

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

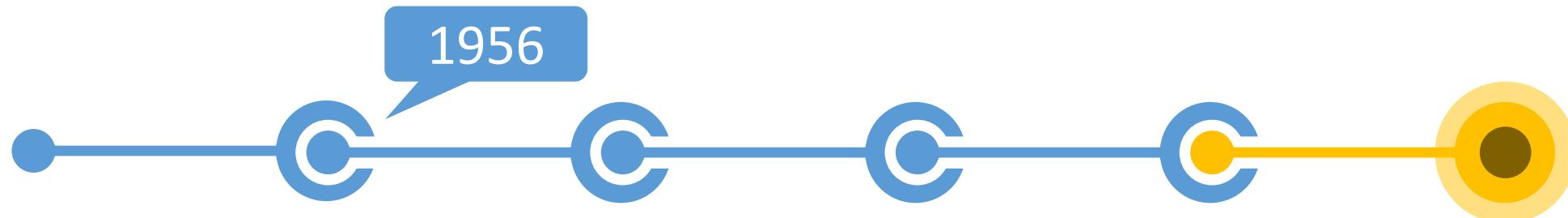
“ Comment l'explosion combinatoire a fait naître les systèmes experts ? ”



Les systèmes Experts

Historique

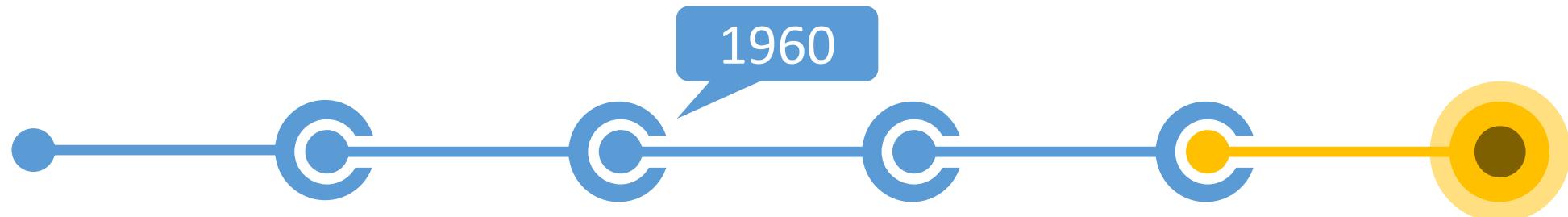
- La conférence de Dartmouth : naissance de la discipline de « **l'intelligence artificielle** ».
- Les principaux participants : Allen Newell, John McCarthy, Marvin Minsky et Herbert Simon (pères de l'IA).
- « **Logic Theorist** » : un programme capable de démontrer des théorèmes mathématiques.
- L'idée 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**



Les systèmes Experts

Historique

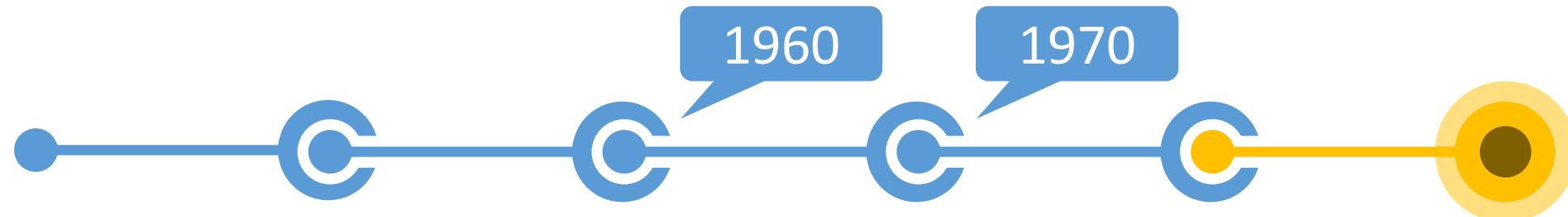
- À partir de 1956, les travaux progressent rapidement : **traduction automatique, jeux d'échecs, résolution des problèmes dans divers domaines** (General Problem Solver GPS) , ...
- En 1958 : la création du langage le plus utilisé en intelligence artificielle « **LISP** » (**publié en 1960**).
- Par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



Les systèmes Experts

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.



Les systèmes Experts

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 »

Les systèmes Experts

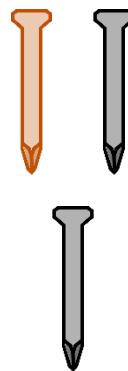
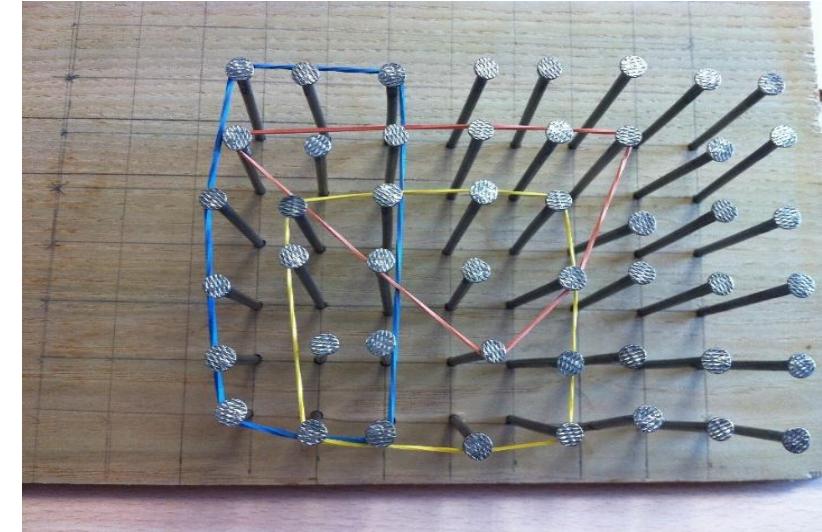
Historique

Explosion combinatoire : Problème du voyageur de commerce.

