

L'Intelligence Artificielle dans les EIAH

Marie Lefevre
marie.lefevre@liris.cnrs.fr

Décembre 2022
Master IA – Université Lyon 1



De quoi allons-nous parler...

- ◆ Qu'est-ce que l'IA ?
- ◆ L'IA pour faire quoi en EIAH ?
- ◆ Quelles techniques d'IA pour le faire ?
- ◆ Exemple : l'EIAH AMBRE
- ◆ Bilan, apports réciproques et perspectives
- ◆ Pour aller plus loin

L'IA : qu'est-ce que c'est ?

- ◆ Plusieurs définitions de l'IA, entre autre :
 - ◆ L'IA est une branche de l'informatique
 - ◆ Un système d'IA **agit** comme un humain
 - ◆ Augmenter les capacités de l'ordinateur
 - ◆ Comportement intelligent :
 - ◆ Communiquer
 - ◆ Enregistrer et exploiter les informations
 - ◆ Utiliser les informations pour répondre à des questions et tirer des conclusions
 - ◆ L'IA est une science cognitive
 - ◆ Un système d'IA **raisonne** comme un humain
 - ◆ Comprendre comment voir, apprendre, mémoriser, raisonner
 - ◆ Modéliser les connaissances et le raisonnement
 - ◆ Fournir des modèles et en tester le comportement par des techniques de psychologie cognitive, en le comparant au comportement humain

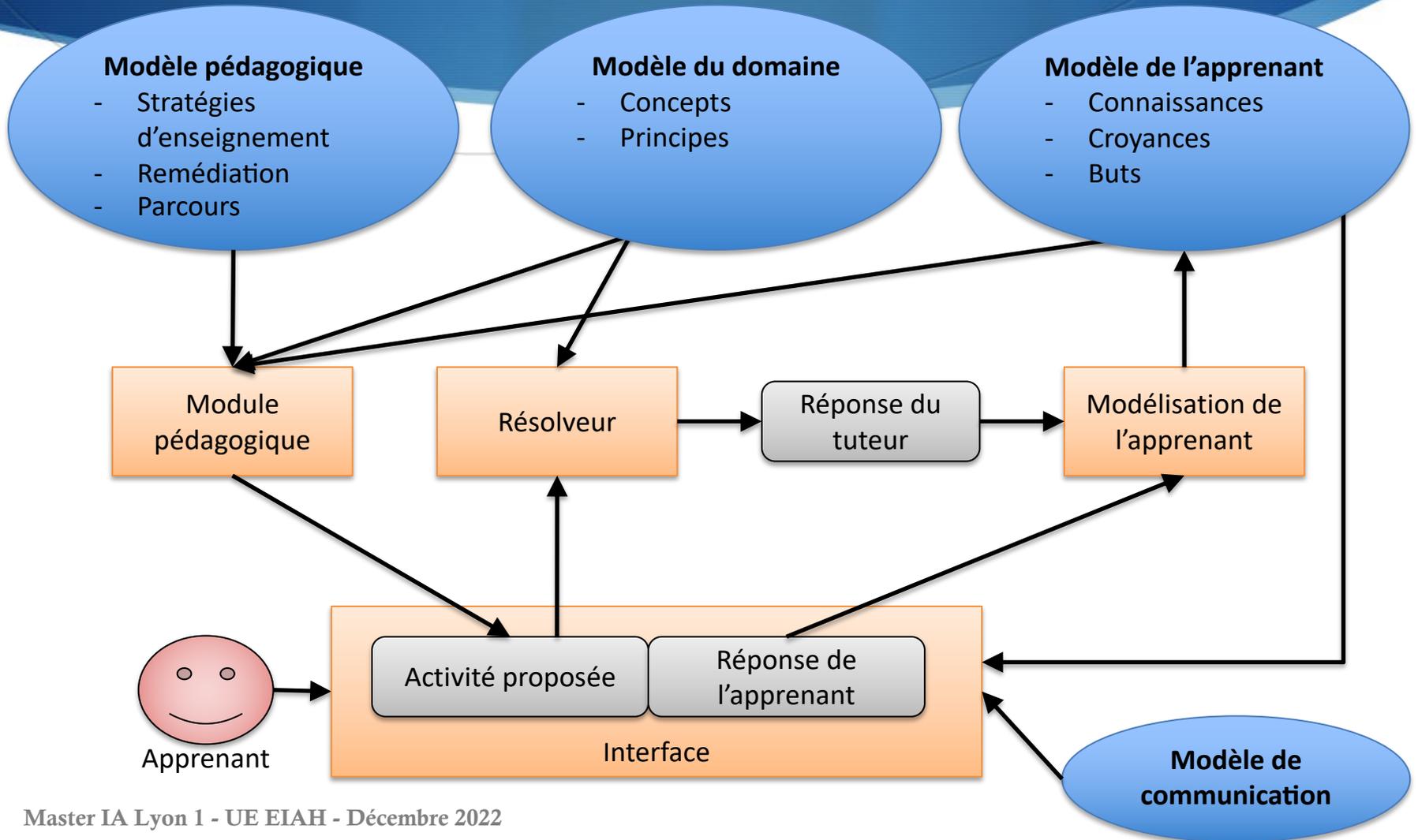
Plan du cours

- ◆ Qu'est-ce que l'IA ?
- ◆ L'IA pour faire quoi en EIAH ?
- ◆ Quelles techniques d'IA pour le faire ?
- ◆ Exemple : l'EIAH AMBRE
- ◆ Bilan, apports réciproques et perspectives
- ◆ Pour aller plus loin

Les débuts dans les années 70

- ◆ Tuteurs intelligents
 - ◆ SCHOLAR, Carbonell, 1970, géographie
 - ◆ SOPHIE, Brown, 1973, dépannage circuits électroniques
 - ◆ BUGGY, Brown, 1977, arithmétique
 - ◆ GUIDON, Clancey, 1981, médecine
 - ◆ GEOMETRY Tutor, Anderson, 1983, preuves en géométrie
 - ◆ PROUST, Johnson, 1985, programmes PASCAL
 - ◆ LISP Tutor, Anderson, 1985, programmation LISP
 - ◆ AMALIA, Vivet, 1988, calcul algébrique
- ◆ Modélisation de l'expertise

Architecture d'un ITS



Différentes connaissances

- ◆ Modélisation du domaine
 - ◆ Modélisation et représentation des connaissances et du raisonnement
 - ◆ Pour un résolveur de problèmes du domaine
- ◆ Modélisation de l'apprenant
 - ◆ Modèle/profil de l'apprenant : informations sur ses connaissances et compétences
 - ◆ Pour la personnalisation de l'apprentissage
 - ◆ Pour le diagnostic des réponses / du comportement de l'apprenant
 - ◆ Pour construire et maintenir un profil de l'apprenant
- ◆ Modélisation pédagogique :
 - ◆ Pour la gestion du parcours de l'apprenant
 - ◆ Pour la génération de questions, d'exercices, de scénario pédagogique
 - ◆ Pour la construction d'aide et d'explications
 - ◆ Pour la personnalisation de l'apprentissage
- ◆ Interface et interaction système-apprenant

Deux types de représentation des connaissances

◆ Représentations déclaratives

- ◆ Logique du fonctionnement : « comment c'est fait »
- Connaissances indépendantes de leur exploitation future
- ◆ Architecture dans laquelle une « base de faits » est séparée d'une structure de procédures
 - ◆ Procédures assez générales pour pouvoir manipuler toutes sortes de faits
 - ◆ Base de faits particulière à un domaine de connaissance
- ◆ Avantage : modularité
- ◆ Inconvénient : architecture relativement lente car procédures interprétées

◆ Représentations procédurales

- ◆ Logique de l'action : « comment s'en servir »
- Connaissances contiennent leur mode d'emploi
- ◆ Codification de toute la connaissance sous forme de procédures compilées
 - ◆ Données factuelles implicites
- ◆ Avantage : rapidité d'exécution
- ◆ Inconvénient : données difficilement accessibles car contenues dans les procédures compilées

EIAH

Modélisation du domaine (1)

- ◆ N.B. : dans la suite
 - ◆ Connaissances = connaissances et raisonnement
- ◆ On a besoin de représenter les connaissances
 - ◆ Supposées connues par les apprenants (pas individuellement)
 - ◆ Que les apprenants doivent acquérir grâce à l'EIAH
- ◆ On parle de **connaissances de référence**
- ◆ Quand on parle de représenter les connaissances, il faut distinguer
 - ◆ Les représentations mentales du sujet humain
 - ◆ Les représentations internes destinées au système
 - ◆ Les représentations externes destinées à la communication

Modélisation du domaine (2)

- ◆ Système à base de connaissances
 - ◆ Organisé autour du résolveur pédagogique (système qui résout les problèmes du domaine)
 - ◆ Connaissances
 - ◆ Pas celle d'un expert du domaine
 - ◆ Celles que l'on souhaite que l'apprenant acquière en utilisant l'EIAH, celles de « l'élève idéal »
 - Contre-exemple historique : GUIDON fondé sur le système-expert MYCIN
 - ◆ Une seule représentation des connaissances ?
 - ◆ Différents niveaux de connaissance
 - pour s'adapter au niveau de l'apprenant
 - ◆ Différents niveaux de granularité
 - pour des explications à plusieurs niveaux de détails
- ◆ Problème du recueil des connaissances

Ingénierie des connaissances du domaine

- ◆ Deux principales situations de conception
 - ◆ Une situation proche de la situation scolaire classique
 - ◆ Les connaissances de références sont explicitées par des travaux en didactique
 - ◆ Elles doivent être précisées lors de la transposition informatique
 - ◆ Une situation experte
 - ◆ La connaissance enjeu d'apprentissage est une expertise (professionnelle par exemple)
 - ◆ Une phase préalable d'acquisition des connaissances est nécessaire

Évolution des connaissances de référence

- ◆ Les connaissances supposées acquises et celles enjeu de l'apprentissage évoluent lorsque l'élève apprend
- ◆ Un EIAH destiné à être utilisé sur une certaine durée doit prendre en compte cette dimension
 - ◆ une représentation des états de connaissance de référence
 - ◆ différents niveaux de connaissances, avec pour l'élève
 - ◆ différents outils
 - ◆ différents langages
 - ◆ différents buts

Modélisation de l'apprenant

- ◆ Modèle de l'apprenant
 - ◆ structure de données
 - ◆ pour représenter l'état des connaissances de l'apprenant dans le domaine considéré
 - ◆ du point de vue du système (EIAH)
- ◆ Permet de construire un profil de l'apprenant
 - ◆ informations sur l'apprenant
 - ◆ connaissances, compétences, croyances, préférences...
 - ◆ demandées explicitement
 - ◆ obtenues implicitement (analyse de son comportement)
 - ◆ traces d'interaction avec le système, diagnostic sur les productions
- Détaillé dans le cours « Modèles et profils de l'apprenant »

Modélisation pédagogique

- ◆ Connaissances du « pédagogue »
 - ◆ Ensemble de spécifications sur la manière dont le système doit construire ses interventions
- ◆ Portent sur
 - ◆ Les activités disponibles
 - ◆ Les parcours disponibles
 - ◆ Les stratégies d'enseignement
 - ◆ Les stratégies de remédiation
 - ◆ ...

Module pédagogique

- ◆ Utilise
 - ◆ Le modèle pédagogique
 - ◆ Le modèle/profil de l'apprenant
 - ◆ initial et créé pendant la session
 - ◆ Des méta-connaissances
 - ◆ sur les problèmes, les connaissances du domaine et celles de l'apprenant
- ◆ Pour
 - ◆ Choisir les activités ou les problèmes à proposer à l'apprenant
 - ◆ Diagnostiquer un besoin d'aide, décider d'une intervention
 - ◆ Choisir le type d'aide (granularité, niveau de connaissance...)
 - ◆ Mettre en évidence certaines possibilités du système encore non exploitées
 - ◆ Exploiter la valeur éducative des erreurs commises par l'apprenant

Résolveur pédagogique

Spécificités du résolveur en EIAH

- ◆ Rôle du résolveur
 - ◆ Pas seulement fournir une solution correcte
 - ◆ Mais toutes les solutions correctes (ou au moins plusieurs)
 - Diagnostic : une réponse correcte de l'apprenant ne doit pas être déclarée fausse parce que ce n'est pas exactement celle donnée par le résolveur (ou celle qu'aurait donné un expert)
- ◆ Les connaissances doivent être explicites et déclaratives
 - ◆ Pour faciliter la construction d'explications
 - ◆ Exemples
 - ◆ Réseaux sémantiques, bien adaptés à la communication autour de la connaissance, mais moins à la résolution de problèmes
 - ◆ Règles de production, bien adaptées à la résolution de problèmes

Génération d'exercices

- ◆ Suite à une requête du module pédagogique qui précise les caractéristiques souhaitées pour le problème à construire
- ◆ Utilise des méta-connaissances sur les problèmes
 - ◆ Classe, difficulté, proximité entre problèmes
- ◆ Utilise le modèle de l'élève
 - ◆ Problèmes déjà résolus
 - ◆ Difficultés rencontrées
 - ◆ Préférences

Diagnostic des réponses de l'apprenant

◆ Principe

- ◆ Comparer les réponses de l'apprenant à celles du résolveur
- ◆ Identifier les différences pour comprendre les erreurs et leurs origines
- ◆ Par exemple en répertoriant des erreurs attendues
- ◆ Pour participer à la construction du modèle de l'élève
- ◆ Pour lui fournir un feedback sur ses réponses

◆ Se sert du modèle de l'élève, par exemple :

- ◆ Connaissances acquises
- ◆ Problèmes déjà résolus

◆ Connaissances de diagnostic

- ◆ Connaissances de niveau méta par rapport aux connaissances de résolution

Aide et explications

◆ Aide

- ◆ Demandée par l'apprenant ou proposée par le système qui détecte une difficulté
- Rappel des consignes \Rightarrow explication concernant un point précis

◆ Explications

- ◆ Dans le cadre de l'aide ou suite au diagnostic d'une réponse erronée
- ◆ Elles concernent
 - ◆ Les connaissances du domaine
 - ◆ La résolution du problème traité
 - ◆ Les erreurs de l'apprenant
 - ◆ La conduite de la session (activité, objectif pédagogique)
- Les connaissances de résolution type système-expert ne suffisent pas, on a besoin des méta-connaissances de contrôle du raisonnement, pour expliquer les stratégies de résolution

Construction d'explications

- ◆ S'appuie sur
 - ◆ Les connaissances du résolveur
 - ◆ Ses solutions
 - ◆ Éventuellement la réponse de l'apprenant
- ◆ Doit s'adapter
 - ◆ À l'apprenant (grâce au modèle de l'apprenant)
 - ◆ À la situation d'apprentissage
- ◆ Fournit à l'interface un message ou des éléments qui lui permettront une représentation graphique

Les changements dans les années 90

- ◆ Changement d'approche : technocentrisme vs anthropocentrisme
- ◆ Recherche de fondements théoriques
 - ◆ Exemple : travaux de John Self sur les formes d'apprentissage
 - ◆ Learning from a knowledgeable agent, from reasoning, from reflection
 - ◆ Learning through exploration and experimentation, through cognitive conflict, through interaction and dialogue
- ◆ Système auteurs pour ITS
 - ◆ Travaux de Tom Murray
- ◆ Rapprochement avec la communauté Hypermédia Adaptatif
 - ◆ Travaux de Peter Brusilovsky : ELM-ART, INTER-BOOK, AHA...

