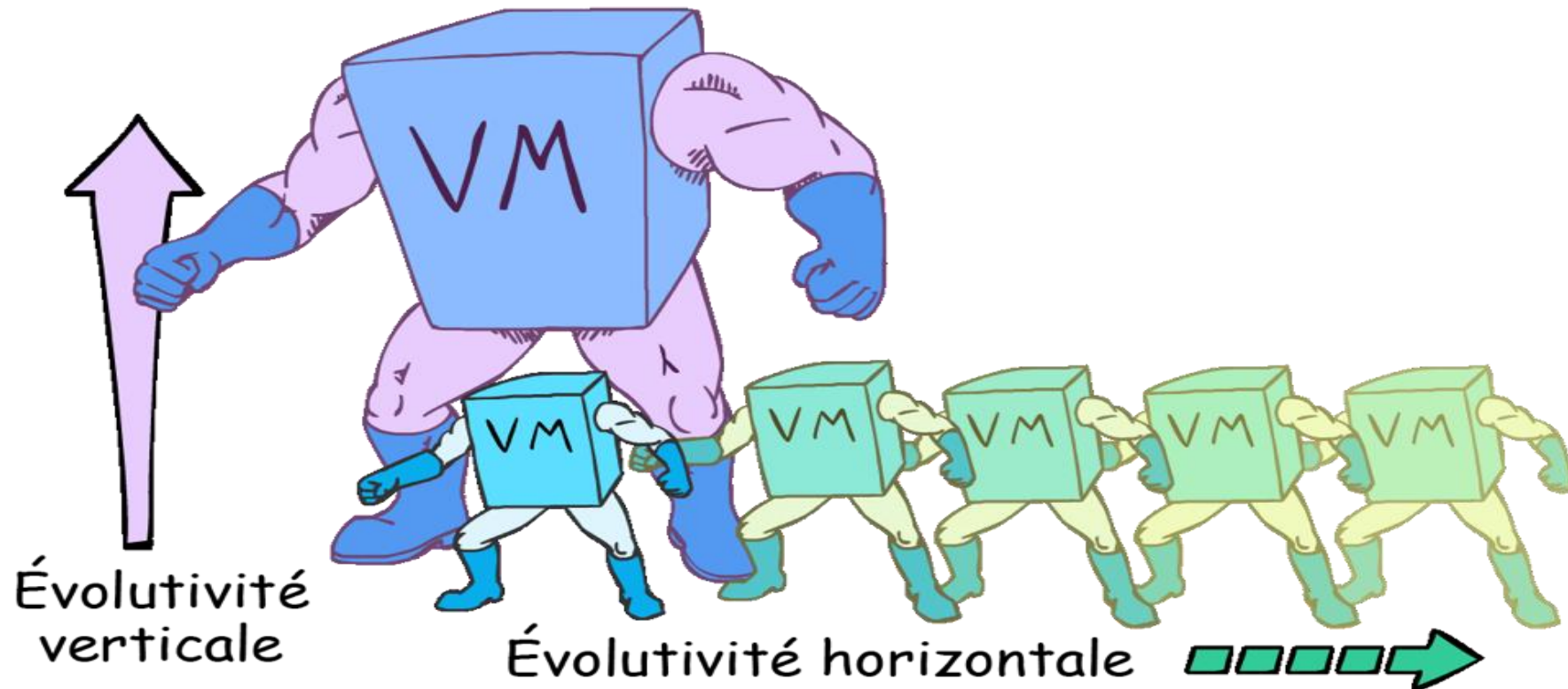
+ Les applications Web (PHP/MYSQL, **Java Entreprise Edition (JEE)**, ...).