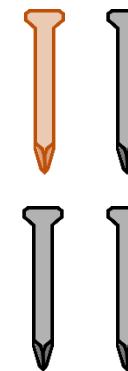
Sur une planche à clous, on fait passer un fil une fois et une seule par chaque clou avant de revenir au point de départ

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

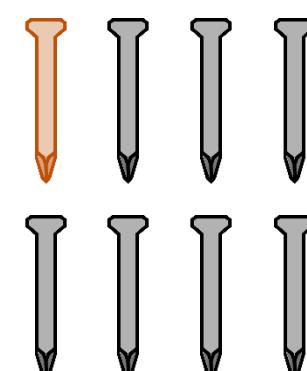
Comment trouver le circuit le plus court ?



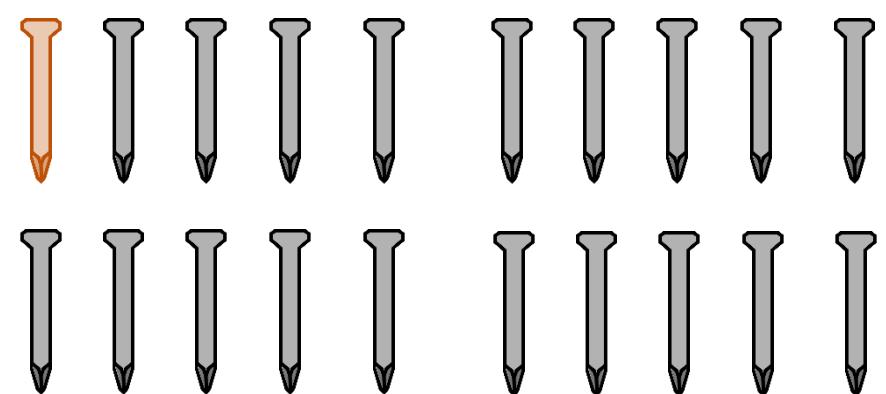
Possibilités : 2



Possibilités : 6



Possibilités : 5040



Possibilités : 121 645 100 408 832 000

Les systèmes Experts

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** ».

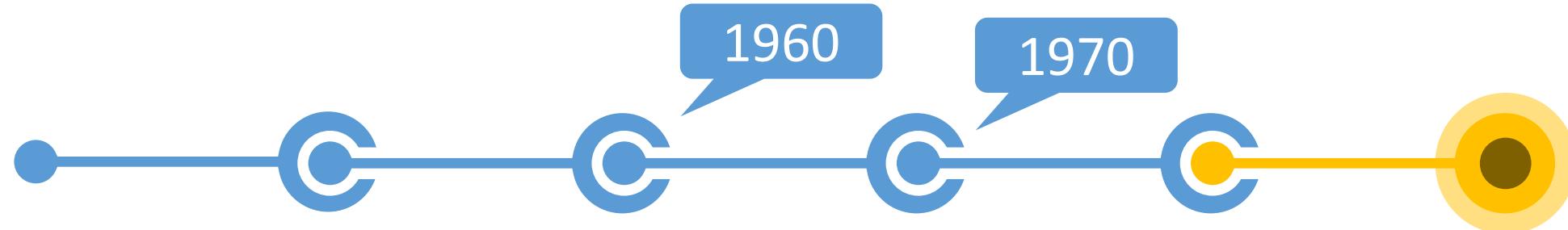
Les systèmes Experts

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**.

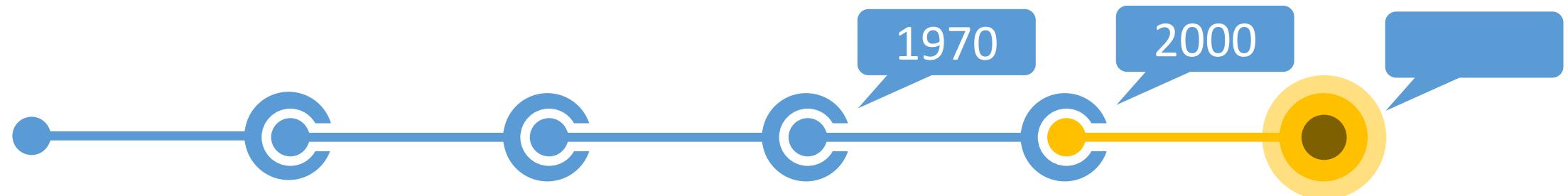
- ✚ La solution : « **Imiter la logique d'un expert humain** dans la sélection et le traitement des informations pertinentes au lieu de passer par les méthodes de programmation traditionnelles », **d'où le programme est dit « système expert »** .



Les systèmes Experts

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**.



Les systèmes Experts

Historique

⊕ **La morale de l'histoire** : pour que l'ordinateur comprenne le langage naturel, reconnaissse 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).



- 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 ?

Les systèmes Experts

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 procédures 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.

Les systèmes Experts

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.

Les systèmes Experts

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 suive le même raisonnement d'un mécanicien pour le diagnostic et la détection des pannes d'une voiture (applique les mêmes règles).

Les systèmes Experts

Définition

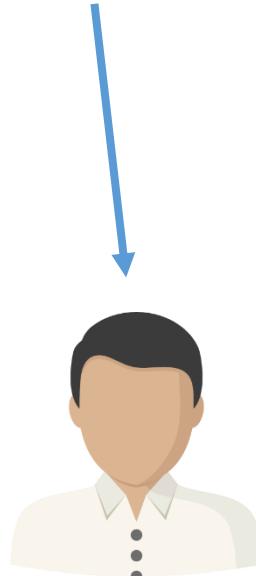


- Contrairement aux techniques de l'IA numérique qui essayent d'aboutir à une modélisation cognitive en s'inspirant du fonctionnement du cerveau humain, **les systèmes experts utilisent les stratégies heuristiques adaptées par les experts humain pour résoudre des problèmes spécifiques.**

