



Les systèmes tutoriels intelligents: Introduction

Roger Nkambou

Contenu

- ◆ Définitions
- ◆ Historique
- ◆ Architecture
- ◆ Description des composants
- ◆ Tendances actuelles des recherches et quelques applications

Acronymes synonymes

- ◆ **STI (Système Tutoriel intelligent)**
- ◆ AIED (Artificial Intelligence in Education)
- ◆ SABC (Système d'Apprentissage à Base de Connaissances)
- ◆ EABC (Environnement d'Apprentissage à Base de Connaissances)
- ◆ EIAH (Environnement Informatique d'Apprentissage Humain)
- ◆ EIAH (Environnement Interactif d'Apprentissage Humain)
 - un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain [...]. Ce type d'apprentissage mobilise des agents humains [...] et artificiels [...] et leur offre des situations d'interaction [...] ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives.» (Tchounikine et al., 2004)
- ◆ TI (Tuteur Intelligent)
- ◆ EIAO (Environnement Interactif d'Apprentissage par Ordinateur)
 - systèmes susceptibles d'évoluer, de se modifier en fonction des réussites et des échecs de l'apprenant. L'action de l'apprenant y est primordiale: il doit agir et interagir pour adapter ses connaissances.
Source: <http://www.enib.fr/%7Ebucho/>
- ◆ EIAO (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur)
 - Quand les ordinateurs sont en mesure de raisonner sur le domaine enseigné et de s'adapter aux caractéristiques de chaque apprenant.

Définitions

EIAH

« Un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) est un **environnement informatique** conçu dans le but de **favoriser l'apprentissage humain**, c'est-à-dire la **construction de connaissances chez un apprenant**. Ce type d'environnement mobilise des **agents humains** (élève, enseignant, tuteur) et **artificiels** (agents informatiques, qui peuvent eux aussi tenir différents rôles) et leur offre des **situations d'interaction**, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées), ici encore locales ou distribuées »

P.Tchounikine et al.

Définitions ITS

«ITS is a part of "knowledge communication" and his review focused on cognitive and learning aspects as well as the AI issues» E. Wenger

Globalement, l'objectif est de:

- ◆ Créer des outils informatique pour supporter individuellement l'apprenant
- ◆ Et qui sont autonomes et s'adaptent intelligemment aux besoins spécifiques de ce dernier.

Historique

Années '60-'70: L'ère de l'EAO

- ◆ Les premières utilisations de l'ordinateur pour la formation découlent de l'**approche Behavioriste** de l'enseignement
 - ◆ «*The War did not require theoretical elegance from its psychologists. It required solving practical problems, not laboratory problems, such as the problem of **rapidly teaching masses of men to reach acceptable levels of competency** in hundreds of specialty areas. With the help of psychologists, the task was accomplished.*» (Berliner, 1992) (p. 47)
- ◆ On commence à parler de l'**enseignement programmé**
 - 1962: conférence à la Randolph Air Force Base du Texas
→ fondation de la *National Society for Programmed Instruction (NSPI)*.
 - Les cours demeurent "papier-crayon"
- ◆ Fin des années '60:
 - **Automatisation** des systèmes d'enseignement par cartes-sujet (*flash cards*), avec adaptation selon les résultats
 - Premières tentatives de modéliser le **comportement** de l'apprenant
- ◆ 1970 : première application éducative de l'**hypertexte** (cours de poésie créé par Van Dam sur terminaux avec hyperliens)

Historique

L'ère de l'EAO – exemple de carte-sujet

- ◆ Les cartes-sujet sont encore considérées utiles de nos jours.
 - Applications:
 - ◆ concepts/mots à mémoriser
 - ◆ apprentissage de procédures spécifiques
 - ◆ entraînement à la reconnaissance d'objets/situations/caractéristiques

Flash Cards

Some answers will be negative.

7 + 3 =

Score: Answer: PRESS <ENTER>

Difficulty: Easy Intermediate Hard Advanced

Type of Arithmetic: Addition Subtraction Multiplication Division

Total Sums: Total Correct: Total Wrong: Score:

© 2001 Teaching Treasures Publications

[Maths Main](#) | [Main Page](#)

Copyright 2000. All pages on this site are copyright property of Teaching Treasures Publications.

Historique

L'ère de l'EAO (suite)

◆ Années '70:

- Piaget ébranle les comportementalistes avec son **hypothèse constructiviste** du savoir. On commence à voir l'apprentissage comme le résultat d'une *collection de boîtes noires*, et non plus seulement *stimulus-réponse*.
- Chomsky ainsi que Newell prétendent que le cerveau traite l'information avec de **multiples processus de traitement symbolique** (modèle du traitement de l'information par le cerveau)
- Systèmes résultants appelés tuteurs guides ou **didacticiels**
- Limites
 - ◆ Intégration trop faible, parfois inexistante des connaissances liées
 - au domaine,
 - à la didactique
 - ou encore à la manière de transmettre les connaissances
 - ◆ Nécessité de faire coopérer plusieurs expertises

Historique

Les limites de l'EAO

- ◆ Les programmes développés sont souvent peu performants
 - **présentation rigide** du matériel didactique
 - programmes limités du point de vue diagnostic et adaptation
 - limitations matérielles en termes de mémoire et de rapidité
 - théories éducatives inexistantes
- ◆ L'évolution vers l'EIAO
 - appel à l'intelligence artificielle et aux sciences cognitives
 - avec évolution très importante des machines
 - nécessité économique :
 - ◆ apprentissage militaire
 - ◆ apprentissage industriel
 - ◆ éducation nationale
 - ◆ réduction du coût /étudiant

Historique

Années '80: L'intégration effective de l'IA

- ◆ Logiciels éducatifs: codage **des décisions**
 - transfert des décisions pédagogiques dans un programme (facilité par les langages auteurs)

- ◆ intelligence artificielle: codage **des connaissances**
 - responsabilité des programmes de composer dynamiquement des instructions éducatives à l'aide des connaissances (autonomes)
 - génération d'exercices
 - adaptation au niveau de difficulté selon les performances de l'apprenant

- ◆ différences importantes: possibilité que le système prenne des décisions non prévues par les experts éducatifs

Historique

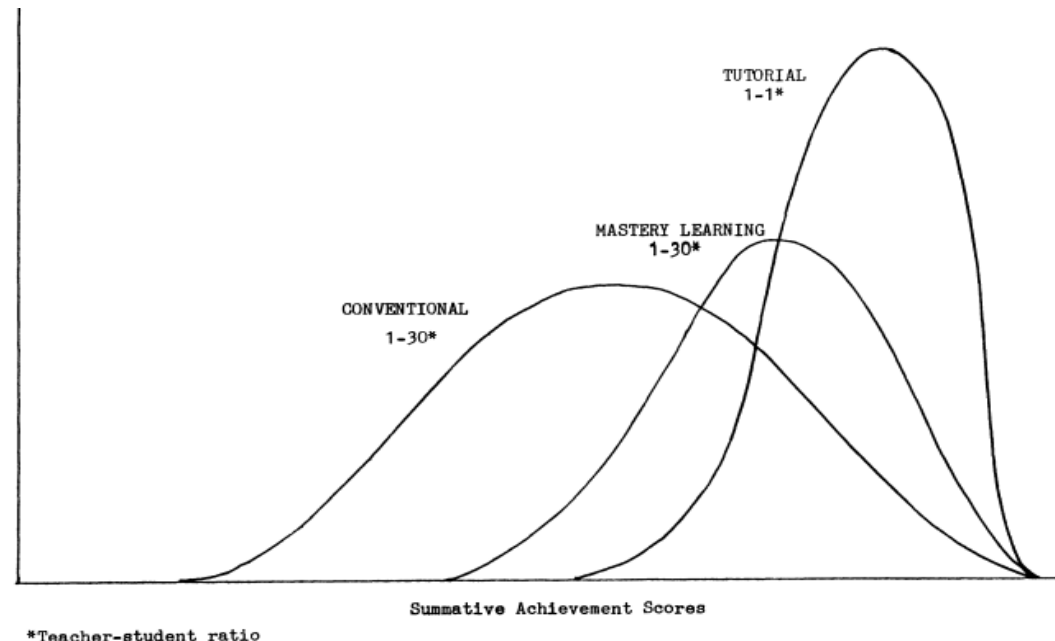
Années '80: Naissance des STI

- ◆ Naissance de l'EIAO au début des années '80
 - convergence de plusieurs disciplines : intelligence artificielle, éducation, psychologie cognitive
 - ◆ Sleeman et Brown (**1982**) proposent le terme "**Intelligent Tutoring Systems**"
 - ◆ Ils proposent aussi le terme "**Student Model**" au sujet de la représentation des connaissances de l'apprenant dans le système d'enseignement.
- ◆ But : **simuler l'enseignant** dans ses capacités **d'expert pédagogue** et d'expert du domaine
- ◆ Systèmes résultants : **systèmes tutoriels intelligents (STI)**, EIAH, SABC

L'importance des STI confortée par Bloom

- ◆ Les STI se donnent comme objectif d'exceller dans le tutorat individualisé fondé sur l'expertise et ce, grâce aux techniques de l'intelligence artificielle:
 - Suivre le raisonnement de l'apprenant et lui fournir une retroaction appropriées et ajuster les activités d'apprentissages à ses besoins.
- ◆ En 1984, Bloom fait l'apologie de l'apprentissage par tutorat individualisé et prouve ses bénéfices à travers ce qu'on a appelé le "**2-Sigma Problem**"

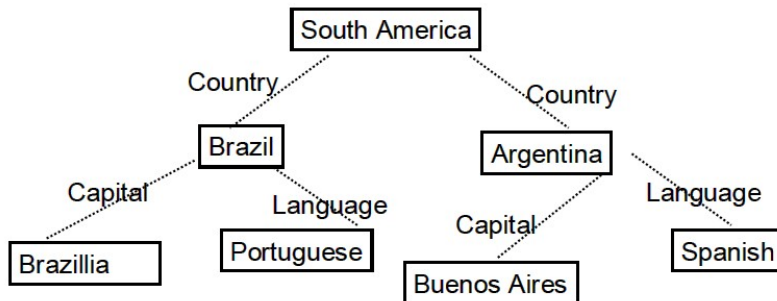
L'étudiant moyen qui dispose d'un tuteur humain personnel réussit (performe) mieux que 98% (2 sigma d'écart) des étudiants en classe.



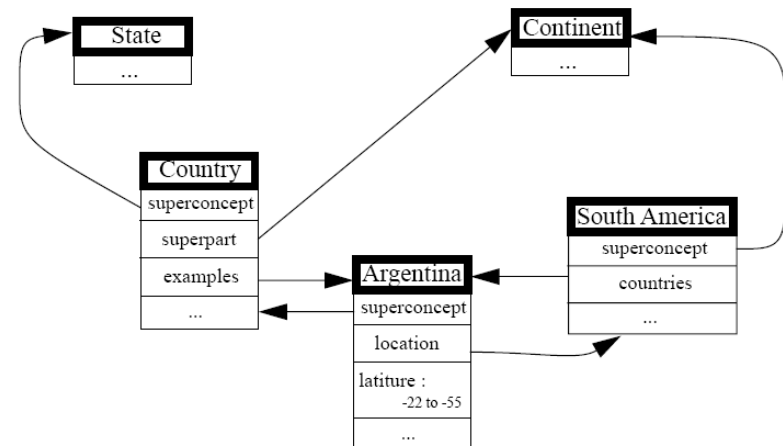
Historique des STI : Exemples de systèmes

1^{er} STI: SCHOLAR (1970)

- ◆ La toute première initiative visant l'intégration de l'IA
- ◆ Carbonell voulait excéder les représentations par objets structurés (*frames*)
 - pour représenter les connaissances comme chez un humain
 - pour permettre des interactions "naturelles" avec les apprenants
 - ◆ ex. SCHOLAR peut demander: «What is the capital of»
 - ◆ ex. L'apprenant peut demander: «Tell me about»
 - il utilisa un réseau sémantique



Autre vue du même réseau :



Source: Wenger (1987), présenté dans Delestre, Thèse de doctorat, <http://asi.insa-rouen.fr/~delestre/papiers/these.pdf>

Historique des STI : Exemples

SOPHIE (1974)

- ◆ Auteurs : Brown, Burton, Bell
- ◆ Enseigne le dépannage en électronique des circuits
- ◆ Banque de conn.: Règles et procédures pour identifier les problèmes de dysfonctionnement

Welcome to SOPHIE, a **reactive** learning environment. The piece of equipment you are studying is a regulated power supply. Would you like to start with a faulted instrument that needs fixing?

** Yes

The instrument has a fault and its present control settings are:

CC 1.0 CURRENT CONTROL
CR HIGH CURRENT RANGE SWITCH
LOAD20 LOAD RESISTANCE IN OHMS
VC 1.0 VOLTAGE CONTROL
VR HIGH VOLTAGE RANGE SWITCH

** What is the output?

The output voltage is 11.7 volts.

Notice that "output" was disambiguated as "output voltage."

I am going to ask you some questions about how Q6 is faulted. Are any junctions shorted?

** I don't know

Are any terminals open?

** Yes

Which terminal(s) are open?

** The base

Q6 is not faulted in that manner. Q6 not replaced.

Before the system's evaluation procedures can be applied to the student's idea or hypothesis, the hypothesis must be completely specified. To help the student out, the system suggests a plausible complete specification of it in an abbreviated form familiar to the student.

Historique des STI : Exemples GUIDON (1979 -1983)

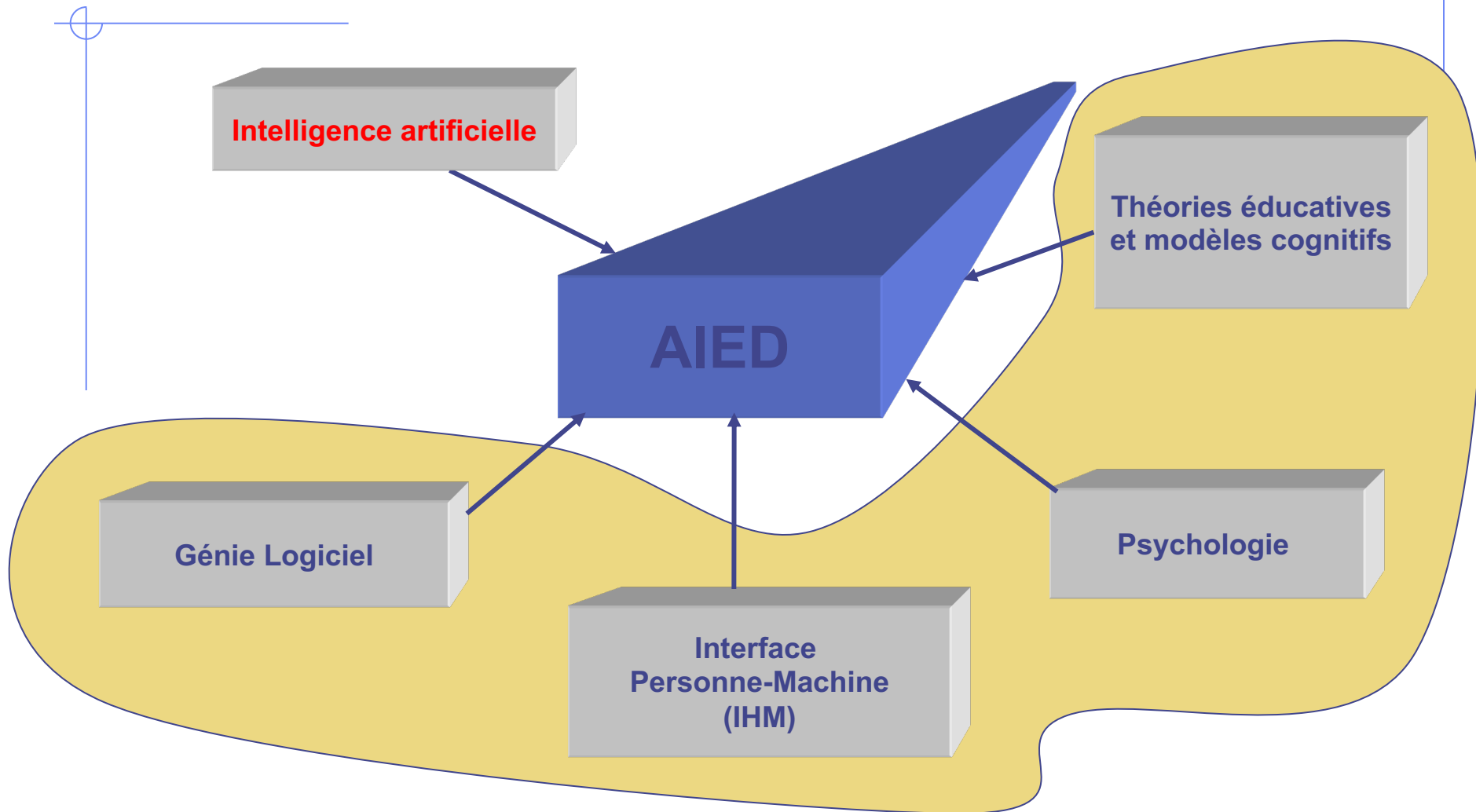
- ◆ Auteur : Clancey
- ◆ Expérience dérivée de l'IA : essai de transformation d'un système expert en système tutoriel : MYCIN
 - ...comme plusieurs EAO de cette époque.
 - GUIDON utilise les règles de MYCIN pour enseigner l'expertise qui y est contenue
 - L'apprenant y joue le rôle de MYCIN, posant des questions et tirant des conclusions;
 - GUIDON compare les actions de l'apprenant à ceux que MYCIN aurait prises.
 - Il intervient seulement en cas de mauvaises performance (ou demande d'aide)
- ◆ Clancey y implante sa **méthodologie de conception** :
 - analyser le domaine de référence à partir d'experts *et de novices*
 - construire un **modèle de l'expert** qui tient compte de toutes les nuances possibles de raisonnement
 - construire le **module d'enseignement**
- ◆ Donc, fait une claire séparation du domaine et des compétences d'enseignement
 - environ **200 règles tutorielles**

Historique des STI : Exemples

Étienne Wenger

- ◆ Le développement des **STI modernes** a véritablement débuté en 1987, après la publication du livre de Wenger (1987)
 - *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational **and Cognitive Approaches** to the Communication of Knowledge.*
- ◆ Wenger considéra les STI comme éléments de la "communication du savoir"
 - C'était la toute première tentative d'une analyse des **objectifs implicites** et explicites **des concepteurs** de STI.
 - Wenger : **La cognition est centrale**, et non pas les modèles computationnels du domaine et de la pédagogie.