Nouvelles connaissances représentées

- ◆ Parcours de formation
- ◆ Modèles utilisateurs, adaptation
- ◆ Systèmes conseillers
- ◆ Dialogues, langue naturelle
- ◆ Cognition distribuée
- ◆ Collaboration (CSCL)
- ◆ ...

La rupture des années 2000

- ◆ Explosion du web
 - ◆ Web de documents et de données adaptatifs
 - ◆ Organisation et contenus dynamiques & adaptatifs à partir de modèles
 - ◆ Média sociaux (Learning 2.0)
 - ◆ Apprentissage collaboratif induit par les outils
 - ◆ Nécessité de sémantique
 - ◆ Semantic Web, Linked Data, Lightweight Ontologies
 - ◆ Analyse de données d'apprentissage
 - ◆ Big data, Learning Analytics, EDM et techniques numériques de fouille

Modèles revisités

- ◆ Approfondissement des modèles de tutorat, de collaboration, de dialogues
- ◆ Augmentation des modèles utilisateurs
 - ◆ Modèle ouvert de l'apprenant
 - ◆ Prise en compte des émotions (reconnaissance sur le visage), de l'engagement
- ◆ Gestion et adaptation au contexte : mobilité, ubiquité...
- ◆ Prise en compte de la qualité des ressources pédagogiques *via* des annotations
- ◆ Systèmes auteurs pour les systèmes fondés sur le Web
- ◆ Nouveaux compagnons : agents animés

Plan du cours

- ◆ Qu'est-ce que l'IA ?
- ◆ L'IA pour faire quoi en EIAH ?
- ◆ Quelles techniques d'IA pour le faire ?
- ◆ Exemple : l'EIAH AMBRE
- ◆ Bilan, apports réciproques et perspectives
- ◆ Pour aller plus loin

Règles de production

Chaque unité de connaissance est appelée *règle* :

Si Prémises Alors Conclusions

- ◆ Connaissances déclaratives et révisables
- ◆ Une règle n'est pas désignée par un nom, mais par ses conditions de déclenchement (prémises) et ses effets (conclusions) : mode d'accès associatif
- ◆ L'ensemble des règles forme la *base de connaissances*, ou *base de règles*

Architecture d'un système à base(s) de règles



- ◆ La base de faits contient, pour une situation donnée, les faits avérés ou à établir
- ◆ Le moteur d'inférence est un programme qui exploite la base de règles pour déduire de nouveaux faits.
Il détient le contrôle du raisonnement
- ◆ Les conclusions des règles sont des ajouts ou retraits de faits, ou des lancements d'actions

Générateur de SBR (noyau)

- ◆ Moteur d'inférence
- ◆ Langage d'expression externe des connaissances
- ◆ Ensemble de structures et conventions de représentation internes de ces connaissances

- On instancie ce noyau à un domaine en garnissant la base de règles

Fonctionnement du moteur d'inférence

◆ Chaînage avant

- ◆ Le système n'a pas de but, il déclenche des règles jusqu'à épuisement ou arrêt

◆ Chaînage arrière

- ◆ Un but est assigné au système
- ◆ Le système cherche à unifier la partie conclusion des règles avec ce but, et fixe comme nouveaux buts les prémisses de la règle sélectionnée
- ◆ On développe donc un arbre ET/OU de buts, les feuilles pouvant être validées ou invalidées par la base de faits

◆ Chaînage mixte : panacher chaînage avant et arrière :

- ◆ Tant que des règles sont déclenchantes, on avance
- ◆ Puis on choisit une règle « presque déclenchable » et on essaie d'en évaluer les prémisses inconnues en chaînage arrière
- ◆ En cas de succès, on repart en chaînage avant

Logique épistémique

- ◆ $[a]p$: l'agent a sait p
- ◆ Exemple : [Pierre] [Paul] Jean est à Grenoble
Pierre sait que Paul sait que Jean est à Grenoble
- ◆ Règle d'inférence : modus ponens
- ◆ Axiomes :
 - ◆ $[a](B \Rightarrow C) \Rightarrow [a]B \Rightarrow [a]C$ (distribution)
 - ◆ $[a]B \Rightarrow B$ (connaissance)
 - ◆ $[a]B \Rightarrow [a] [a]B$ (introspection positive)
 - ◆ $\neg[a]B \Rightarrow [a] \neg[a]B$ (introspection négative)
- ◆ $(a)p$: l'agent a croit que p
 - ◆ $(a)B \Rightarrow \neg(a)\neg B$ (axiome de cohérence)
- ◆ Pour en savoir plus : **modèle BDI (Belief-Desire-Intention)**

SBR & logique en EIAH

- ◆ Modélisation des connaissances du domaine, de l'apprenant, du modèle pédagogique
- ◆ Prise de décision
 - ◆ Activités à faire
 - ◆ Assistance à proposer
 - ◆ ...

Métaconnaissances

- 💧 = Connaissances sur les connaissances
- 💧 Nous en avons besoin pour :
 - 💧 Utiliser les connaissances
 - 💧 En découvrir de nouvelles
 - 💧 Les transmettre à quelqu'un d'autre
 - 💧 Chercher dans notre mémoire
 - 💧 ...
- 💧 Nous les utilisons inconsciemment
 - Elles sont implicites

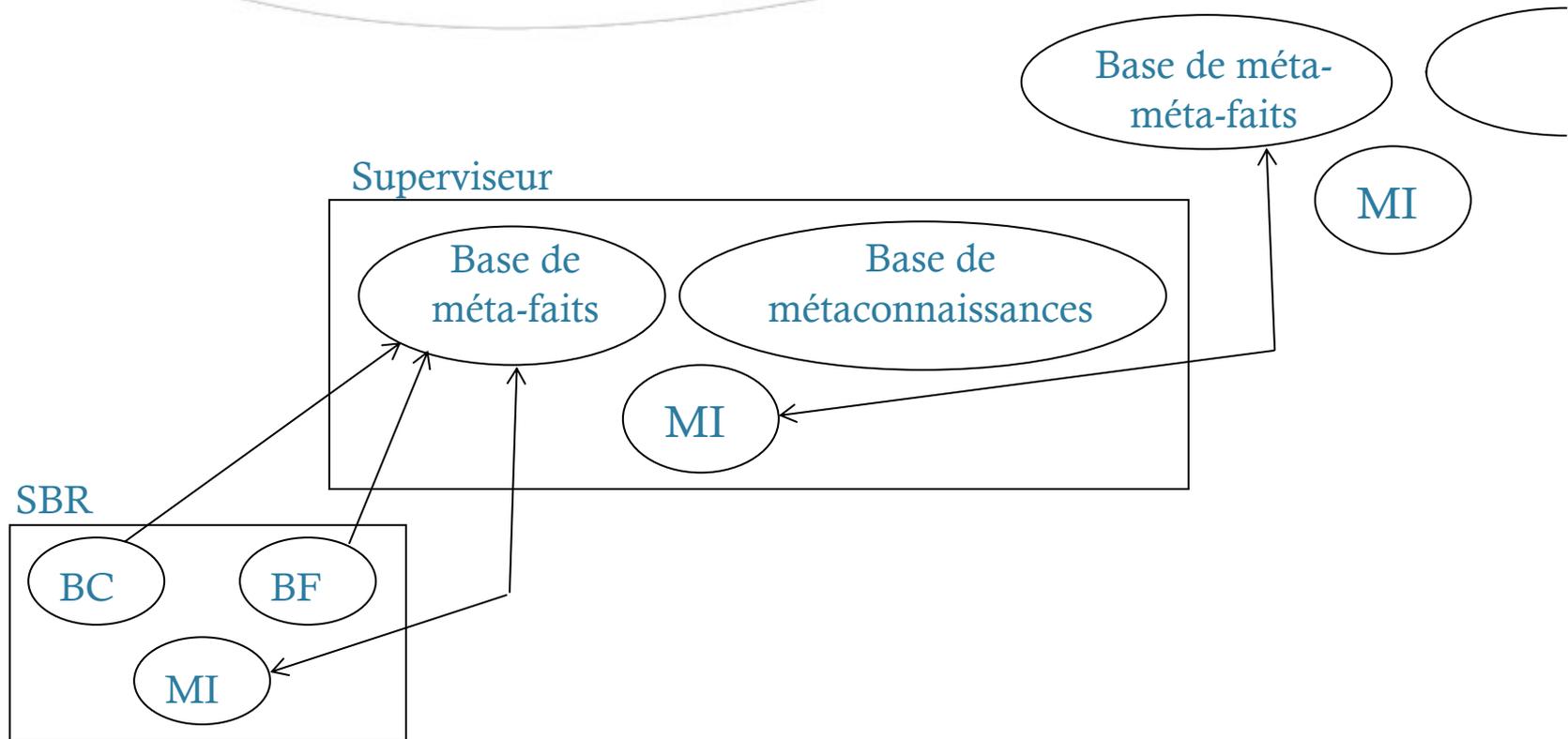
Métaconnaissances (J. Pitrat)

- ◆ Connaissances sur les connaissances
 - ◆ Propriétés des connaissances
 - ◆ Connaissances sur les connaissances d'un individu
 - ◆ Connaissances pour manipuler des connaissances
- ◆ Les métaconnaissances sont des connaissances
- ◆ L'homme est conscient des niveaux méta

Opérer à plusieurs niveaux

- ◆ Pour être « intelligent », un système informatique doit pouvoir
 - ◆ Réfléchir sur l'énoncé des problèmes qu'il traite
 - ◆ Disposer d'un mécanisme analogue à la conscience humaine pour savoir ce qu'il a fait, et pourquoi il l'a fait
 - ◆ Comprendre les raisons de ses succès et de ses échecs
 - ◆ Observer ses progrès vers son but
 - ◆ Modifier ses plans en fonction de ses observations

Ascension des niveaux méta



Utiliser la réflexivité pour arrêter l'ascension des niveaux méta

M1 : Si la règle R1 est identique à la règle R2

Alors éliminer la règle R2

M2 : Si la règle R1 est identique à la règle R2

Alors éliminer la règle R2

- ◆ La règle M1 est une **méta-règle**, puisqu'elle parle de règles
- ◆ Elle est réflexive puisqu'elle s'applique à elle-même
 - Il y a réflexivité chaque fois qu'un système s'applique à lui-même

Les connaissances qui sont des propriétés des connaissances

- ◆ Historique d'une connaissance
- ◆ Véracité d'une connaissance
- ◆ Précision d'une connaissance
- ◆ Classification des connaissances
- ◆ Intérêt d'une connaissance

Les connaissances sur les connaissances des individus

- ◆ Quel individu modélise-t-on ?
 - ◆ Soi-même
 - ◆ Un autre système d'IA
 - ◆ Des êtres humains
- ◆ Pourquoi utiliser un modèle ?
 - ◆ Pour comprendre pourquoi un individu a fait quelque chose
 - ◆ Pour prédire ce que quelqu'un va faire
- ◆ Que contient un modèle ?
 - ◆ Savoir ce qu'un individu sait
 - ◆ Savoir ce qu'un individu veut faire
 - ◆ Savoir ce qu'un individu peut faire
 - ◆ Savoir comment un individu fait quelque chose
 - ◆ Connaître les habitudes d'un individu

Connaissances pour manipuler des connaissances (1)

- ◆ Objectif : accroître la quantité et la qualité des connaissances
 - ◆ Connaissances pour acquérir des connaissances
 - ◆ Aider l'utilisateur
 - ◆ Diagnostiquer les connaissances fournies
 - ◆ Compléter les connaissances
 - ◆ Connaissances pour stocker des connaissances
 - ◆ Où
 - ◆ Comment
 - ◆ Connaissances pour découvrir de nouvelles connaissances
 - ◆ Créer une connaissance, par généralisation, analogie, ...
 - ◆ Modifier des k, par spécialisation, généralisation, élimination

Connaissances pour manipuler des connaissances (2)

- ◆ Objectif : résoudre un problème
 - ◆ Connaissances pour rechercher les connaissances en mémoire
 - ◆ Connaissances pour utiliser les connaissances
 - ◆ Définir le mode d'emploi des connaissances
 - ◆ Choisir les connaissances les plus pertinentes
 - ◆ Compiler les connaissances
- ◆ Objectif : communiquer avec un utilisateur
 - ◆ Connaissances pour exprimer des connaissances
 - ◆ Choisir ce qu'on va dire
 - ◆ Quand
 - ◆ Comment

Métaconnaissance en EIAH

- ◆ Propriétés des connaissances du domaine (niveau, granularité, prérequis, ...)
- ◆ Classification des entités du domaine
- ◆ Représentation des tâches
- ◆ Connaissances sur les stratégies de raisonnement
- ◆ Propriétés des problèmes (classe, difficulté, connaissances requises, ...)
- ◆ Le raisonnement menant à une explication est un méta-raisonnement puisqu'il porte sur le raisonnement du résolveur
- ◆ Modèle de l'apprenant : connaissances sur les connaissances de l'apprenant
- ◆ Connaissances de diagnostic, qui portent sur les connaissances de résolution
- ◆ Les métaconnaissances de résolution ou métaconnaissances pédagogiques ne sont en général pas explicitées par les enseignants ou l'institution

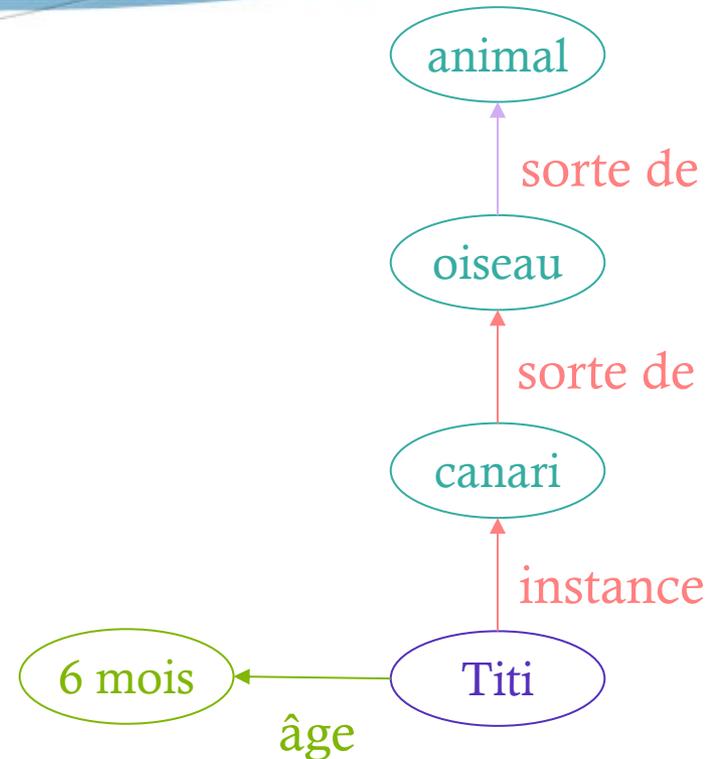
Ontologies

💧 Motivations

- 💧 Représenter et structurer des concepts de façon explicite pour la machine et l'humain
- 💧 Description au niveau connaissance
- 💧 Une représentation partagée
 - 💧 Par une communauté
 - 💧 Par des logiciels
- 💧 Permet de décrire un concept selon plusieurs points de vue (enseignant, apprenant, tuteur, ...)

