

# EIAH et apprentissage de l'algèbre élémentaire : les projets Pépité et Lingot

Brigitte GRUGEON-ALLYS  
IUFM d'Amiens                      DIDIREM (Paris7)

Élisabeth DELOZANNE  
IUFM de Créteil                      LIUM (Le Mans)

Janv  
2003

## Plan

- Contexte et enjeux
- Présentation du projet Lingot
- Historique et fondements
- Problématique et méthodologie de recherche
- Le projet Pépité
  - ◆ Conception, résultats et questions
- Recherches actuelles
- EIAH et didactique des mathématiques

3

## Contexte et enjeux

- **Recherches récentes autour de l'intégration des TICE, en particulier**
  - ◆ L'intégration des logiciels de calcul formel dans l'enseignement secondaire (Artigue, Lagrange, Trouche)
  - ◆ L'intégration de logiciels de géométrie dynamique à l'enseignement (Laborde, Assude)
- **Intégration doit articuler :**
  - ◆ La modélisation et le développement informatiques
  - ◆ L'attention portée
    - ▶ à l'élève et à son développement cognitif
    - ▶ à l'enseignant et à ses pratiques
- **Concevoir un EIAH pour instrumenter l'activité des enseignants (Rabardel)**

4

## Hypothèses de travail

1. La mise à disposition d'outils informatiques d'assistance à l'activité des enseignants contribue à rendre opérationnelles des recherches en didactique des mathématiques et à favoriser la diffusion de leurs résultats dans le corps social
2. La création de prototypes informatiques avancés permet des expérimentations qui aident à tester des hypothèses et faire surgir de nouvelles thématiques de recherche.

5

## Le projet Lingot

### ➤ Objectifs

- ◆ Concevoir, réaliser et évaluer des environnements informatiques de diagnostic et d'apprentissage s'appuyant sur
  - ▶ recherches menées dans divers domaines
  - ▶ conception de prototypes reposant sur des modélisations informatiques
  - ▶ expérimentation de ces prototypes hors et en contexte

### ➤ Domaine

- ◆ algèbre élémentaire

### ➤ Pluridisciplinarité

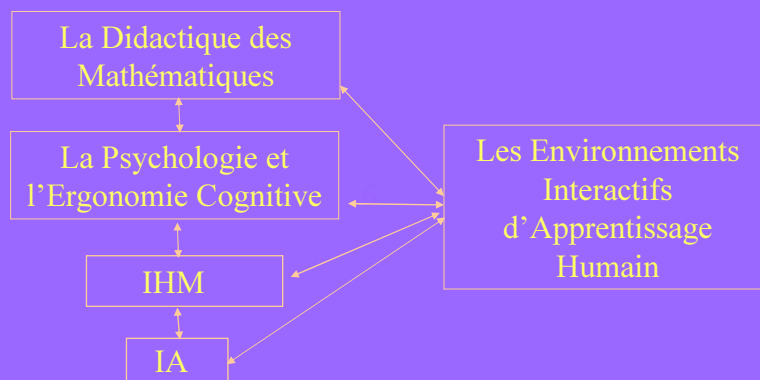
- ◆ articuler des recherches en informatique, en didactique et ergonomie cognitive
  - ▶ modéliser des cohérences de fonctionnement des élèves dans un domaine vaste
  - ▶ adopter une approche intégrée de la conception (Koedinger, Stacey)

### ➤ Cadre :

- ◆ Ecole et sciences cognitives, Les apprentissages et leurs dysfonctionnements, MRT, 2002

6

## Projet pluridisciplinaire



6 partenaires : LIUM (U. Maine), DIDIREM (U. Paris 7), Laboratoire C&AF (U. Paris 8-CNRS), Equipe STICE (IUFM Créteil), IUFM d'Amiens, Equipe SASO (U. Amiens)