Architecture

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

Bénéficiaire de l'expertise



Utilisation du système



L'utilisateur final

Transfert de l'expérience



Les experts du domaine

Fournisseur de l'expertise

Les systèmes Experts

Architecture

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

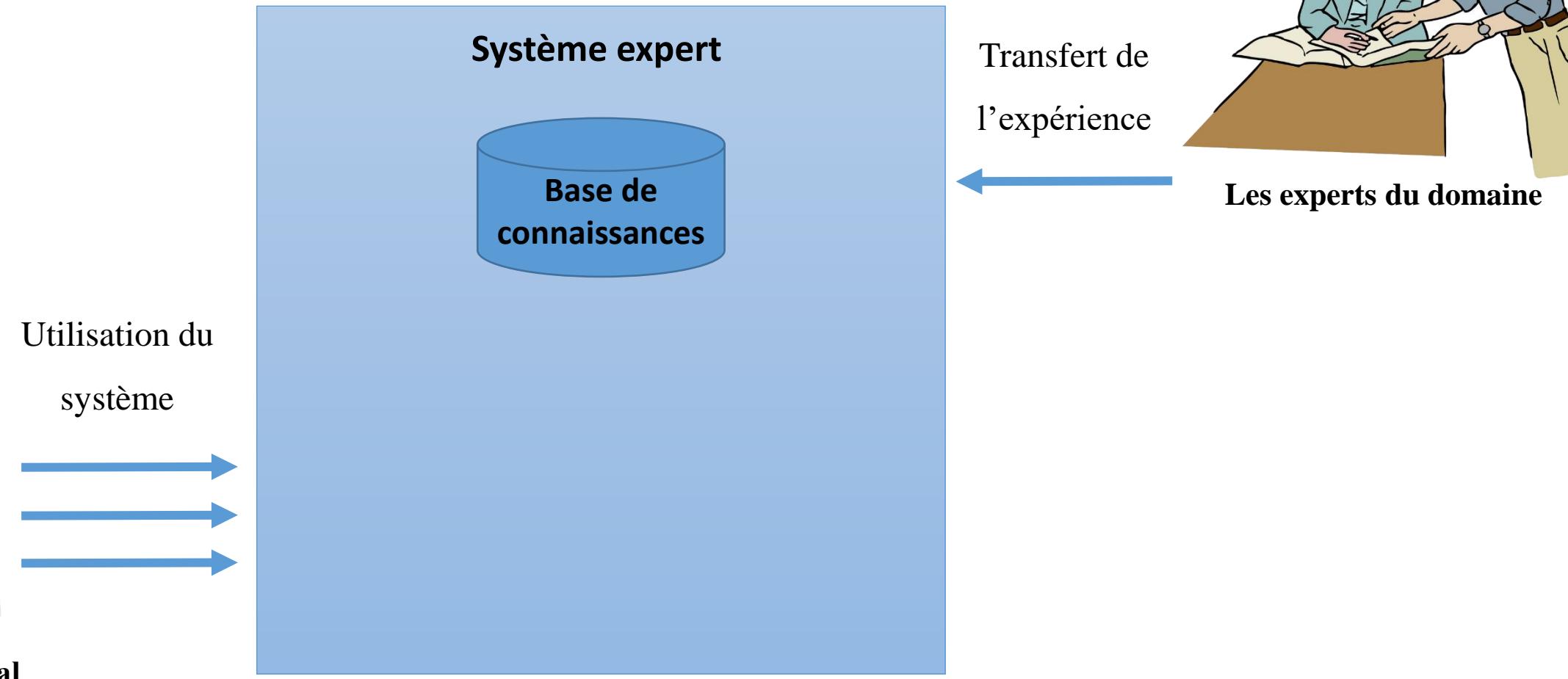


Base de connaissances : structure et conserve les **connaissances** concernant la résolution du problème
(les connaissances sont séparées des traitements).

Les systèmes Experts

22

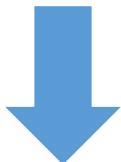
Architecture



Les systèmes Experts

Architecture

Comment exploiter les connaissances ?

