

T4TEL UN CADRE DE REFERENCE DIDACTIQUE POUR LA CONCEPTION DES EIAH

Hamid **CHAACHOUA**

Université Grenoble Alpes LIG

Hamid.Chaachoua@imag.fr

Résumé

Les recherches menées au sein de mon équipe s'inscrivent dans le domaine des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) où la modélisation des connaissances et des savoirs est une question centrale. En effet, elle est à la base des différents services proposés par les EIAH comme l'indexation et la gestion des ressources, la conception des scénarios d'apprentissage ou la production de diagnostics et de rétroactions vers l'élève ou vers l'enseignant.

C'est dans ce contexte et afin de disposer d'un modèle didactique pouvant être implémenté que nous avons développé le cadre de référence T4TEL.

Le cadre T4TEL s'inscrit dans la Théorie Anthropologique du Didactique et plus spécifiquement dans l'approche praxéologique : ce cadre représente une formalisation et une extension du modèle praxéologique. Deux extensions sont présentées : l'introduction de la notion de praxéologie personnelle et de la notion de variable.

Mots clés

Praxéologies, praxéologie personnelle, variables, générateur de types de tâches, T4TEL, EIAH

I. INTRODUCTION

Les recherches menées au sein de mon équipe MeTAH¹ s'inscrivent dans le domaine des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH). C'est une équipe interdisciplinaire regroupant des chercheurs en didactique des mathématiques et des sciences et des chercheurs en informatique autour des problématiques sur la conception et l'usage des EIAH. Ce qui est central dans ces problématiques est la modélisation des connaissances et des savoirs et leurs représentations informatiques. En effet, elle est à la base des différents services proposés par les EIAH comme l'indexation et la gestion des ressources, la conception des scénarios d'apprentissage ou la production de diagnostics et de rétroactions vers l'élève ou vers l'enseignant. Dans ces problématiques nous avons voulu prendre en compte la relativité institutionnelle des savoirs aussi bien dans la modélisation des savoirs que dans les services EIAH. En effet, un savoir n'existe pas "in vacuo" dans un vide social : tout savoir apparaît, à

¹ Modèles et Technologies pour l'Apprentissage Humain.

un moment donné, dans une société donnée, comme ancré dans une ou des institutions. (Chevallard, 1989).

C'est dans ce contexte que nous avons éprouvé un besoin de disposer d'un modèle didactique pouvant être implémenté, permettant de produire différents services EIAH et prenant en compte les conditions et contraintes institutionnelles.

Plusieurs raisons nous ont motivé à se placer dans la Théorie Anthropologique du Didactique (Chevallard, 1992, 1999) :

- La relativité institutionnelle des savoirs. Elle est une des sensibilités clés de la TAD au sens d'Artigue (2011).
- Le modèle praxéologique permet de décrire l'organisation du savoir au sein d'une institution, les activités des sujets attendues par l'institution. Notre travail a consisté à intégrer dans cette approche les comportements non attendus par l'institution, en particulier les erreurs des élèves par l'introduction de la praxéologie personnelle (Chaachoua, 2010 ; Croset et Chaachoua, 2016).
- Le modèle praxéologique peut être formalisé pour une implémentation informatique et donc en une modélisation informatique des connaissances (Chaachoua, 2010).

Ces éléments sont donc à l'origine du développement du cadre de référence T4TEL² (Chaachoua et al. 2013, Chaachoua 2010). Soulignons tout d'abord que si ce cadre a été motivé par des besoins liés à des problématiques EIAH, il trouve aussi son intérêt et sa pertinence dans des recherches en didactique hors champ des EIAH.

Le cadre T4TEL s'inscrit complètement dans la TAD et plus spécifiquement dans l'approche praxéologique (Bosch et Chevallard, 1999). Il propose une formalisation du modèle praxéologique et deux extensions du modèle : l'introduction de la notion de praxéologie personnelle (Croset, Chaachoua, 2016) et de la notion de variable (Chaachoua, Bessot, 2018). Dans le prochain paragraphe, nous présentons les fondements de T4TEL. Ensuite, nous présenterons ses développements et sa mise en œuvre dans la conception des EIAH.

