

# Introduction aux systèmes tutoriels intelligents

Roger Nkambou

## Contenu

- ◆ Définitions
- ◆ Historique
- ◆ Architecture
- ◆ Description des composants
- ◆ Tendances actuelles des recherches

## Acronymes synonymes

- ◆ 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)
- ◆ STI (Système Tutoriel 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/%7EBuche/>
- ◆ 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

## 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



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

Introduction aux systèmes tutoriels intelligents

7

## 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

Introduction aux systèmes tutoriels intelligents

8

## 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 20 milliards \$
    - ◆ apprentissage industriel > 40 milliards
    - ◆ éducation nationale 250 milliards \$
  - réduction du coût /étudiant

## Historique

### Années '80: L'intégration 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 (styles des STI différents des enseignants humains).

## 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

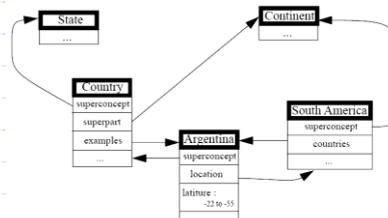
## Historique des STI : Exemples

### 1<sup>er</sup> STI: SCHOLAR (1970)

- ◆ 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 début du développement des **STI modernes** a commencé 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.

## Historique des STI Évolution des STI (suite)

- ◆ Deux domaines ont été principalement étudiés : mathématiques et programmation.
- ◆ Intérêt d'une construction de la connaissance par l'étudiant lui-même
  - hypertextes,
  - environnement d'apprentissage,
  - micro-mondes
- ◆ **Approche constructiviste** vs. behavioriste (comportementaliste) ou instructiviste

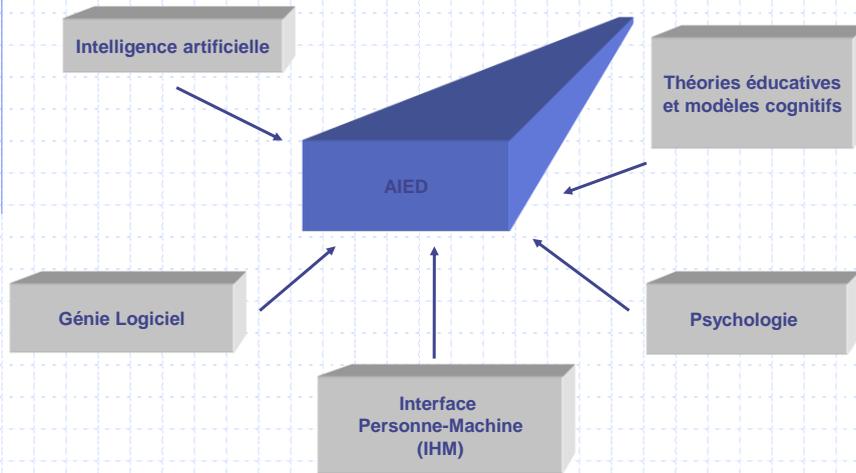
## Comparaison EAO/STI

## Comparaison EAO/STI

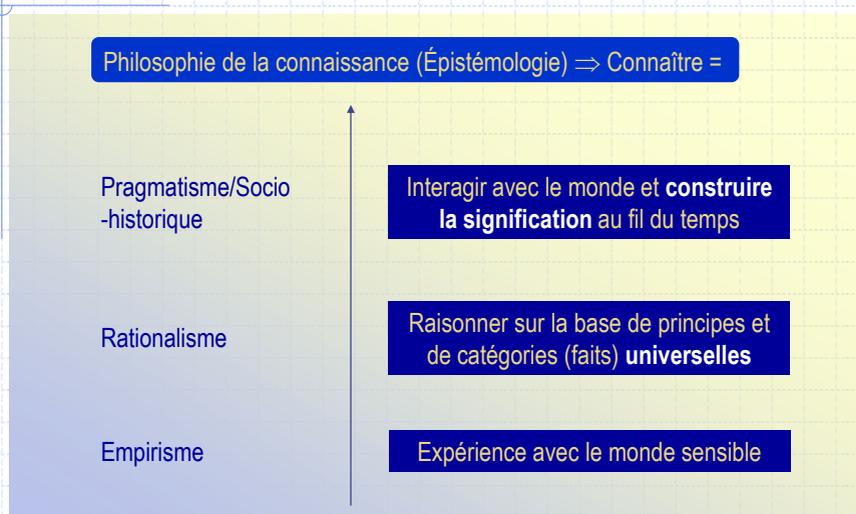
### Différence sur la matière présentée

- ◆ EAO: enchaînement de cadres (objets structurés) selon un script prédéterminé
  - objets structurés non modifiés, statiques
  - Si la réponse est erronée, il y a des alternatives sur le prochain objet à présenter selon la difficulté observée.
- ◆ EIAO:
  - le domaine est représenté dans une structure (plutôt que juste les questions/interventions)
  - des règles proposent la prochaine matière parmi plusieurs alternatives possibles, tenant compte de l'ensemble du modèle de l'apprenant (connaissances et aspects affectifs)