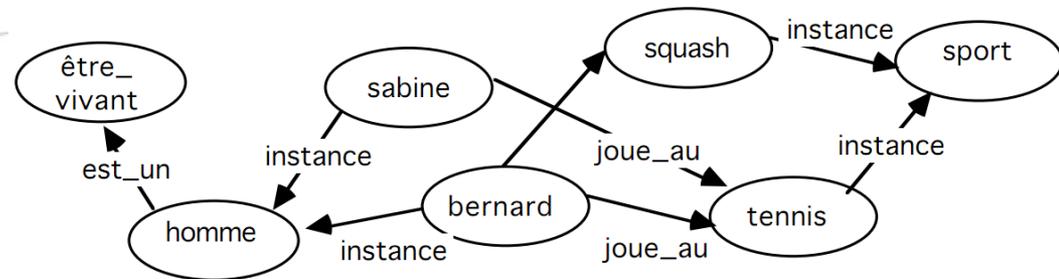
Réseaux sémantiques

- Graphe composé
 - Ensemble de nœuds typés
 - Concept, individu, action, situation
 - Ensemble d'arcs
 - Relation structurales ou spécifiques
 - Ensemble d'opérations d'exploitation du graphe



Interprétation des connaissances dans les réseaux sémantiques

- ◆ Moteur d'inférences à règles de production variable
- ◆ Base de connaissances
 - ◆ Organisée en RS
 - ◆ Faits = triplets (O1, R, O2)
- ◆ Question
 - ◆ Fragment de RS
- ◆ Réponse
 - ◆ Ensemble de triplets
- Si RS important => problèmes combinatoires



quelqu'un fait-il du sport ?



sabine joue_au tennis
bernard joue_au tennis
bernard joue_au squash

Ontologies et réseaux sémantiques en EIAH

- ◆ À l'usage des enseignants et/ou concepteurs d'EIAH pour
 - ◆ modéliser les connaissances de référence
 - ◆ modéliser l'intention didactique
 - ◆ positionner les connaissances acquises par rapport aux connaissances enjeu d'apprentissage
 - ◆ définir des programmes scolaires
 - ◆ définir des scénarii pédagogiques
 - ◆ associer des concepts et des documents
- ◆ Ontologies pédagogiques
 - ◆ Objectifs d'apprentissage
 - ◆ Stratégies pédagogiques
 - ◆ Type de connaissances (déclaratives, procédurales, méta, ...)
 - ◆ Activités pédagogiques
 - ◆ Utilisation de ressources pédagogiques
- ◆ Réseaux sémantiques pour la navigation et le raisonnement
 - ◆ Dans site web, Cursus, Ontologies, ...

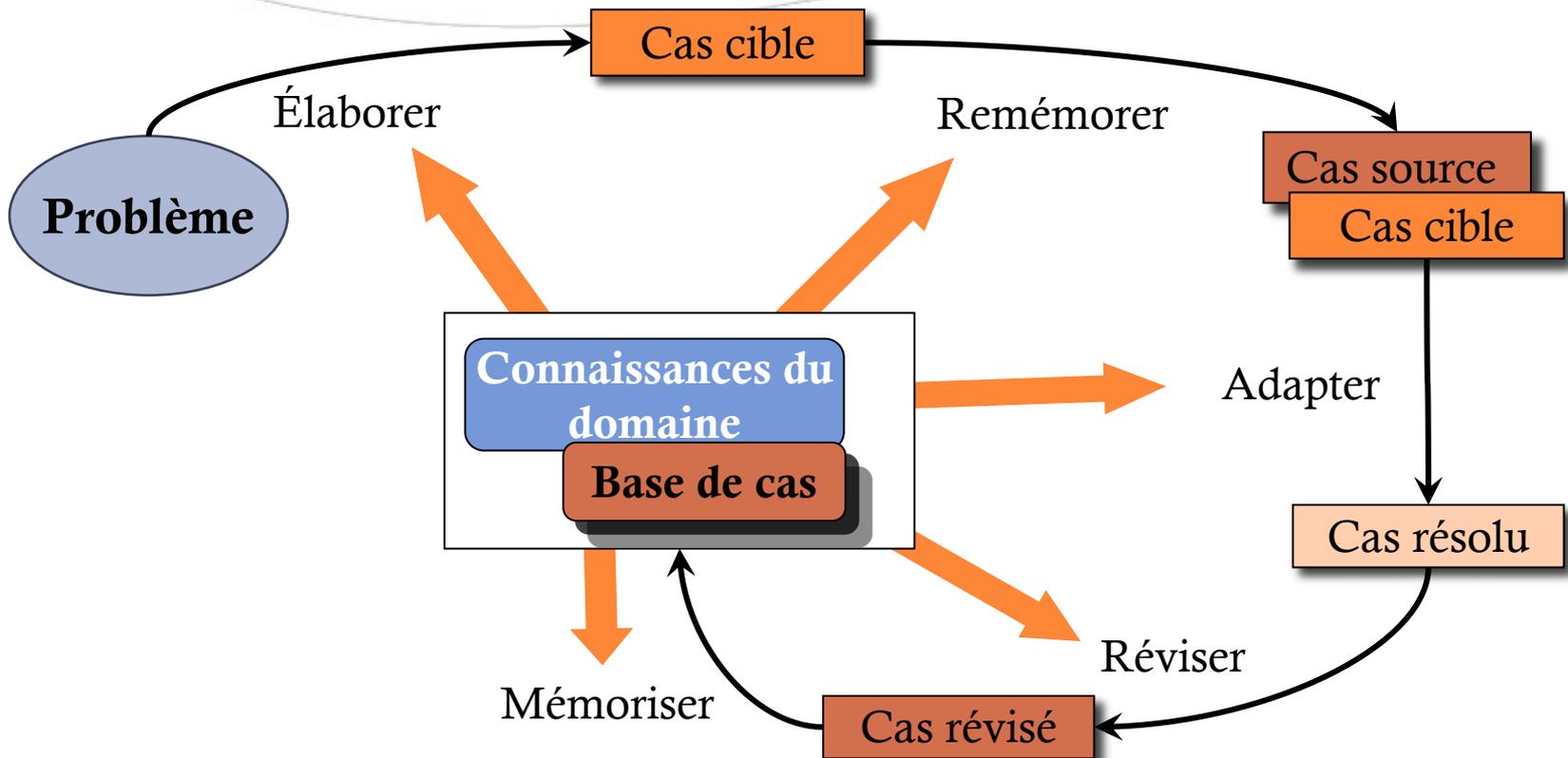
Systemes multi-agents

- ◆ SMA = ensemble d'agents autonomes en interaction
- ◆ Objectif de l'IA Distribuée :
faire émerger l'intelligence de l'interaction et de
l'organisation d'entités autonomes
- ◆ Deux approches
 - ◆ Métaphore sociologique : agents cognitifs (groupe d'experts)
 - ◆ Métaphore biologique : agents réactifs (vie artificielle)

SMA et approches bio-inspirées en EIAH

- ◆ Peu d'agents réactifs
 - ◆ Simulations de phénomènes complexes (physiques, biologiques, économiques, sociologiques, ...)
 - ◆ Identification de parcours d'apprenants
 - ◆ Exemple - POEM : création de parcours optimaux au sein de multiples cours en ligne pour atteindre un/des objectifs fixés via le paradigme des *hommilières* (colonies de fourmies)
- ◆ Essentiellement des agents cognitifs
 - ◆ Communautés d'apprenants
 - ◆ Apprentissage collaboratif
 - ◆ Rôles dans un EIAH
 - ◆ Apprenant, Compagnon, Tuteur, Assistant (à l'enseignant), Coordonnateur (FOAD)
- ◆ Résolution distribuée de problèmes
 - ◆ Réseaux d'experts (agents cognitifs)
 - ◆ Eco-résolution (agents réactifs)

Raisonnement à Partir de Cas (RàPC)



RàPC en EIAH

◆ Avantages

- ◆ Compétences de résolution de problèmes dynamiques
- ◆ Évolutivité des connaissances
- ◆ Modèle de l'apprenant = base de cas

◆ Applications

- ◆ Enseignement à base de cas
 - ◆ En situation de résolution de problème
 - ◆ Le système aide l'apprenant en lui montrant des cas proches résolus
 - ◆ Exemple : FAQ avec remémoration
- ◆ Construction du modèle de l'apprenant
 - ◆ En observant le choix du cas proche par l'élève et comment il l'adapte
- ◆ Guidage dans un hypermédia
 - ◆ Proposer un parcours à l'apprenant en utilisant les parcours des autres élèves
- ◆ Simulation
 - ◆ L'apprenant construit une expérience
 - ◆ Le système la simule en adaptant une expérience connue similaire

Data Mining

◆ Data Mining

- ◆ Terme générique englobant toute une famille d'outils facilitant l'exploration et l'analyse des données numériques
- ◆ Méthodes descriptives permettant d'organiser, de simplifier et d'aider à comprendre l'information contenue dans les données
- ◆ Méthodes prédictives permettent d'expliquer ou de prévoir un ou plusieurs phénomènes observables

◆ Educational Data Mining

- ◆ Is an emerging discipline, concerned with developing methods for exploring the unique and increasingly large-scale data that come from educational settings, and using those methods to better understand students, and the settings which they learn in. (<http://www.educationaldatamining.org/>)
- ◆ Cf. cours sur Learning Analytics (LAK) et Educational Data Mining (EDM)

Data Mining en EIAH

- ◆ Analyse des données d'apprentissage
 - ◆ Issues des traces d'interaction, de capteurs physiologiques, des réseaux sociaux d'apprenants...
- ◆ Méthodes et Outils pour :
 - ◆ Prédiction de l'abandon, de la note finale, de la qualité d'une ressource pédagogique...
 - ◆ Clustering
 - ◆ Des apprenants pour créer des groupes (homogènes ou non), identifier des comportements...
 - ◆ Des ressources pédagogiques (indexation) pour créer des parcours, faire des recommandations...
 - ◆ Extraction de relations
 - ◆ Découverte de modèles
 - ◆ Affichage des données traitées aux acteurs
 - ◆ ...

TAL en EIAH

- ◆ Traitement automatique du langage naturel
 - ◆ Discipline à la frontière de la linguistique, de l'informatique et de l'IA
- ◆ Utilisé en EIAH
 - ◆ Pour dialoguer avec l'apprenant
 - ◆ Le comprendre, lui répondre
 - ◆ Correction automatique des réponses aux activités
 - ◆ Pour traiter des textes
 - ◆ Identifier les concepts présents
 - ◆ Les indexer
 - ◆ Générer des questions sur ces textes...

Réalité Virtuelle et Augmentée en EIAH

- ◆ Réalité virtuelle (depuis 1970)
 - ◆ Technologie informatique qui simule la présence physique d'un utilisateur dans un environnement artificiellement généré par des logiciels
- ◆ Réalité augmentée (depuis 1990)
 - ◆ Technologie informatique qui associe sémantiquement et spatialement des objets réels et des objets générés par ordinateur
- ◆ Réalité mixte
 - ◆ Association des 2 concepts
- ◆ Surtout utilisé pour la formation professionnelle
- ◆ Atelier aux ORPHEE-RDV 2017 : <https://orphee-rv.hds.utc.fr/>

Plan du cours

- ◆ Qu'est-ce que l'IA ?
- ◆ L'IA pour faire quoi en EIAH ?
- ◆ Quelles techniques d'IA pour le faire ?
- ◆ Exemple : l'EIAH AMBRE
- ◆ Bilan, apports réciproques et perspectives
- ◆ Pour aller plus loin

Objectif du projet AMBRE

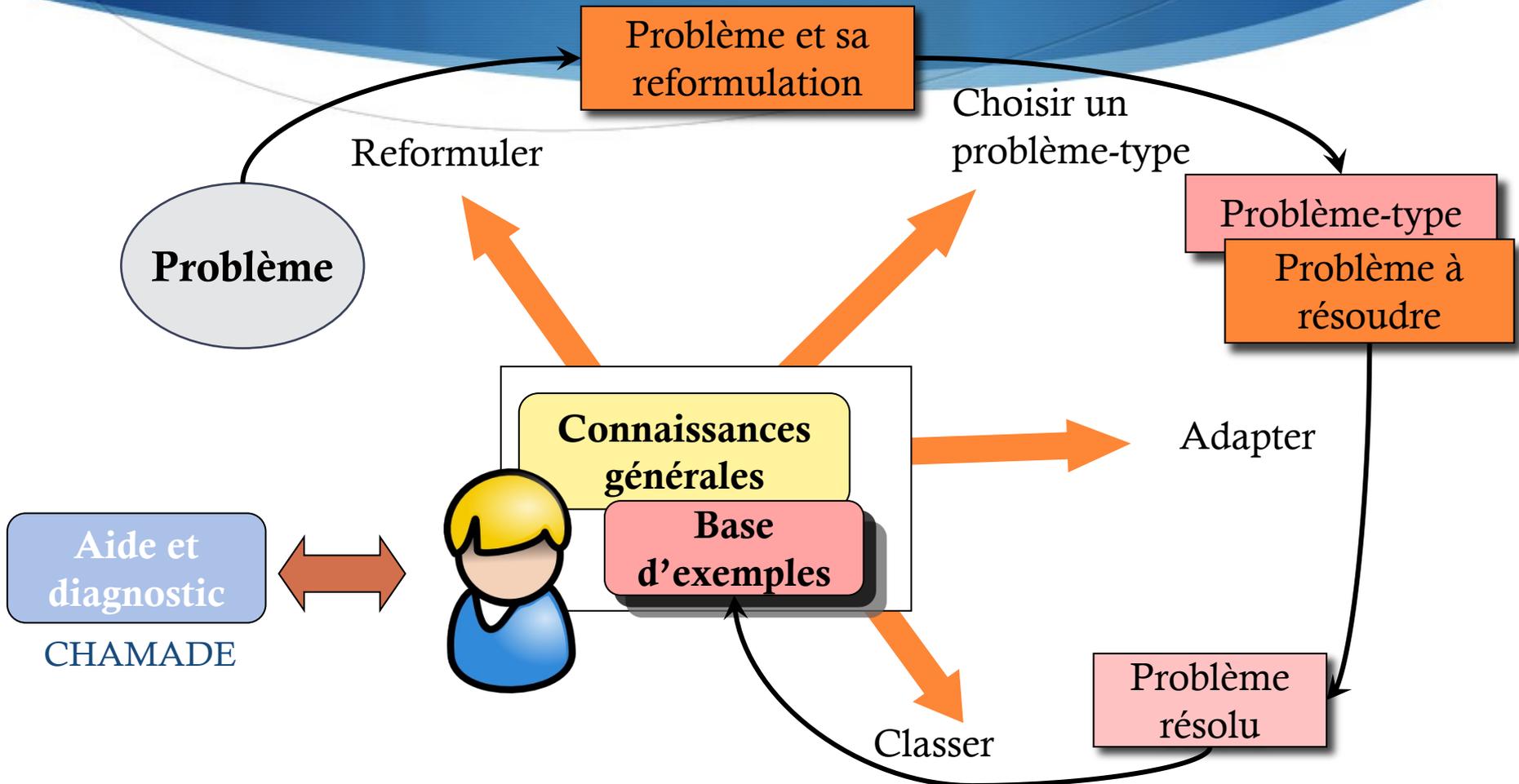
- ◆ Conception d'EIAH pour enseigner des méthodes
- ◆ Qu'est-ce qu'une méthode ?
 - ◆ Issue d'études en didactique des disciplines
 - ◆ En situation de résolution de problème :
 - ◆ Reconnaître la classe à laquelle appartient un problème
 - ◆ Associer une technique de résolution à une classe de problèmes
 - Connaissances de niveau méta : raisonner sur l'énoncé du problème

Comment faire acquérir une méthode ?