AI et domaines connexes des STI



Apport de la psychologie cognitive

Philosophie de la connaissance (Épistémologie) \Rightarrow Connaître =

Pragmatisme/Socio-
-historique

Interagir avec le monde et **construire la signification** au fil du temps

Rationalisme

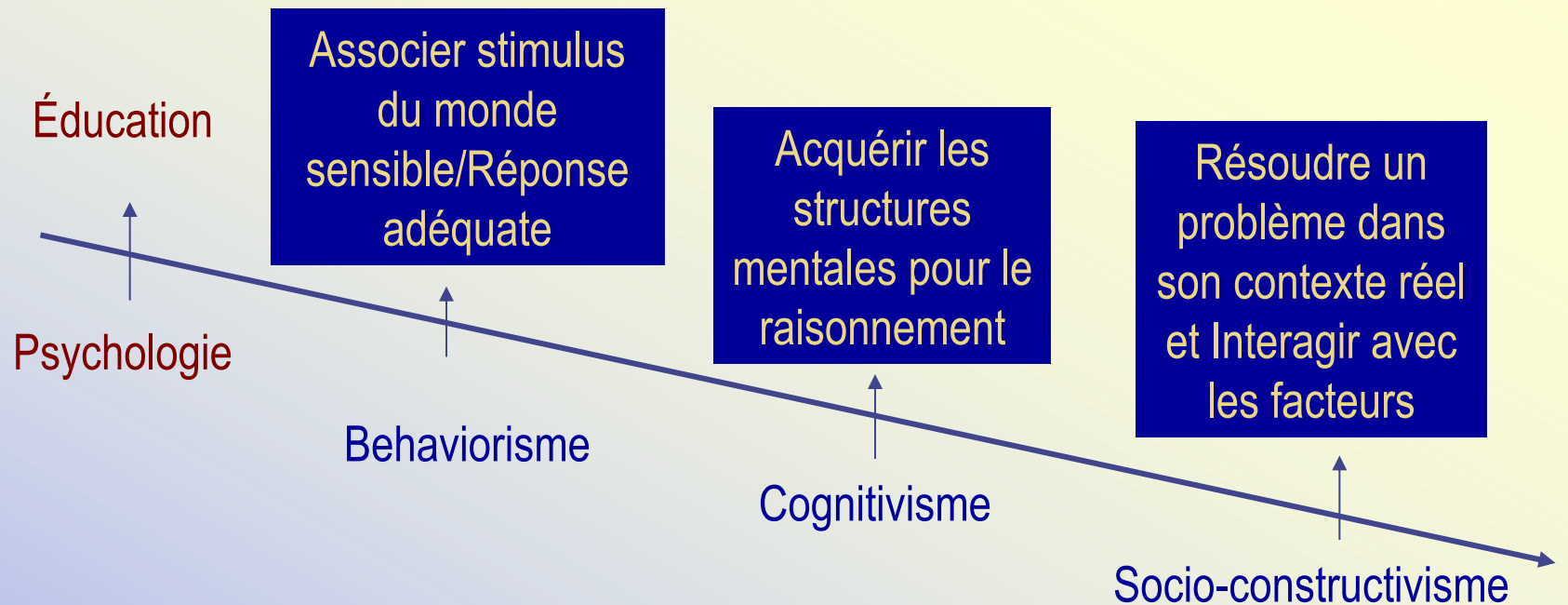
Raisonner sur la base de principes et de catégories (faits) **universelles**

Empirisme

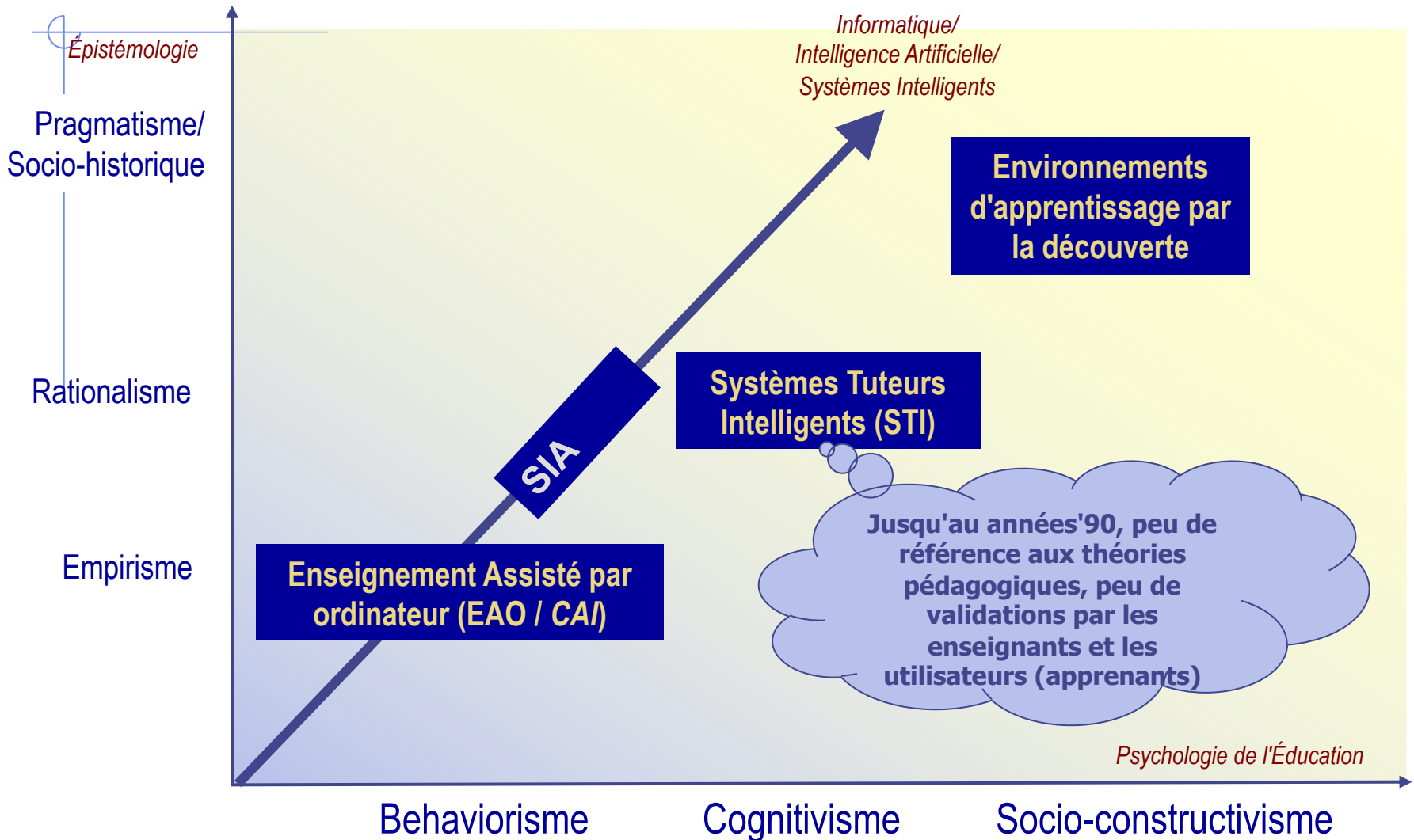
Expérience avec le monde sensible

Apport de l'Éducation: Théories de l'apprentissage et de l'instruction

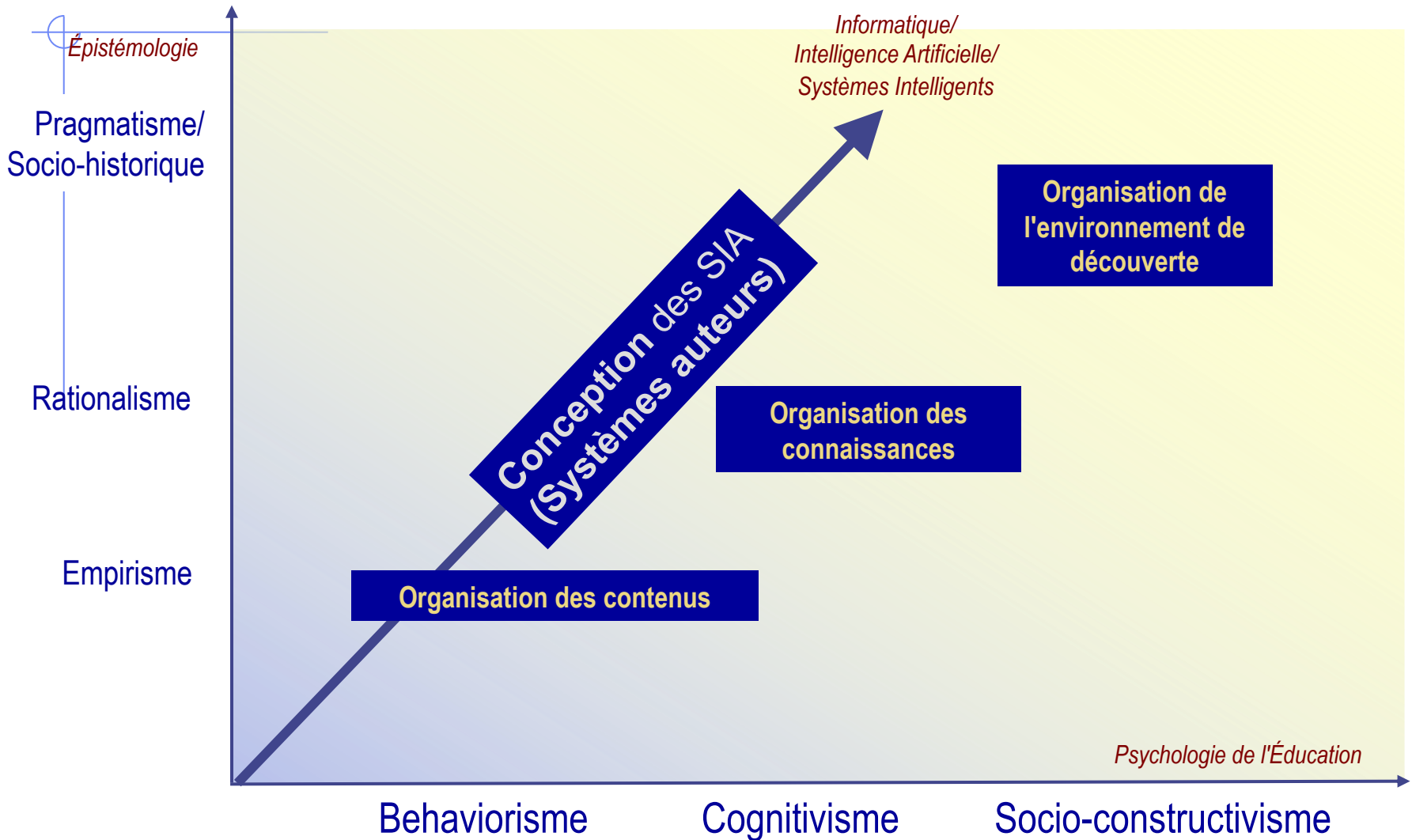
Psychologie de l'Éducation \Rightarrow Apprendre =



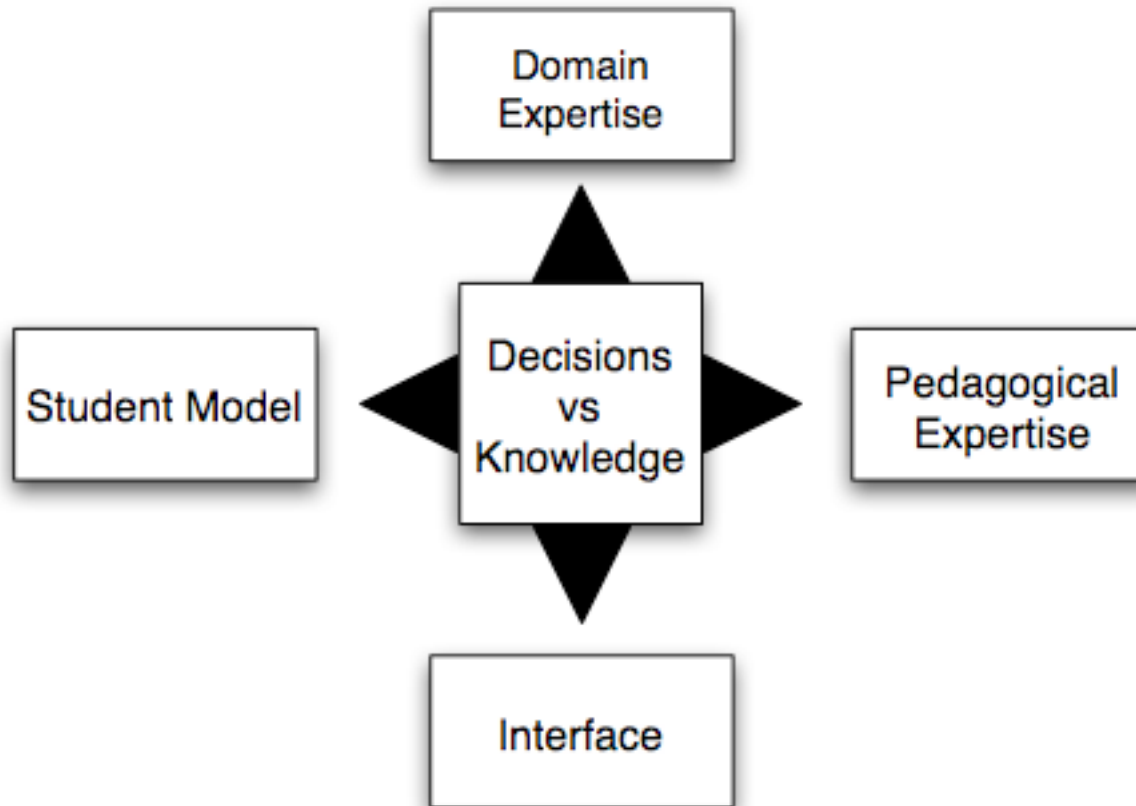
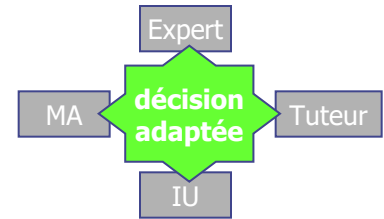
Positionnement des Systèmes informatiques pour l'apprentissage (SIA)



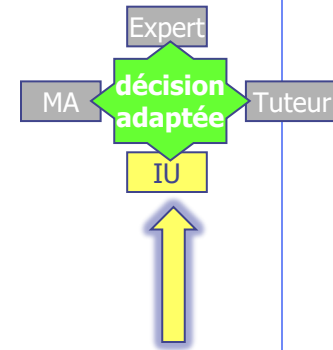
Positionnement des activités de développement (ingénierie de SIA)



Architecture de base d'un STI



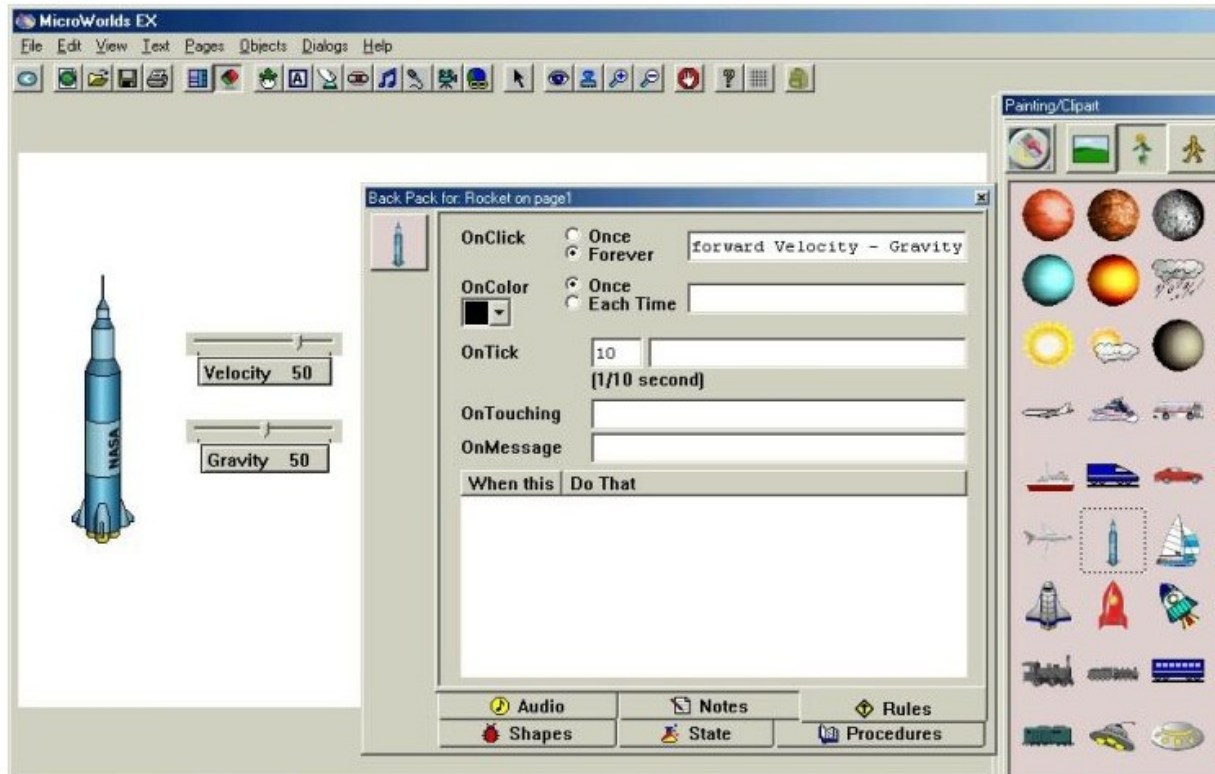
Source: Wenger, Etienne (1987) *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge*



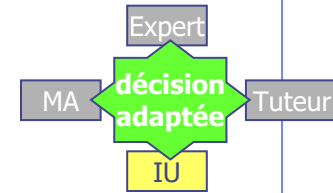
L'interface

- ◆ Couche de communication entre l'apprenant et le STI
- ◆ Privilégier une approche de conception qui n'obstrue pas l'apprentissage
- ◆ Varie selon le type de situation d'apprentissage
 - Exemple de situation: Entraînement militaire, apprentissage de techniques de dépannage de systèmes électroniques, pratique assistée sur des cas médicaux complexes...
 - C'est bien plus qu'une interface, c'est un **environnement d'apprentissage**
- ◆ Quelques types d'environnements:
 - Micro-monde (simple, 3D, réalité virtuelle, réalité augmentée, ...)
 - Simulation
 - Jeux video
 - Langage naturel

Interface LOGO, pour construire des micro-mondes



Students create concrete visual representations of the effects of gravity on the velocity of a rocketship. 'Sliders' can easily be used to represent the variables.