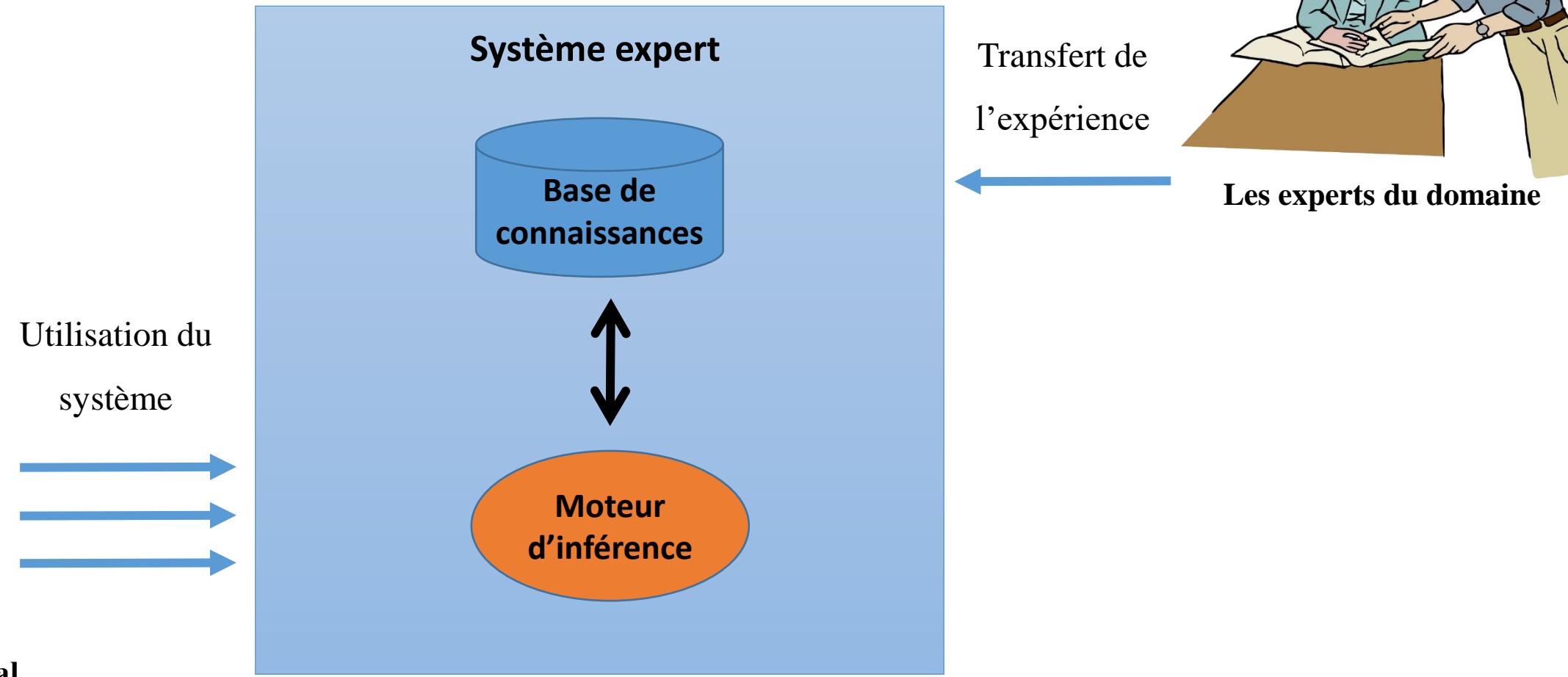


Moteur d'inférence : applique des stratégies de résolution sur les connaissances pour en dériver de nouvelles informations.

Les systèmes Experts

24

Architecture



Architecture



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



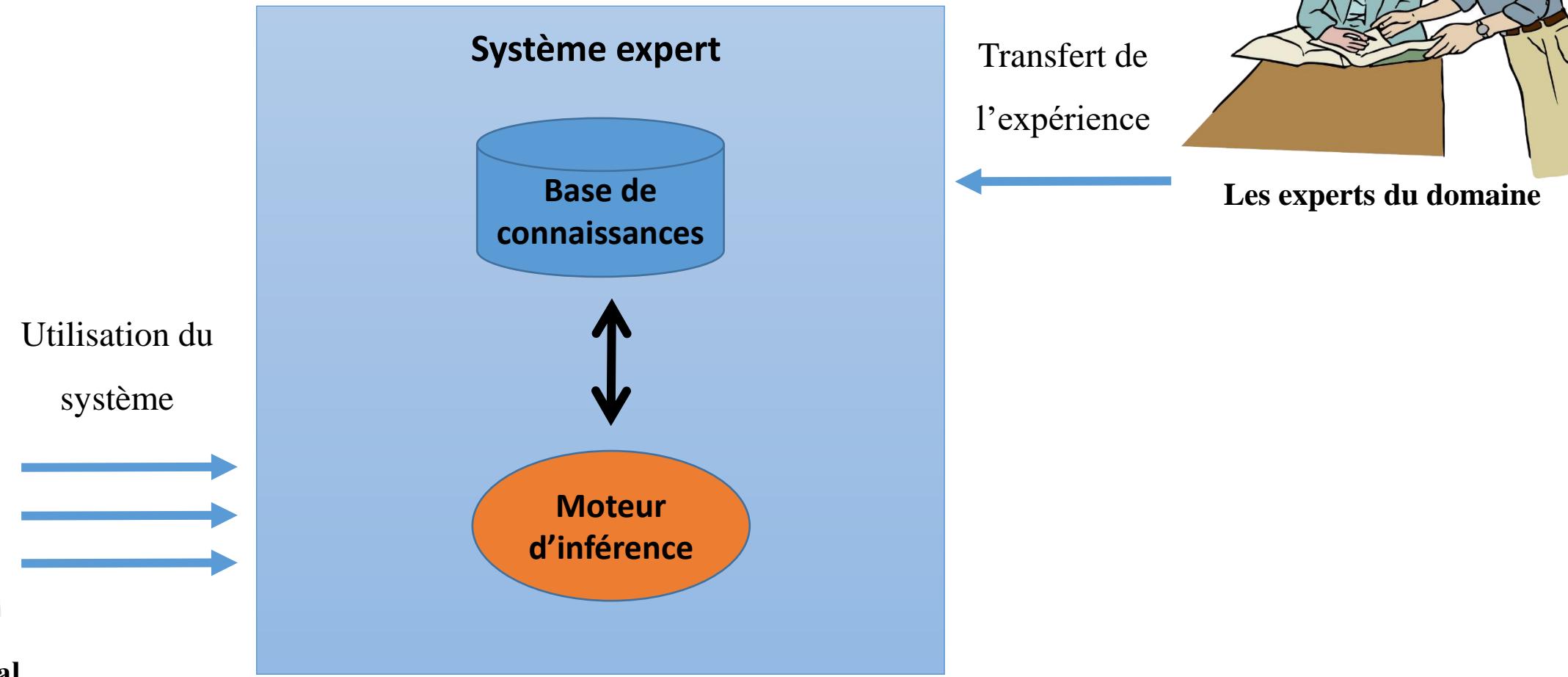
Pourquoi cette indépendance est importante ?

- 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.

Les systèmes Experts

26

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.