- ◆ Les méthodes ne peuvent pas être présentées directement
- ◆ Un apprenant actif qui construit sa méthode
- ◆ Utilisation du Raisonnement à Partir de Cas :
 - ◆ Mémoriser un problème prototype d'une classe
 - ◆ Apprendre à reconnaître les problèmes similaires
 - ◆ Adapter la résolution du problème prototype
- ◆ Principe de l'EIAH AMBRE
 - ◆ Présentation de quelques problèmes type
 - ◆ Assister l'apprenant dans la résolution de nouveaux problèmes
 - ◆ L'apprenant suit les étapes du RàPC

Le cycle AMBRE

Activités de l'apprenant lors de l'utilisation du logiciel



Études en psychologie cognitive dans le projet AMBRE

- ◆ Problématique : comment acquérir des connaissances abstraites (schémas) à partir de l'étude d'exemples et de la résolution de problèmes par analogie ?
 - ◆ Quels sont les mécanismes d'apprentissage mis en œuvre ? Comment les déclencher ?
- ◆ Exemples de résultats
 - ◆ Appropriation des exemples
 - ◆ Pour des novices, il vaut mieux faire analyser que faire résoudre
 - ◆ Choix des exemples : plus proche contraste

L'IA dans le projet AMBRE

- ◆ L'EIAH AMBRE s'appuie sur un système à base de connaissances issu de l'architecture SYRCLAD
- ◆ L'architecture SYRCLAD est destinée à la production de résolveurs de problèmes appliquant des méthodes
- ◆ Elle a été conçue dans le but de produire des résolveurs de problèmes destinés aux EIAH

L'architecture SYRCLAD

- ◆ Architecture pour expliciter la méthode que l'on souhaite enseigner
- ◆ Appliquée à 5 domaines
- ◆ Permet pour un domaine donné de
 - ◆ Définir les connaissances de la méthode
 - ◆ Obtenir un résolveur de problèmes du domaine
- ◆ Le résolveur d'un EIAH doit fonctionner selon les connaissances qu'il souhaite enseigner et non selon les connaissances expertes du domaine

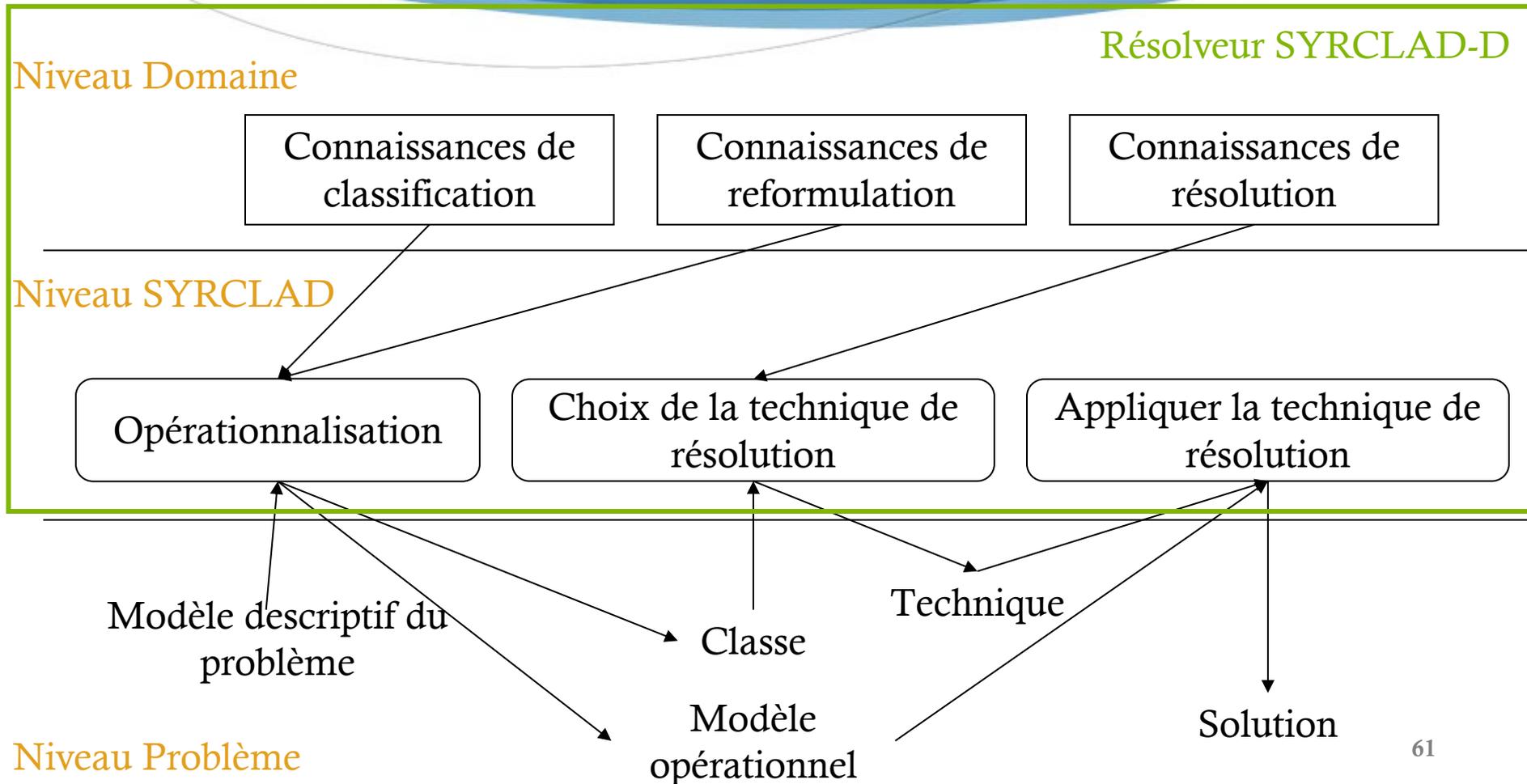
Problèmes additifs

“Alex avait 32 billes. À la fin de la récréation, il en a 45. Combien a-t-il gagné de billes pendant la récréation ?”

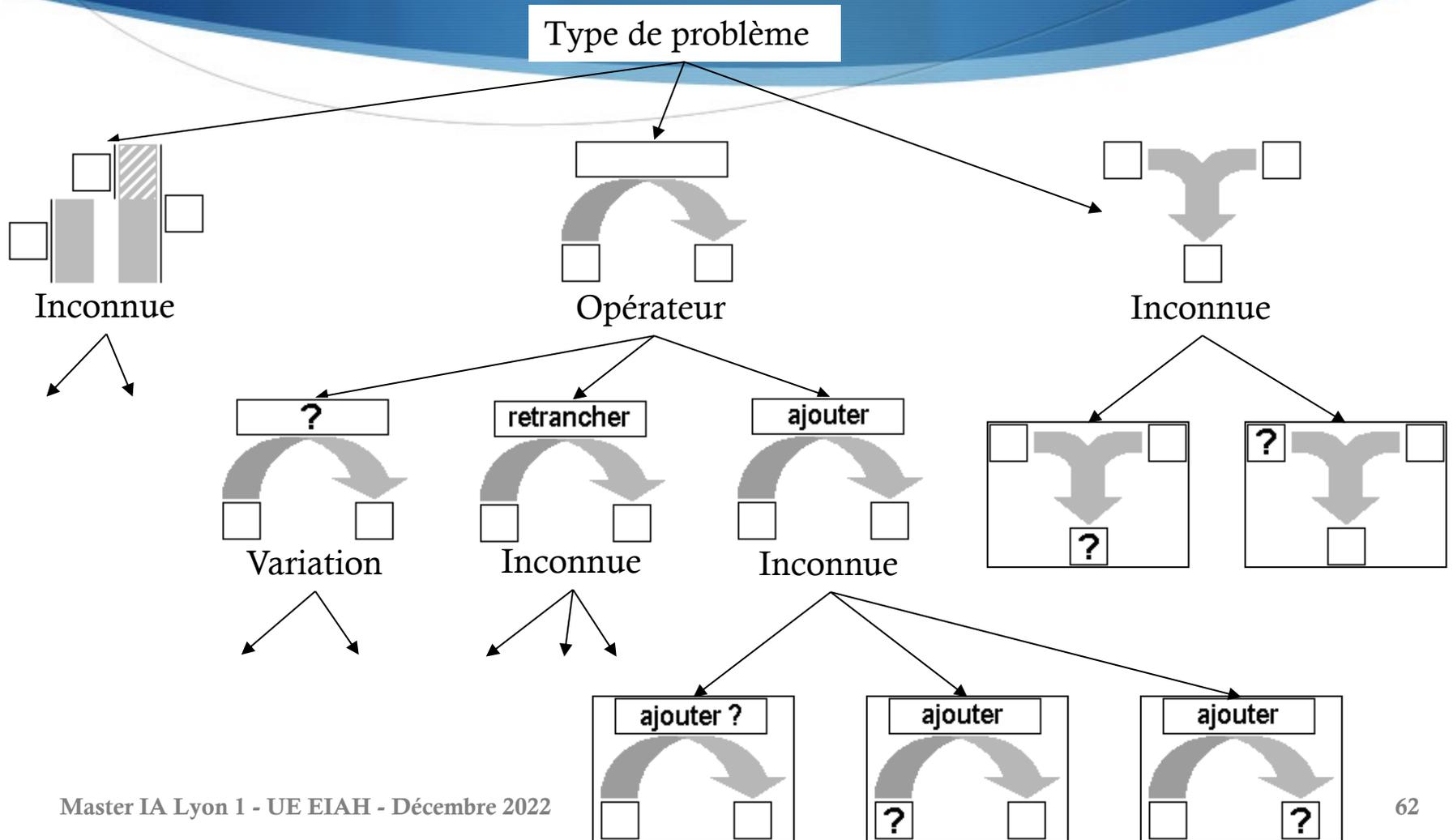
Dénombrements

“Combien y a-t-il de mots de cinq lettres contenant exactement deux voyelles et (exactement) deux "b" ?”

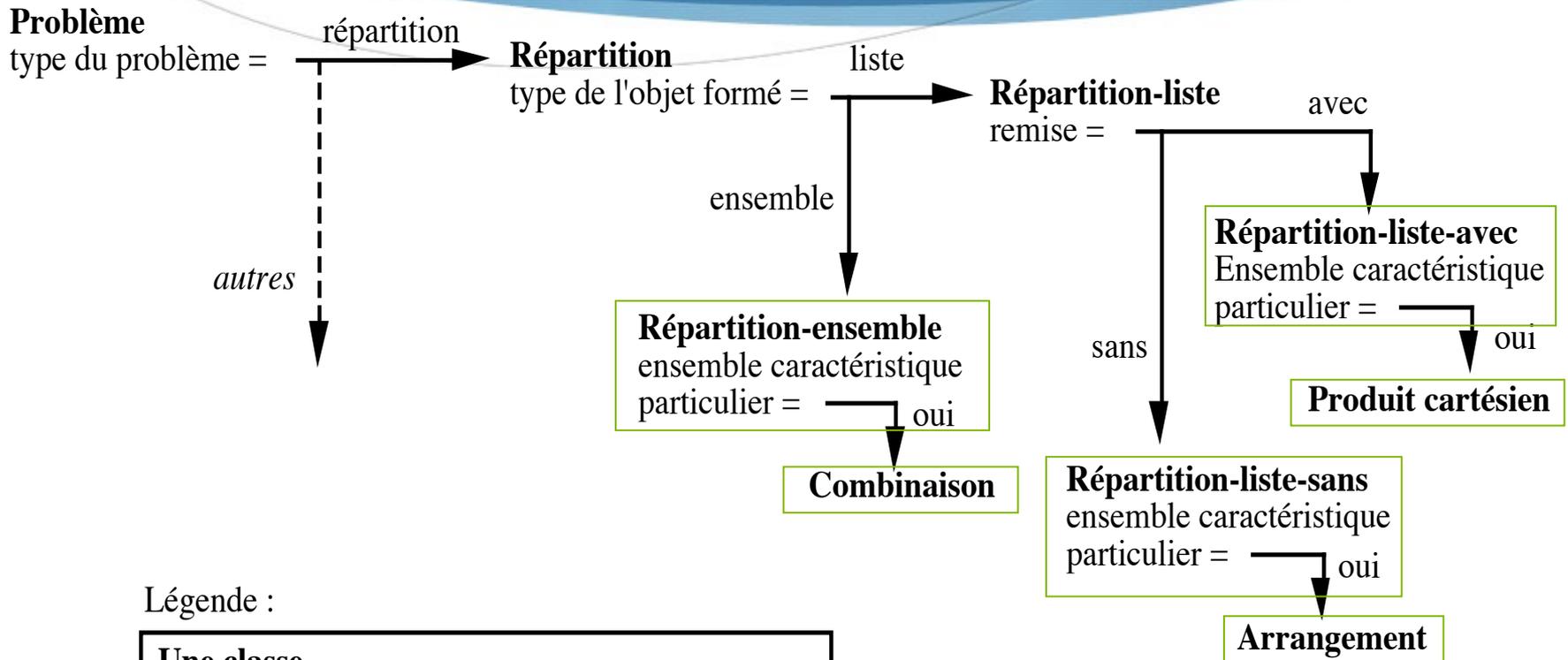
L'architecture SYRCLAD



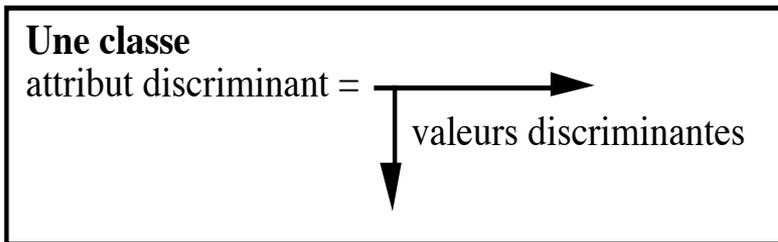
Graphe de classification pour les problèmes additifs