Interface Simulation (vs. micro-monde)

- ◆ La simulation s'impose dans des domaines à forte composante évolutive
 - surtout lorsque cette évolution peut-être perturbée par des événements extérieurs
- ◆ L'élève apprend en modifiant des paramètres et en observant les conséquences de ses actions dans l'environnement simulé.
- ◆ Dans les simulations, l'accent est souvent mis davantage sur **l'utilisation d'un modèle** que sur sa construction par l'apprenant.
 - **Steamer** est l'un des premiers systèmes de ce type.
 - Steamer vise à faire acquérir aux ingénieurs un modèle mental du système de propulsion (formation d'ingénieurs au maniement du système de propulsion de grands navires).
 - **Un apprentissage par cœur est impossible** (nombre considérable de procédures) : une nouvelle situation requière l'élaboration d'une procédure entièrement nouvelle.

Interface Simulation : RomanTutor du GDAC

Roman Tutor V1.0 - Started: 17:16:58 Now: 17:19:58

Fichier Task Difficulty Level Mode Ask Tools About...

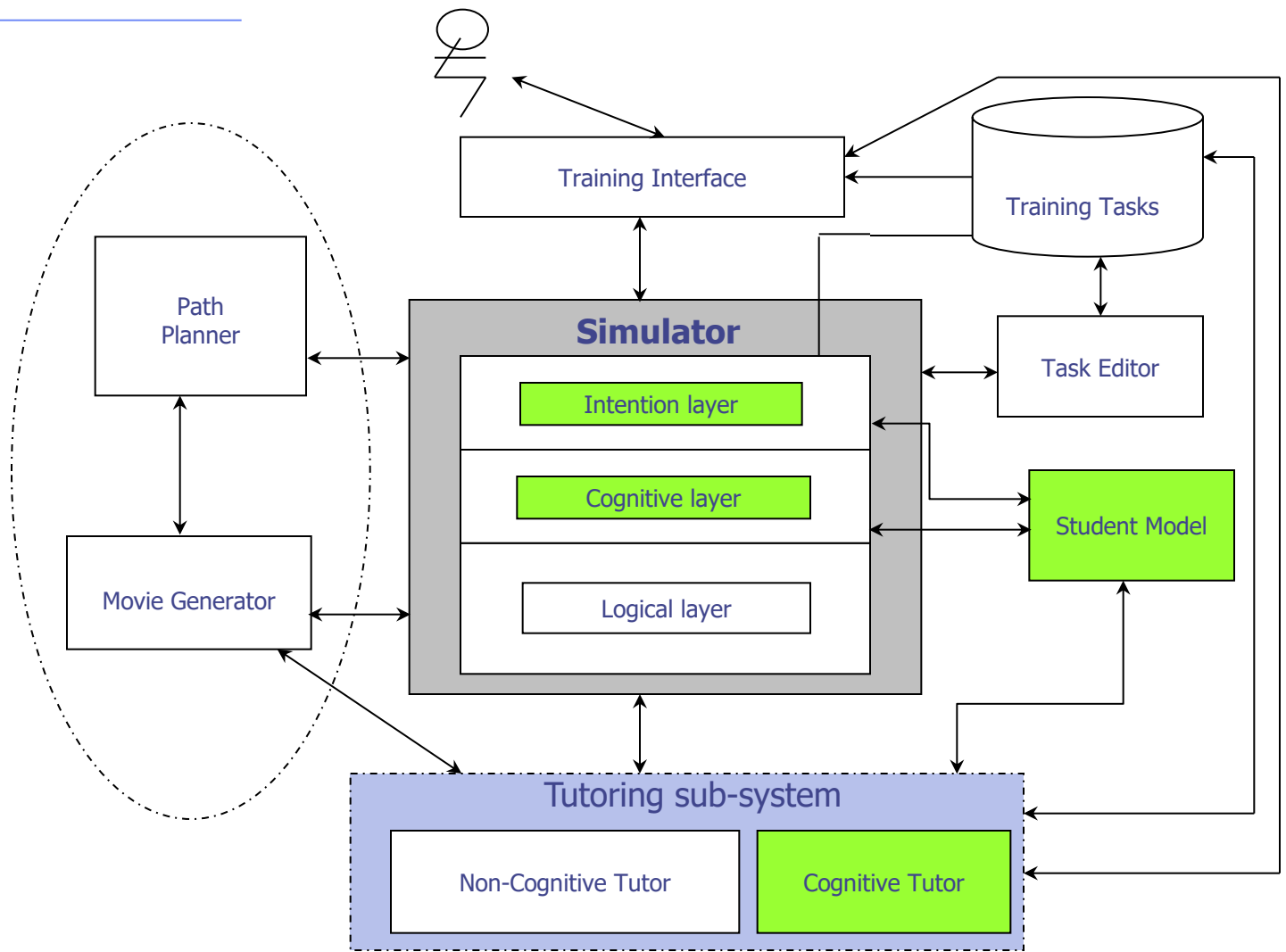
FDR ON/OFF ZONE ON/OFF TRACE ON/OFF COLLISION ON/OFF PROX ON/OFF

RotX RotY Dolly RotX RotY Dolly RotX RotY Dolly

Select Camera Perspective + - Monitor 1 Select Camera CP2 + - Monitor 2 Select Camera CP8 + - Monitor 3

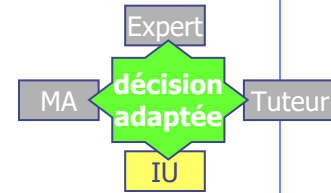
Action	Applied to	Result	Collision Details	Proximity Details
Movement	WE	[513.588252 , -5.595524 , -130.194776]	(robot:PL_Shuttle)	
Movement	WE	[514.783917 , -5.601792 , -136.217426]	(robot:PL_Shuttle)	
Movement	WE	[515.903797 , -5.607961 , -142.254628]	(robot:PL_Shuttle)	
Movement	WE	[516.947714 , -5.614033 , -148.305427]	(robot:PL_Shuttle)	
Movement	WE	[517.915505 , -5.620005 , -154.368869]	(robot:PL_Shuttle)	
Movement	WE	[518.807016 , -5.625877 , -160.443994]	(robot:PL_Shuttle)	
Movement	WE	[519.622106 , -5.631647 , -166.529844]	(robot:PL_Shuttle)	

Interface RomanTutor + CTS



Interface

Défis et tendances

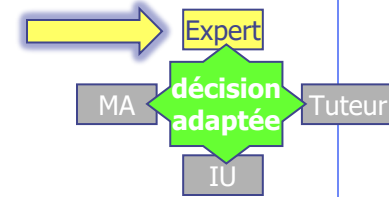


- ◆ La qualité de l'interaction peut influencer le résultat de l'apprentissage
- ◆ Problèmes des interfaces d'apprentissage = problèmes d'interaction personne-machine

- ◆ **Facteurs importants**
 - Utilisabilité
 - ◆ Souhait : Que la charge mentale liée à l'interface soit négligeable.
 - Utilité
 - Souhait :
 - ◆ Qu'il permette un **accès facile** aux éléments primitifs du domaine d'apprentissage.
 - ◆ Qu'il supporte la **métacognition de l'apprenant**

- ◆ **Tendances**
 - Dialogues tutoriels en langue naturelle
 - Intégration de la dimension affective dans l'interaction
 - Interface tangible





Le module Expert

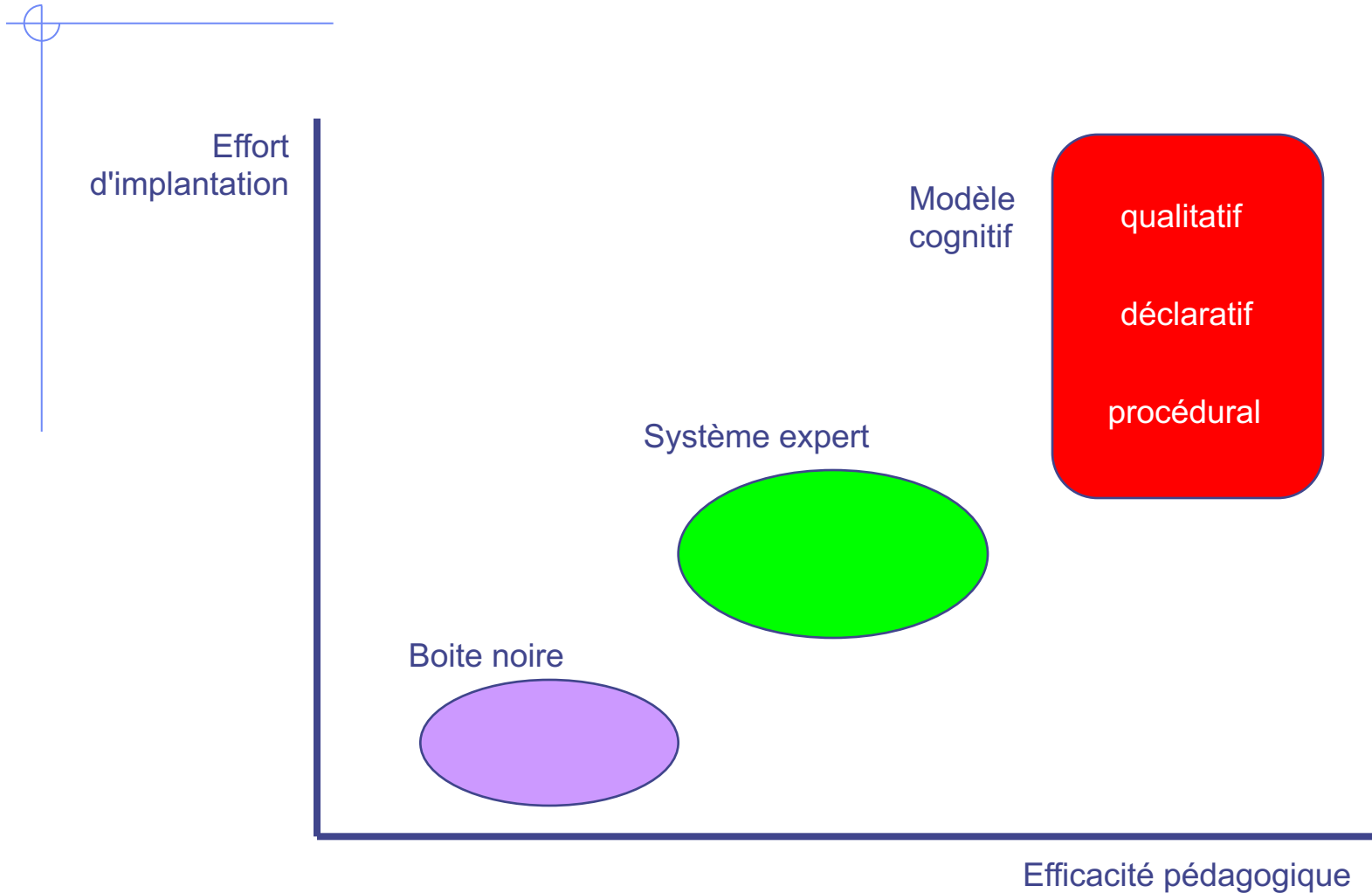
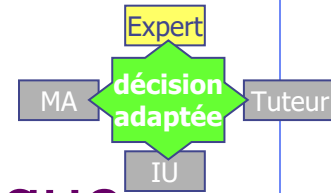
- ◆ **Connaissances de la matière ou expertise du domaine**
 - Représentées par des modèles pouvant permettre le raisonnement sur ces connaissances
 - Exemple de modèle de représentation:
 - Règles de production (If – Then)
 - Règles de production avec mesure de l'incertitude
 - Réseaux sémantiques
 - Représentations basées sur les objets structurés (*frames*)

- ◆ **Constitue souvent 50% de l'effort de développement.**

- ◆ **Trois possibilités de modélisation:**
 - approche «**boîte noire**» : appliquer une quelconque méthode de raisonnement sur le domaine -- non explicitée, sans aucune transparence à l'utilisateur.
 - développer un **système expert** -- peut expliquer ses raisonnements.
 - **modèle cognitif** : simuler la façon dont l'humain utilise les connaissances

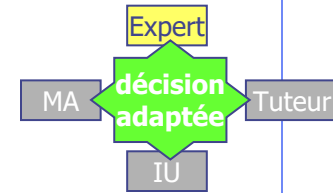
Le module Expert

Effort d'implantation *vs.* Efficacité pédagogique

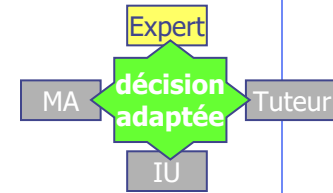


Le module Expert

Modèle *boîte noire*



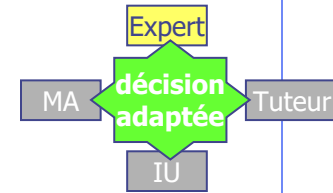
- ◆ On dispose des entrées et des sorties mais pas des explications;
aucun accès à la structure de raisonnement de l'Expert.
 - Exemple: système **SOPHIE** (Brown, Burton) qui utilise le simulateur SPICE de circuits électroniques à l'aide d'un modèle mathématique.
Il travaille sur un ensemble d'équations mais ne peut expliquer ses décisions.
 - Le pire exemple: raisonnement intégré dans la structure du programme!
- ◆ Le tuteur devient alors réactif («vrai», «faux», «faire ceci»)
- ◆ Ce qu'il faudrait: pouvoir interrompre l'apprenant
- ◆ et expliquer la difficulté observée et l'intervention sélectionnée.
 - NÉCESSITÉ d'accéder au **raisonnement interne** pour expliquer les erreurs



Le module Expert

Modèle *boîte de verre*

- ◆ Systèmes experts
- ◆ Construction par cognitiens et experts du domaine;
Formalisation des concepts, tests, raffinements
 - Représentation articulée de la connaissance à la base de l'expertise
- ◆ Possibilité d'incorporer l'expertise pédagogique
 - Ex: GUIDON (Clancey, 1979 ou 1983) – *voir page suivante*
 - ◆ basé sur MYCIN (diagnostic des maladies infectieuses) (450 règles)
 - ◆ règles définies sur les différences entre l'expert et l'étudiant.



Le module Expert

Exemple de règle dans GUIDON

SI

- l'infection qui nécessite des soins est une méningite
- des organismes n'ont pas été vu dans les cultures
- le patient n'a pas de blessures à la tête
- l'âge du patient est entre 15 et 55 ans

Règle du domaine
(de MYCIN)

ALORS

- les organismes susceptibles de causer l'infection sont des *pneumoniae-diplococcus* (.75) et méningite-neisserria (.74)

SI

- Le nombre de facteurs apparaissant dans le domaine des réponses de l'étudiant est zéro
- le nombre de sous-buts restant à déterminer avant que la règle soit appliquée est égal à 1

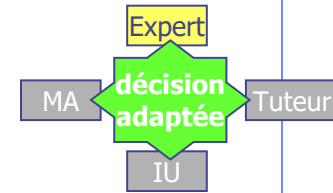
ALORS

- dire : suggestion du sous-but
- discuter le sous-but avec l'étudiant dans un mode directif
- ouvrir la discussion sur le domaine

Règle pédagogique
(de GUIDON)

Le module Expert

Modèles cognitifs



◆ Buts :

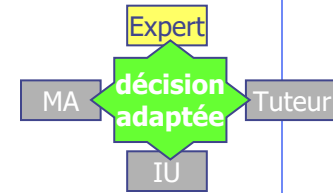
- simuler la résolution humaine d'un problème pour un domaine
- s'appuyer sur une théorie de la cognition
- décomposer et organiser la connaissance de manière communicable par un tuteur.
- s'appuyer sur le modèle de tutorat humain
- **Point faible :**
 - ◆ **demandent du temps à réaliser, des ressources d'ordinateurs importantes et des techniques avancées** (Ex: diagnostic par réseaux bayesiens, traitement de la langue naturelle)
- **Point positif :**
 - ◆ beaucoup de progrès en science cognitives, machines plus puissantes

◆ Quels détails, quels composants psychologiques sont nécessaires ?

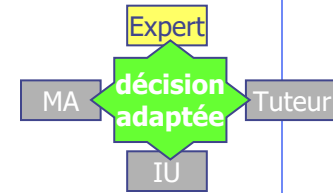
- Différents types de connaissances à considérer :
 - ◆ procédurales
 - ◆ déclaratives

◆ Autre modèle : modèles qualitatifs (voir les travaux de FORBUS)

STI basés sur la théorie ACT = Tuteurs cognitifs



- ◆ Selon la théorie de cognition humaine (ACT-R) de Anderson :
 - “L'acquisition des habiletés cognitives se réalise par les règles de production”
- ◆ *Geometry Tutor* et *Lisp Tutor* découlent de cette théorie
- ◆ Se comportent comme des guides de résolution de problème.
- ◆ Utilisation de la technique de traçage (analyse étape par étape du raisonnement de l'étudiant à partir de règles de production réparties en deux sous-ensembles (correctes ou erronées)).
- ◆ Intervention immédiate en cas de problème, car selon les auteurs, la correction différée d'une erreur est beaucoup plus coûteuse en temps.