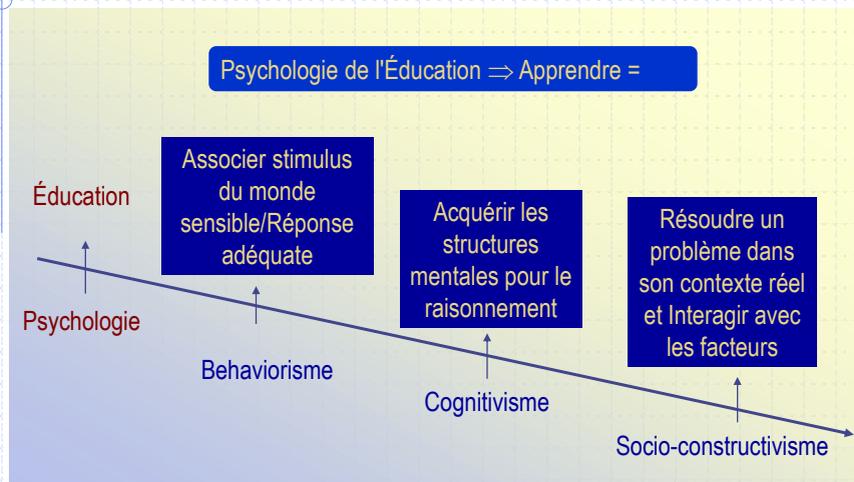
## Domaines connexes de l'AIED



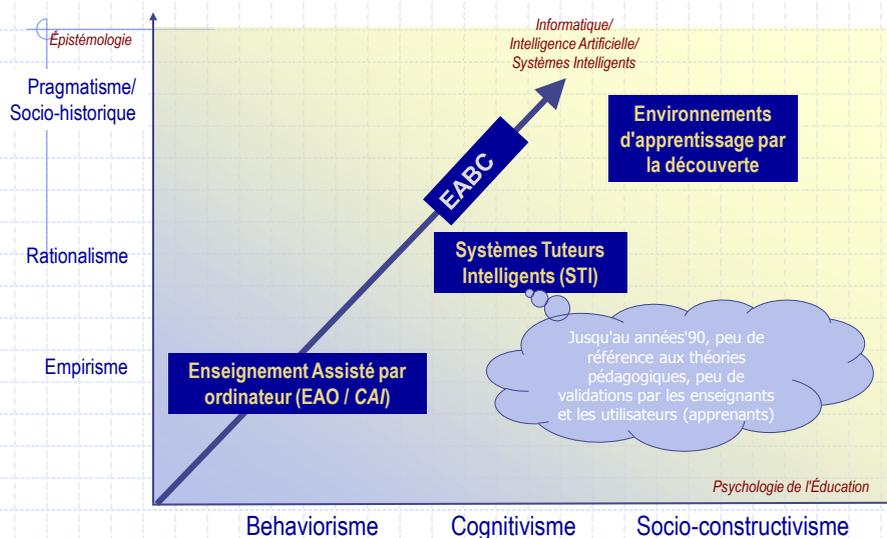
## Apport de la psychologie cognitive



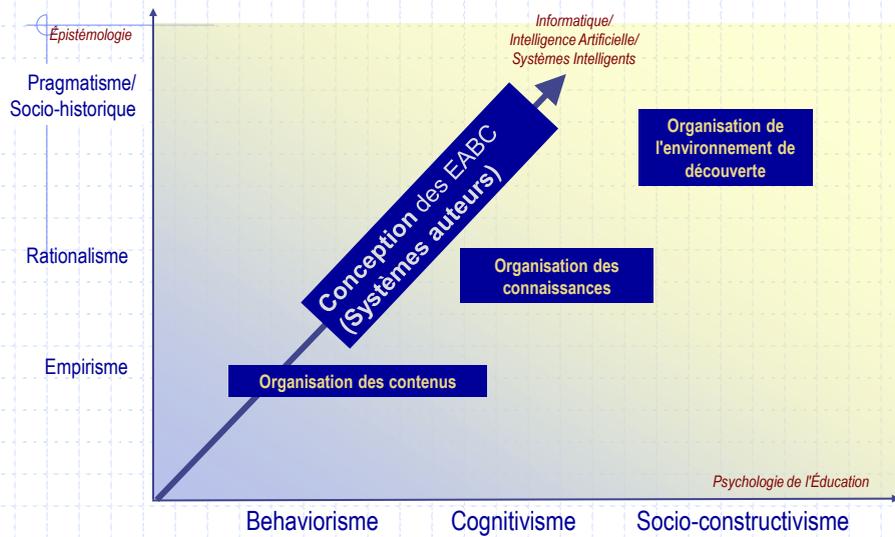
# Apport de l'Éducation Théories de l'apprentissage