7

## Historique

- ▶ **Travaux précurseurs**
  - ◆ Thèse en didactique de B. Grugeon (1995)
  - ◆ Travaux en EIAO au LIUM (Vivet, Delozanne, Dubourg)
- ▶ **Le projet Pépite (diagnostic)**
  - ◆ Thèse en informatique de S. Jean (1996-2000), DEA d'informatique J. Provost (1999)
  - ◆ DEA de didactique d'A. Lenfant (1997), B. Hasquenoph (1998), S. Lamarène (1998)
  - ◆ Expérimentations auprès d'enseignants (2000-2002)
- ▶ **Le projet Lingot (diagnostic et apprentissage)**
  - ◆ DEA d'informatique de D. Rogozan (2000), D. Rasseneur (2001), D. Prévité (2002)
  - En cours :
    - ◆ Thèses en informatique de V. Larue, M. Benaïssa, D. Prévité
    - ◆ DEA de didactique de S. Mairresse, d'informatique de J.C Péna

8

## Fondements didactiques

Thèse de B. Grugeon (1995)

### Des questions

- ▶ **Identifier et décrire**
  - ◆ des cohérences cognitives organisant le rapport personnel de l'élève à l'algèbre
  - ◆ des conditions d'apprentissage adaptées pour faire évoluer les rapports personnels des élèves à l'algèbre

### Articulation entre plusieurs cadres théoriques et travaux didactiques

#### Résultats intéressants du point de vue du projet informatique

- ▶ **Modèle multidimensionnel de la compétence algébrique**
  - ◆ Un outil de diagnostic papier-crayon
- ▶ **Cohérences de fonctionnement en algèbre**
  - ◆ Profils cognitifs (« modèle de élève »)
- ▶ **Diversité des entrées possibles dans le champ de l'algèbre**
  - ◆ Différentes stratégies d'enseignement

9

## Le domaine de l'algèbre élémentaire

- ✦ **dimension objet**
  - ◆ Objets de l'algèbre : expressions, formules, équations
  - ◆ Systèmes de représentation de ces objets,
    - ▶ en particulier, le système de représentation symbolique algébrique en articulation avec d'autres systèmes de représentation
- ✦ **dimension outil, selon les champs de problèmes**
  - ◆ Outil de résolution via leur modélisation
    - ▶ pour des problèmes arithmétiques formulés en langue naturelle sous forme d'équations
    - ▶ et au-delà, pour des problèmes intra ou extra mathématiques sous forme de relations fonctionnelles entre données et variables
  - ◆ Outil de généralisation et de preuve dans le cadre numérique
  - ◆ Outil de calcul dans les cadres algébrique et fonctionnel

Modèle de la compétence algébrique à ce niveau scolaire

10

## L'outil de diagnostic

- ✦ **Un ensemble de tâches de diagnostic**
  - ◆ Tâches de production et transformation d'expressions, de modélisation, de généralisation et de preuve, d'interprétation
- ✦ **Une structure d'analyse multidimensionnelle**
  - ◆ Grille d'analyse des réponses des élèves s'appuyant sur le modèle de compétence algébrique
- ✦ **Recherche de cohérences**
- ✦ **Profil d'un élève : un modèle du rapport personnel d'un élève donné à l'algèbre**
  - ◆ Description quantitative
    - ▶ en terme de réussite/échec sur les tâches
  - ◆ Description qualitative permettant d'identifier des cohérences
    - ▶ Types de traitement algébrique privilégiés, technicité du calcul algébrique, flexibilité entre deux registres de représentations, type de rationalité
  - ◆ Description de la flexibilité entre registres de représentation
    - ▶ Diagramme

11

## Fondements informatiques

Travaux du LIUM en EIAH, IA, IHM

Question :

- ✦ Méthodes de conception de logiciels visant à favoriser des apprentissages dans des équipes pluridisciplinaires