Connaissances de classification



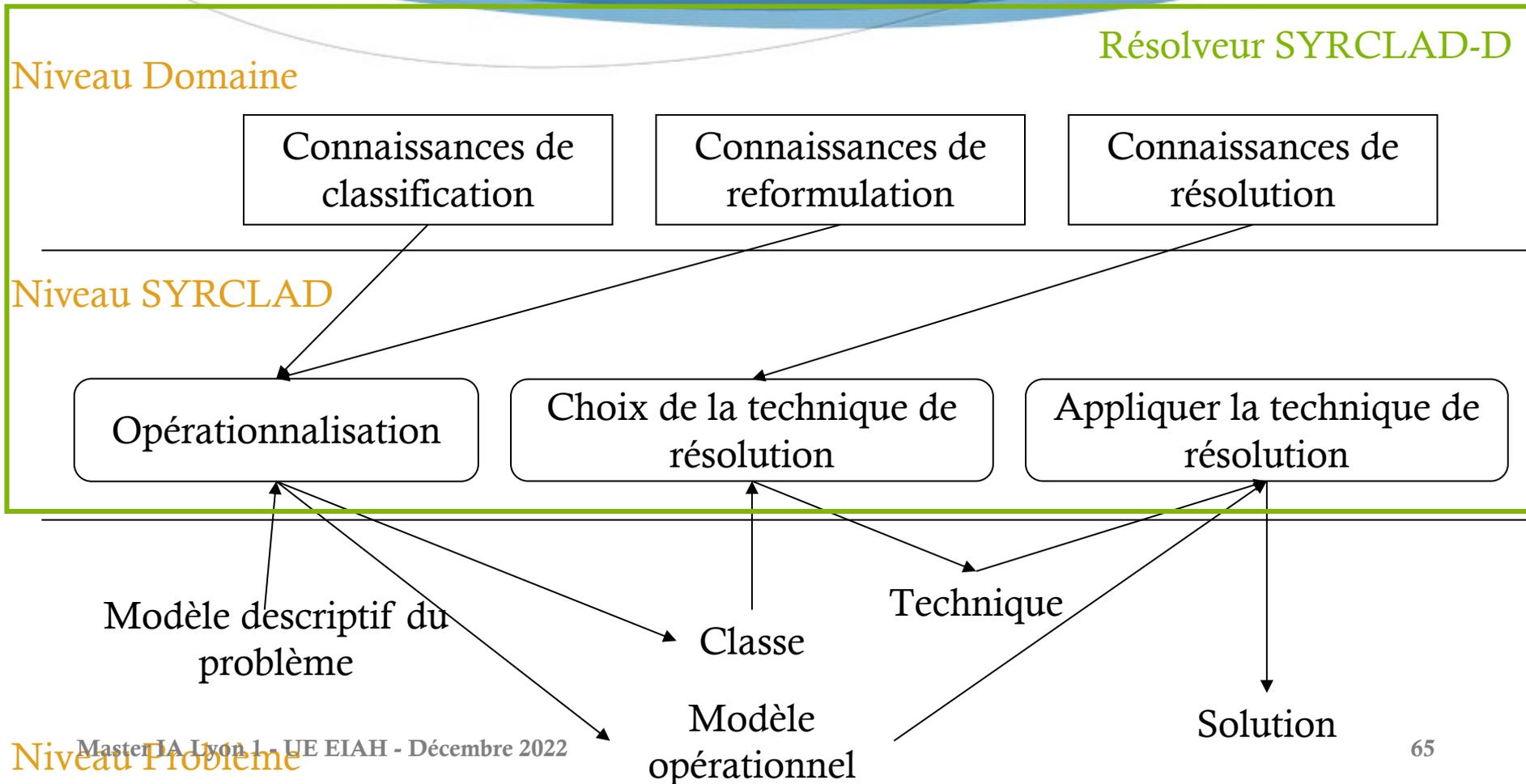
Légende :



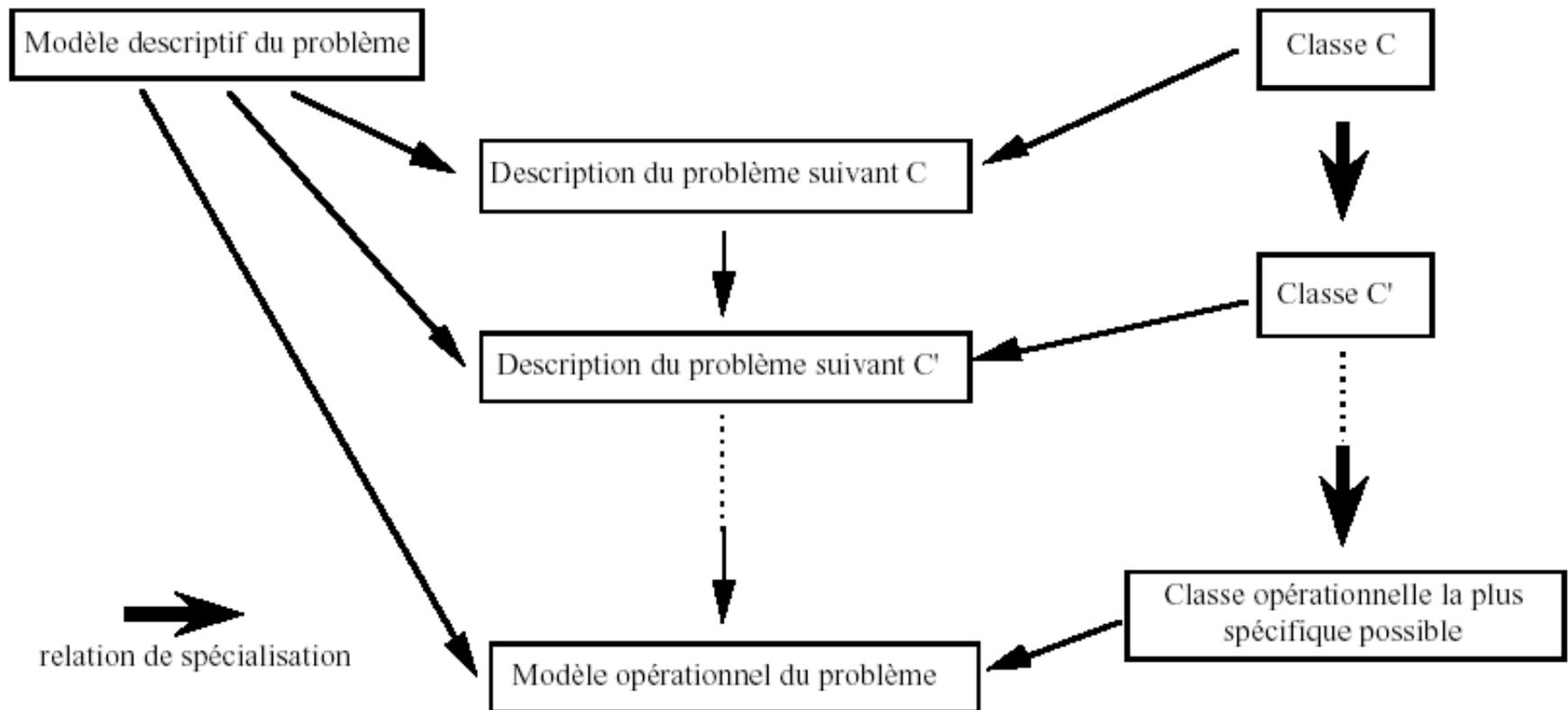
Classer un problème

- ◆ Algorithme de descente dans le graphe de classification
 - ◆ Essayer de descendre dans une sous-classe = trouver la valeur de l'attribut discriminant
 - ◆ Si on ne peut pas descendre
 - ◆ Si on est dans une classe non-opérationnelle
la classe n'est pas assez spécifique, on possède cependant certaines informations sur le problème
 - ◆ Si on est dans une classe opérationnelle
terminé avec succès
- ◆ Trouver la valeur d'un attribut
 - ◆ lire la valeur connue ou appliquer une règle
- ◆ Appliquer une règle
 - ◆ valeurs des prémisses connues
 - ◆ ou trouver la valeur de la première prémisse inconnue

L'architecture SYRCLAD



Reformulation



Connaissances de reformulation

Si le problème P possède une seule contrainte

Si cette contrainte est
effectif_attribut(**exactement**, N, Att, Val)

Si **Att** est un attribut possible pour le problème

Si **T** est la taille de la catégorie **Val** pour l'attribut **Att**

Alors le type du problème P est une répartition
et l'ensemble caractéristique de P est ((**T**, N, Val))

Dénombrements

“Combien y a-t-il de mots de cinq lettres contenant **exactement** deux voyelles et (exactement) deux "b" ?”

Répartition

[6, deux, (a,e,i,o,u,y)]

Et

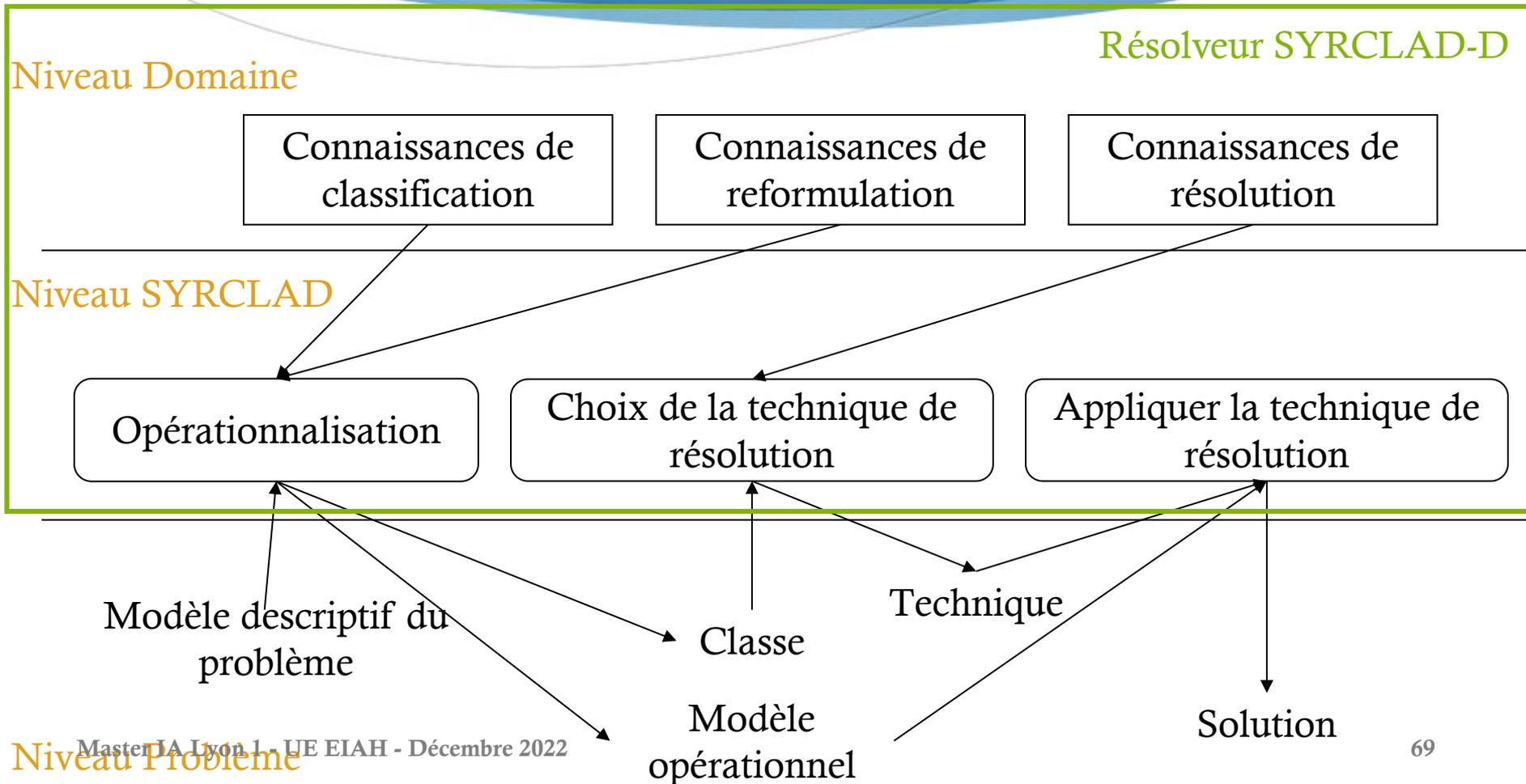
[1, deux, (b)]

Modèle opérationnel du problème

- ◆ Combien y a-t-il de mots de cinq lettres contenant exactement deux voyelles et (exactement) deux "b" ?
 - ◆ Type du problème : répartition
 - ◆ Type de l'objet formé : liste
 - ◆ Avec remise

 - ◆ Taille de l'ensemble où l'on choisit : 26
 - ◆ Taille de l'objet formé : 5
 - ◆ Ensemble caractéristique : $[[1, 2, b], [6, 2, \text{voyelle}]]$

L'architecture SYRCLAD



Appliquer une technique de résolution

- ◆ Combien y a-t-il de mots de cinq lettres contenant exactement deux voyelles et (exactement) deux "b" ?
- ◆ Plan de résolution :
 - ◆ On choisit 2 places parmi 5 pour les b
 - ◆ Puis on choisit un b parmi 1 pour chacune de ces places
 - ◆ Puis on choisit 2 places parmi 3 pour les voyelles
 - ◆ Puis on choisit un voyelle parmi 6 pour chacune de ces places
 - ◆ Puis on complète les 1 places restantes en choisissant 1 éléments parmi les 19 éléments restants

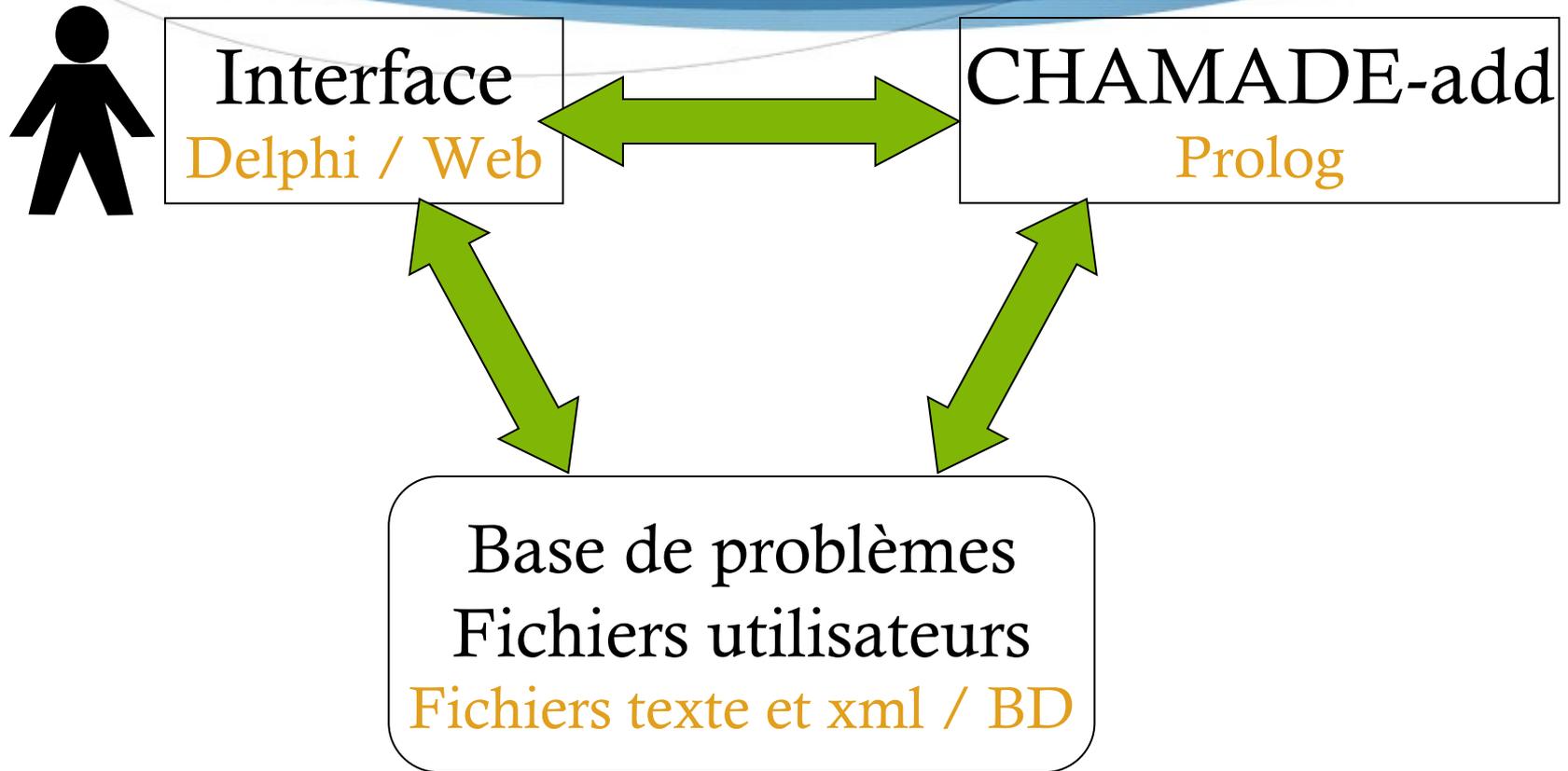
$$C(5,2) * 1 * 1 * C(3,2) * 6 * 6 * 19$$

- ◆ Solution : 20520

Le module domaine dans AMBRE-add

- ◆ Le résolveur SYRCLAD-add, qui applique la méthode que l'on souhaite enseigner pour les problèmes additifs
- ◆ Des connaissances supplémentaires, afin de
 - ◆ Fournir de l'aide à l'apprenant
 - ◆ Diagnostiquer ses réponses
 - ◆ Lui donner des explications sur ses erreurs
- CHAMADE-add

Architecture de AMBRE-add



Exemples d'aide

Aide



Tu dois dire comment s'écrit le problème :
- ce qu'il faut calculer (utilise le bouton ?),
- les nombres,
- l'opération.
Pour t'aider tu peux regarder le modèle.