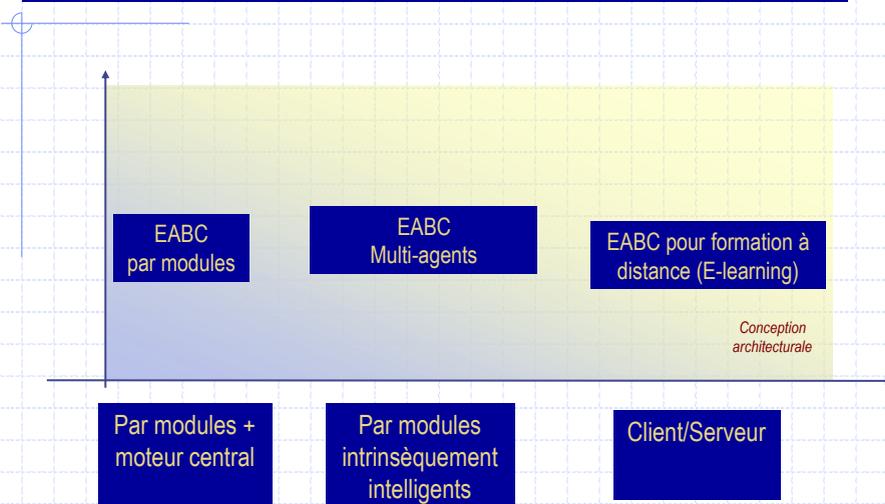
## Positionnement des EABC



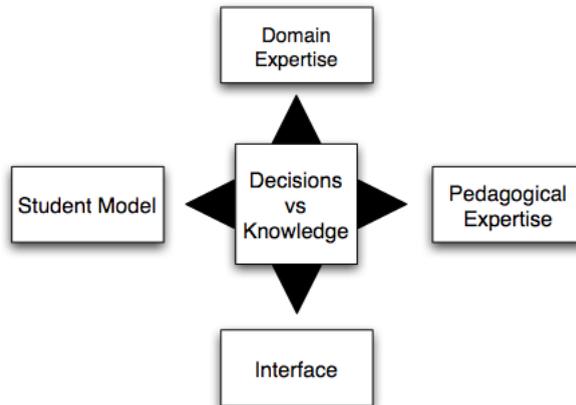
## Positionnement des activités de construction



## Une autre perspective : conception des agents

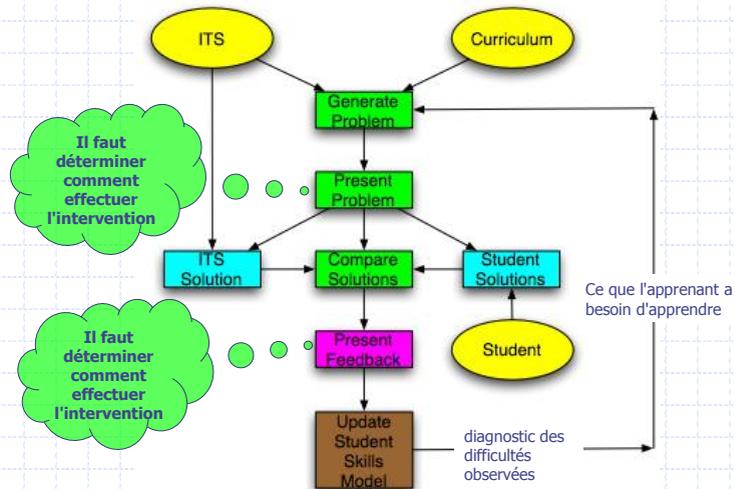


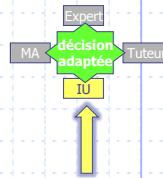
## Architecture de base d'un STI



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

## Exemple d'architecture fonctionnelle





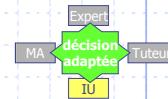
## L'interface

- ◆ Couche de communication entre l'apprenant et le STI
- ◆ Privilégier une approche de conception qui n'obstrue pas l'apprentissage
- ◆ Varie selon le type d'environnement d'apprentissage
- ◆ Quelques types d'environnements:
  - Micro-monde
  - Simulation
  - Hypermédia

## Interfaces de communications

- ◆ Interfaces de manipulation directe : **graphique et icônes (Steamer)**
- ◆ Menus
- ◆ Fenêtres de choix
- ◆ Langages de commandes
- ◆ Langage naturel (**Scholar, Guidon, Sophie, AutoTutor**)
- ◆ Laboratoire virtuel