Thèmes de recherche

- ✦ Modélisation informatique (Vivet, Balacheff, Baker, Koedinger, Stacey)
- ✦ Instrumentation de l'activité enseignante (Vivet, Leroux, Rabardel, J. Rogalski)
- ✦ Conception centrée utilisateur (Norman, Schneiderman), centrée sur l'activité, conception participative (Mackay, Carroll)

Résultats

- ✦ Modèle de situations d'interaction
- ✦ Des prototypes validant des modèles
  - ◆ Elise (Delozanne, M. Rogalski), Repères (Dubourg, Delozanne, Grugeon)

12

## Évolution en IA et éducation

### ✦ Tuteurs intelligents

- ◆ Modéliser le domaine à enseigner
- ◆ Modéliser les connaissances de l'élève
- ◆ Guider l'élève dans la résolution d'un problème

### ✦ Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (Baron, Nicaud)

### ✦ Conception des logiciels pour s'insérer dans une « situation d'apprentissage » (Vivet et al. 94)

- ◆ Élèves, activités, maître, co-apprenants

13

## Conception itérative et centrée utilisateur

- Partir d'un problème d'enseignement et si possible d'une analyse didactique
- Constituer une équipe avec des informaticiens, des didacticiens et des enseignants dès le début du projet
- Utiliser le modèle des situations d'interactions et construire des maquettes pour établir les spécifications du système à construire
- Évaluer ces maquettes le plus tôt possible auprès des utilisateurs enseignants et élèves en laboratoire et sur le terrain

14

## Situations d'interaction

- **Objectif :**
  - ◆ Modèle intermédiaire entre une analyse a priori et une modélisation informatique
  - ◆ Outil de travail pluridisciplinaire
  - ◆ Conception globale de l'interaction et non pas seulement en retro-action immédiate à une erreur de l'élève

15

## Description des situations d'interaction

- ▶ **Objectifs de la situation**
- ▶ **Tâche**
  - ◆ description aux apprenants (consigne, données)
  - ◆ description au maître (variables didactiques)
- ▶ **Action des élèves**
  - ◆ sur le système informatique
  - ◆ en dehors du système informatique
- ▶ **Stratégie des élèves**
  - ◆ stratégies de référence
  - ◆ stratégies prévisibles
- ▶ **Actions du système**
  - ◆ nature (conseil, aide, changement de représentation)
  - ◆ effet attendu (renforcement, doute, questionnement)
  - ◆ mode de présentation (textuel, visuel, sonore)
- ▶ **Stratégie du système**
  - ◆ objectif (initiation, évaluation)
  - ◆ nature du suivi

16

## Hypothèses de recherche

**Premier temps : projet Pépite**

- ▶ **L'automatisation au moins partielle de l'outil de diagnostic est possible**

**Deuxième temps : projet Lingot**

- ▶ **Il est possible de définir des stratégies didactiques associées à des cohérences de fonctionnement**
- ▶ **Il est possible de définir des environnements informatiques pour instrumenter ces stratégies (au moins en partie)**



## Questions de recherche

### Du côté modélisation

- En quoi l'analyse didactique contribue-t-elle à la modélisation indispensable à la conception informatique ?
- Quelles modélisations mettre en œuvre pour aider les enseignants ?
  - ◆ À identifier les compétences
    - ▶ "Pépites"
  - ◆ À proposer des tâches pour faire évoluer ces compétences
    - ▶ "Lingot"

### Du côté didactique

- Quelles questions leur conception et leur mise en œuvre informatique posent-elles à la didactique ?
- Quelles questions l'utilisation par des enseignants d'EIAH réifiant ces modèles posent-elles à la didactique ?