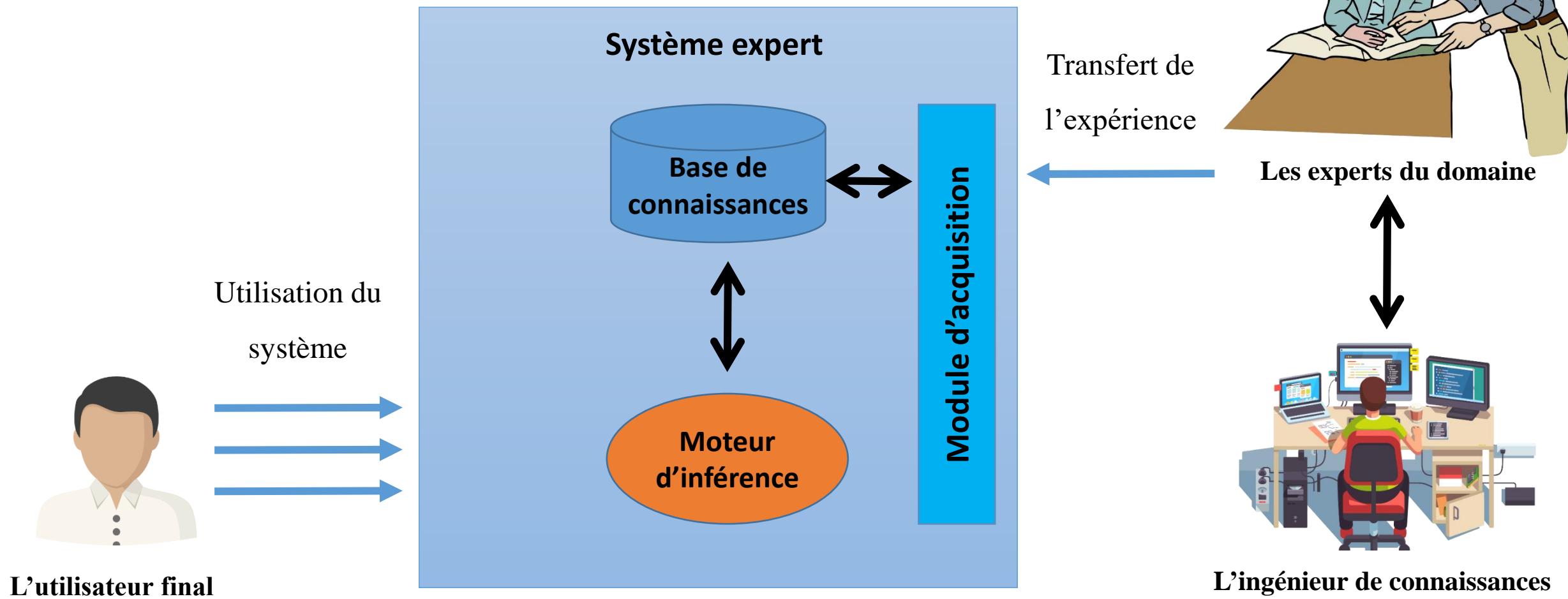


Module d'acquisition : permet à l'ingénieur de connaissances d'alimenter et de tester la base de connaissances.

Les systèmes Experts

28

Architecture



Architecture

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



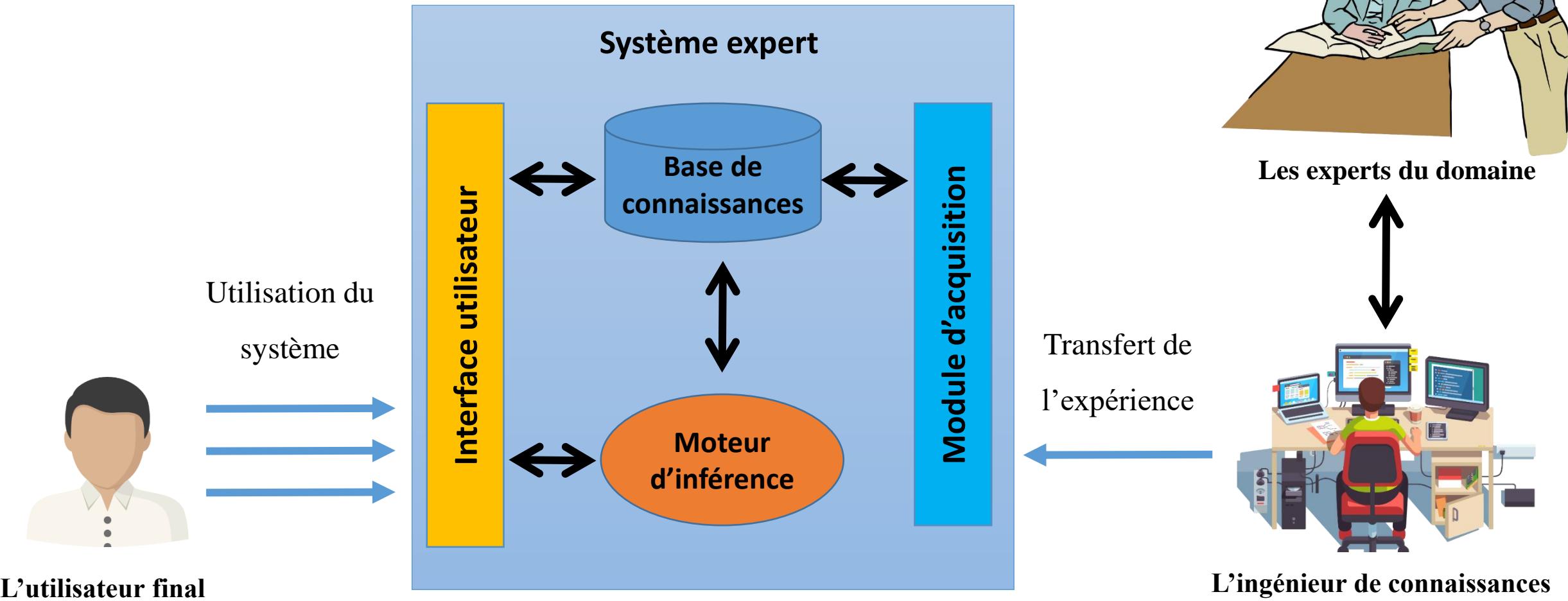
Interface utilisateur : un module de communication qui facilite le dialogue entre le système et l'utilisateur.