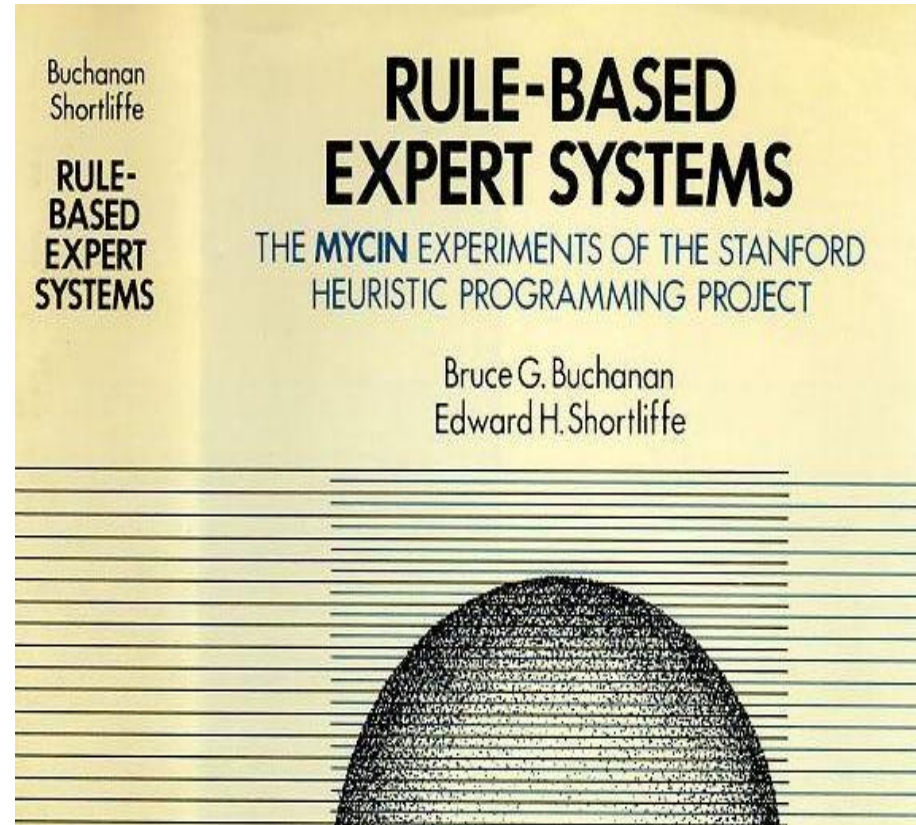
## Architecture Micro services



## Problèmes & Domaines d'application

- ✚ **Interprétation** : identifier des données à partir de leurs descriptions.
- ✚ **Diagnostic**: déterminer les défaillances à partir d'un ensemble d'observations.
- ✚ **Prédiction**: déterminer les conséquences en fonction du présent et du passé
- ✚ **Conception**: créer une configuration de composants à partir d'un ensemble de contraintes.
- ✚ **Planification**: programmer une séquence d'actions pour l'accomplissement d'un ensemble de buts à partir de certaines conditions de départ et en présence de certaines contraintes.

## Exemples de SE



**Le système expert célèbre MYCIN :**  
aider les médecins à effectuer le diagnostic.

## Exemples de SE

✚ **MYCIN:** voulez-vous me donner la gravité de la maladie de M. Ali YYYY sur une échelle de 0 à 4?

✚ **Médecin:** 3

✚ **MYCIN:** de M. Ali YYYY présente-t-il des réactions allergiques à un quelconque agent microbien?

✚ **Médecin:** Non

✚ **MYCIN:** Quel est son poids en kilos ?

✚ **Médecin:** 70

✚ .....  
.....