## Méthodologie

- **Analyses épistémologique, cognitive et didactique**
- **Conception pluridisciplinaire et en spirale d'un EIAH**
  - ◆ Construire des modèles (didactique, puis informatique) au sein d'une équipe incluant chercheurs et utilisateurs
  - ◆ Construire un prototype
  - ◆ Tester le prototype hors contexte puis en contexte de classe
  - ◆ Affiner, systématiser et généraliser le premier modèle

## Le premier logiciel Pépité

- Thèse de Stéphanie Jean (2000)
- Questions de recherche :
  - ◆ recueillir sur ordinateur des observables suffisamment fiables et riches pour détecter les cohérences de fonctionnement mises en évidence par la thèse de B. Grugeon
  - ◆ automatiser au moins partiellement le codage des réponses des élèves
  - ◆ aider les enseignants à s'approprier le profil élaborés par le logiciel

## Le logiciel Pépité

Utilisateurs:

Elèves

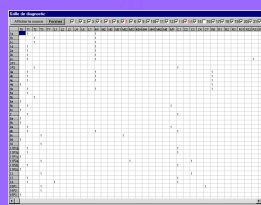
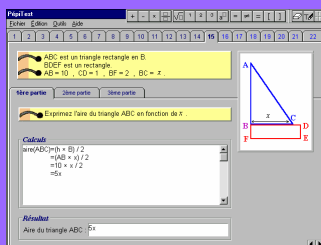
Logiciel

Chercheurs, Professeurs  
Elèves ?

PÉPI TEST

PÉPI DIAG

PÉPI PROFIL



Interpretation des données

Analyse transversale

epiTest

ichier Édition Outils Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22

Indiquez si les propriétés suivantes sont vraies pour toutes valeurs de a.  
Justifiez votre réponse.

$a^3 a^2 = a^5$	<input type="radio"/> vrai <input checked="" type="radio"/> faux	c' est faut car $3 \times 2$ est égal a 6 et non a 5
$a^2 = 2a$	<input type="radio"/> vrai <input checked="" type="radio"/> faux	c' est faut car $a^2 = a \times a$ et $2a = 2 \times a$ si a= 6 alors $6^2 = 36$ et $2 \times 6 = 12$ donc $a^2 < 2a$
$2a^2 = (2a)^2$	<input type="radio"/> vrai <input checked="" type="radio"/> faux	c' est faut car $2a^2 = 2 \times a^2$ ce qui signifie que le carré est sur le a alors que $(2a)^2 = (2 \times a)^2$ c qui signifie que le carré est sur tout ce qui est dans la parenthèse,

22

## Analyse des tâches-élève

- **Tâche (prescrite):**
  - ◆ Rechercher si les égalités portant sur des expressions algébriques sont vraies ou fausses.
  - ◆ Donner une justification
- **Objectifs :**
  - ◆ Repérer les règles de formation des expressions algébriques
  - ◆ Repérer le type de rationalité.
- **Justification attendue**
  - ◆ égalité vraie : justification algébrique
  - ◆ égalité fausse : donner un contre-exemple

23

## Analyse de la tâche de codage

- Solution correcte et mode de justification attendu T1
  - ◆ ...
- Solution correcte et mode de justification prévisible T2
  - ◆ Si l'égalité est vraie :
    - ▶ justification par des exemples numériques R2
    - ▶ justification avec utilisation de propriétés énoncées en langage naturel R3
    - ▶ justification par appel au légal R4
  - ◆ Si l'égalité est fausse :
    - ▶ autre justification qu'un contre exemple R3
- Solution incorrecte T3
  - ◆  $a^3 a^2 = a^5$  jugée fausse M33
  - ◆ Mode de Justification : cf. plus haut
- Etc.

24

## Codage des réponses de Charlotte (1)

Modifier le diagnostic de Pépite

*Exercice n°2*

◀ Question précédente   Aller à la question...   Question suivante ▶

Fermer

---

**Exercice 2 - propriété 1**

Indiquez si les propriétés suivantes sont vraies pour toutes valeurs de a.  
Justifiez votre réponse.