Pour comparer le modèle et le problème, regarde les couleurs du texte.

D'accord

Le modèle que tu as choisi

Énoncé

Léa avait 8 billes avant de jouer avec Anaïs. Elle a maintenant 15 billes. Combien en a-t-elle gagné pendant la partie ?

Réécriture

ajouter ?



8

15

Rédaction de la solution

Le problème s'écrit : $8 + ? = 15$

Le problème à résoudre

Énoncé

Alex avait 32 billes. À la fin de la récréation, il en a 45. Combien a-t-il gagné de billes pendant la récréation ?

Ta réécriture

ajouter ?



32

45

Rédaction de la solution

Comment s'écrit le problème ?

=

?

?

?

Le problème s'écrit : ... +/- ... = ...



Exemples de diagnostic

Correction



Ce que tu as écrit est vrai, mais ce n'est pas la réponse à la question.

Correction

 1 Regarde bien dans l'énoncé les nombres que tu connais.

 2 Ce que tu as écrit correspond à :
Alex avait 45 billes au départ. Il en a maintenant 32.
Combien en a-t-il gagné ?
Compare avec l'énoncé de départ.

D'accord

Correction



Attention, regarde bien l'énoncé et ta solution



Ce qui est juste est en vert et ce qui est faux est en rouge.
Pour t'aider tu peux regarder la rédaction de la solution du modèle.

D'accord

Quelle est la réponse à la question ?

Alex

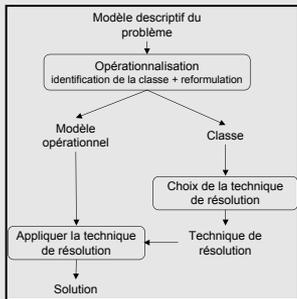
a perdu

11

bille(s)

Connaissances dans CHAMADE

Résolveur SYRCLAD



Connaissances sur la méthode

Classification

Reformulation

Résolution

Base des problèmes vus par l'apprenant

Connaissances pour l'aide et le diagnostic

Liens entre les éléments de l'énoncé, la reformulation et la résolution, pour 1 ou 2 pb

Cycle AMBRE consignes

Diagnostic
comparaison de réponses

Explication des erreurs

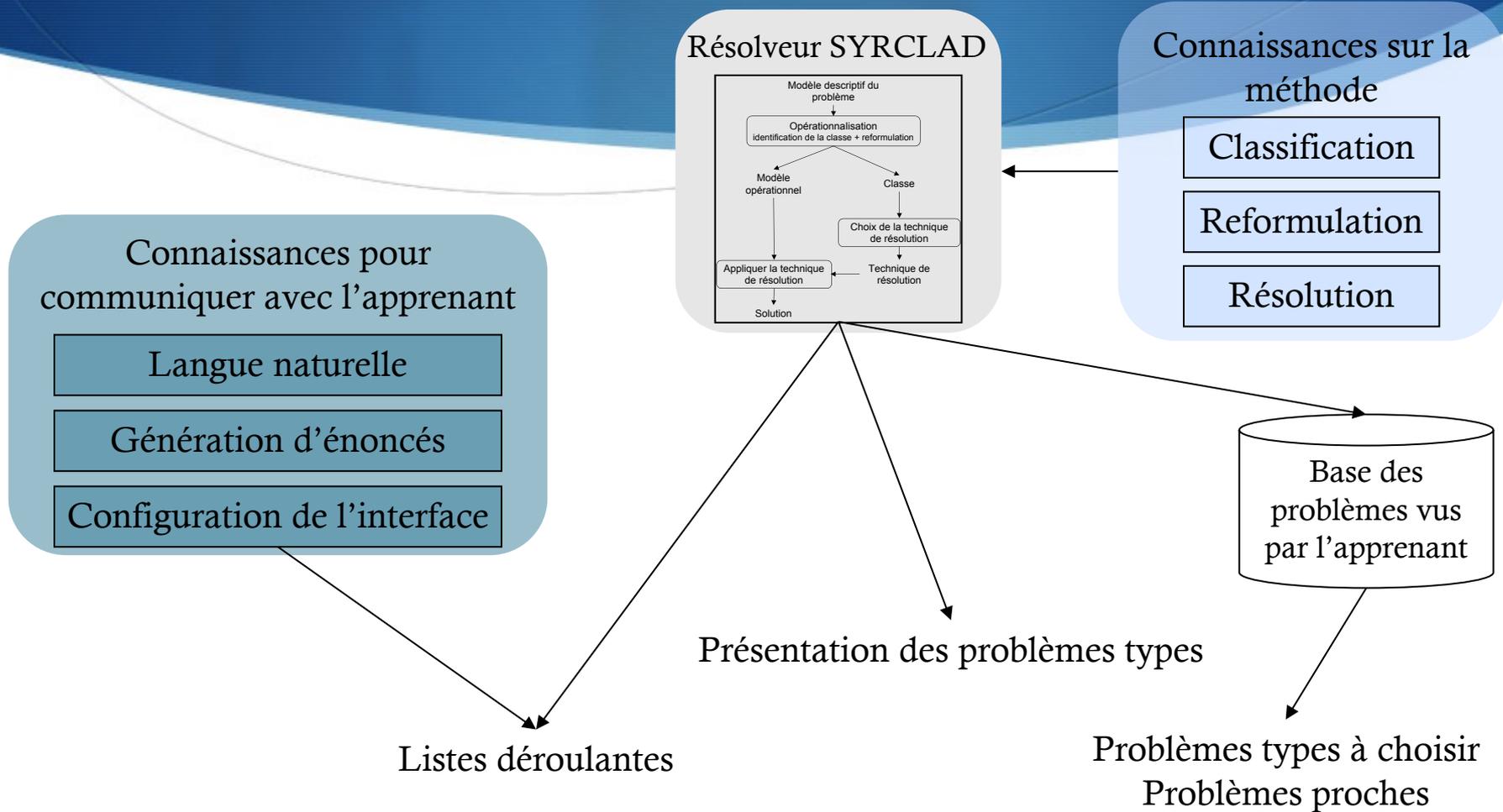
Connaissances pour communiquer avec l'apprenant

Langue naturelle

Génération d'énoncés

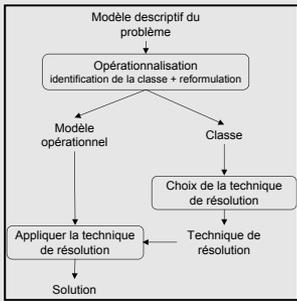
Configuration de l'interface

Demande de l'interface



Demande d'aide

Résolveur SYRCLAD



Connaissances sur la méthode

Classification

Reformulation

Résolution

Connaissances pour l'aide et le diagnostic

Liens entre les éléments de l'énoncé, la reformulation et la résolution, pour 1 ou 2 pb

Cycle AMBRE consignes

Diagnostic

comparaison de réponses

Explication des erreurs

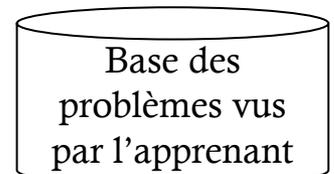
Connaissances pour communiquer avec l'apprenant