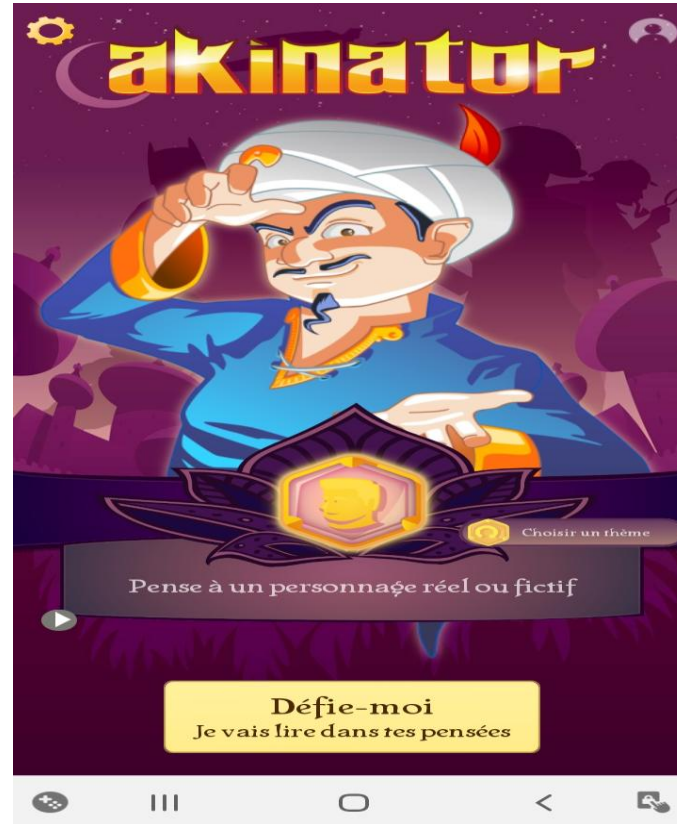
✚ **MYCIN:** L'organismes infectieux s'appelle **pseudomonias aeruginosa**

✚ **Médecin:** Que faut-il faire?

✚ **MYCIN:** Il faudra prescrire à M. Ali YYYY des antibiotiques **ceftazidime** ou **carbapénèmes**