Connaissances : base de l'Expert

◆ Connaissances procédurales

- ◆ Dérive de l'usage des systèmes experts => basé sur des règles si ...alors ...
- ◆ Il est possible de représenter l'état des connaissances de l'étudiant par la collection ou les séquences de règles utilisées (telles que reconnues par le STI).

◆ Connaissances déclaratives

- ◆ Sous forme de faits
 - Ex: un angle droit vaut 90°

Cognitive Algebra I Tutor (Carnegie Learning)

Task

A rock climber is currently on the side of a cliff 67 feet off the ground. She can climb on average about two and one-half feet per minute.

- 1 When will she be 92 feet off the ground?
- 2 In twenty minutes, how many feet above the ground will she be?
- 3 In 75 seconds, how far above the ground will she be?
- 4 Ten minutes ago, how far above the ground would she have been?

Step: Label a column

Step: Fill in a cell

Step: Define an axis

Step: Enter an equation

Step: Divide both sides

Step: Plot a point

The screenshot displays the Cognitive Algebra I Tutor interface with several windows and callouts:

- Scenario Window:** Contains the problem text and four questions.
- Solver Window:** Shows the equation $25 = 2.5T$ and the result $10 = T$. A callout points to the division step: "Divide both sides by 2.5".
- Skills Window:** Lists skills with progress bars: "Entering a given identifying units", "Finding X, any form", "Writing expression, any form", "Placing points", "Changing axis intervals", and "Changing axis bounds".
- Worksheet Window:** Contains a table with columns for "CLIMBING TIME" and "HEIGHT ABOVE GROUND".
- Graph Window:** Shows a coordinate plane with "FEET" on the y-axis and "MINUTES" on the x-axis. A point is plotted at (10, 92). A callout points to this point: "Step: Plot a point".

Quantity Name	CLIMBING TIME	HEIGHT ABOVE GROUND
Unit	MINUTES	FEET
Expression	T	$67 + 2.5T$
Question 1	10	92
Question 2	20	117
Question 3	1.25	70.125
Question 4	-10	42

Paint Plotting

Kurt VanLehn ©

SQL-Tutor (Addison Wesley)

Task

Change Database New Problem History Student Model Run Query Help Log Out

Problem 30

List the titles and numbers of all movies that have won at least one Academy Award and have been made in or after 1988.

Almost there - a few mistakes though. One of them is in the FROM clause. You can correct your query and press 'Submit' again, or try getting some more feedback.

SELECT

title, number

Step

FROM

movies

Step

WHERE

aawon>1 and year>=1988

Step

GROUP BY

HAVING

Submit!

Feedback

ORDER BY

Feedback Level

Hint

Submit Answer

Reset

Would you like to have another go?

Schema for the MOVIES Database

The general description of the database is available [here](#). Clicking on the name of a table brings up the table details. Keys in the attribute list are underlined, foreign keys are in *italics*.

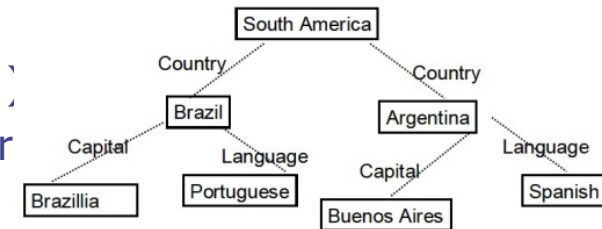
The database that the problem refers to

Table Name	Attribute List
<u>DIRECTOR</u>	<u>number</u> lname fname born died
<u>MOVIE</u>	<u>number</u> title type aanom aawon year critics <i>director</i>
<u>STAR</u>	lname fname <u>number</u> born died city
<u>CUSTOMER</u>	lname fname <u>number</u> address rentals bonus jdate
<u>TAPE</u>	<u>code</u> <i>movie</i> pdate times <i>customer</i> hiredate
<u>STARS_IN</u>	<i>movie</i> <u>star</u> role

Connaissances (suite)

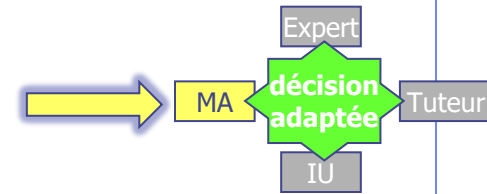
◆ Plusieurs formalismes pour organiser les connaissances du domaine (voir formalisme en IA)

- ◆ Réseaux sémantiques (comme dans SCHOLAR:)
- ◆ Système de production de règles (Algebra Tutor)
- ◆ Scripts (comme dans WHY)
 - Les noeuds representent les processus et les événements, les relations entre ces noeuds (ex: *X active Y* ou *X cause Y*)
 - Chaque noeud peut avoir une hiérarchie enchevêtrée de sous-scripts.
- ◆ réseau de procédures (comme dans BUGGY)
 - Détermine quels buts/sous-procédures possède l'apprenant par comparaison des résultats du réseau vs. l'état des connaissances de l'apprenant.
 - Introduction de connaissances défectueuses dans le réseau;
 - Si le réseau en vient à prédire correctement les erreurs commises, les connaissances défectueuses sont attribuées à l'apprenant.



◆ Pour un STI,

- Nécessité d'une typologie plus fine des connaissances pour des fins d'apprentissage (Taxinomie de Gagné, de Bloom, de Merrill...)
- Nécessité de préciser (d'explicitier) les buts et les activités d'apprentissage (créer un curriculum). Ex: CREAM



Modélisation de l'apprenant

- ◆ Il représente l'état courant de l'apprenant.
- ◆ L'évaluation de cet état s'apparente à un processus de diagnostic médical.
- ◆ Ce module est consulté périodiquement par le tuteur et l'expert pour déterminer le focus de la formation.
 - Modèle cognitif
 - Modèle affectif
 - Modèle inférentiel (comment on peut utiliser les autres modèles pour diagnostiquer)
- ◆ Le modèle cognitif est souvent de type superposition (***overlay***)
 - les connaissances de l'apprenant sont alors considérées comme formant un sous-ensemble de celles de l'expert.)
- ◆ Inférence de la compréhension (état des connaissances) de l'apprenant ==> **diagnostic**

Le modèle cognitif de l'apprenant: Les approches

- ◆ **Par recouvrement** : identification des connaissances déclaratives (factuelles ou procédurales) possédées
 - Connaissances de l'étudiant = sous-ensemble des connaissances de l'expert
 - Ex: Guidon, Scholar, WUSOR II

- ◆ **Prédictive** : reconnaissance des plans (→ buts) poursuivis
 - Analyse (trace) des entrées de l'apprenant pour déterminer ses plans, ses connaissances et son raisonnement
 - Selon les buts supposés,
 - ◆ l'agent tutoriel adapte ses interventions
 - ◆ l'agent ajuste ses inférences sur les connaissances probablement en cours d'utilisation.
 - Ex: Buggy, Andes

Le modèle cognitif: L'approche par recouvrement

- ◆ Le recouvrement (*overlay*) est l'approche la plus courante pour les domaines "à base de connaissances"
- ◆ 2 des 3 variantes de la superposition: simple et perturbation (*buggy*)

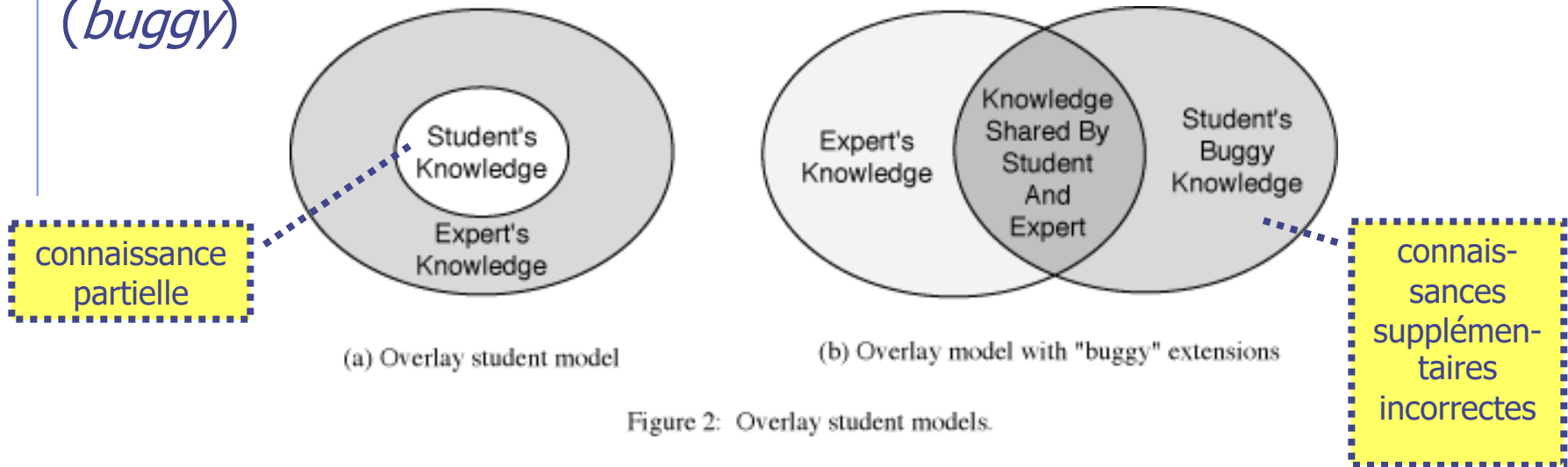
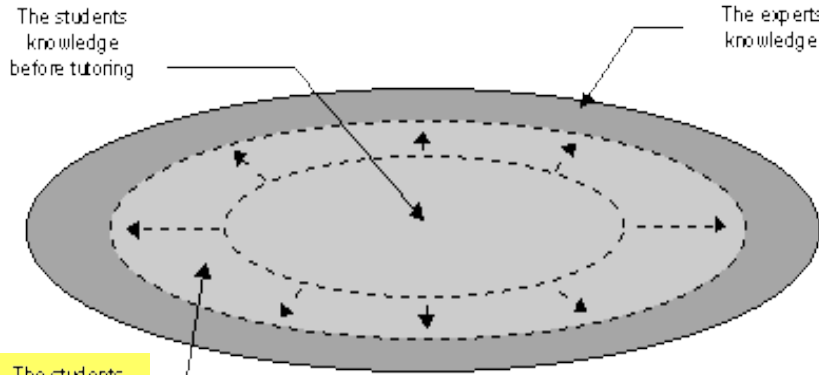


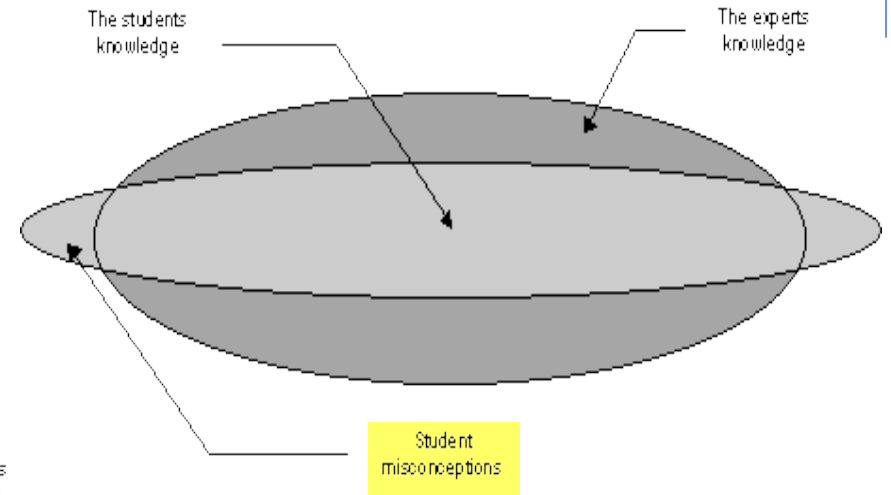
Figure 2: Overlay student models.

- ✓ (a) suppose que l'apprenant n'apprend rien d'autres que le savoir prévu, et qu'il l'apprend correctement...
- ✓ Dans (b), le stockage de l'information sur les connaissances erronées ou manquantes de l'apprenant permettent une meilleure adaptation de l'enseignement.

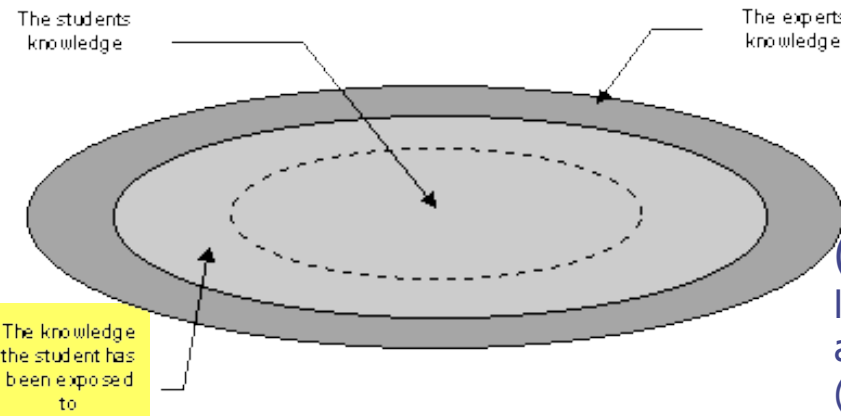
Le modèle cognitif: Les 3 variantes du recouvrement



(a) Recouvrement simple



(b) Recouvrement avec perturbations (*buggy*)



(c) Recouvrement différentiel: on garde la trace sur les connaissances qui n'ont pas été acquises mais auxquelles l'étudiant a été exposé (explicitement ou implicitement).

Exemple de règle tutorielle pour la mise à jour du modèle de l'apprenant dans Guidon (/MYCIN)

◆ T-RULE 6.05

■ IF

- ◆ (1) The student's hypothesis does include values that can be concluded by this domain rule, **as well as others**, and
- ◆ (2) The hypothesis does **not** include values that can **only** be concluded **by this domain rule**, and
- ◆ (3) Some other values concluded by this domain rule **are missing** from the hypothesis

Règle
Tutorielle

■ THEN

- ◆ Define the belief that the domain rule was considered by the student to be -0.70.

Ex: BUGGY et La modélisation procédurale

- ◆ Modèle du domaine: réseau procédural découpé en sous-habilités.
 - Chaque sous-habilité inclut des variations erronées.
- ◆ Modèle de l'apprenant (recouvrement sur le domaine)
 - ✓ Contient un modèle pouvant refléter l'idée que se fait l'étudiant du processus de résolution d'une tâche arithmétique.
 - ✓ Buggy applique les procédures erronées pour tenter de reproduire le résultat de l'apprenant et ainsi trouver quelle mauvaise procédure il a intégré.
 - ✓ Algorithme de diagnostic
 - 1) BUGGY sélectionne une règle erronée (Ex: problème de retenue)
 - 2) L'étudiant essaie de proposer des problèmes
 - 3) BUGGY les résout (en appliquant la règle erronée)
 - 4) L'étudiant diagnostique le problème (indique la règle erronée en cause)
 - 5) BUGGY lui soumet des problèmes pour voir si l'étudiant arrive à prédire la réponse (en appliquant la règle erronée)
- ◆ Le réseau et l'algorithme de diagnostic représente le **savoir pédagogique** requis pour reconnaître et corriger les erreurs dans la procédure de l'apprenant.

BUGGY: Exemple d'interaction

- ◆ Objectif: identifier les mauvaises compréhensions de l'apprenant sur la procédure à suivre (l'erreur conceptuelle appliquée par l'apprenant)
- ◆ Démarche: Dans l'interaction, l'étudiant doit ici prédire les règles erronées appliquées dans une opération.

BUGGY: Welcome to Buggy.
I have chosen a bug. Here is an example of the bug.

$$\begin{array}{r} 17 \\ + \quad 5 \\ \hline 13 \end{array}$$

Now you can give me problems to determine the bug.

Users:

$$\begin{array}{r} 18 \\ + \quad 6 \\ \hline 15 \end{array} \quad + \quad \begin{array}{r} 43 \\ 79 \\ \hline 23 \end{array}$$

BUGGY:

Users: Got the bug!

BUGGY: Please describe the bug.

Users: Student adds the number to be carried into the last column worked in.

BUGGY: Exemple d'interaction (2)

BUGGY: Here are some problems to test your theory about the bug. What is:

$$\begin{array}{r} \text{Users:} \\ + \quad 21 \\ \hline \quad 39 \\ \hline \quad 51 \end{array}$$

BUGGY: That's not the bug I have. Using my bug:

$$\begin{array}{r} + \quad 21 \\ \hline \quad 39 \\ \hline \quad 15 \end{array}$$

Try giving me some more examples.

$$\begin{array}{r} \text{Users:} \\ + \quad 51 \\ \hline \quad 99 \\ \hline \quad 1707 \end{array} \qquad \begin{array}{r} + \quad 99 \\ \hline \quad 36 \end{array} \qquad \begin{array}{r} + \quad 68 \\ \hline \quad 9 \\ \hline \quad 23 \end{array}$$

$$\text{BUGGY:} \quad \begin{array}{r} + \quad 1707 \\ \hline \quad 21 \end{array}$$

BUGGY: Exemple d'interaction (3)

Users: Got the bug!

BUGGY: Please describe the bug you think I have.

Users: The student is adding all the digits together.

BUGGY: Here are some problems to test your theory about the bug. What is:

Users:

$$\begin{array}{r} 33 \\ + 99 \\ \hline 24 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1091 \\ + 60 \\ \hline 17 \end{array} \quad \begin{array}{r} 8 \\ + 34 \\ \hline 15 \end{array} \quad \begin{array}{r} 28 \\ + 70 \\ \hline 17 \end{array} \quad \begin{array}{r} 90 \\ + 6 \\ \hline 15 \end{array}$$

BUGGY: Very good. My description of the bug is:
The student always sums up all the digits with no regard to columns.