$a^3 a^2 = a^5$

---

**Réponse de Charlotte AHIN**

Faux

**Justifications / calculs**

c' est faut car  $3 \times 2$  est égal a 6 et non a 5

---

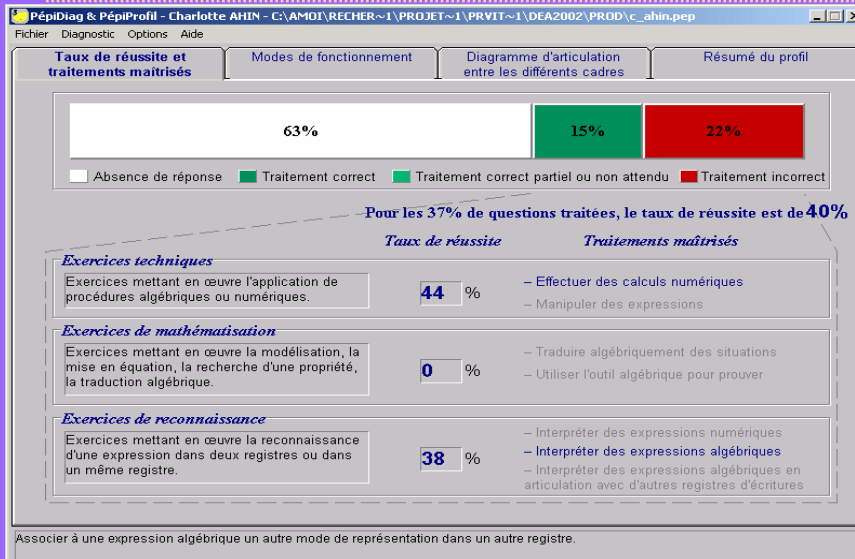
**Diagnostic**

Traitements   Utilisation des lettres   Calcul algébrique   Conversion   **Type de justification**   Connaissances num

Pas de justification  
 Justification par réécriture des expressions  
 Justification par le numérique  
 Justification reposant sur des règles algébriques  
 Justification en langage naturel  
 Justification s'appuyant sur des formulations d'ordre légal  
 Justification non identifiée

25

## Profil cognitif de l'élève (1)



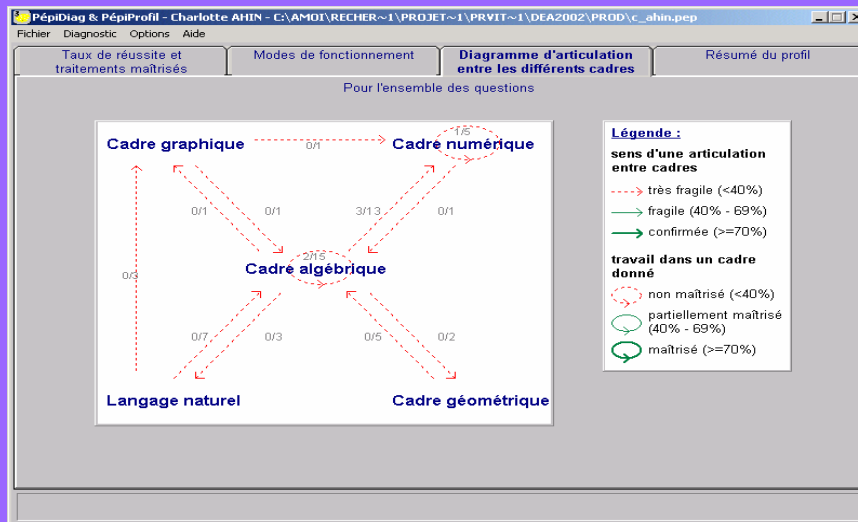
26

## Profil cognitif de l'élève (2)



27

## Profil cognitif de l'élève (3)



28

## Utilisations de Pépite

Contexte	Situation	Données	Effectif	Concepteur présent
Test-élèves	En classe, DEA	Questionnaire +observation	120	oui
Recherche	Constructions de profils prototypes		3	oui
Form. de formateurs	Étude d'un élève donné	Questionnaire +observation	40	oui
Form. Initiale ou continuée	Support de form. à la didactique Cf. FFO	Questionnaire +observation	100	oui
Utilisations pilotes	AI (2nd) Bilan avant BEPC Étude de leurs élèves	Observation+entretiens (à chaud et 1an après)	3	oui
Utilisations spontanées	En classe		7	non
	87 téléchargements			