✚ **Médecin:** Merci

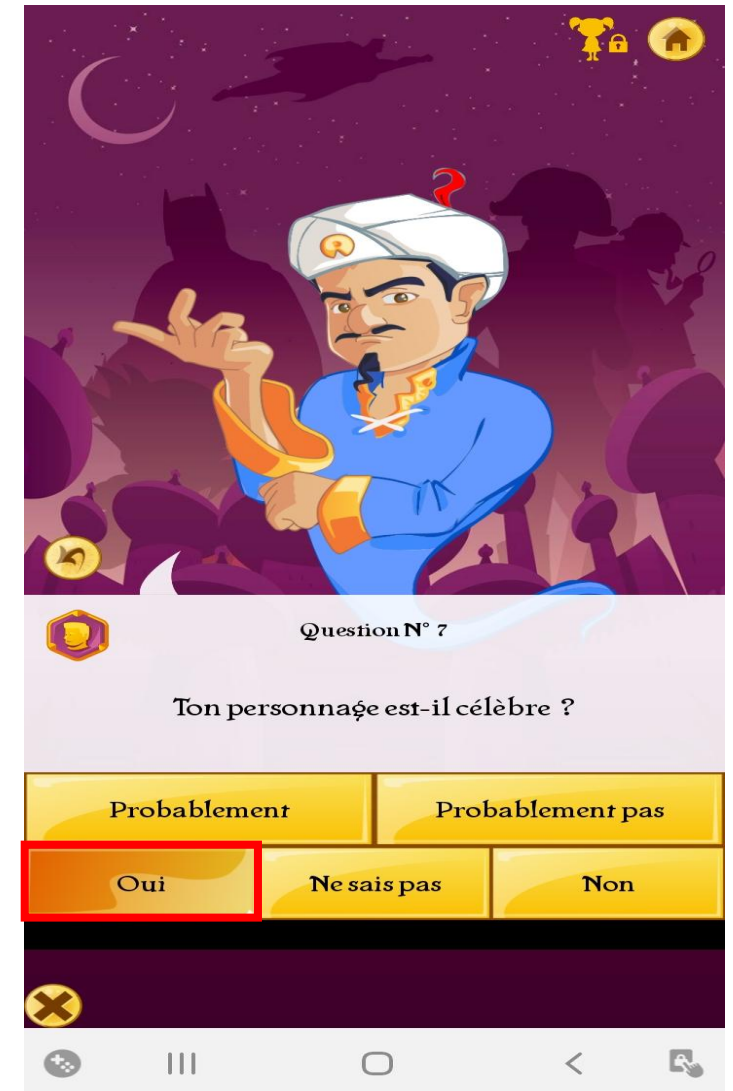
## Exemples de SE



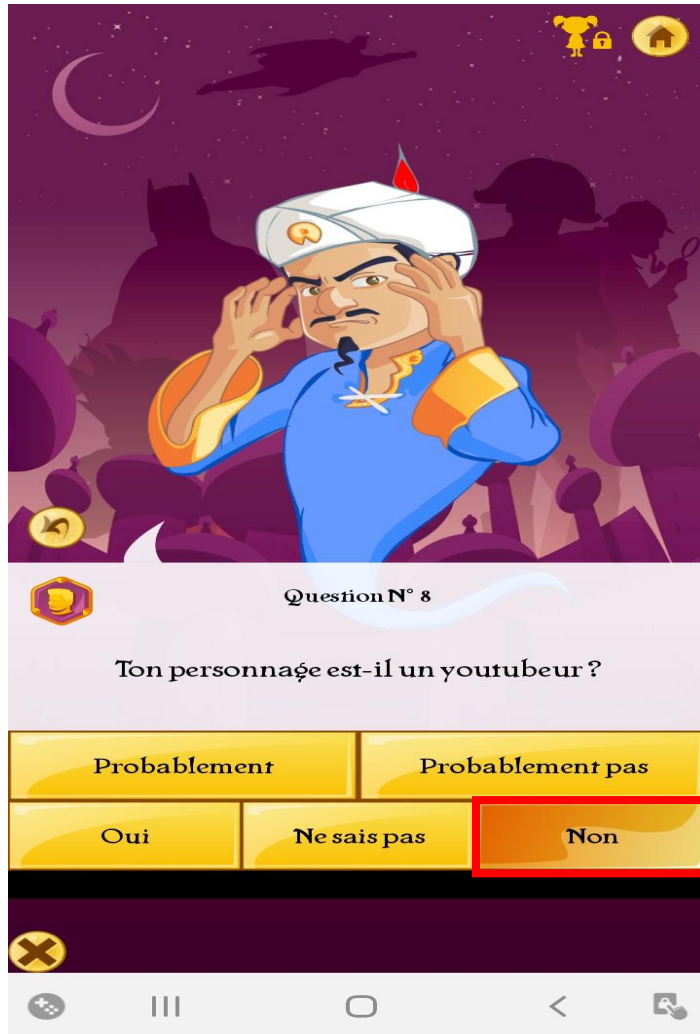
**Le système expert Akinator** : un jeu sur internet qui essaye de deviner à quel objet ou quel personnage le joueur pense.