## Interface Micro-mondes



### ◆ Micro-monde:

- Déf. IA: «*a small, highly restricted set of objects or ideas that operate in accordance with a limited set of rules.*»
  - ◆ Source: [www.crfonline.org/orc/glossary/m.html](http://www.crfonline.org/orc/glossary/m.html)
- «*A representation of some well-defined domain, such as Newtonian physics, such that there is a simple mapping between the rules and structures of the microworld and those of the domain.*»
  - ◆ Source: [www.informatics.susx.ac.uk/books/computers-and-thought/gloss/node1.html](http://www.informatics.susx.ac.uk/books/computers-and-thought/gloss/node1.html)

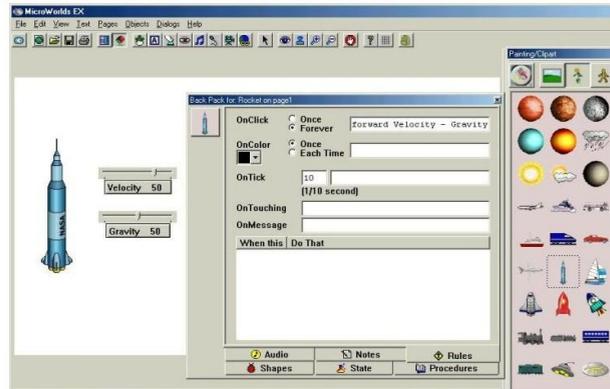
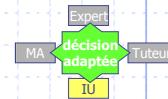
## Interface LOGO, pour construire des micro-mondes



### ◆ Seymour Papert, fortement inspiré des travaux de Piaget (constructivisme):

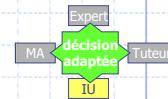
- ◆ Affirme qu'il est plus important de permettre aux enfants d'apprendre à **développer et à corriger leur propres théories** que de leur enseigner des théories considérées correctes.
- ◆ Il propose **LOGO**, un langage conçu pour favoriser l'apprentissage.
- ◆ Les apprenants programment une « tortue » pour construire et explorer des micro-mondes.
- LOGO favorise le développement de la réflexion formelle et la résolution de problème. Il encourage les étudiants à **explorer, à apprendre et à réfléchir**.
  - ◆ L'apprenant construit ses connaissances au fil d'interactions continues avec les objets et phénomènes environnants.
  - ◆ Version récente: MicroWorlds EX
    - «*Students **explore** and **test** their ideas in this **idea exploration** and project creation environment. Create:*
      - *science **simulations***
      - *mathematical **explorations***
      - *interactive **multimedia stories*** »

## Interface LOGO, pour construire des micro-mondes



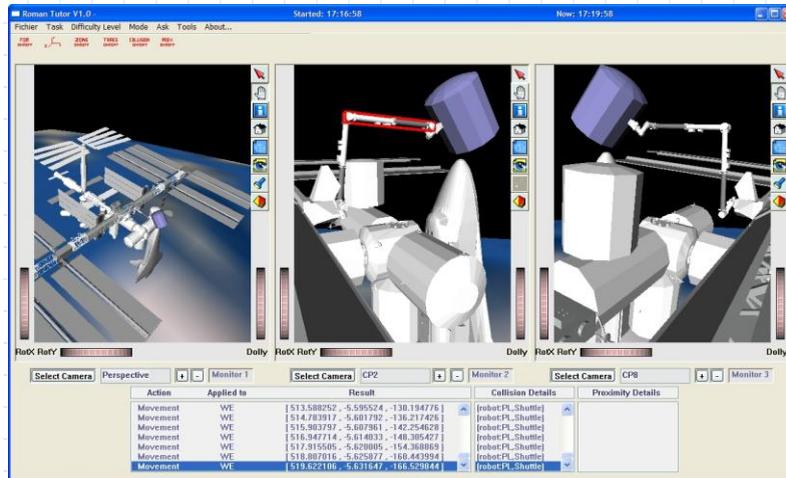
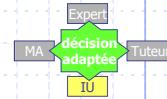
Students create concrete visual representations of the effects of gravity on the velocity of a rocketship. 'Sliders' can easily be used to represent the variables.

## Interface Simulation (vs. micro-monde)



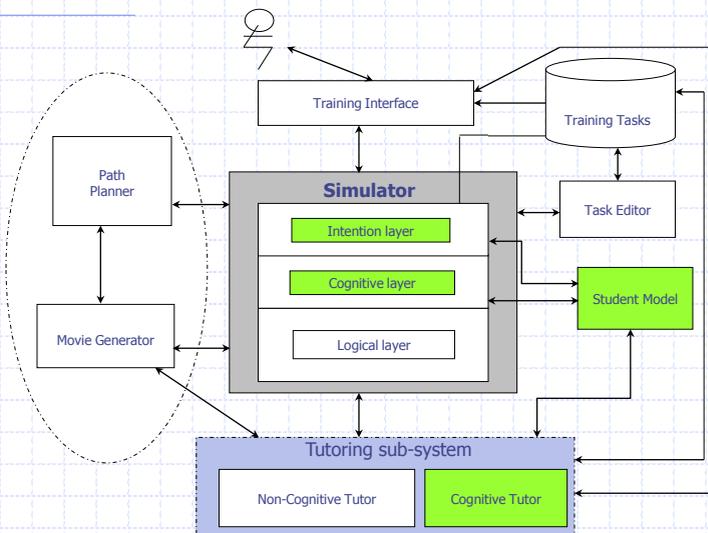
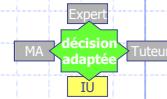
- ◆ La simulation s'impose dans des domaines à forte composante évolutive
  - surtout lorsque cette évolution peut-être perturbée par des événements extérieurs
- ◆ L'élève apprend en modifiant des paramètres et en observant les conséquences de ses actions dans l'environnement simulé.
- ◆ Dans les simulations, 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