## Bilan : PÉPITEST, logiciel élève

- **Côté élève :**
  - ◆ Permet de recueillir les observables attendus pour le diagnostic
    - ▶ en dépit de difficultés prévues pour saisir des expressions algébriques
  - ◆ Fiabilité des données pour le diagnostic ?
    - ▶ Globalement : ne réduit pas le spectre des réponses
      - Sur 60 élèves toutes les réponses attendues dans l'analyse a priori sont obtenues
    - ▶ Pour un élève donné :
      - DEA : cohérence globale du fonctionnement conservée / PC
      - Constats enseignants : Sur des études de cas, permet à des enseignants
        - d'observer des compétences ou des fragilités que les tests usuels ne font pas apparaître
        - de reconnaître le fonctionnement de leurs élèves
    - ◆ À confirmer par une analyse systématique
- **Côté enseignant : constats**
  - ◆ en classe
    - ▶ utilisé par quelques professeurs comme support à des situations d'apprentissage
  - ◆ en formation de professeurs
    - ▶ offre un éventail d'exercices plus large, teste plus de compétences

## Bilan : PÉPIProfil, logiciel enseignant

- ### Deux tâches pour les enseignants
- **Coder les réponses**
    - ◆ Interface adaptée et exploitée par les enseignants
      - ▶ Leur fournit un cadre d'interprétation des réponses des élèves dans un langage qu'ils comprennent lorsqu'il est contextualisé
  - **Interpréter le profil de l'élève**
    - ◆ Objectif de conception : description des fonctionnements dans leur complexité
    - ◆ Constat : description inadaptée aux pratiques enseignantes

## Du côté des enseignants

### Leurs demandes :

- Des propositions de remédiation associées au profil de l'élève
- La possibilité de modifier le test pour l'adapter surtout en collègue
- Un feedback donné par le logiciel aux élèves
- Un profil de la classe
- Une formation à l'utilisation du modèle didactique de compétence algébrique
- Un éditeur d'expressions

## Retours sur les questions de recherche : modélisation

- En quoi l'analyse didactique contribue-t-elle à la modélisation indispensable à la conception informatique ?
  - 3 classes d'utilisateurs
  - ◆ Les élèves
    - ▶ Analyse des tâches fondée sur l'analyse didactique a priori
    - ▶ Techniques de conception « classiques » en IHM centrée utilisateurs
  - ◆ Les professeurs
    - ▶ Pas d'analyse de tâches a priori : Inventer des scénarios d'usage
    - ▶ Conception participative :
      - nécessité de les intégrer davantage à l'équipe de conception
      - Formation des professeurs
  - ◆ Les chercheurs
    - ▶ Étudier différentes stratégies d'apprentissage et d'enseignement
- Quelles modélisations mettre en œuvre pour aider les enseignants ?
  - ◆ Pour le diagnostic
    - ▶ Plusieurs modélisations fonction de l'utilisation
  - ◆ Pour l'apprentissage
    - ▶ Complexité du paramétrage des situations



## Retours sur les questions de recherche (côté didactique)

- ▶ Quelles questions leur conception et leur mise en œuvre informatique posent-elles à la didactique ?
  - ◆ Variables pertinentes pour la description des tâches
    - ▶ Systématisation
    - ▶ Étiquetage
  