## Exemples de SE



## Exemples de SE



## Exemples de SE

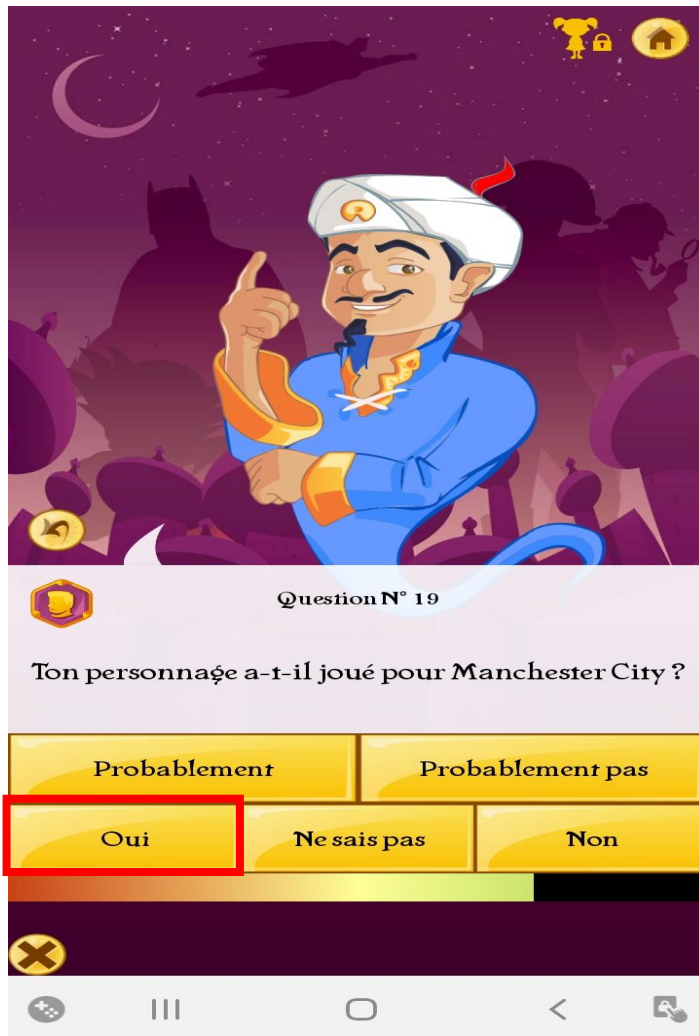




## Exemples de SE



## Exemples de SE



## Avantages et limitations des systèmes experts

### Avantages

- ✚ Augmenter la productivité (propose des solutions plus rapidement que les humains).
- ✚ Disponibilité de l'expertise (les experts humains ne peuvent être qu'à un seul endroit par moment)
- ✚ Peut être utilisé dans des environnements dangereux (par exemple dans l'espace).

### Limitations

- ✚ Difficulté d'ingénierie, notamment l'acquisition de l'expertise (p. ex. il est difficile aux experts d'explicitier son savoir-faire)
- ✚ Méfiance des utilisateurs.
- ✚ Efficace uniquement dans des domaines spécifiques (domaines d'expertise).



## ***Les systèmes experts ...***

- 1- essayent de résoudre des problèmes en utilisant la logique adoptées par les experts humain.
- 2- essayent de résoudre des problèmes en utilisant l'apprentissage et les statistiques.
- 3- essayent d'aboutir à une modélisation cognitive en s'inspirant du fonctionnement du cerveau humain.
- 4- utilisent des stratégies heuristiques.
- 5- Aucune de ces réponses.

## ***Pourquoi séparer les connaissances de l'inférence ?***

- 1- Proposer des solutions plus rapidement que les humains.
- 2- Sélectionner et traiter les informations pertinentes.
- 3- Réutilisation du même moteur d'inférence sur d'autres moteurs d'inférences.
- 4- Tester plusieurs types d'inférence sur la même interface d'utilisateur.
- 5- Aucune de ces réponses.





## *Les systèmes experts ...*

- 1- **essayent de résoudre des problèmes en utilisant la logique adoptées par les experts humain.**
- 2- essayent de résoudre des problèmes en utilisant l'apprentissage et les statistiques.
- 3- essayent d'aboutir à une modélisation cognitive en s'inspirant du fonctionnement du cerveau humain.
- 4- **utilisent des stratégies heuristiques.**
- 5- Aucune de ces réponses.

## *Pourquoi séparer les connaissances de l'inférence ?*

- 1- Proposer des solutions plus rapidement que les humains.
- 2- Sélectionner et traiter les informations pertinentes.
- 3- Réutilisation du même moteur d'inférence sur d'autres moteurs d'inférences.
- 4- Tester plusieurs types d'inférence sur la même interface d'utilisateur.
- 5- **Aucune de ces réponses.**