Limitations de Buggy :

- ✓ N'offre pas de représentation sémantique des erreurs (quel est le type de difficulté?)
- ✓ Ne permet donc pas des raisonnements et inférences causales (diagnostic de 'surface')

Le modèle cognitif de l'apprenant: Les techniques

◆ Plusieurs formalismes pour implémenter le recouvrement:

- **Réseaux sémantiques** (les nœuds et liens sont ajoutés au fur et à mesure qu'ils sont appris par l'étudiant)
- **Banque des connaissances de l'expert annotée** des déviations que l'on découvre au fur et à mesure de l'interaction avec l'étudiant
- **Ensemble des compétences** acquises par l'étudiant
 - ◆ Les compétences sont construites sur les éléments de connaissance du domaine
 - ◆ Elles indiquent clairement l'habileté de l'étudiant à utiliser cette connaissance.
 - Ex: **Résoudre** un système d'équation
- **Réseaux bayesiens**
 - ◆ permet un **raisonnement probabiliste** sur l'état des connaissances de l'étudiant en tenant compte des évidences notées lors de ses interactions avec le tuteur.
 - ◆ Chaque nœud du réseau a une valeur qui indique la probabilité que l'étudiant connaisse l'élément de connaissance concerné.
- **Systèmes à base de règle de production**
 - ◆ Déduction et stockage des règles appliquées par l'apprenant
 - ◆ Traçage de modèle et des connaissances (fonction du tuteur)

◆ Construction de modèles de prédiction (classification, régression, regroupement)

- Inférence du profil initial, détection des patrons comportementaux, inférence des états mentaux, reconnaissance de plans et de stratégies...

Construire le MA: difficultés et limitations

◆ Certitude sur les connaissances possédées:

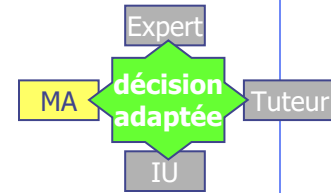
- Une réseau sémantique, une liste des déviations ou des compétences indiquent tous les éléments possédés par l'apprenant.
 - ◆ La planification du cours en dépend
 - ◆ Les interventions tutorielles peuvent aussi en dépendre
- Mais... ce sont en fait un recueil des *croyances* du tuteur sur les connaissances de l'apprenant (**hypothèses du tuteur**)
- Quelle est la *certitude de ces croyances*?
 - ◆ mal-perception, confusion, hypothèses fausses, biais d'évaluation, etc....

◆ Pour planifier les interventions pédagogiques:

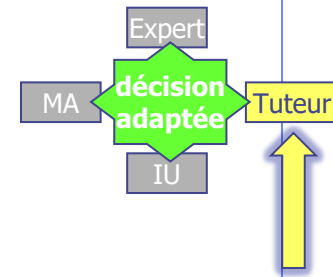
établir la cause des succès et des erreurs (**pas simple en effet...**)

- Si l'étudiant pose une action, quelle certitude a-t-on qu'il possède les connaissances sous-jacentes? *Laquelle des connaissances a joué le plus?*
- Si une notion semble défectueuse et dépend de plusieurs connaissances sous-jacentes, *laquelle cause la défaillance?*

Modélisation de l'apprenant: Aspects affectifs

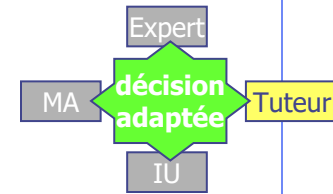


- ◆ Le modèle affectif permet le stockage
 - des **préférences** de l'étudiant
 - de son **profil psychologique**
 - de son **état émotionnel** et/ou **motivational** (état conatif)
- ◆ Ces informations peuvent varier selon le contexte
 - Préférences
- ◆ Elles peuvent aussi évoluer dynamiquement
 - État émotionnel
 - Motivation, Humeur.
- ◆ Le tuteur utilise ces informations pour adapter l'interaction avec l'étudiant
 - Sélection et séquençement du contenu à présenter
 - Choix des ressources appropriées pour la présentation
 - Choix du mode de communication (dialogue socratique, indices, présentation,...)
 - Approche pédagogique ou tutorielle
 - ◆ Exemple: « Issues and Possibility Approach » dans le mode entraînement (*coaching*)



Le module tuteur

- ◆ Selon Wenger, lorsque l'apprentissage est vu comme une succession de transitions entre des états de connaissances, le but du tuteur est de faciliter le parcours de l'étudiant dans l'espace d'états. Wenger (p. 365)
 - ◆ Le tuteur devra alors considérer (utiliser) l'état courant des connaissances de l'étudiant et supporter la transition vers un nouvel état des connaissances.
 - ◆ Objectif général
 - Disposer du savoir et savoir faire pour :
 - ◆ séquencer et présenter le contenu
 - ◆ répondre aux questions et expliquer le contenu
 - ◆ suivre le raisonnement de l'apprenant
 - ◆ décider s'il doit y avoir intervention
 - ◆ fournir l'aide, guider et remédier
- étant donné les états cognitif, affectif et conatif actuels de l'apprenant.

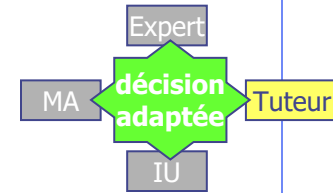


Le module tuteur

- ◆ De manière plus spécifique,
 - Le tuteur contient les stratégies pédagogiques.
 - Il doit choisir et planifier les activités à présenter à l'étudiant, lui fournir des explications adaptées et déterminer quand et comment intervenir.

- ◆ Plusieurs stratégies possibles : entraîneur, perturbateur, critique...

- ◆ Le tuteur s'appuie (devrait) sur des approches éducatives appropriées (ou **stratégies tutorielles**) pour prendre ses décisions



Les stratégies tutorielles

◆ Définissent la situation dans laquelle aura lieu l'apprentissage

◆ Exemples:

- Entraînement (*Coaching*)

- ◆ Offrir à l'apprenant des conseils et le guider lorsqu'il s'éloigne de la solution

- Enseignement ou Apprentissage socratique

- ◆ Articulation sur les éléments de connaissances du domaine pour amener à identifier les règles de niveau supérieur et les concepts (*un exemple sera donné dans quelques diapositives*)

- Apprentissage exploratoire

- Apprentissage par perturbation

- Apprentissage par auto-explication

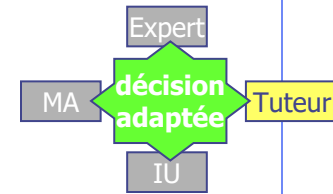
- Apprentissage par la pratique (*learning by doing*)

- Apprentissage par problèmes (*problem-based learning*)

- ...

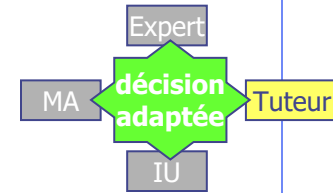
◆ [Plusieurs scénarios de base offerts par IMS](http://www.imslobal.org/learningdesign/ldv1p0/imsld_bestv1p0.html#1501891)

- http://www.imslobal.org/learningdesign/ldv1p0/imsld_bestv1p0.html#1501891



L'entraînement (*coaching*)

- ◆ Différents degrés et systèmes d'aide
 - Systèmes avec aide simple : **la plupart**
 - **Assistance** planifiée dans un curriculum simple mais dérivant d'une analyse cognitive de tâches. Ex: Sherlock
 - **Outils de réflexion** : encourage l'étudiant à réfléchir sur ses activités de résolution
 - ◆ Ex: Tuteurs cognitifs (GeometryExplanationTutor)
 - **Environnement réactifs** : répond aux actions de l'étudiant (SOPHIE I)
 - **Systèmes de modélisation** : modélise pour l'étudiant l'activité d'un expert (SOPHIE II)
 - **Systèmes de surveillance** : surveille et interrompt l'étudiant s'il s'écarte de la solution.
- ◆ Nécessite une modélisation efficace de l'activité
 - Graphe de tâches, Espace problème, IMS



L'expertise tutorielle

◆ L'encodage de l'expertise tutorielle

- Fondé su un modèle cognitif: Implémentation d'une théorie cognitive inspirante
 - ◆ Comme un Système à base de règle de production par exemple.
- Fondé sur des modèles d'apprentissage machine
- Inspiré des théories pédagogiques et d'apprentissage
 - ◆ Gagné, Bloom. Merrill, Collins, etc.
 - ◆ Implémenté sous forme de règles ou d'ontologie (ex: OMNIBUS).

Exemple de règle tutorielle socratique

SI



L'étudiant donne une explication d'un ou plusieurs facteurs qui est insuffisante

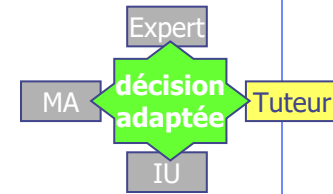
ALORS



Formuler une règle générale pour démontrer que les facteurs sont suffisants.



Demander à l'étudiant si la règle est vraie.



Exemple de dialogue tutoriel de type socratique

WHY: Pensez-vous que la jungle d'Amazonie a des pluies fortes ou légères ?
(**demande de prédiction d'un cas particulier**)

Étudiant: des pluies fortes.

WHY: Pourquoi l'Amazonie a-t-elle de fortes pluies ?

Étudiant: Parce que c'est près de l'Atlantique.

WHY: Oui, l'Amazonie est près de l'Atlantique équatoriale. Comment cela affecte-t-il les pluies dans la jungle d'Amazonie ?
(**demande de la cause**)

Étudiant: L'eau des courants est chaude.

....

WHY: Pensez-vous que tous les endroits avec montagnes ont de fortes pluies ?
(**formation d'une règle générale**)

Étudiant: Oui.

WHY: la Californie du sud a des montagnes. Pourquoi n'a-t-elle pas de fortes pluies ?
(**choix d'un contre-exemple pour une cause insuffisante**)

Autres modules possibles d'un STI

◆ Planificateur (Instructional planner)

- À plusieurs niveaux d'abstraction:
 - ◆ Planification du contenu
 - Cours pour un public cible (étant donné un besoin de formation et un curriculum)
 - Prochaine leçon à entreprendre, prochaine compétence à viser, ...
 - ◆ Planification de la présentation
 - Sélection des activités et des ressources pertinentes
 - Choix du mode de présentation
 - Contrôle de la présentation

◆ Curriculum associé au domaine d'apprentissage

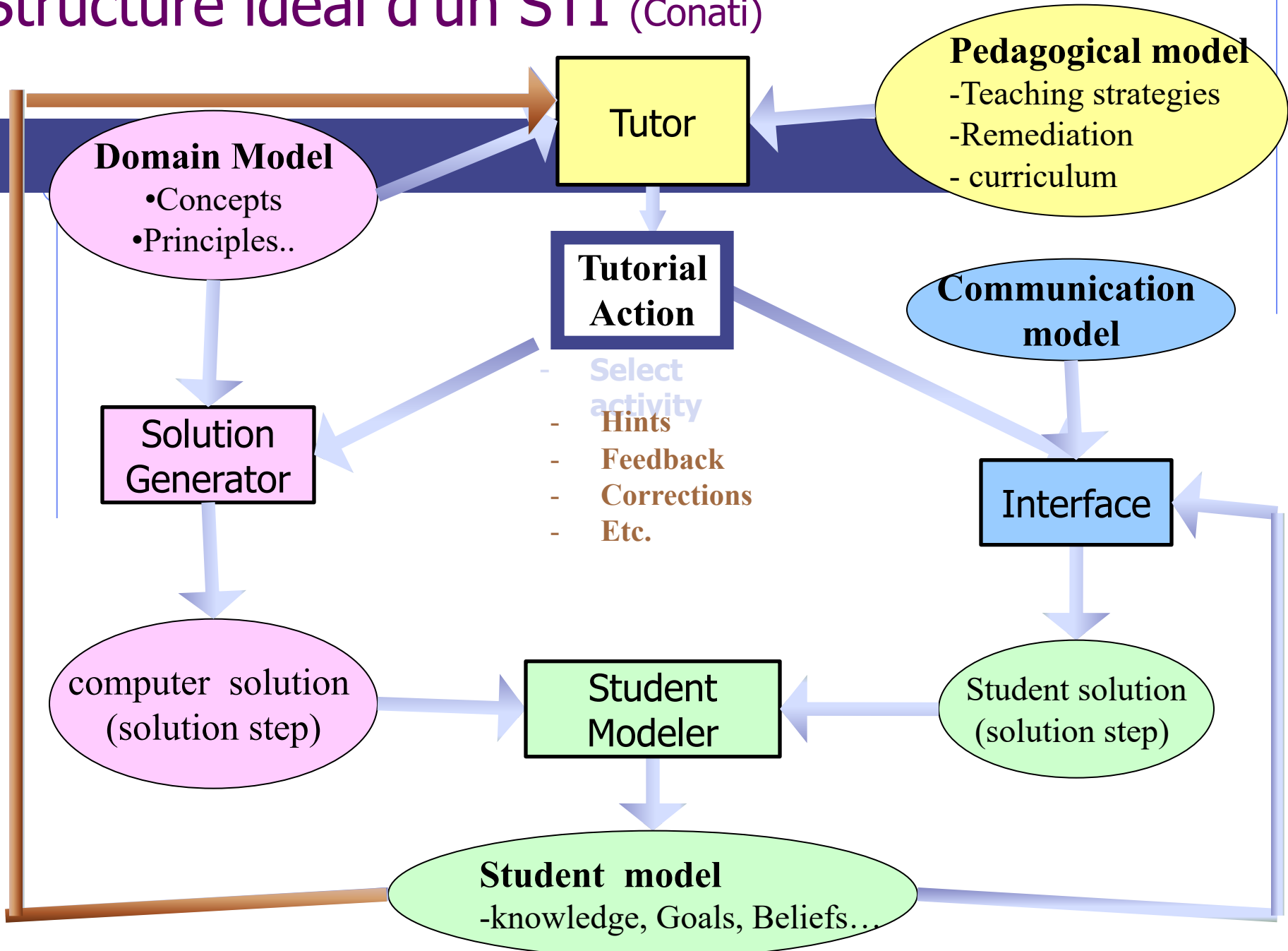
- Permet de définir les buts d'apprentissage
- Permet de définir les ressources d'apprentissage

◆ Gestionnaire de dialogue en langage naturel (ex: ATLAS)

◆ Agents pédagogiques intelligents

- Spécialisés dans des stratégies tutorielles particulières
 - ◆ Perturbateur (*TroubleMaker*), Co-apprenant, Co-tuteur, Coach...

Structure ideal d'un STI (Conati)



Principe de fonctionnement général

Mis en œuvre à travers la double-boucle de Van-Lehn

◆ Outer loop

- How to select the next task
- How to obtain a large set of tasks to select from

◆ Inner loop

- Designed to help students learn: Scaffolding
- Common services (covered in this talk)
 - ◆ Minimal feedback (correct/incorrect) on a step
 - ◆ Error-specific feedback on an incorrect step
 - ◆ Hints on the next step
 - ◆ Assessment of student's knowledge.
 - ◆ Review of the student's solution
- Tutor-specific services
 - ◆ E.g., physically impossible views of an underwater robot
- Warning: Any service can be misused!
 - ◆ Often called "gaming the system"

Problèmes et résultats

STI cher à développer ?

Non, une fois l'environnement de développement construit (plusieurs STI peuvent alors être produits)

(exp: Algebra, Geometry, Lisp tutors à Carnegie-Mellon)

Développement trop long ?

Non, 2 personnes/an en moyenne, temps se réduisant avec l'aide des systèmes experts.

Systèmes non efficaces ?

- Non, expérience à Carnegie-Melon : STI permet une amélioration de la qualité des résultats de 43%, et la réduction du temps d'apprentissage de 30%
- Algebra Tutor (Koedinger, Anderson et al.)
 - Utilisé dans plus de 1000 écoles aux EU
 - Tuteur cognitif basé sur ACT-R

Problèmes à résoudre

- ◆ Nos connaissances sont insuffisantes
 - pour **modéliser l'apprenant**
 - au sujet du **raisonnement**
 - ◆ Intégration du CBR à plusieurs niveaux
 - au sujet du **processus d'apprentissage**
 - ◆ Intégration des théories qui prennent en compte ce processus
 - sur l'utilisation du multi-média
 - ◆ ex.: un mannequin aide-t-il vraiment à apprendre?
 - ◆ Réalité virtuelle (entraînement dans des environnement virtuelle permettant une immersion): Lewis Johnson (USC), Frasson (Virtual Age Inc. à Montréal)
- ◆ Résistance des écoles publiques
 - Convaincre les gestionnaires et les enseignants
- ◆ Besoin d'intégration de STI dans des curriculums existants et dans les organisations
 - L'exemple de Algebra-Tutor (US Dept. of Ed.)
 - *Just In-Time and Just Enough Learning* (Pour les organisations)

Principales implications des recherches en AIED

- ◆ Développement de mécanismes d'intelligence artificielle qui modélisent le processus de pensée de :
 - l'expert du domaine
 - du tuteur
 - de l'étudiant
- ◆ Communication de connaissances basée sur des modèles pédagogiques appropriés
- ◆ Développement d'environnements intelligents (laboratoire d'expérimentation)
 - Par exemple pour assurer
 - La reconnaissance des intentions de l'étudiant
 - L'aide et le conseil à l'étudiant
 - La découverte et la construction de connaissance par l'apprenant

Expériences pratiques

◆ The F-16 Maintenance Skills Tutor

- By Christopher Marsh. The Edge - The MITRE Advanced Technology Newsletter (March 1999).

"How do you keep technicians trained to repair systems that are highly reliable? ... With the downsizing of the Air Force, **there are fewer technicians per aircraft and many of the experienced technicians are retiring leaving fewer people to train novices.** In response to this need, research was performed in two areas: **cognitive task analysis techniques to capture troubleshooting strategies used by experts and novices, and intelligent tutoring systems** that take the results of the cognitive task analysis to provide a practice environment for working authentic troubleshooting problems while coaching the student with hints and feedback. The result of this research is the F-16 Maintenance Skills Tutor. Using this type of tutor for **20 hours is equivalent to 3.5 to 4 years of experience** on the flight line."