- ▶ Quelles questions l'utilisation par des enseignants d'EIAH réifiant ces modèles posent-elles à la didactique?
  - ◆ Conditions pour l'intégration de tels EIAH dans l'enseignement de l'algèbre
  - ◆ Prise en compte des pratiques enseignantes dans la conception des outils pour l'enseignant
  - ◆ Opérationnalisation pour la formation des professeurs

## Retour sur les hypothèses de recherche: diagnostic

- ▶ Le travail de Stéphanie Jean sur le prototype Pépite a montré que :
  - ◆ L'automatisation au moins partielle de l'outil de diagnostic est possible
  
- ▶ L'analyse des retours d'utilisation a montré que
  - L'intégration dans les pratiques enseignantes pose de redoutables problèmes
  - ◆ Informatique
    - ▶ Diagnostic plus systématique et paramétrable
      - Pour l'améliorer, le faire évoluer
      - Pour ouvrir/étendre le logiciel
    - ▶ Plusieurs types de diagnostic selon l'utilisation
      - Plusieurs utilisateurs : chercheur, formateur, enseignant, élève
      - Diagnostic statique/dynamique, automatique/assisté
  - ◆ Didactique
    - ▶ profils types et activités de remédiation
    - ▶ diagnostic pour l'élève
  - ◆ Ergonomie
    - ▶ procédures de diagnostic implicites des enseignants expérimentés
    - ▶ conditions de prises en main et d'utilisation de Pépite en classe
  - ◆ Formations et autoformations des enseignants

35

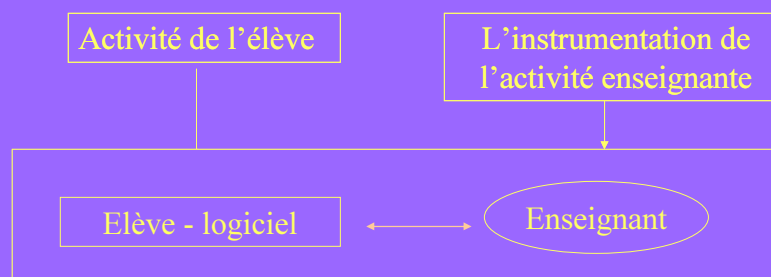
## Le projet Lingot

- **Rendre opérationnel le logiciel Pépité**
- **Concevoir et réaliser des environnements informatiques de régulation des apprentissages comportant :**
  - ◆ côté élève :
    - ▶ une base de situations génériques
      - d'introduction à l'algèbre,
      - d'intervention didactique dépendant des profils cognitifs diagnostiqués
  - ◆ côté enseignant :
    - ▶ un outil pour prévoir et sélectionner les séquences de tâches en fonction des profils cognitifs diagnostiqués
    - ▶ un outil pour compléter ou modifier les bases de tâches
- **Etudier leurs conditions d'intégration dans les pratiques enseignantes**

36

## Deux dimensions en interaction

- **Le versant élève**
- **Le versant enseignant**



## Le travail à réaliser

- **Diagnostic**
  - ◆ Passage de l'environnement PEPITE à un environnement paramétré ajustable par l'utilisateur à ses besoins spécifiques.
- **Apprentissage**
  - ◆ Développer une base de situations introductives
  - ◆ Développer la liaison diagnostic – régulation
    - ▶ **classes de profils**
    - ▶ **associer une stratégie d'apprentissage adaptée à chaque profil-type**
- **Expérimentation et validation**
  - ◆ versant élève
  - ◆ versant instrumentation de l'enseignant.

## Coopération didactique et EIAH

D'Elise à Lingot un recul sur 15 ans

- Difficultés posées par cette coopération
  - ◆ **Des rythmes de recherche, des concepts, des références et des thèmes de recherche différents**
  - ◆ **L'exigence de la modélisation qui atténue la finesse de l'analyse**
- Apports de cette coopération
  - ◆ **Des modèles testables et discutables**
  - ◆ **Une dissémination des résultats de recherche**
  - ◆ **De nouvelles questions de recherche**