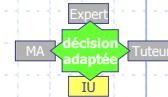
Introduction aux systèmes tutoriels intelligents

## Interface RomanTutor + CTS



Introduction aux systèmes tutoriels intelligents

## Interface Hypermédia



Un hypermédia consiste en un réseau de nœuds et de liens, où les nœuds sont des contenants d'information (documents) et les liens, des relations entre des nœuds ou portions de nœuds (régions).

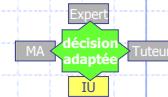
Le concept d'hypermédia regroupe deux aspects complémentaires:

- la représentation et la manipulation de connaissances selon un processus associatif, et
- un aspect fortement interactif permettant « l'immersion » dans la « mer d'information ».

La philosophie des hypermédia les destine à être consultés, modifiés, restructurés et complétés par leurs différents utilisateurs.

◆ 1987 : Bill Atkinson : le système Hypercard offre le langage Hypertalk facilitant la construction de cartes avec une navigation par boutons.

## Interface Hypermédia (suite)



- l'usager a la liberté de donner un sens au chemin qu'il construit
- apprentissage par découverte (accord avec l'approche cognitiviste).

Problèmes:

◆ *Désorientation de l'usager:*

ignorance de la structure du réseau, de la position courante; absence de stratégie de parcours (navigation).

◆ *Surcharge cognitive:*

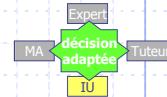
liée à l'exploration parallèle, simultanée, de plusieurs pistes, ce qui diminue l'attention accordée à la tâche principale.

◆ *Solution:*

Pour maximiser l'efficacité éducative des hypermédia, la navigation doit être assistée, et adaptée (voir les travaux de Peter Brusilovsky, CMU)

## 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.
  - ◆ **QUESTION POUR VOUS:**  
Comment peut-on minimiser la charge cognitive de l'interface?
- 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

## Le module Expert



### ◆ Connaissances de la matière ou expertise du domaine

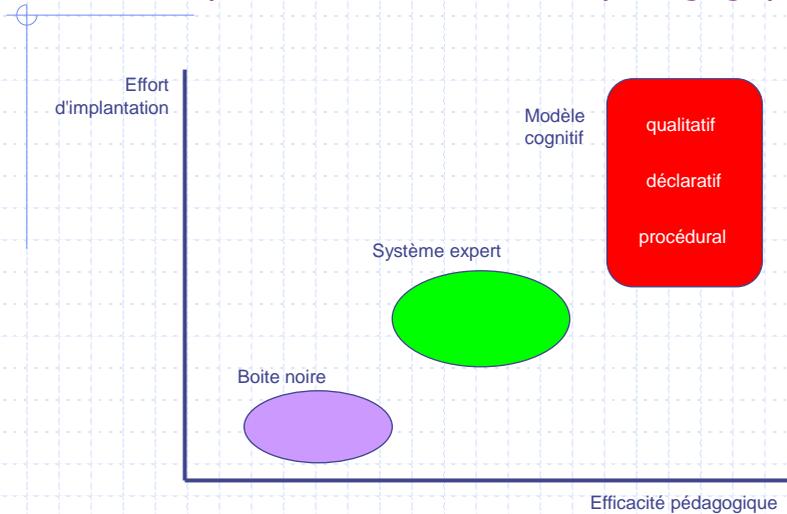
- Représentées par des modèles pouvant permettre le raisonnement sur ces connaissances
- Exemple de modèle de représentation:
  - Règles de production (If – Then)
  - Règles de production avec mesure de l'incertitude
  - Réseaux sémantiques
  - Représentations basées sur les objets structurés (*frames*)

### ◆ 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»)
  - QUESTION POUR VOUS: Pourquoi est-il dit "réactif" ici?
- ◆ 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
- 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-butts 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 du domaine  
(de MYCIN)

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'élève 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°