- Équivalent de SHERLOCK (U. de Pittsburg) aussi pour les F16

Deux systèmes développés au GDAC

- ◆ CanadarmTutor (RomanTutor)
- ◆ MUSE-Logique (Prolog-Tutor)

Canadarm(Roman) Tutor

- Motivations

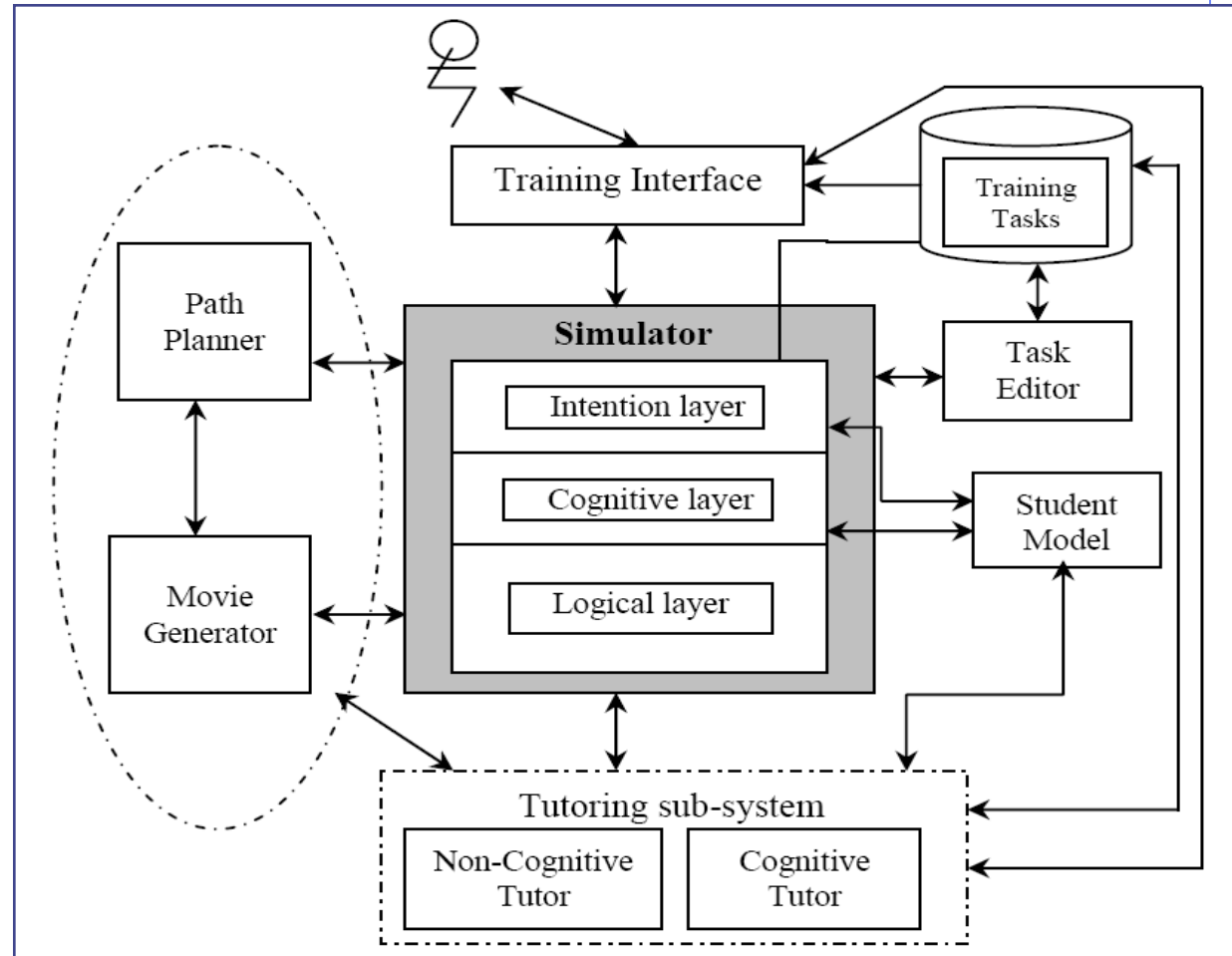
- Manipulation contraignante du télémanipulateur *Canadarm2*.
- Environnement riche observé en temps réel
- Entraînement coûteux en ressources.
- Aucun système autonome d'entraînement à distance



Roman Tutor

Un STI pour
l'entraînement
des Astronautes
à la manipulation
du bras robotisé
Canadarm II

L'usage de
CanadarmII pour
la réalisation des
tâches
d'inspection de la
station et de
déplacement de
charge est une
activités très
DIFFICILE ...



Architecture de RomanTutor

Roman Tutor - Environnement d'entraînement

The screenshot displays the Roman Tutor V1.0 interface. At the top, there is a menu bar with 'Fichier', 'Task', 'Difficulty Level', 'Mode', 'Ask', and 'Tools'. Below the menu bar, there are status indicators for 'FOR ON/OFF', 'ZONE ON/OFF', 'TRACE ON/OFF', 'COLLISION ON/OFF', and 'PROX ON/OFF'. The main area is divided into three camera monitors, each with a 'Select Camera' button and a camera name: 'US_Lab_Top', 'SP_Right_Front', and 'SP_Left_Front'. Each monitor has a 'Dolly' slider and 'RotX RotY' indicators. Below the monitors is a table with columns for 'Action', 'Applied to', 'Result', 'Collision Details', and 'Proximity Details'. The table contains seven rows of movement data.

Action	Applied to	Result	Collision Details	Proximity Details
Movement	SP	[311.316697 , 434.308316 , -126.593487]		
Movement	SP	[311.442047 , 430.251090 , -126.596123]		
Movement	SP	[311.516403 , 426.192608 , -126.598024]		
Movement	SP	[311.539752 , 422.133513 , -126.599188]		
Movement	SP	[311.512092 , 418.074444 , -126.599615]		
Movement	SP	[311.433426 , 414.016044 , -126.599306]		
Movement	SP	[311.303767 , 409.958952 , -126.598260]		

◆ Chaque moniteur est associé à une caméra (sélectionnée parmi les 14 disponibles)

◆ Chaque Caméra peut être manipulée (rotation, zoom, etc.)

◆ CanadarmII est utilisé en deux modes : joint par joint / FOR (end effector)

Roman Tutor - Environnement d'entraînement (suite)

Windows title bar: Roman Tutor V1.0, Started: 5:43:37, Now: 5:45:15

Menu bar: Fichier Task Difficulty Level Mode Ask Tools

Toolbar: FDR ON/OFF, ZONE ON/OFF, TRACE ON/OFF, COLLISION ON/OFF, PROX ON/OFF

Three 3D views of a robotic arm in a simulated environment. Each view has a toolbar with icons for navigation and control.

Camera selection buttons: US_Lab_Back, SP_Right_Front, SP_Left_Front

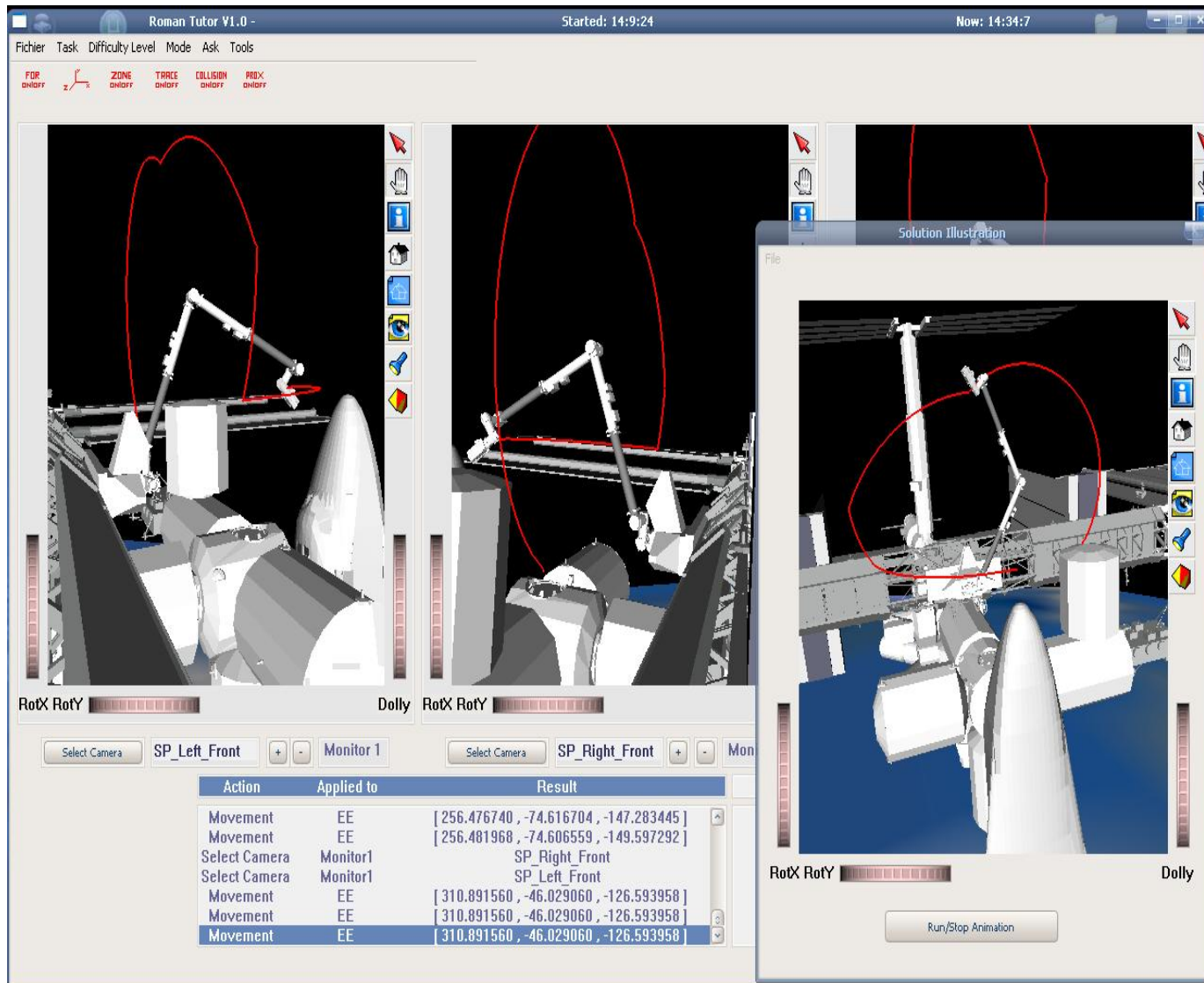
Action	Applied to	Result	Collision Details	Proximity Details
Select Camera	Monitor1	US Lab Back		
Movement	WE	[30.642848, -244.362634, -500.120911]		

- ◆ Tâche:
Déplacement du robot d'une configuration à une autre
- ◆ Espace problème:
nombre infini de chemins possibles
- ◆ Roman Tutor doit guider l'apprenant durant l'exécution de la tâche

RomanTutor : Domaine mal défini ?

- ◆ Plusieurs façons de résoudre un problème de déplacement du bras
- ◆ Une tâche qui requière de la créativité de la part de l'apprenant (connaissance de l'environnement, estimation des distances etc.)
- ◆ Les solutions sont multiples.
- ◆ Les processus de résolution varient. DONC, même problème et différentes façons de le résoudre (peuvent dépendre du profile de l'utilisateur)
- ◆ Comment supporter l'astronaute durant son entraînement dans un tel domaine ?

RomanTutor 1.0 : recours à un planification de chemin basé sur un échantillonnage aléatoire de l'espace



◆ L'apprenant peut demander de l'aide à tout moment lors de l'exécution de la tâche

◆ FADPRM path-planner est sollicité pour calculer un chemin à partir de la configuration courante.

◆ En utilisant les service de FADPRM path-planner, RomanTutor

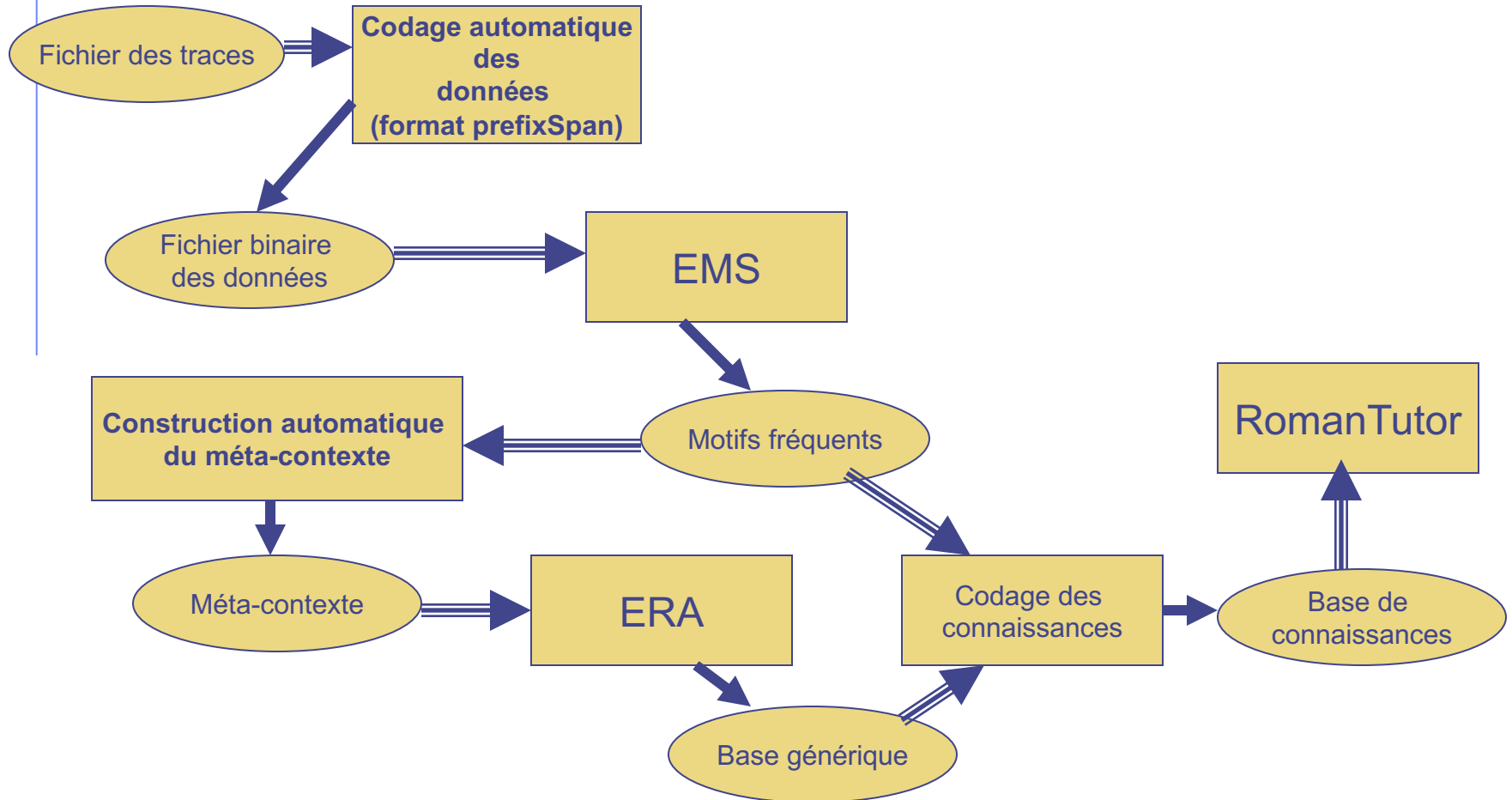
- Valide les action de l'apprenant
- Donne des indices sur les prochaines actions possibles
- Génère une démonstration de toute ou partie de la tâche (à la demande)

Limites de cette approche

- ◆ Les chemins solutions produites par FADPRM sont parfois:
 - Trop complexe pour un usager humain
 - Loin de ce que l'expert humain aurait suggéré.
- ◆ De plus, FADRM ne permet pas de supporter les services tutoriels suivants :
 - 1) guider l'utilisateur vers les solutions expertes
 - 2) reconnaître le profile de l'apprenant (novice, intermediate or expert) afin d'adapter la retroaction.
- ◆ A solution:
 - Intégrer des données provenant de différents profiles d'utilisateurs
 - Y extraire des informations utiles qui pourraient guidé le planificateur

Une telle approche permettrait une retroaction tutorielle plus adaptée

Solution pour l'extraction des connaissances à partir des traces



Exemple de données dans RomanTutor

155 actions:

- sélection d'une caméra
- [petit, moyen ou grand] mouvement [positif ou négatif] d'un joint,
- Le bras [entre ou sort] d'un EE,
- changement [positif ou négatif] du [zoom] d'une caméra
- [petit, moyen ou grand] mouvement [positif ou négatif] du [pan ou tilt] d'une caméra

Plan P₃₃

```
...
EnterCorridor(CouloirZoneCameraInitiale)
{SelectCamera(Monitor1,CP8),
 SelectCamera(Monitor2,CP10),
  SelectCamera(Monitor3,CP9)}
SelectJoint(WE)
bigMove(WE,decrease)
LeaveCorridor(CouloirZoneCameraInitiale)
smallMove(WE,decrease)
SelectJoint(SP)
smallMove(SP,decrease)
...
```

Actions numérotées de 1 à 155.

- Exemple de plan avec actions numérotés:

2 3 25 46 11 {14 15 16 48} 74

- Exemple de trace codée pour PrefixSpan (un seul plan):

1 -1 2 -1 37 39 38 66 -1 104 -1 15 -1 76 -1 64 -1 100 -1 31 -1 72 -1 118 -1 86 -1 119 -1 72 -1 16 -1 86
-1 8 -1 86 -1 22 -1 72 -1 5 -1 72 -1 7 -1 -2

Extraction de motifs séquentiels fréquents + base générique

PlanID	Sequence of actions
P1	1 2 25 46 48 {9 10 11 31}
P2	1 25 46 54 79 {10 11 25 27}
P3	1 2 3 25 46 48 {9 10 11 31}
P4	46 54 76 {10 27} {48 74}
...	...