II. FONDEMENTS DE T4TEL

Nous partons du postulat de la TAD selon lequel toute activité humaine peut être modélisée par un quadruplet praxéologique $[T, \tau, \theta, \Theta]$ appelé aussi une organisation mathématique ponctuelle. Le type de tâches T regroupe les tâches pouvant être accomplies par une même technique τ , justifiée par une technologie θ , elle-même légitimée par une certaine théorie Θ . Pour rendre ce modèle calculable il est nécessaire de disposer d'une description formelle des éléments d'une praxéologie ponctuelle et de rendre compte des relations entre ces éléments. A partir des praxéologies ponctuelles il faut définir et décrire une structuration entre les différentes praxéologies. Ensuite, il faut définir des processus permettant de structurer les praxéologies selon les différents niveaux de codétermination : ponctuelle, locale et régionale. Enfin, il faut construire des fonctions didactiques et des processus pouvant produire différents services cités plus haut : diagnostic, rétroactions, indexation de ressources...

² T4TEL : T4 renvoie au quadruplet praxéologique (Type de tâches, Technique, Technologie, Théorie) et TEL pour Technology Enhanced Learning.

1. Définition de type de tâches et de sous-types de tâches

Au préalable, soulignons que la notion de type de tâches est première, comme en TAD, dans la construction de T4TEL mais comme on verra plus loin qu'il y a une forme de dualité avec la notion de technique.

Nous rejoignons le point de vue adopté par Y. Chevallard (1999) :

Enfin, tâches, types de tâches, genres de tâches ne sont pas des données de la nature : ce sont des « artefacts », des « œuvres », des construits institutionnels, dont la reconstruction en telle institution, par exemple en telle classe, est un problème à part entière, qui est l'objet même de la didactique. (p. 224)

Ainsi se pose une question méthodologique sur la construction des types de tâches. En effet, ce qu'observe un chercheur dans une institution donnée ce sont des tâches : comment peut-il définir un type de tâches ? Ou encore comment rattacher et organiser les tâches autour d'un même type de tâches ? Une première réponse est de les regrouper par genre de tâches comme « calculer », « démontrer » etc. On voit bien que ce critère n'est pas pertinent car on ne souhaite pas rattacher au même type de tâches les tâches « calculer $2 + 5$ », « calculer la somme de deux vecteurs » et « calculer une intégrale donnée ». Ensuite, on peut les discriminer par rapport aux objets communs sur lesquels porte l'action et par rapport aux moyens communs d'accomplir les tâches.

Il s'agit bien d'un travail de modélisation qui renvoie à la définition du type de tâches.

Précisons que nous nous plaçons dans une institution d'enseignement et nous considérerons que les types de tâches mis à l'étude possèdent au moins une technique.

Nous présentons ci-dessous une caractérisation de type de tâches selon T4TEL.

Définition 1. Type de tâches

Un *type de tâches* T est un ensemble de tâches tel que :

- Toute tâche est décrite par un verbe d'action donné et des compléments fixés, pris dans les objets d'une discipline ;
- Il existe au moins une technique τ qui accomplit au moins une tâche de T tel que soit la portée de la technique $P(\tau)$ est un sous-ensemble de T , soit T est un sous-ensemble de $P(\tau)$.

Nous reviendrons sur la notion de portée plus loin. La deuxième condition doit être vérifiée pour au moins une technique. Donc d'autres techniques accomplissant des tâches de T peuvent exister et dont la portée contient des tâches de T et des tâches extérieures.

Exemple 1. Au début du collège on rencontre le type de tâches institutionnel T_{eq1} (Résoudre une équation de degré 1 à coefficients entiers). Plusieurs techniques seront étudiées comme celles qu'on qualifie d'arithmétique qui consiste à utiliser les opérations inverses. La portée de cette technique est un sous-ensemble de T qui tend à échouer pour les équations du type $ax + b = cx + d$. Une autre technique consiste à utiliser les transformations algébriques sur les équations et dont la portée contient T , c'est-à-dire les équations de degré 1 à coefficient réels.

Maintenant que nous avons caractérisé la notion de type de tâches, nous définissons la notion de sous-type de tâches comme suit.

Définition 2. Sous-type de tâches

On dit que T' est un sous-type de tâches du type de tâches T si

- T' est un sous-ensemble de T ;
- T' est un type de tâches.

Exemple 2. Le type de tâches (Résoudre une équation de degré 1 à coefficient entiers du type $a + x = b$) est un sous-type de tâches de (Résoudre une équation de degré 1 à coefficients entiers) qui est lui-même un sous-type de tâches de (Résoudre une équation de degré 1).

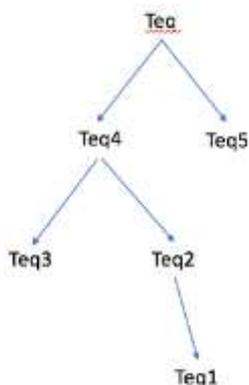
Nous venons de donner une caractérisation de type de tâches et de sous-type de tâches. Notre question est comment décrire un type de tâches.