Langue naturelle

Génération d'énoncés

Configuration de l'interface

Avancement

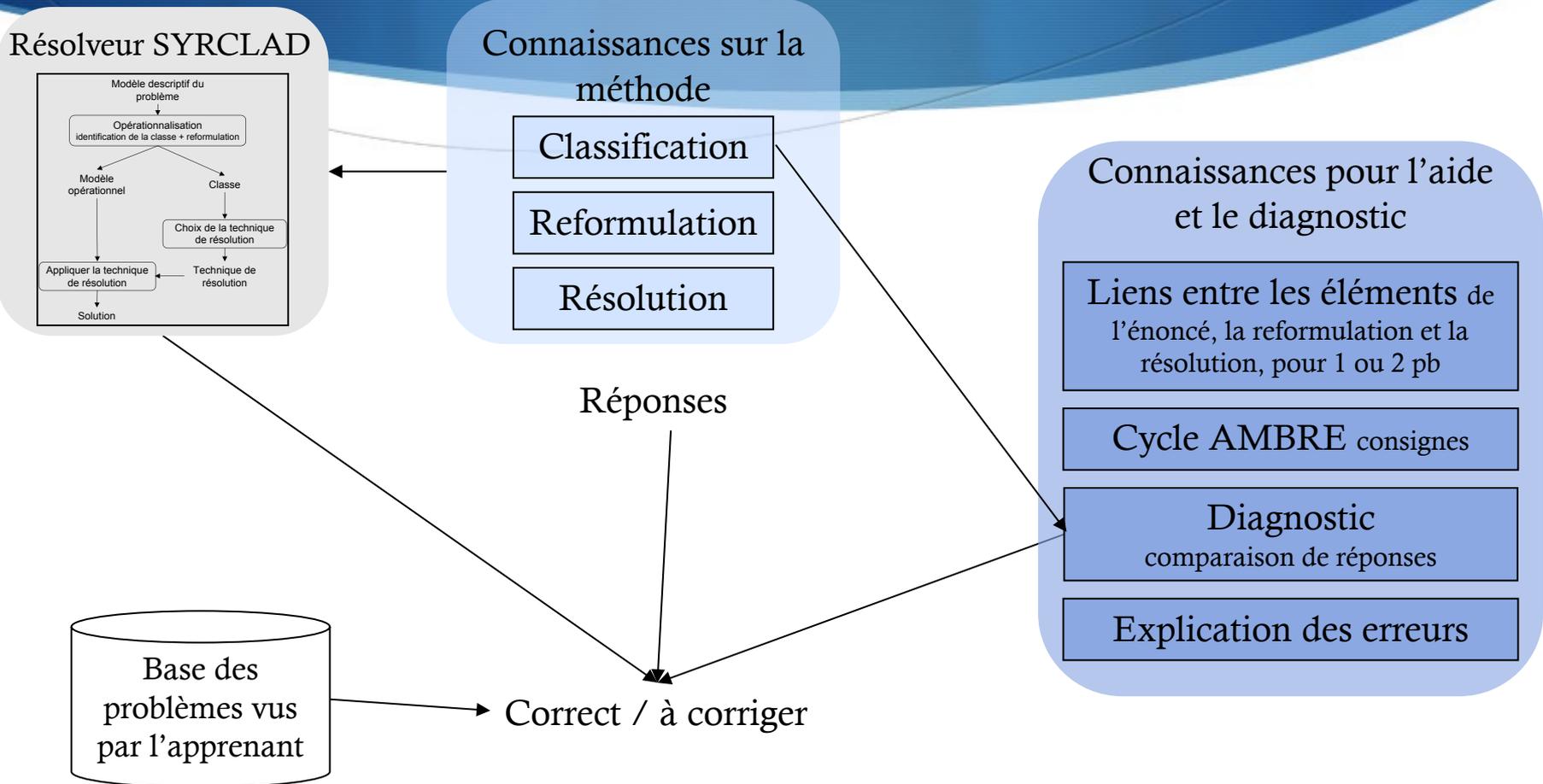


Problème type choisi

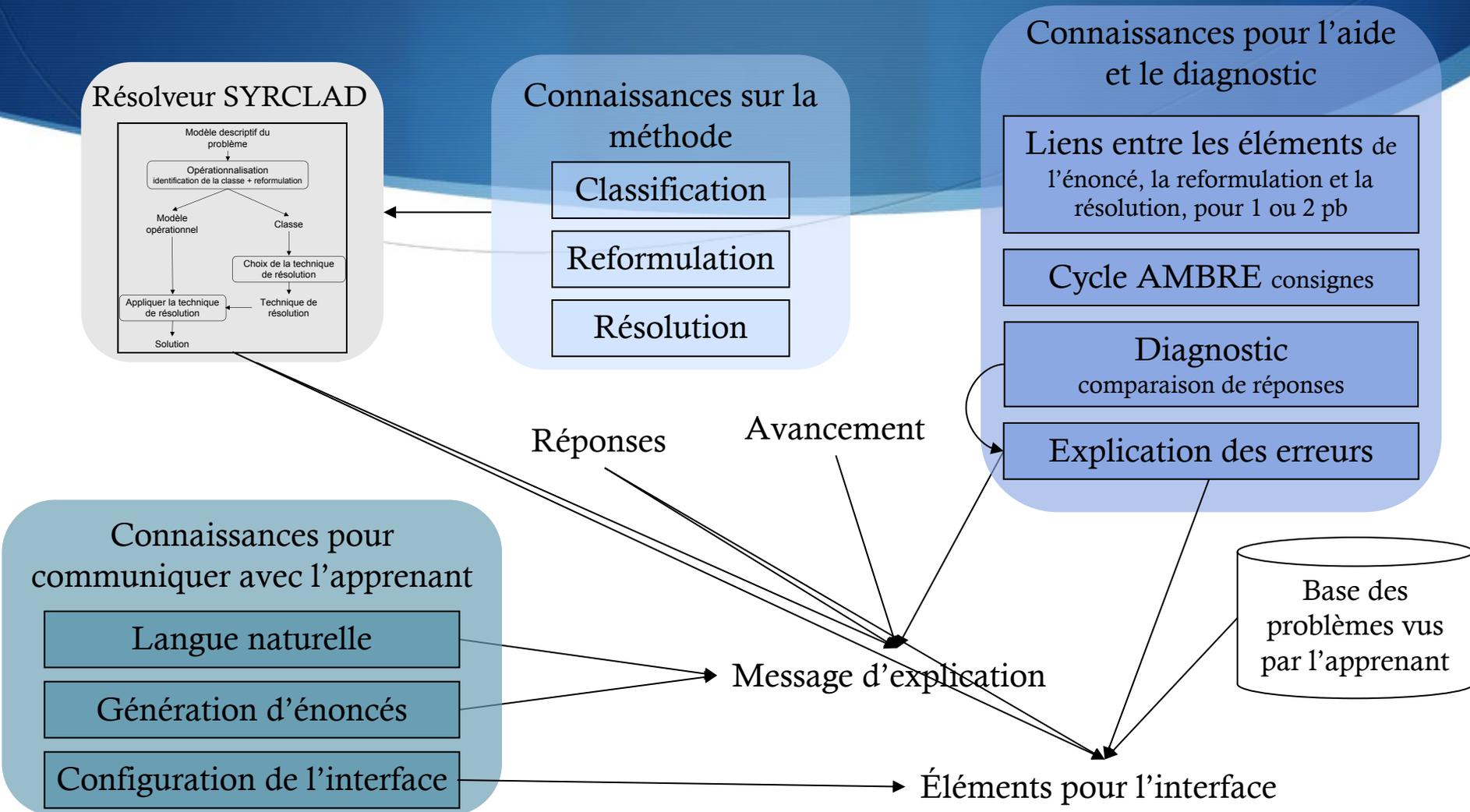
Message d'aide

Éléments pour l'interface

Demande de diagnostic : test



Suite au diagnostic : explications



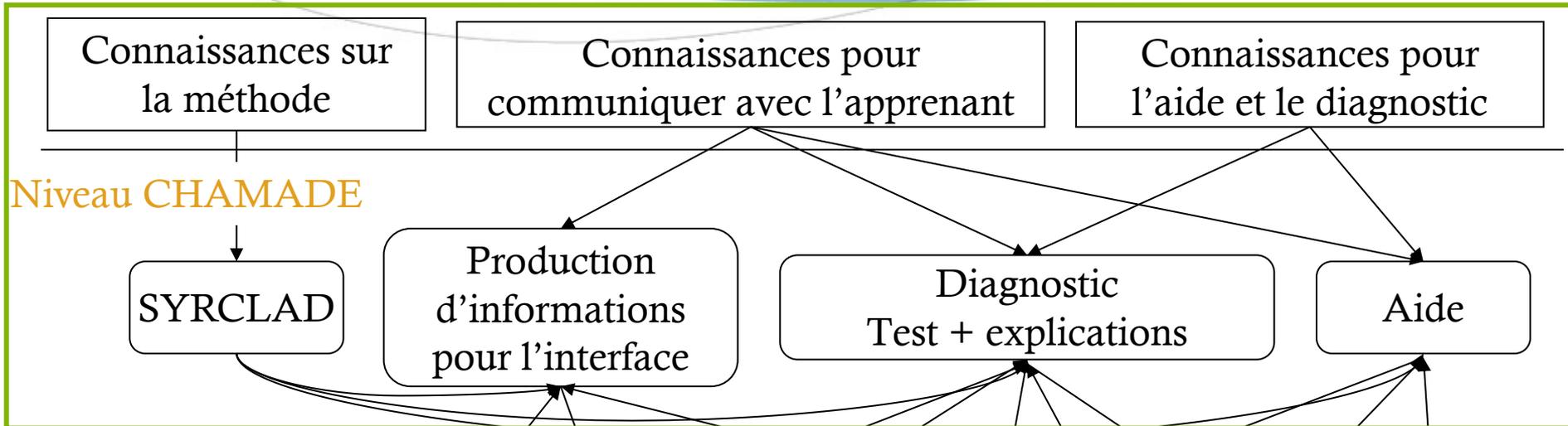
Quelle généricité pour CHAMADE ?

- ◆ Niveau indépendant du domaine
 - ◆ Processus
 - ◆ Formalisme de représentation des connaissances
- ◆ Niveau domaine
 - ◆ Connaissances
- ◆ Niveau problème

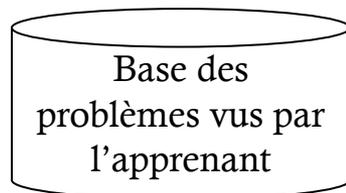
Généricité de CHAMADE

Niveau Domaine

CHAMADE-D



Niveau Problème



Information

Demande de diagnostic

Demande de l'interface
Réponses

Diagnostic et explications

Message ou élément pour l'interface

Demande d'aide

Avancement

Un générateur de problèmes pour AMBRE

- ◆ Contexte : AMBRE-enseignant, un environnement permettant l'adaptation par un enseignant d'un EIAH AMBRE
 - ◆ au contexte d'apprentissage
 - ◆ à sa démarche pédagogique
- ◆ Outils pour l'enseignant
 - ◆ Générer de nouveaux problèmes
 - ◆ Générer des thèmes d'exercices
 - ◆ Créer des séquences d'apprentissage
 - ◆ Gérer des classes
 - ◆ Distribuer du travail
 - ◆ Personnaliser l'environnement

Quel générateur de problèmes ?

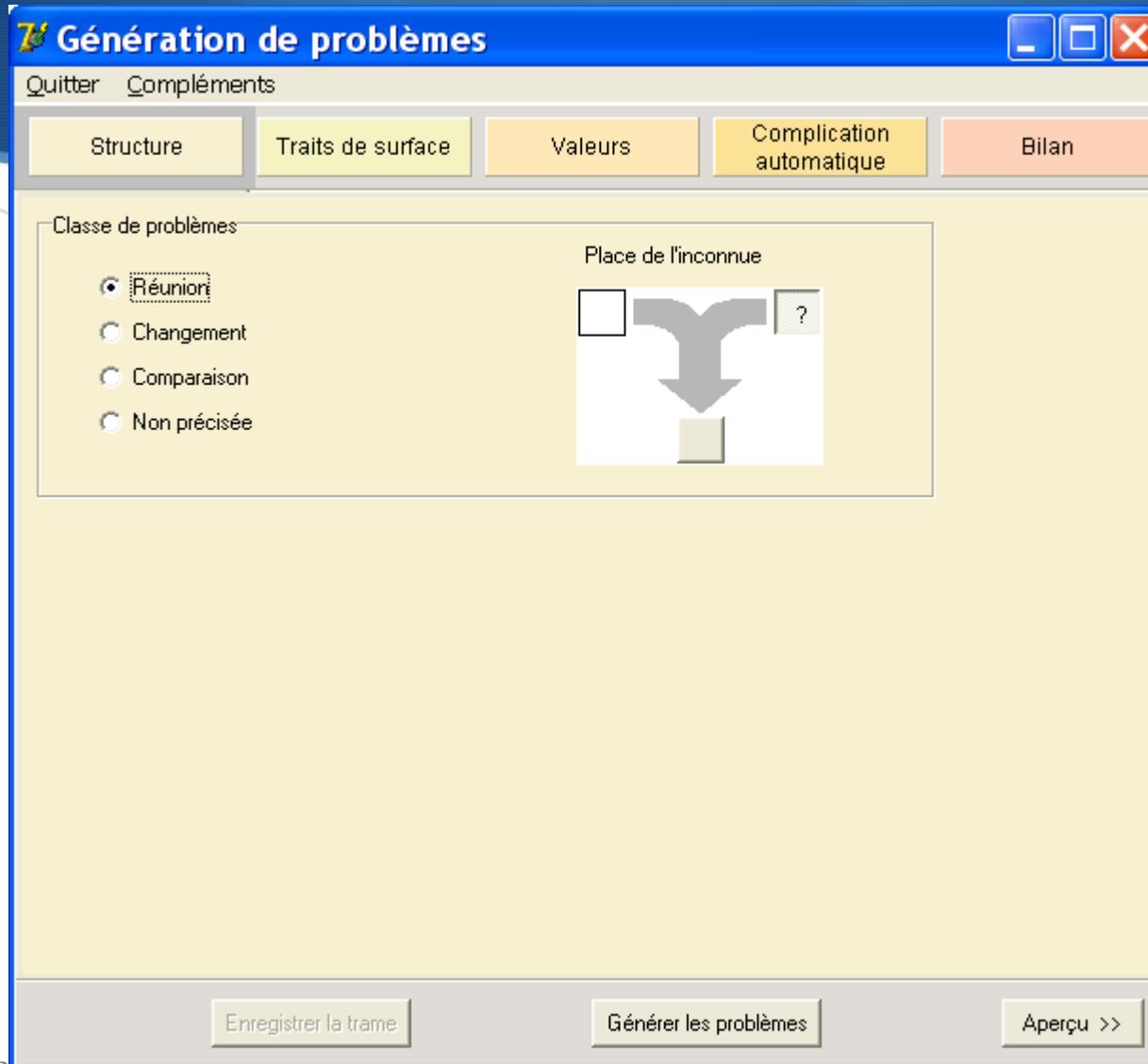
- ◆ Système piloté par l'enseignant
 - Pas entièrement automatique
- ◆ Problème compréhensible par le résolveur de AMBRE
 - Pas manuel (type système auteur)
- ◆ Générateur semi-automatique
 - ◆ L'enseignant définit les contraintes caractérisant le(s) problème(s) qu'il souhaite générer
 - ◆ Le système génère un problème respectant ces contraintes
 - Problème "au hasard" → problème précis désiré par l'enseignant

Quatre types de contraintes

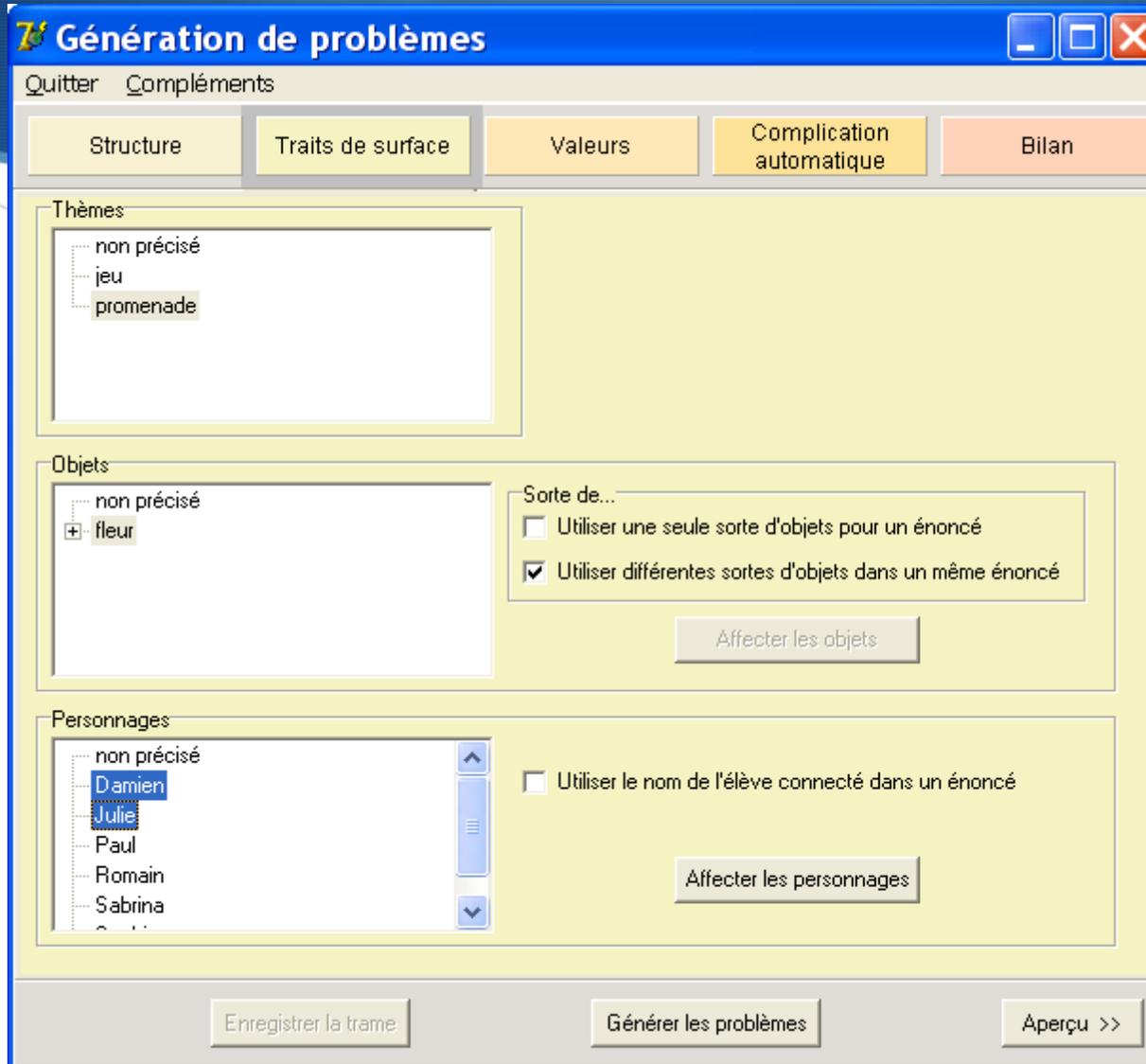
- ◆ Structure du problème
- ◆ Traits de surface
- ◆ Valeurs
- ◆ Complication automatique

- ◆ Aucune contrainte n'est obligatoire

Structure du problème



Traits de surface



Valeurs numériques

Génération de problèmes

Quitter Compléments

Structure Traits de surface **Valeurs** Complication automatique Bilan

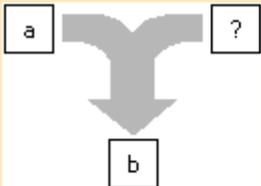
Non précisé

Intervalle global pour les valeurs connues

Intervalle pour les valeurs : min max

Écart entre les valeurs : min max

Valeurs pour a et b



Valeurs pour a : min max

Valeurs pour b : min max

Retenue interdite

Enregistrer la trame Générer les problèmes Aperçu >>

Complication

The screenshot shows a software window titled "Génération de problèmes" with a blue title bar. Below the title bar is a menu bar with "Quitter" and "Compléments". A tabbed interface is visible with five tabs: "Structure", "Traits de surface", "Valeurs", "Complication automatique" (which is selected and highlighted in yellow), and "Bilan".

Under the "Complication automatique" tab, there are two main sections:

- Complication de langue:** Contains two dropdown menus: "Complexité du vocabulaire" set to 2 and "Complexité de la situation" set to 1.
- Complication de l'énoncé:** Contains three options:
 - Écrire les nombres en toutes lettres
 - Modifier l'ordre des propositions de l'énoncé
 - Ajouter 1 phrases de niveau inférieur ou égal à 3

At the bottom of the window, there are three buttons: "Enregistrer la trame", "Générer les problèmes", and "Aperçu >>".

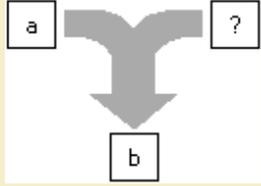
Bilan

Génération de problèmes

Quitter Compléments

Structure Traits de surface Valeurs Complication automatique **Bilan**

Structure



Traits de surface

Thèmes : promenade

Objets : fleur

Personnages : Julie
Damien

Valeurs

Intervalle pour les valeurs :
min : 1
max : 50

Écart entre les valeurs :
min : 0
max : 30

Retenue autorisée

Complication automatique

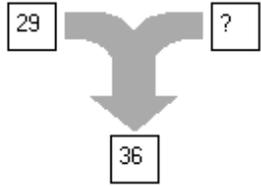
Complexité du vocabulaire : niveau 2
Complexité de la situation : niveau 1

Écriture des nombres en lettres

Ajouter 1 phrases de niveau inférieur ou égal à 3

Aperçu

Il est cinq heures de l'après-midi. Julie a vingt-neuf roses. Julie et Damien ont trente-six fleurs à eux deux. Combien Damien a-t-il de fleurs ?



Le problème s'écrit :
 $29 + ? = 36$
L'opération s'écrit :
 $36 - 29 = ?$
La solution est :
7
La réponse est :
Damien a 7 fleurs

Enregistrer la trame Générer les problèmes << Aperçu

Exemples de problèmes générés

Il est cinq heures de l'après-midi. Julie a vingt-neuf roses. Julie et Damien ont trente-six fleurs à eux deux. Combien Damien a-t-il de fleurs ?

Damien a dix billes. Il a dix-sept fleurs. Si Damien et Julie mettent leurs fleurs ensemble, ils en ont trente-cinq. Combien Julie a-t-elle de fleurs ?

Avec moins de contraintes

Damien est dans la cour de récréation avec Paul. Il a 32 billes vertes. Si Damien et Paul mettent leurs billes vertes ensemble, ils en ont 46. Cherche le nombre de billes vertes de Paul.