## Connaissances (suite)

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

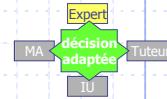
- Réseaux sémantiques (comme dans SCHOLAR: )
- Système de production de règles (Algebra Tutor)
- Scripts (comme dans WHY)
  - Nodes represent processes and events, links represent such relations as *X enables Y* or *X causes Y*
  - Each node have a hierarchically-embedded subscript
- réseau de procédures (comme dans BUGGY)
  - Détermine quels buts/sous-procédures possède l'apprenant par comparaison des résultats du réseau vs. l'apprenant.
  - Introduction de connaissances défectueuses dans le réseau;
  - Si le réseau en vient à prédire correctement les erreurs commises, les conn. défaut. sont attribuées à l'apprenant.
  - réf.: <http://tecfa.unige.ch/staf/staf-d/krige/staf11/buggy.html>



### ◆ 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

## Exemple de représentation explicite: Unité d'apprentissage (IMS)



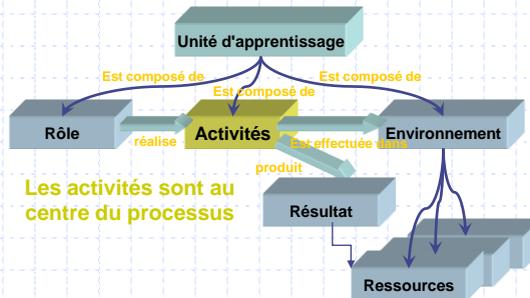
### ◆ Une unité d'apprentissage (UOL - Koper et Tattersall, 2005)

- est une unité complète de travail pédagogique
- organisée selon une approche conceptuelle de l'apprentissage et
- qui assemble les ressources liées, les liens web et plusieurs matériaux et services d'apprentissage dans un dossier ZIP unique.
- Le plan de cours est modélisé et construit avec des ressources assemblées dans un dossier Zip compressé puis mis en route par un exécutable (« player »). Ce dernier coordonne les enseignants, les étudiants et les activités.

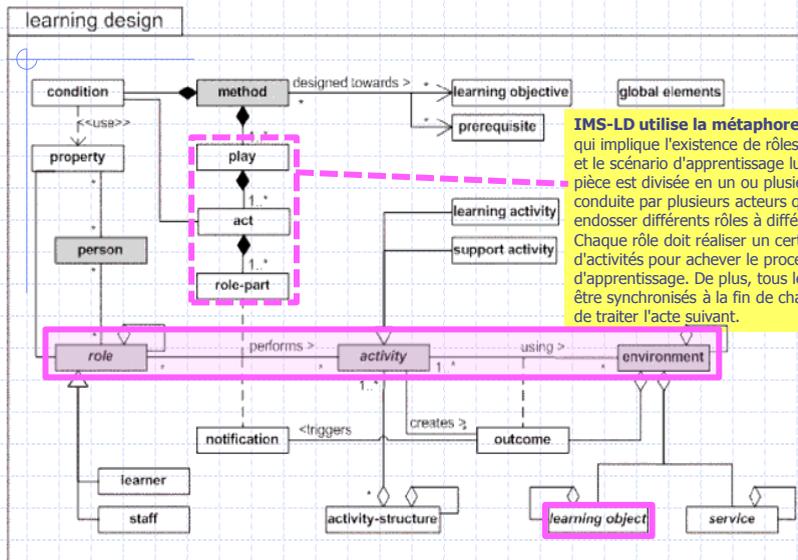
Source: <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0512c.htm>

### ◆ La spécification IMS-Learning Design (ingénierie pédagogique)

- est utilisée pour transformer les plans de cours en unités d'apprentissage (UOL) décrites de manière formelle et pouvant être exécutées avec un éditeur IMS-LD. Ce sont des *unités exécutables*.

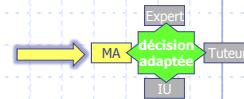


## Activité d'apprentissage vue par IMS



IMS-LD utilise la métaphore théâtrale, ce qui implique l'existence de rôles, de ressources et le scénario d'apprentissage lui-même : une pièce est divisée en un ou plusieurs actes et conduite par plusieurs acteurs qui peuvent endosser différents rôles à différents moments. Chaque rôle doit réaliser un certain nombre d'activités pour achever le processus d'apprentissage. De plus, tous les rôles doivent être synchronisés à la fin de chaque acte avant de traiter l'acte suivant.