Dans la plupart des cas, une tâche (et le type de tâches parent) s'exprime par un verbe : balayer la pièce, développer l'expression littérale donnée, diviser un entier par un autre, saluer un voisin, lire un mode d'emploi, monter l'escalier, intégrer la fonction... (Chevallard, 1999, p. 224)

Ainsi, dans T4TEL nous décrivons un type de tâches T par un verbe d'action et un complément que nous représentons par T (Verbe d'action, Complément). Le verbe d'action caractérise le genre de tâches, comme « Calculer », « Comparer » ou « Intégrer ». Le complément précise sur quoi porte l'action. Cependant, le complément peut être défini selon différents niveaux de granularité, du spécifique au générique et, pour prendre en compte ces relations entre le générique et le spécifique, nous avons introduit les notions de système de variables et de générateur de types de tâches (Chaachoua & Bessot, 2018, sous presse).

Générateur de type de tâches et système de variables

Reprenons l'exemple ci-dessus sur la résolution des équations. Le type de tâches T_{eq1} (Résoudre une équation de degré 1 à coefficients entiers) est un sous-type de tâches de T_{eq2} (Résoudre une équation algébrique de degré 1). Si on considère un autre type de tâches T_{eq3} (Résoudre une équation algébrique de degré 2) alors T_{eq2} et T_{eq3} peuvent être considérés comme des sous-types de tâches du type de tâches T_{eq4} (Résoudre une équation de degré inférieur ou égal à 2) ou du type de tâches T_{eq} (Résoudre une équation algébrique). Un autre sous-type de tâche de T_{eq} est T_{eq5} (Résoudre une équation algébrique de degré supérieur à 2). On peut représenter les relations entre ces types de tâches par l'arbre :



Dans cette représentation on a une structuration des types de tâches par rapport à la relation « être sous-type de tâches de ».

Cette structuration rend compte d'un jeu sur le degré de l'équation mais aussi sur la nature des coefficients.

Cette structuration dépend donc des critères retenus.

Figure 1 : Exemple de structuration des types de tâches.

On peut dire aussi que le type de tâches T_{eq4} est plus générique que T_{eq2} ou encore que T_{eq2} est plus spécifique que T_{eq4} .

Nous introduisons la notion de générateur de types de tâches qui à partir d'un système de variables peut générer des types de tâches et des sous-types de tâches selon une certaine structuration rendant compte des relations « plus générique que » et « plus spécifique que ».

Définition 3. Générateur de types de tâches.

Nous définissons un générateur de types de tâches par :

GT = [Verbe d'action, Complément fixe ; Système de variables] où :

- Le couple (Verbe d'action, Complément fixe) est un type de tâches,
- Le système de variables est composé d'une liste de variables et de valeurs qu'elles peuvent prendre.

Notons qu'un générateur de type de tâches n'est pas un type de tâches mais il permet d'engendrer des types de tâches selon une structuration hiérarchique. Le niveau le plus générique est défini sans aucune instanciation du système de variables donc il s'agit du type de tâches défini par le verbe d'action et le complément fixe. Les différentes instanciations des variables permettent d'engendrer des types de tâches plus spécifiques.

Exemple 3. Si on reprend les types de tâches de l'exemple 2 on peut considérer le générateur de type de tâches $GT_{eq} = [Résoudre, une \text{ équation algébrique ; } V1, V2]^3$ où $V1$: le degré de l'équation et $V2$: la nature des coefficients. La variable $V1$ peut prendre les valeurs : 1, inférieur ou égale à 2, supérieur à 2. La variable $V2$ peut prendre les valeurs : entiers naturels, entiers relatifs, rationnels, réels. On génère alors des types de tâches selon la structuration présentée dans la figure 1.

Cependant, le choix des variables et de leurs valeurs dépend de plusieurs points de vue que nous présenterons plus loin. Dans cet exemple, le choix de la valeur « inférieur ou égale à 2 » de la variable $V1$ est discutable. En effet, cela dépend si on veut traiter dans le même type de tâches les équations de degré 1 et de degré 2. Un des critères peut être les techniques ou encore le découpage institutionnel. Ainsi, un autre choix est de considérer comme valeurs de la variable $V1$: 1, 2, supérieur à 2. Dans ce cas les valeurs sont disjointes et le générateur produit une structuration de types de tâches différente de celle de la figure 1. Donc, la structuration des types de tâches est dépendante de la structuration des valeurs des variables⁴.

Exemple 4. Considérons le générateur de type de tâches $GTs = [Calculer, la somme de deux nombres entiers ; V1, V2]$ où $V1$: taille du premier nombre (nombre de chiffres) et $V2$: taille du second nombre (nombre de chiffres).