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

Les systèmes Experts

30

Architecture



Architecture

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



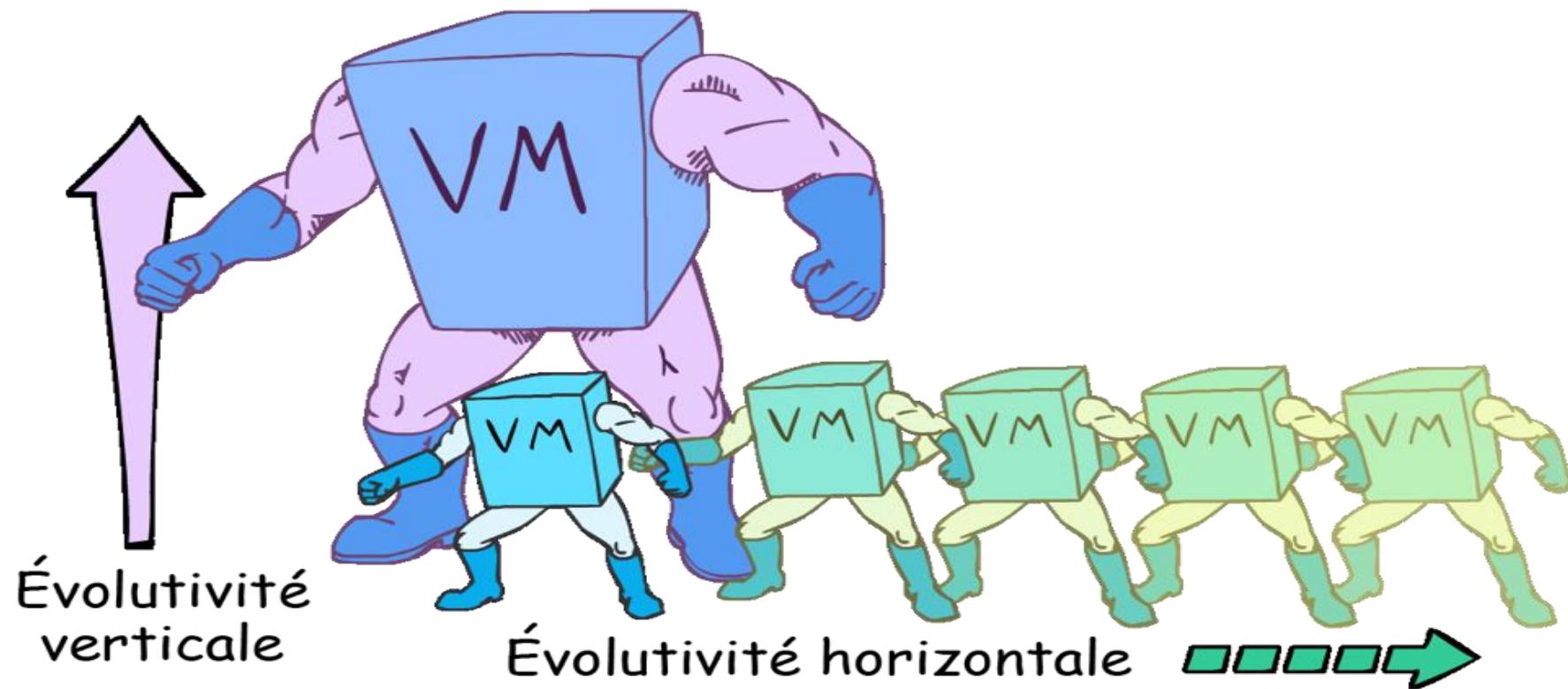
- + **Architecture client server, Architecture orientée services, Architecture Microservices.**
- + **Les applications Web (PHP/MYSQL, Java Entreprise Edition (JEE), ...).**



LE
SAVIEZ-VOUS



Architecture Micro services

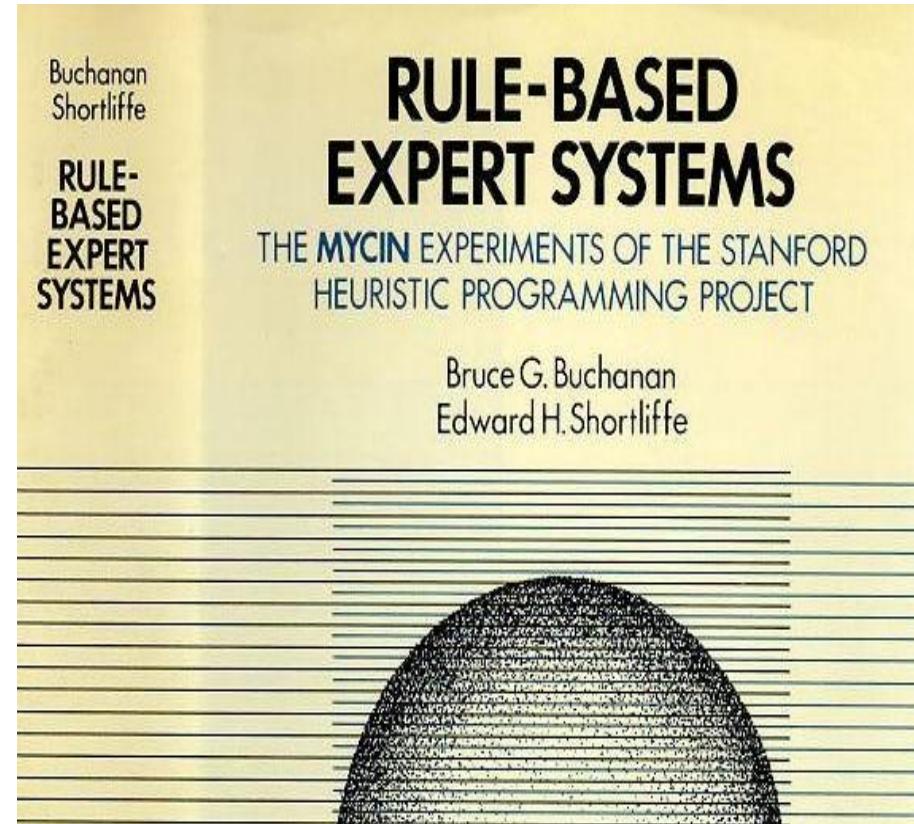


Problèmes & Domaines d'application

- **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.