Document à consulter: <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0512c.htm>



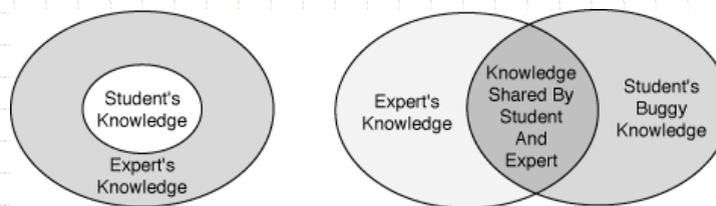
## Modélisation de l'apprenant

- ◆ 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



## Modélisation de l'apprenant Deux variantes du modèle *superposition (overlay)*

2 des 3 variantes d'Overlay: simple et perturbation (*buggy*)



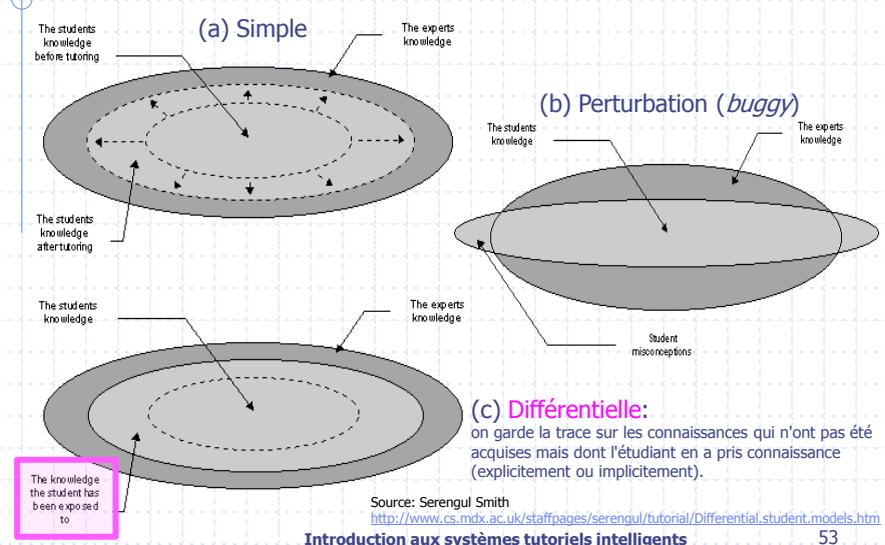
(a) Overlay student model

(b) Overlay model with "buggy" extensions

Figure 2: Overlay student models.

Dans (b), le stockage de l'information sur les conceptions erronées de l'apprenant permettent une meilleure planification des interventions.

## Modélisation de l'apprenant Les trois variantes du modèle *superposition*



## Modélisation de l'apprenant Approches pour implémenter les superpositions

- ◆ Réseau sémantique
  - les noeuds et liens sont ajoutés au fur et à mesure que les **concepts** sont appris par l'étudiant
- ◆ Banque de connaissances de l'expert
  - annotée des déviations que l'on découvre au fur et à mesure de l'interaction avec l'étudiant
- ◆ Ensemble de compétences acquises par l'étudiant
  - Les **compétences** (n'équivaut pas à *connaissances*) sont construites sur les éléments de connaissance du domaine
  - Elles indiquent clairement l'habileté de l'étudiant à utiliser cette connaissance.  
Ex: Compétence à *Résoudre un système d'équation*
- ◆ Réseau bayésien
  - Chaque nœud du réseau a une valeur qui indique **la probabilité** que l'étudiant connaisse l'élément de connaissance concerné.
  - Permet un **raisonnement probabiliste** sur l'état des connaissances de l'étudiant en tenant compte des observations notées lors de ses interactions avec le tuteur.



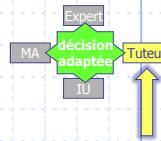
## Modélisation de l'apprenant

- ◆ Les mécanismes supportés par le modèle de l'apprenant:
  - L'inférence (gérée par le modèle inférentiel) qui propage une évidence dans le modèle tout entier en s'assurant que le modèle reste cohérent après ces inférences (Nkambou, UM'96; Tchétagni-ITS'02)
  - Le diagnostic pour l'inférence des causes des erreurs de l'apprenant
    - ◆ Approches:
      - *Model tracing* (Anderson, 1983)
        - Pour créer et analyser la trace des activités de l'apprenant
        - Nécessite une bonne modélisation du processus de résolution de problèmes
      - *Knowledge (Issue) Tracing*
        - Analyser un épisode d'apprentissage afin d'identifier les connaissances qui ont été utilisées
        - Ne nécessite pas une modélisation sophistiquée du processus de résolution de problème.



## Modélisation de l'apprenant Aspects affectifs

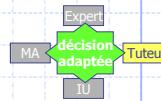
- ◆ Le modèle affectif permet le stockage
  - des **préférences** de l'étudiant
  - de son **profil psychologique**
  - de son **état émotionnel** ou **motivationnel** (état conatif)
- ◆ Ces informations peuvent varier selon le contexte
  - Préférences
- ◆ Elles peuvent aussi évoluer dynamiquement
  - État émotionnel
  - Motivation
- ◆ Le tuteur utilise ces informations pour adapter l'interaction avec l'étudiant
  - Sélection et séquençage 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

### ◆ Objectif général

- Décider comment:
  - ◆ décider s'il doit y avoir intervention
  - ◆ séquencer et présenter le contenu
  - ◆ répondre aux questions et expliquer le contenu
  - ◆ fournir l'aide, guider et remédier



## 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.

- Question pour vous :  
En quoi cette prescription est-elle incomplète (pour les STI les plus évolués)?