SeqID	Frequent Sequence
S1	1 2
S2	25 46 48
S3	46 48 {9 10 11 31}
S4	1 46 {10 11}



Meta-contexte

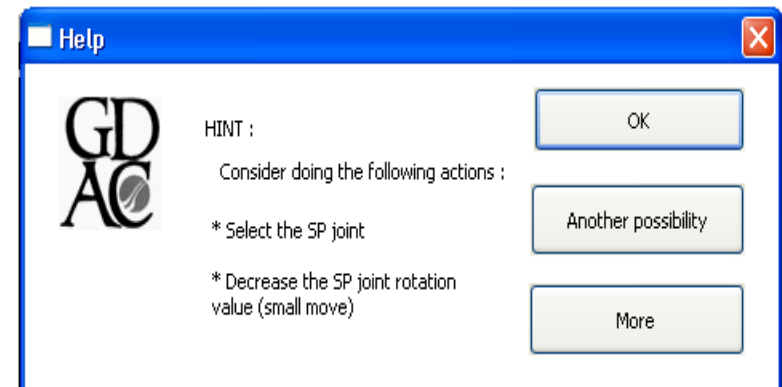
	S1	S2	S3	S4	..	Sn
P1	1	1	1			0
P2	0	0	0	1		0
P3	1	1	1	0		1
P4	0	0	0	0		0



RuleID	Meta-rules
MR1	S1 → S2
MR2	S1 → S3
...	...

Annotations sémantiques : une nécessité

- ◆ Les motifs fréquents sont intéressants et représentent des séquences de cheminement indicateurs de succès ou d'échec
- ◆ Cependant, les services tutoriels supportés par ces règles sont limités:
 - Reconnaissance des plans : identifications de motifs dans les actions de l'apprenant
 - Observation des déviations
 - Rétroaction limitée à l'articulation autour des séquences:
 - ◆ Que puis-je faire maintenant ?
 - ◆ Suis-je sur le bon chemin ?
 - ◆ Etc.



Annotations sémantiques : une nécessité

◆ Pour pallier à cette limitation, nous proposons

- d'annoter les séquences par les éléments de connaissances du domaine
 - ◆ Ex: la sous-séquence X indique une bonne connaissance de A, B, C.
- Possible donc de calculer un profil d'habileté associé à une séquence et donc de:
 - ◆ Vérifier les habiletés des étudiants qui suivent la séquence
 - ◆ Mieux comprendre la cause des écarts en estimant les habiletés qui font défaut
 - ◆ Reconnaître de nouvelles habiletés chez un apprenant.

An MD-Database		
ID	Dimensions	Sequences
1	true, novice	<(0,a),(1,bc)>
2	true, expert	<(0,d) >
3	false, novice	<(0,a),(1,bc)>
4	false, interm.	<(0,a),(1,c), (2,d)>
5	true, novice	<(0,d), (1,c)>
6	true, expert	<(0,c), (1,d)

Mined MD-Sequences	
Dimensions	Sequence
*, novice,	<(0,a)>
*, novice,	<(0,b)>
*, novice,	<(0,c)>
*, novice,	<(0,a), (1,b)>
...	...

(1) Frequent itemset mining

(4) Combine frequent dimension values with frequent sequences

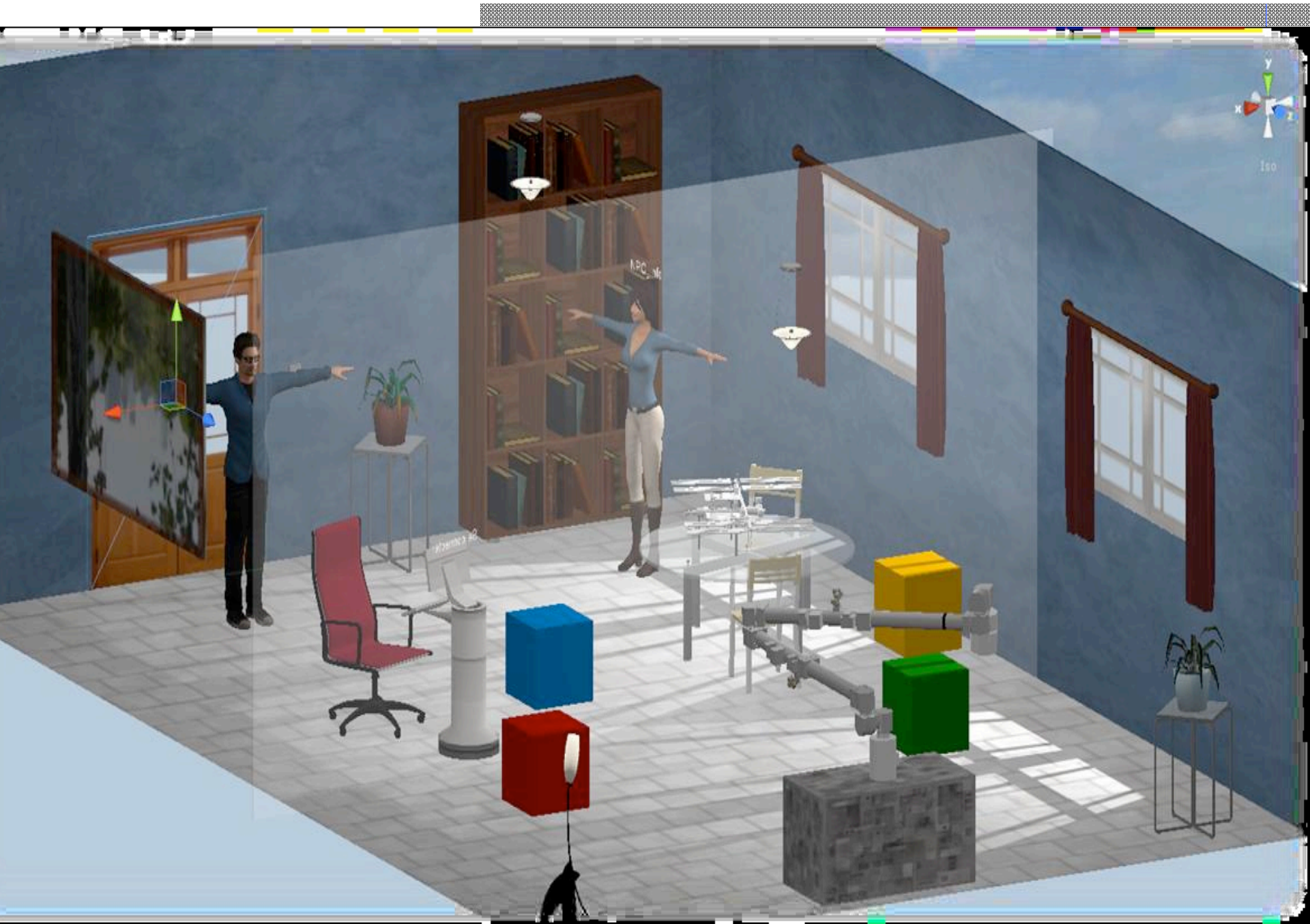
Frequent Dimensions values	Support
*, novice,	50 %
*, *	100 %
true, *	66 %
true, novice	33 %
true, expert	33 %
...	...

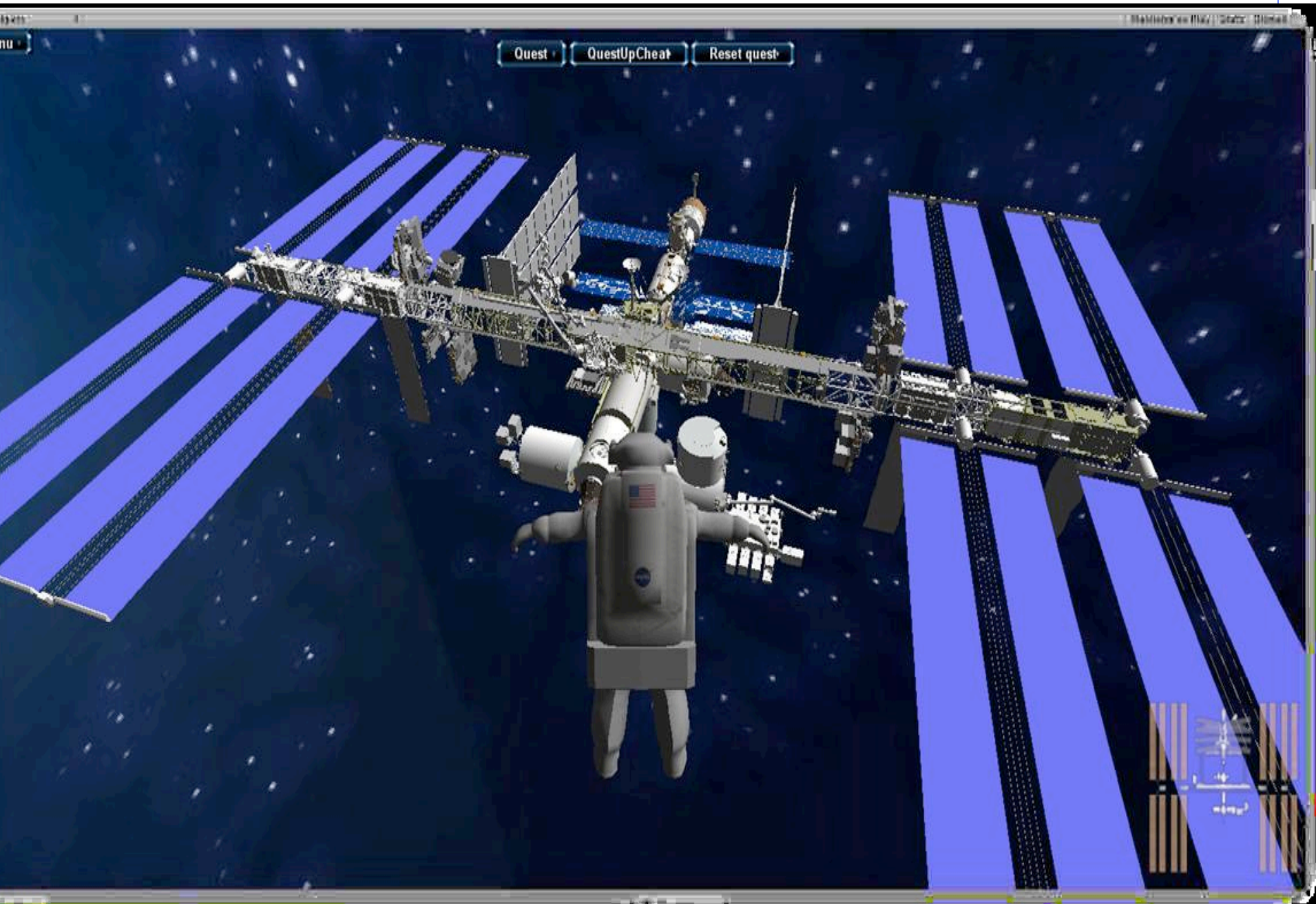
(2) For each set of frequent dimension values, select corresponding sequences

ID	Sequences
1	<(0,a),(1,bc)>
3	<(0,a),(1,bc)>
5	<(0,d), (1,c)>

and (3) apply SPM

Frequent sequences	Support
<(0,a)>	33 %
<(0,b)>	33 %
<(0,c)>	50 %
<(0,a), (1,b)>	50 %
...	...





MUSE Logique:

Un projet de système tutoriel intelligent pour l'enseignement de la logique

Par Serge Robert (UQAM),
Jacqueline Bourdeau (TÉLUQ),
Roger Nkambou (UQAM),
Michel Bélanger (UQAR)

Assistants de recherche: Alexandra Vorobyova, Janie
Brisson, Anne Brel Cloutier, Maxime Sainte-Marie

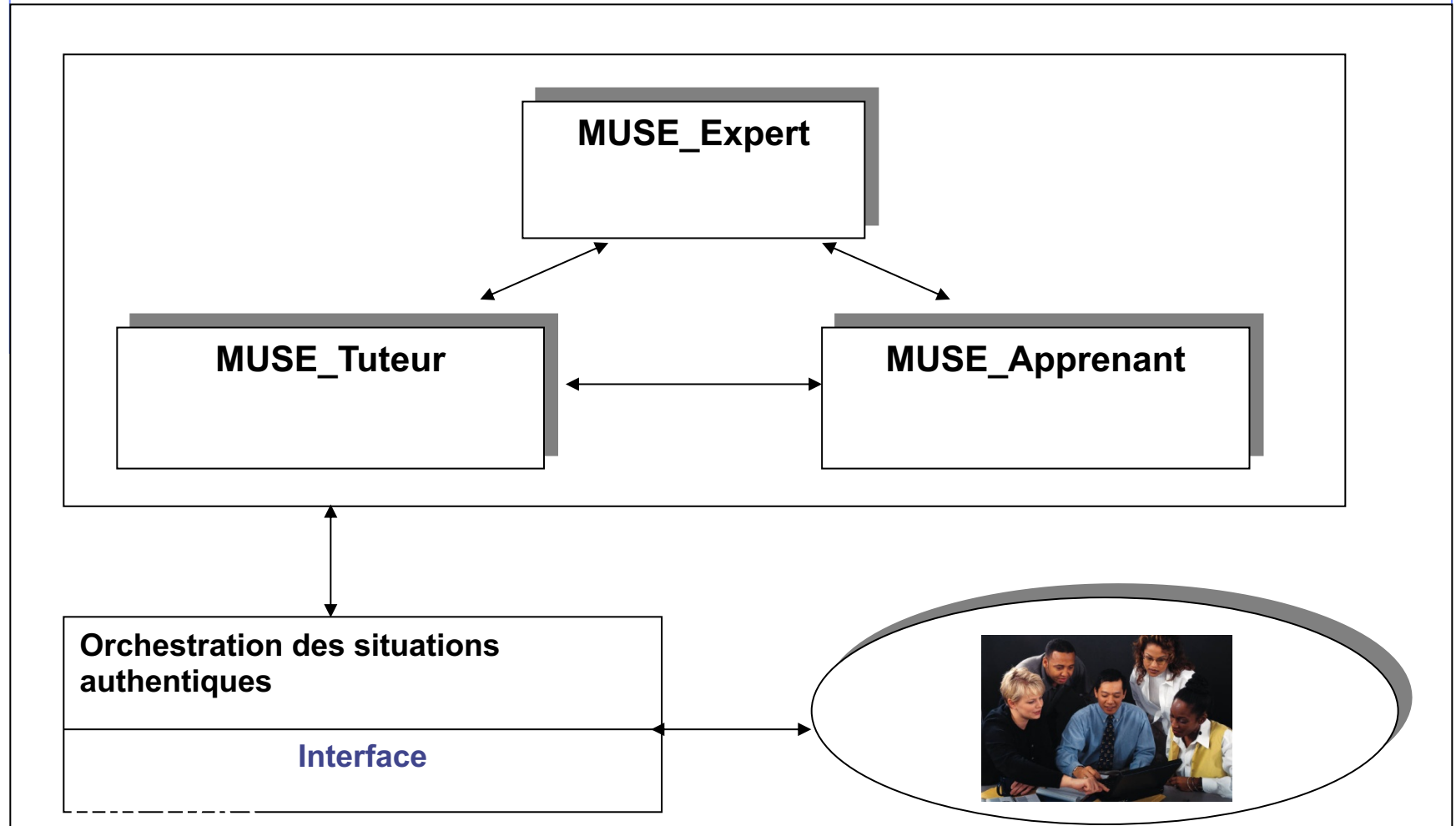
L'importance de la logique

- ◆ Le raisonnement logique est important dans la vie quotidienne pour notre autodéfense intellectuelle contre toutes sortes de sophismes
- ◆ Le raisonnement logique est important dans notre activité cognitive parce que:
 - une grande partie de notre cognition est inférentielle
 - Le raisonnement logique organise nos connaissances en systèmes
- ◆ Le raisonnement logique est important en informatique: les ordinateurs sont des machines inférentielles (des *if...then rules*) où la logique joue un grand rôle
- ◆ Le raisonnement logique est important en informatique cognitive pour modéliser la partie logique de notre activité cognitive

Les objectifs du projet

- ◆ 1) Faire un catalogue des erreurs systématiques dans les raisonnements logiques
- ◆ 2) Développer une théorie des causes de ces erreurs, une théorie de la compétence logique et une théorie des fonctions cognitives de la logique
- ◆ 3) Analyser les structures formelles à l'œuvre dans les systèmes logiques
- ◆ 4) Développer un système tutoriel intelligent (STI) pour l'enseignement de la logique
- ◆ 5) Utiliser le tutoriel comme laboratoire pour les sciences cognitives du raisonnement
- ◆ 6) Contribuer à la définition de la rationalité humaine

Le système tutoriel intelligent: architecture et choix de techniques de modélisation



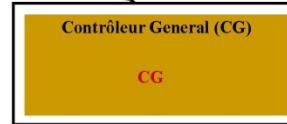
MUSE_Expert



◆ Comportera:

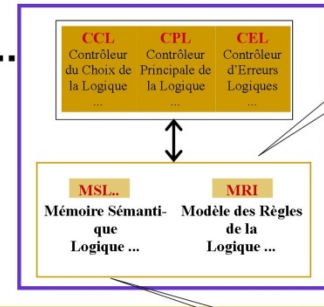
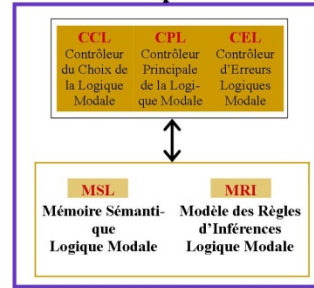
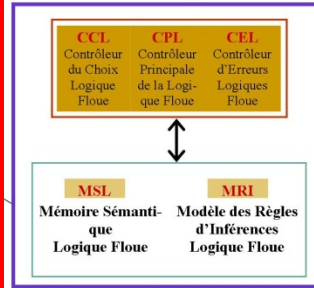
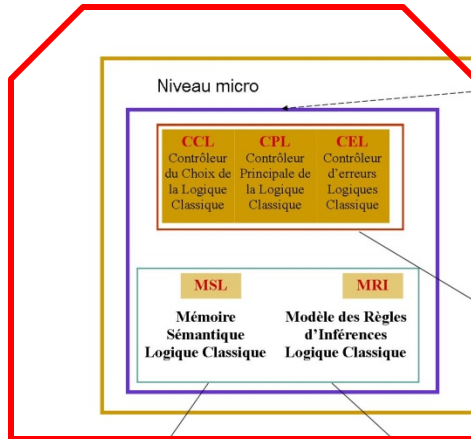
- Le modèle des connaissances logiques sous forme d'une ontologie du domaine;
- Les modèles de raisonnement logique sous forme de règles avec une référence sur les concepts de l'ontologie du domaine;
- Le catalogue des erreurs indexant à la fois le modèle des connaissances logiques et les différents modèles de raisonnement;
- Un ensemble de situations authentiques modélisées sous forme d'espaces problèmes (par une analyse cognitive de tâches de raisonnement)
- Un moteur de raisonnement permettant d'exploiter ces modèles dans toutes les situations authentiques identifiées;