Les systèmes Experts

Exemples de SE



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

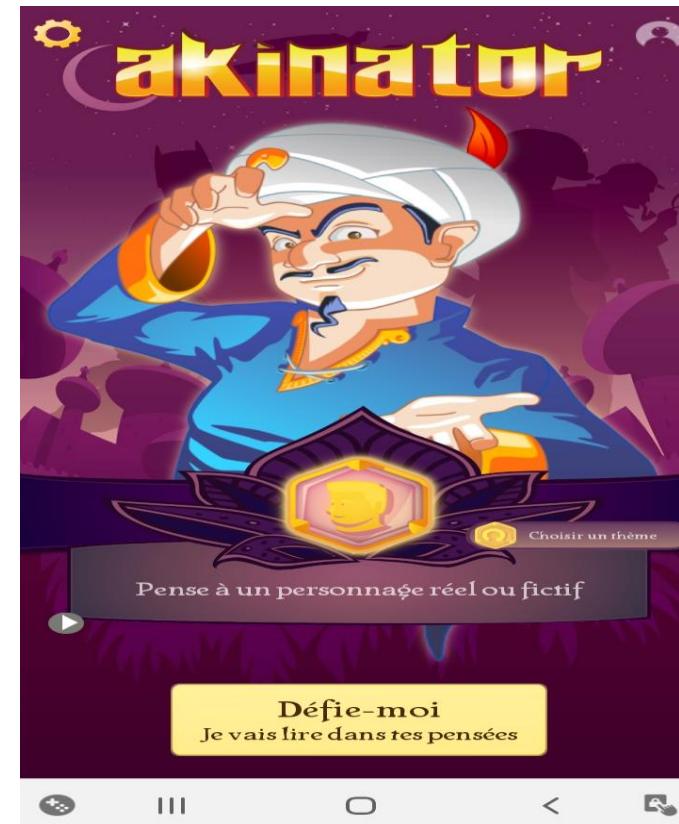
Les systèmes Experts

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 **pseudomonia aeruginosa**
- **Médecin:** Que faut-il faire?
- **MYCIN:** Il faudra prescrire à M. Ali YYYY des antibiotiques **ceftazidime** ou **carbapénèmes**
- **Médecin:** Merci

Les systèmes Experts

Exemples de SE



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

Les systèmes Experts

38

Exemples de SE



Question N° 1

Ton personnage est-il une fille ?

Probablement

Probablement pas

Oui

Ne sais pas

Non



Question N° 3

Ton personnage est-il un chien ?

Probablement

Probablement pas

Oui

Ne sais pas

Non



Question N° 7

Ton personnage est-il célèbre ?