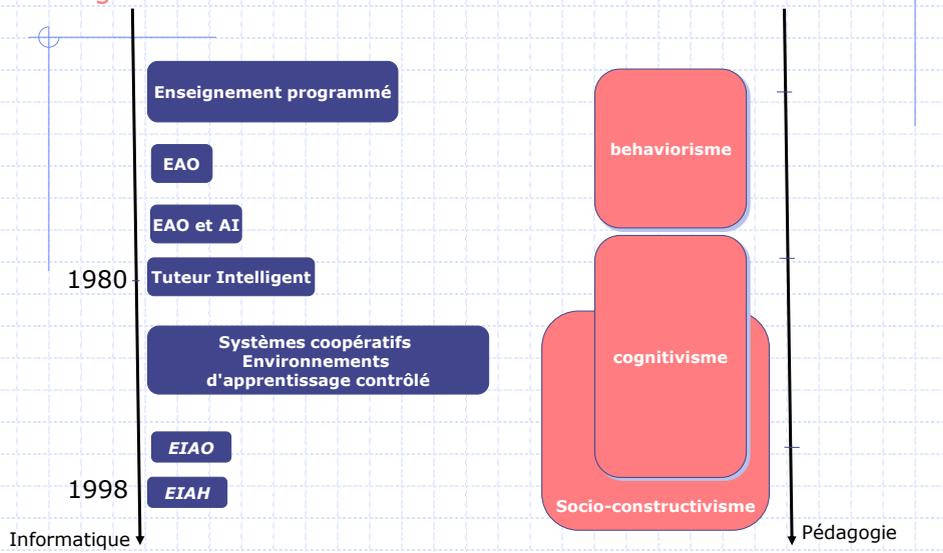


## Le module tuteur

- ◆ 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 pour prendre ses décisions
  - ...suite à la page suivante!

## Approches éducatives et environnements de formation :

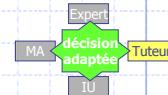
### Les grands cadres





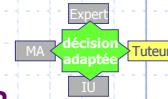
## Les stratégies tutorielles

- ◆ 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.imsglobal.org/learningdesign/ldv1p0/imsld\\_bestv1p0.html#1501891](http://www.imsglobal.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, Systèmes épiphytes, IMS



## 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 SABC

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

## Synthèse : EAO vs. STI

	EAO	EIAO / STI
Représentation	Aucun	Réseaux sémantiques Schémas Modèle causal Autres
Expert du domaine	Aucun	Boîte noire Boîte de verre Modèle cognitif Autres
Modèle étudiant	Aucun Résultats Concepts acquis Concepts non-acquis	Résultats Concepts acquis Concepts non-acquis Incompréhensions / erreurs Autres
Diagnostic	Aucun Évaluer la réponse	Évaluer la réponse Évaluer la solution Évaluer incompréhension Autres

Réf. : <http://www.grenoble.iufm.fr/departement/francais/hyperbt/historic.htm>

## 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-Mellon : 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 ÉU
  - 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

## Expériences pratiques

- ◆ [City pushes computer tutor for struggling algebra students](#). By Maggi Newhouse. Tribune-Review (March 8, 2004)/ available from PittsburghLIVE.com.

"About 40 percent of the city's ninth graders fail first-year algebra every year, and Pittsburgh Public Schools officials say it's time to expand an innovative math program used by some schools to the rest of the district. ... The centerpiece of the Carnegie Learning method, developed by Carnegie Mellon University researchers, is a computer program that combines traditional algebra problems with technology that can assess a student's progress and skill level. **The Cognitive Tutor** program can then use the student information to offer individualized instruction and provide instant feedback for a student and teacher. 'What you're seeing here is artificial intelligence,' said Jackie Smith, an instructional support director for mathematics. 'The computer is learning and building a profile of every single student as it diagnoses their strengths and weaknesses.'"

- ◆ visit the [Cognitive Tutor](#) site

## Expériences pratiques

- ◆ [METUTOR: A means-end tutoring system](#). From Prof. Neil C. Rowe, Department of Computer Science, U.S. Naval Postgraduate School.

"METUTOR is a tutoring environment for teaching of procedural skills. It uses planning methods from artificial intelligence to infer what a student is doing, and tutors intelligently when the students diverges from the correct plan. ... The teacher's job is further simplified through with the use of the MEBUILD expert-system shell under development, which uses an object-oriented world description to infer most of the necessary action specification for METUTOR. MEBUILD also allows a teacher to reuse parts of one lesson in another."

- ◆ Proche de CanadarmTutor

## Expériences pratiques

- ◆ Liens sur quelques STI populaires:
  - <http://ai.cs.kookmin.ac.kr/its-rep/system.htm>