Architecture de MUSE-EXPERT



Niveau métacognitif

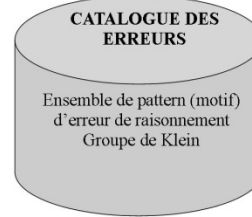
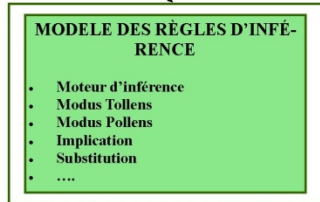
Niveau micro



A chaque règle on associe un domaine. Décrit les procédures d'inférences ou de raisonnement

Chaque contrôleur local aura la même représentation

Décrit les constituants de chaque logique

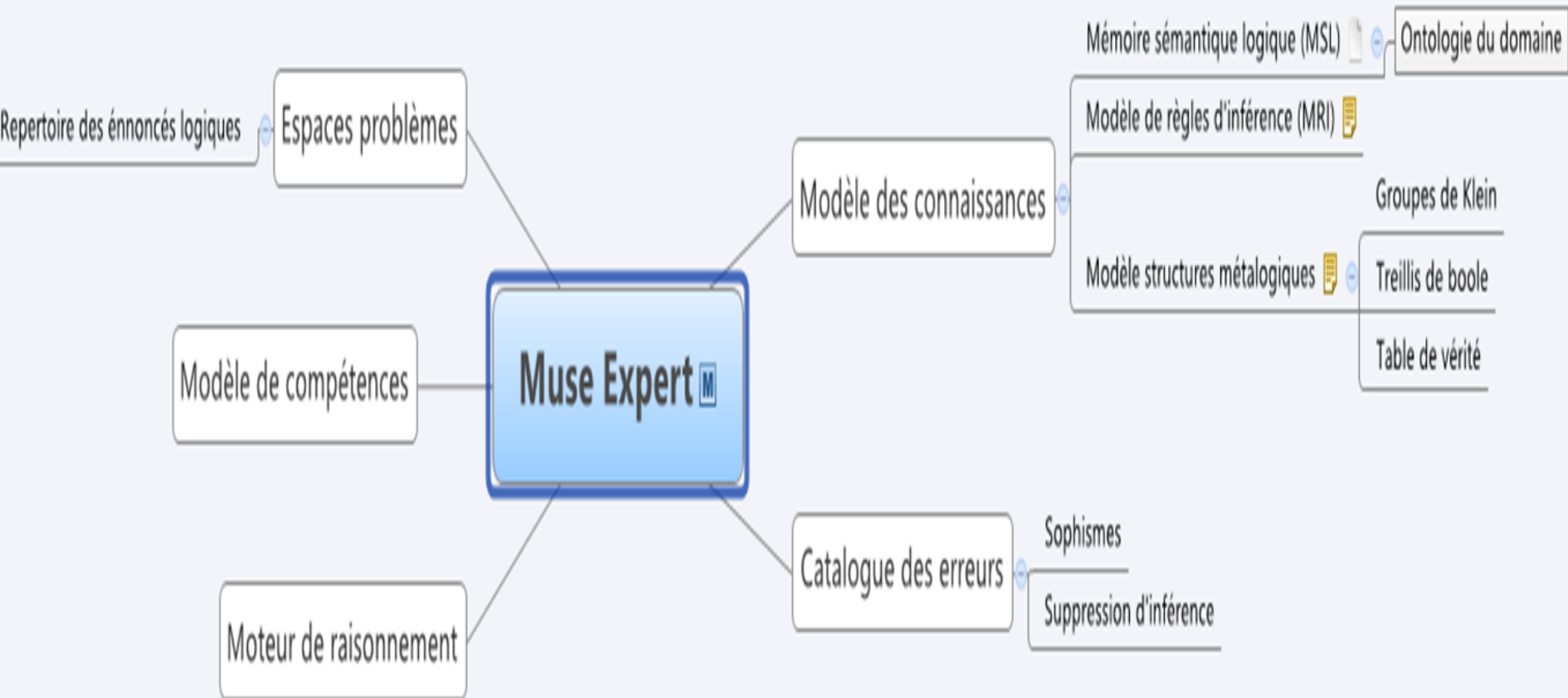


MODULE EXPERT
ÉBAUCHE D'UNE ARCHITECTURE

MUSE_Expert: services offerts

- ◆ Le module expert est capable :
 - ◆ de produire des raisonnements valides dans toutes les situations authentiques;
 - ◆ de pouvoir expliquer son processus de raisonnement.
- ◆ Il collabore avec le Tuteur
 - pour l'aider à évaluer et valider les productions de l'apprenant
 - Et à déterminer ses compétences logiques.

Recapitulation du module expert de MUSE



MUSE_Tuteur

◆ Comportera:

■ Le modèle pédagogique sous forme

- ◆ d'une ontologie des théories d'apprentissage et d'instruction;
- ◆ soutenant un ensemble de scénarios pédagogiques reliés à différentes situations authentique et associés à des objectifs précis (acquisition d'une compétence logique particulière, entraînement à l'utilisation d'un mode de raisonnement, etc.)

■ Un ensemble de fonctions pertinentes :

- ◆ Diagnostic cognitif
- ◆ Accompagnement
- ◆ Coaching
- ◆ ...

■ Un ensemble de stratégie métacognitive pour la gestion de l'interaction avec l'(es) apprenant(s):

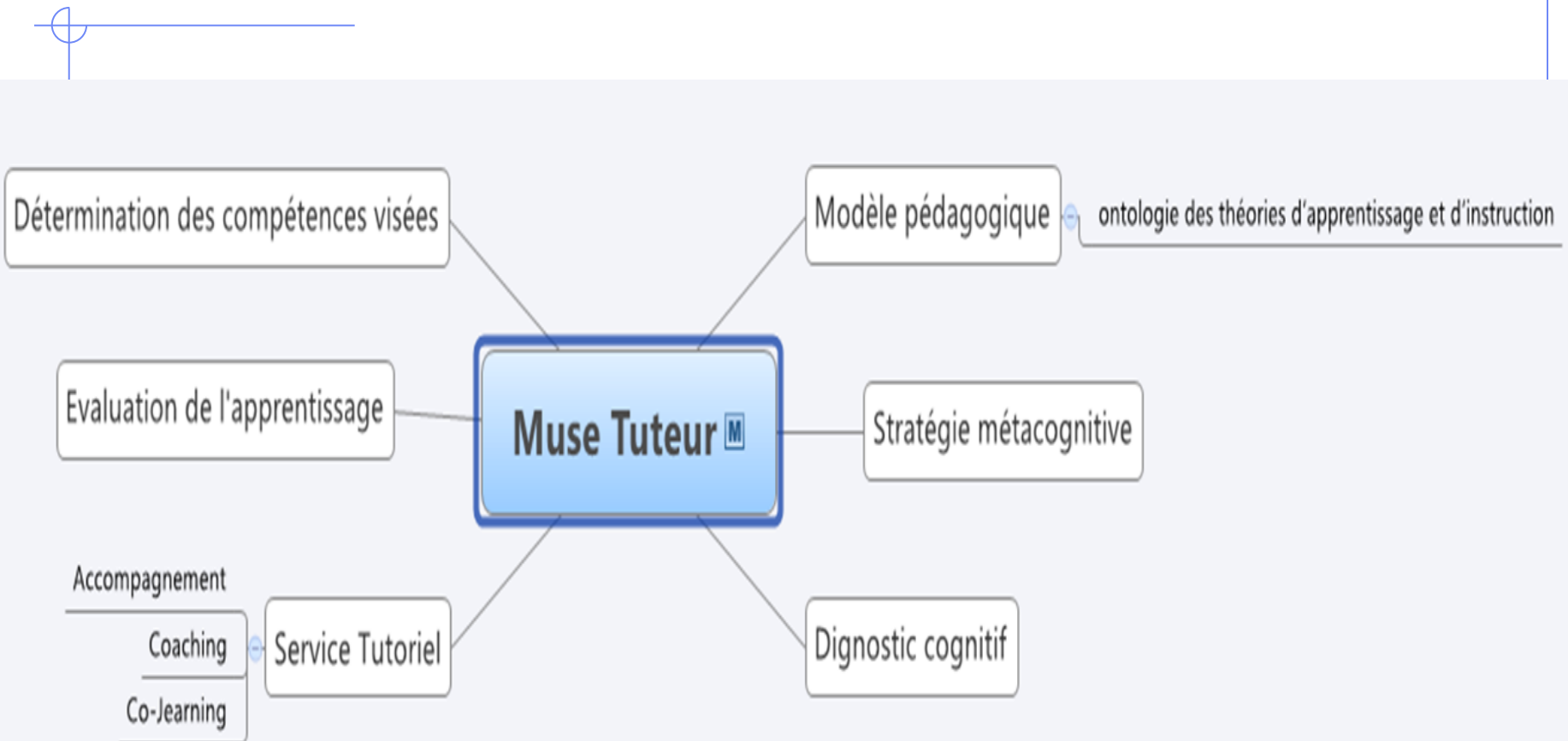
- ◆ Pour susciter la réflexion de l'apprenant;
- ◆ Pour contrôler l'acquisition des compétences métacognitives de l'apprenant en matière de raisonnement.

MUSE_Tuteur: services offerts

MUSE_Tuteur est responsable

- ◆ de la génération et de l'activation des situations authentiques;
- ◆ de la conduite de l'interaction avec l'apprenant;
- ◆ du suivi du raisonnement de l'apprenant;
- ◆ de la détection de ces erreurs (en collaboration avec le module expert et le modèle de l'apprenant);
- ◆ du diagnostic cognitif des erreurs détectées ;
- ◆ de la planification des activités remédiatives pour défaire le mauvais et reconstruire le bon modèle de raisonnement;
- ◆ de l'évaluation des apprentissages donnant lieu à une mise à jour du modèle de l'apprenant (en collaboration avec l'expert du domaine)

Recapitulation du module tuteur de MUSE

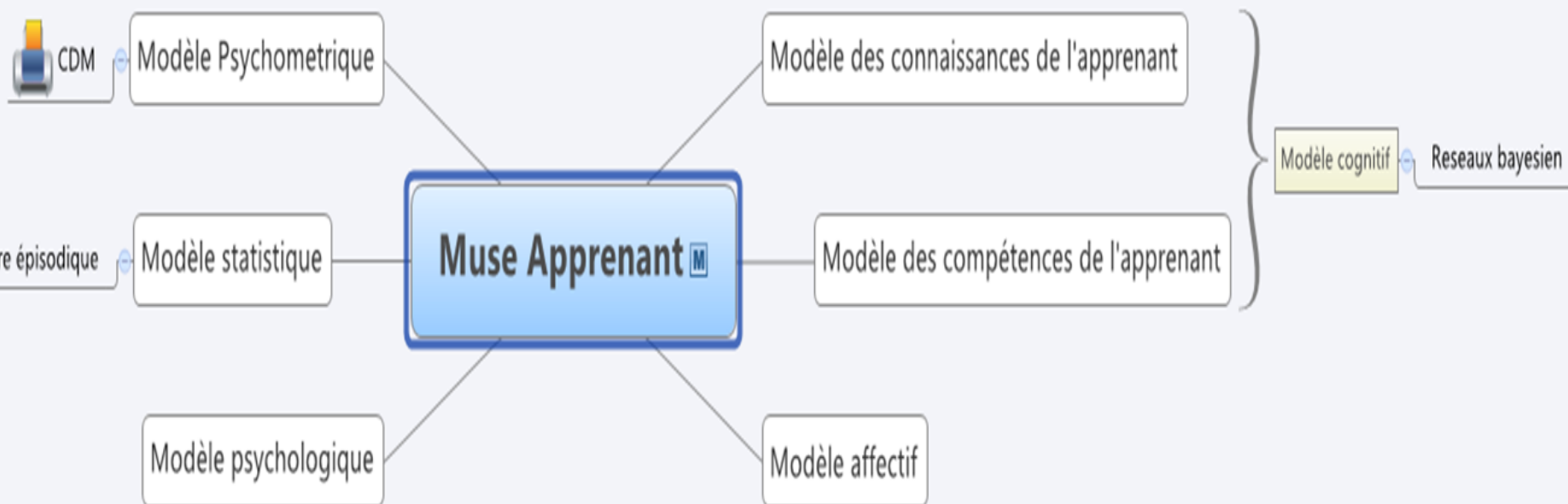


MUSE_Apprenant et ses fonctions

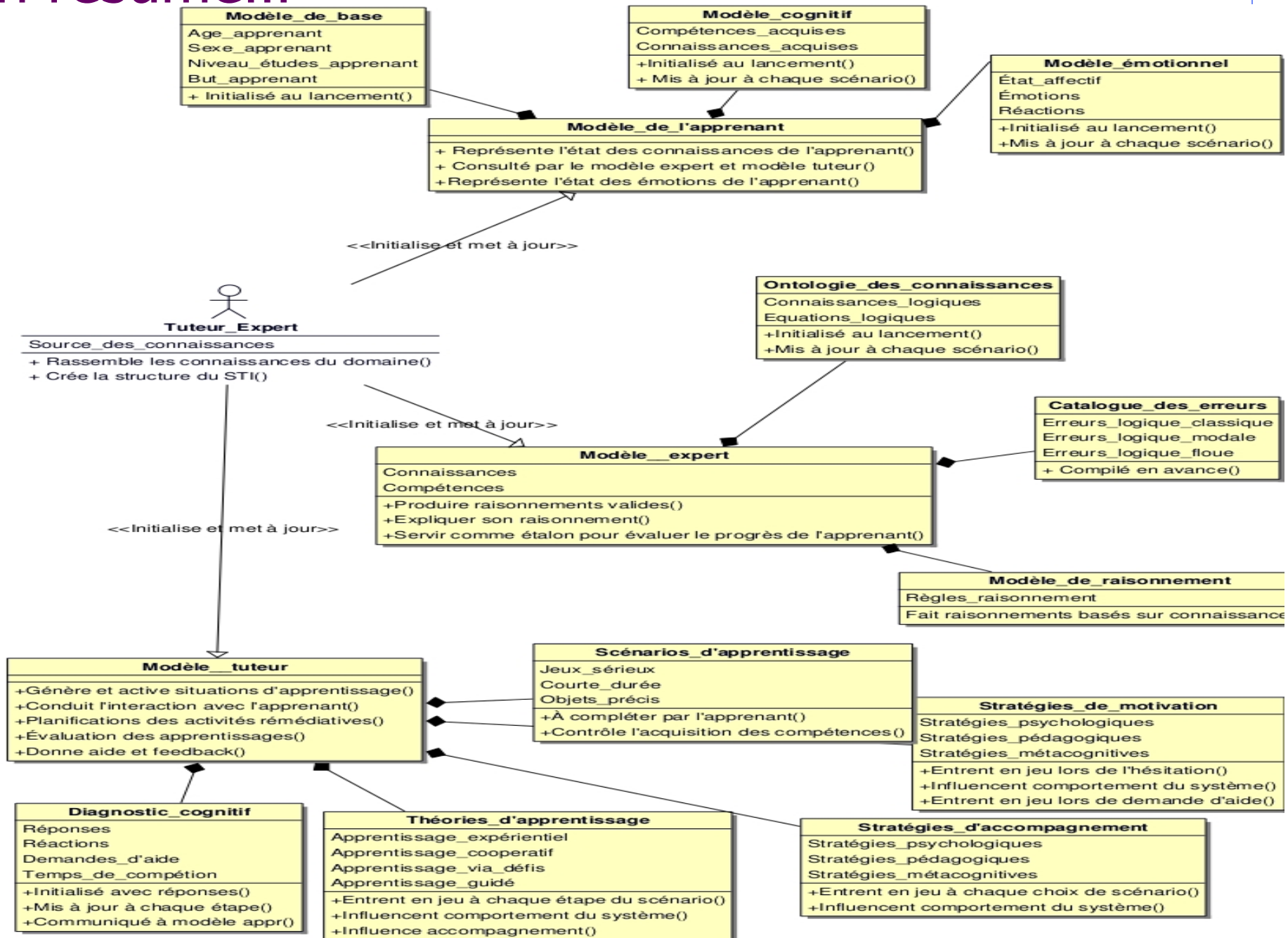
◆ Comporte:

- Un modèle cognitif modélisant l'ensemble des connaissances et compétences acquises correctement ou incorrectement par l'apprenant en matière d'utilisation des connaissances logiques dans des situations de raisonnement:
 - ◆ Modélisé comme un recouvrement sur les connaissances de l'expert mais à l'aide d'un réseau bayésien mettant en perspective:
 - Les interdépendance probabiliste entre les connaissances logiques et les différents mode de raisonnement;
 - ◆ Offrant un ensemble de fonction pour l'élaboration du diagnostic cognitif, l'initialisation et la mise à jour du modèle, l'accès aux informations du modèle, la visualisation du modèle par l'étudiant lui-même ou par un tier (Modèle apprenant ouvert)
- Un modèle affectif modélisant l'évolution de l'état affectif de l'étudiant lors des activités de raisonnement:
 - ◆ La capture et l'analyse des états émotionnels seront privilégiées;
 - ◆ Les moyens à utilisés sont à déterminer mais plusieurs possibilités s'offrent à nous (EEG, capteurs des signes vitaux, analyse des expressions faciales, etc.)

Recapitulation du module apprenant de MUSE



En résumé...



L'originalité du projet

- ◆ Prendre en compte non seulement la logique classique (assertorique et bivalente), mais aussi plusieurs logiques non classiques: modales (non assertoriques) polyvalentes et floues (non bivalentes)
- ◆ Intégrer les résultats des sciences cognitives et des sciences de l'éducation relativement aux difficultés d'apprentissage (en intégrant le rôle de la métacognition et des émotions)
- ◆ Développer un système tutoriel intelligent selon cette perspective
- ◆ Se servir du STI pour modéliser et simuler le raisonnement humain et, ainsi, tester des thèses cognitives sur le raisonnement humain