Il est 11h. Sophie a 25 billes. Sophie et Romain en ont 38 à eux deux. Calcule le nombre de billes de Romain.

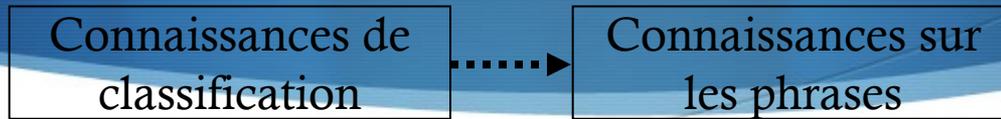
Trouve le nombre de roses rouges de Sabrina, sachant qu'en ajoutant les roses rouges de Sabrina, Julie et Sabrina en ont 40 à elles deux, qu'elles ont 10 ans et qu'elles sont amies, et que Julie a 7 roses rouges.

La semaine dernière, c'était l'anniversaire de Jean, maintenant il a 11 ans. Il a 9 billes jaunes. Quand Jean et Julie mettent leurs billes jaunes ensemble ils en ont 37. Trouve le nombre de billes jaunes de Julie.

L'architecture GenAMBRE

GenAMBRE-D

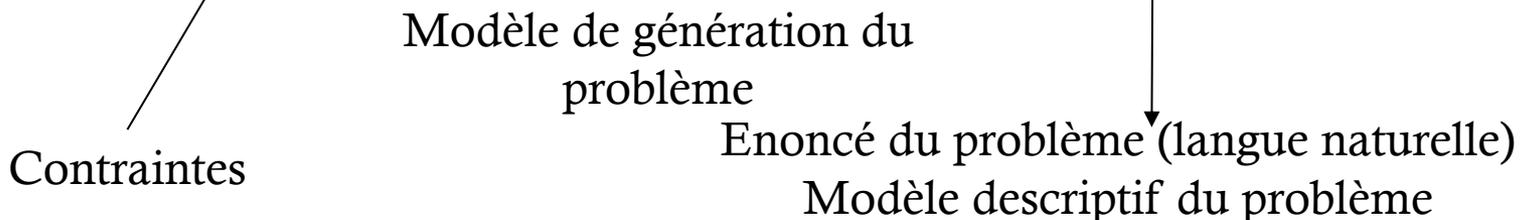
Niveau Domaine



Niveau Génération

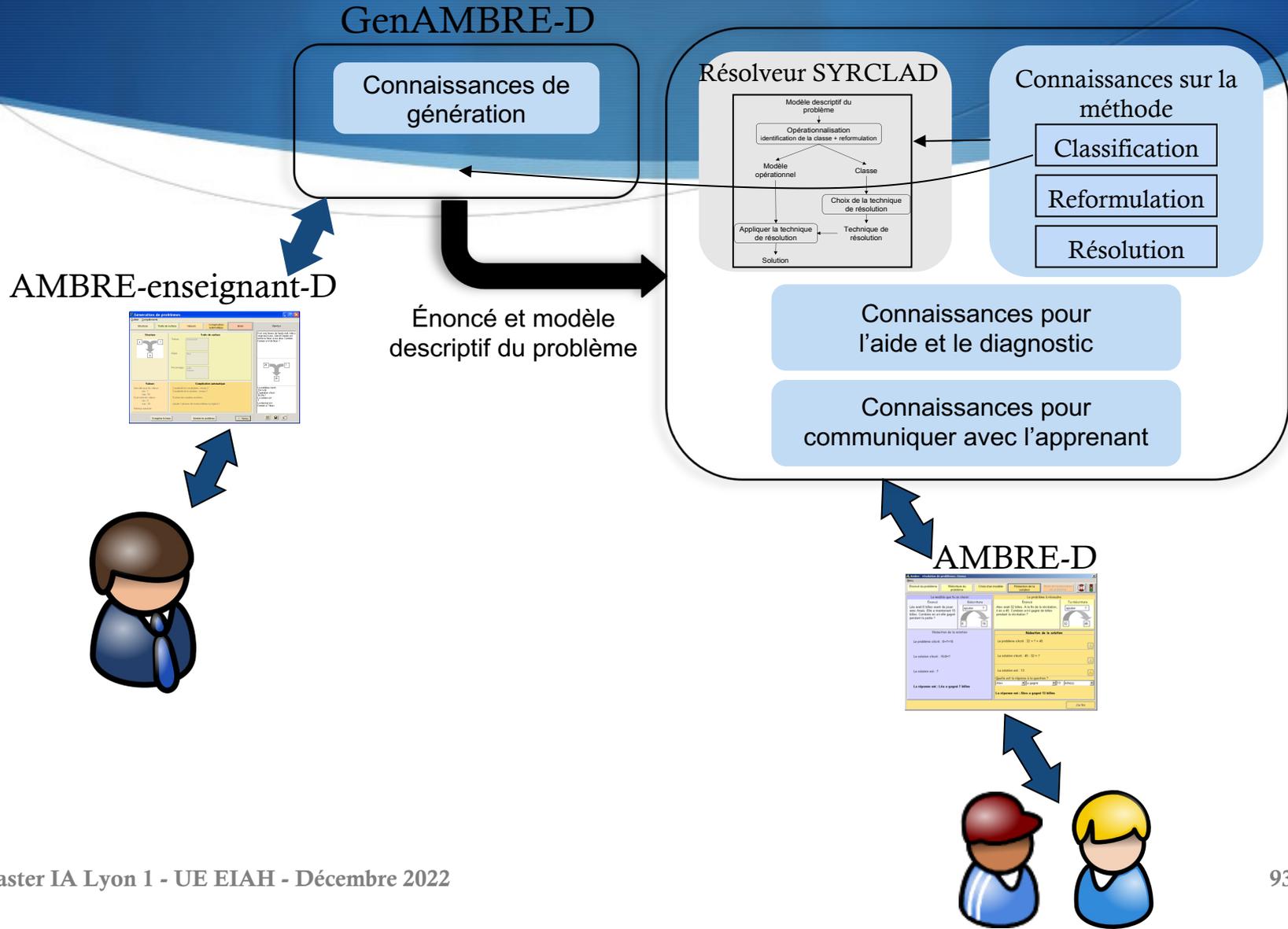


Niveau Problème



Les SBC de AMBRE

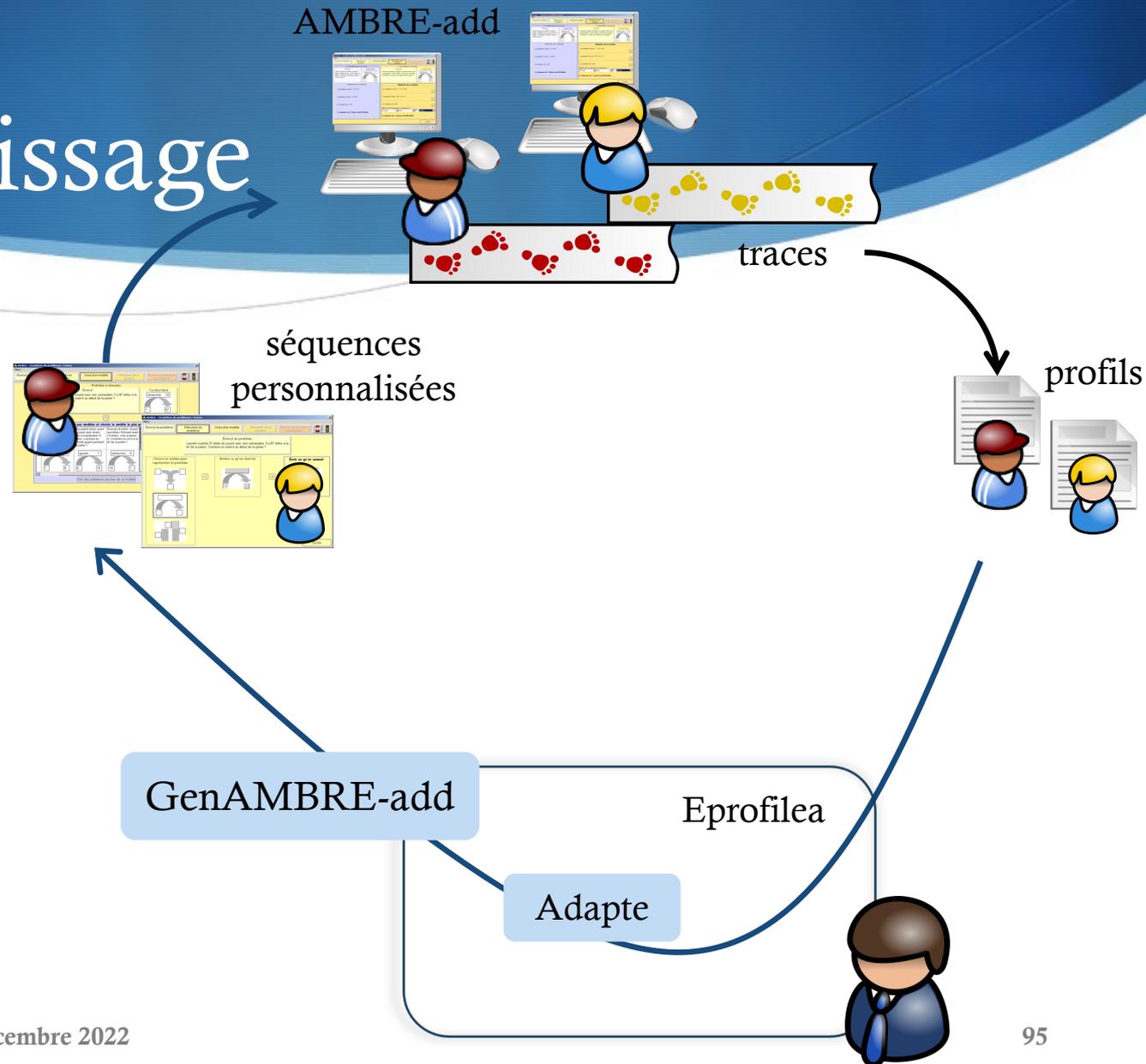
CHAMADE-D



Un profil pour personnaliser AMBRE-add

- ◆ Analyse des traces d'utilisation pour construire un profil cognitif de l'apprenant
 - ◆ Analyser l'activité de l'apprenant pour connaître ses connaissances et son comportement
- ◆ Objectifs
 - ◆ Présentation du profil à l'enseignant (bilan cognitif)
 - ◆ Génération de problèmes et d'activités adaptées
 - ◆ Configuration de l'environnement

Personnalisation de l'apprentissage



Plan du cours

- ◆ Qu'est-ce que l'IA ?
- ◆ L'IA pour faire quoi en EIAH ?
- ◆ Quelles techniques d'IA pour le faire ?
- ◆ Exemple : l'EIAH AMBRE
- ◆ **Bilan, apports réciproques et perspectives**
- ◆ Pour aller plus loin

Bilan – 3 grandes périodes

- ◆ 1970-1990 : période fondatrice très riche
 - ◆ Principes fondamentaux des ITS
 - ◆ Forte fécondation mutuelle IA – EIAH
- ◆ Attention : les prototypes ressemblent à des dinosaures
 - Les replacer dans leur contexte
 - Objectifs encore d'actualité et donc modèles encore utiles
 - Ne pas réinventer complètement la roue !

IBM PC - 1981



1^{ère} souris - 1968



Apple - 1982



Bilan – 3 grandes périodes

- ◆ 1990-2000 : **humain** remis en place centrale et rapprochement avec les HA
 - ◆ Arrivée du web
 - ◆ Dialogue en langue naturelle
 - ◆ Mise en place de l'adaptation
- ◆ 2000-2020 : rupture dûe à l'explosion du **web**
 - ◆ Réseaux sociaux, Web sémantique, Big Data et Learning Analytics
 - ◆ Modèles fondateurs revisités, approfondis et enrichis à la lumière des **nouveaux contextes** (technologiques, économiques et sociaux)

Ce que l'IA a apporté aux EIAH

- ◆ Modélisation des connaissances
 - ◆ Domaine, apprenant, interaction...
 - ◆ Permet d'avoir des systèmes qui
 - ◆ Savent résoudre des problèmes
 - ◆ Savent suivre et interpréter les actions de l'apprenant
 - ◆ Savent planifier et adapter les rétroactions en conséquence
- ◆ Représentation des connaissances et techniques de raisonnement :
 - ◆ Modèles bayésiens, web sémantique...
- ◆ Traitement du langage naturel
 - ◆ Compréhension de texte
 - ◆ Dialogue en langue naturelle
- ◆ Modélisation des activités (modèles de tâches et de processus)
en lien avec la Psychologie et l'Ergonomie
- ◆ Prise en compte du facteur humain en lien avec les Sciences Cognitives

Ce que les EIAH ont apporté à l'IA

- ◆ Renouvellement des systèmes experts
 - ◆ Systèmes explicatifs, Résolveurs pédagogiques, Règles erronées, Diagnostic
- ◆ Adaptation à l'utilisateur
 - ◆ Nouvelles dimensions de la personnalisation : affective, motivation, engagement
 - ◆ Prise en compte du contexte
- ◆ Modèles ouverts d'utilisateurs
- ◆ Modélisation cognitive des processus impliqués dans l'apprentissage
 - ◆ Individuel, collaboratif, situé...
- ◆ Champ d'opportunités pour développer, améliorer et tester les outils d'IA
 - ◆ Techniques de fouille de données sur les traces utilisateurs
 - ◆ Généralisation des méthodes de génération automatique de QCM à partir de textes ou d'ontologies

Perspectives

- ◆ Modélisation de l'apprenant
 - ◆ Située, distribuée, temporelle (apprentissage tout au long de la vie)
 - ◆ Sociale, collaborative
 - ◆ Handicap, émotion, motivation, engagement
- ◆ Méta-cognition : réflexivité des apprenants sur leur apprentissage
- ◆ Evaluation des apprentissages
 - ◆ MOOC et Big data, LAK
- ◆ Robotique
- ◆ Internet des objets
- ◆ ...

Plan du cours

- ◆ Qu'est-ce que l'IA ?
- ◆ L'IA pour faire quoi en EIAH ?
- ◆ Quelles techniques d'IA pour le faire ?
- ◆ Exemple : l'EIAH AMBRE
- ◆ Bilan et apports réciproques
- ◆ Perspectives
- ◆ Pour aller plus loin

Ouvrages fondateurs

- ◆ Sleeman, D. and Brown, J. S. (1982). *Intelligent Tutoring Systems* New York: Academic Press.
- ◆ Wenger, E. (1987). *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*. Los Altos CA: Morgan and Kaufmann.
- ◆ Kearsley G. (1987) *Artificial Intelligence and Instruction, Applications and Methods*, Addison-Wesley
- ◆ Ohlsson, S. (1986). Some principles of intelligent tutoring, *Instructional Science*, 14, 293-326.
- ◆ Clancey, W.J. (1987). *Knowledge-based tutoring: The GUIDON program*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Références sur les métaconnaissances

- ◆ Jacques Pitrat
 - ◆ Métaconnaissances, futur de l'intelligence artificielle, Hermès, 1990
 - ◆ Penser autrement l'informatique, Hermès, 1993
 - ◆ De la machine à l'intelligence, Hermès, 1995
 - ◆ Artificial Beings - The conscience of a conscious machine ISTE, Wiley, 2009
- ◆ Baron M., Robet A. (1993). Métaconnaissances en IA, en EIAO et en didactique des mathématiques. Rapport LAFORIA 93/18, 1993