Probablement

Probablement pas

Oui

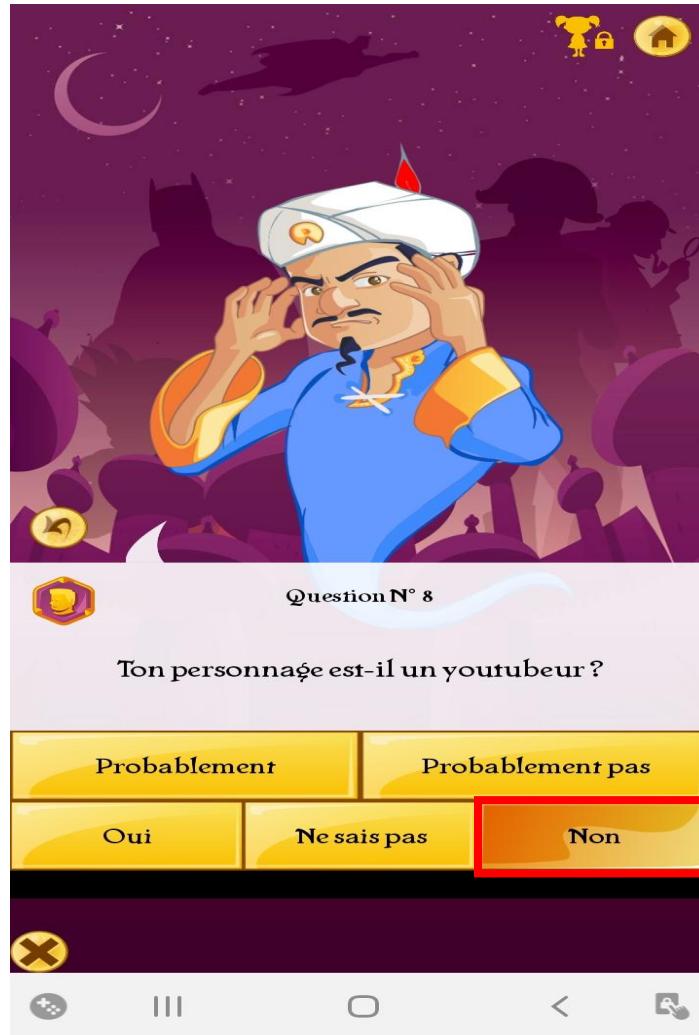
Ne sais pas

Non



Les systèmes Experts

Exemples de SE



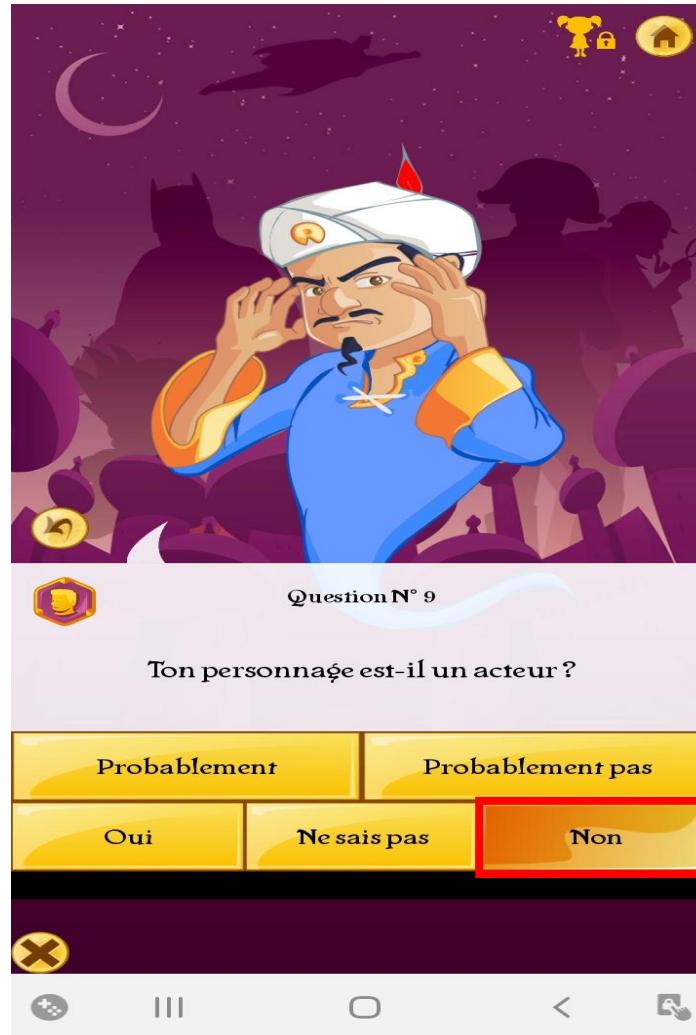
Question N° 8

Ton personnage est-il un youtubeur ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

×

III O < 🔒



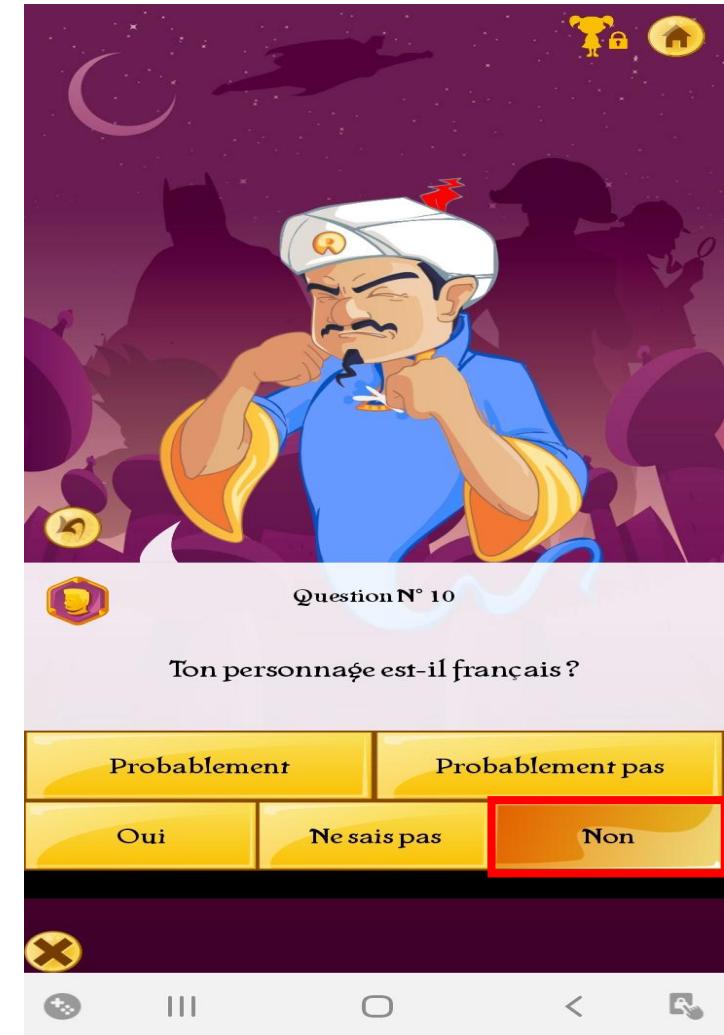
Question N° 9

Ton personnage est-il un acteur ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

×

III O < 🔒



Question N° 10

Ton personnage est-il français ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

×

III O < 🔒

Les systèmes Experts

40

Exemples de SE

Question N° 12

Ton personnage est-il un footballeur attaquant ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

Question N° 13

Ton personnage est-il portugais ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

Question N° 15

Ton personnage a-t-il joué au PSG ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

Les systèmes Experts

41

Exemples de SE



Question N° 16

Ton personnage est-il européen ?

Probablement	Probablement pas
Oui	Ne sais pas
Non	

Non is highlighted with a red box.

Bottom icons: a crossed-out shield, a menu icon, a square icon, a back arrow, and a hand icon.



Question N° 17

Ton personnage est-il musulman ?

Probablement	Probablement pas
Oui	Ne sais pas
Non	

Oui is highlighted with a red box.

Bottom icons: a crossed-out shield, a menu icon, a square icon, a back arrow, and a hand icon.



Question N° 18

Ton personnage est-il originaire d'Algérie ?

Probablement	Probablement pas
Oui	Ne sais pas
Non	

Oui is highlighted with a red box.

Bottom icons: a crossed-out shield, a menu icon, a square icon, a back arrow, and a hand icon.

Les systèmes Experts

42

Exemples de SE

Question N° 19

Ton personnage a-t-il joué pour Manchester City ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

Gz 100

Question N° 19

Ton personnage a-t-il joué pour Manchester City ?

Probablement	Probablement pas	
Oui	Ne sais pas	Non

Gz 100

Je pense à

Riyad Mahrez

Footballeur algérien

Gz 100

Je pense à

Riyad Mahrez

Footballeur algérien

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'expliquer 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.

Contexte général





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.**