Dans cet exemple le complément fixe est « la somme de deux nombres entiers ». Le type de tâches le plus générique est $Ts = (Calculer la somme de deux nombres entiers)$.

Un autre choix était possible est de considérer le complément fixe « la somme de deux nombres » qui est plus générique et d'ajouter une autre variable sur la nature du nombre (entier, rationnel, réel...). Le choix de niveau de granularité est un point important dans la construction des générateurs de types de tâches et dépend d'au moins de 3 facteurs que nous considérons comme importants : questions de recherche, l'institution cible et les techniques. Notons d'abord que le facteur institution cible est en partie lié aux questions de recherche.

Pour le facteur « institution cible », le choix du système de variables pour GTs n'est pas le même si l'institution est le début de l'école élémentaire (6-8 ans) ou tout l'enseignement primaire (6-12 ans) ou encore le collège (12-15 ans), et donc le choix du générateur n'est pas le même. Par exemple, si l'institution cible est l'enseignement primaire (6-11 ans) on peut introduire une variable $V3$ sur la nature du nombre qui prend au moins deux valeurs : entiers et décimaux. On obtient alors comme générateur de types de tâches : $GTs = [Calculer, la somme de deux nombres ; V1, V2, V3]$.

Pour le facteur « techniques », il s'agit de déterminer les techniques possibles et de caractériser leur portée, à l'aide des variables.

³ Dans cette écriture, $V1$ et $V2$ désignent les variables mais aussi les valeurs qu'elles peuvent prendre.

⁴ Pour une étude détaillée de cet exemple cf Chaachoua et Bessot (2018, sous presse).

Comme pour les types de tâches, les générateurs de types de tâches sont des construits du chercheur.

Fonctions des variables

Chaachoua et Bessot (2018, sous presse) ont présenté trois fonctions aux variables : générer des types de tâches, caractériser les portées des techniques et décrire les praxéologies personnelles que nous présentons ci-dessous.

1) *Générer des types de tâches et sous-types de tâches en jouant sur les valeurs de cette variable.*

Par instanciation des valeurs des variables on génère, selon une structure hiérarchique, les sous-types de tâches du type de tâches le plus générique.

Par exemple le type de tâches T_{S1} (calculer la somme de deux entiers de taille 1) et T_{S2} (Calculer la somme d'un entier de taille supérieure à 2 et d'un entier de taille 1) sont disjoints et sont des sous-types de tâches de T_{S3} (Calculer la somme de deux entiers de taille inférieures ou égales à 2).

Ces trois types de tâches peuvent être générés à partir de GTs = [Calculer, la somme de deux nombres ; V1, V2, V3] par instanciation uniquement des variables V1 et V2.

Cependant, une question se pose : quels sont les types de tâches qu'on souhaite générer ?

Bien que la réponse à cette question dépende des questions de recherche, nous pensons que deux raisons importantes peuvent motiver la génération de certains types de tâches et donc un choix de variables et de valeurs adéquates : les portées des techniques et les contraintes / conditions institutionnelles qu'on développera dans la suite.

2) *Caractériser les portées des techniques*

Revenons d'abord sur la notion de portée d'une technique τ définie par l'ensemble des tâches pouvant être accomplies par τ . Par exemple, pour le type de tâches T_{eq3} (Résoudre une équation de degré 2) la technique dite du discriminant a pour portée T_{eq3} . Il s'agit d'une portée théorique au sens où d'un point de vue mathématique la technique s'applique à toutes les tâches de T_{eq3} . Reprenons la définition donnée par Chevallard (1999) :

Tout d'abord, une technique – une « manière de faire » – ne réussit que sur une partie $P(\tau)$ des tâches du type T auquel elle est relative, partie qu'on nomme portée de la technique : elle tend à échouer sur $T \setminus P(\tau)$, de sorte qu'on peut dire que « l'on ne sait pas, en général, accomplir les tâches du type T ». (p.225)

On voit que dans cette définition on se place dans le cas où la portée de la technique est une partie du type de tâches auquel elle est relative. Or, étant donné un type de tâches T on peut trouver une technique dont la portée contient T . Par exemple quand on étudie les techniques du type de tâches T_{eq1} (Résoudre une équation de degré 1 à coefficient entiers) on introduit une technique dont la portée est T_{eq2} (Résoudre une équation algébrique de degré 1). Cependant, à chaque technique on peut lui associer un type de tâches contenant sa portée. Nous y reviendrons.

Une deuxième remarque dans cette définition est qu'en dehors de sa portée la technique tend à échouer. Nous l'interprétons par le fait qu'elle peut ne pas s'appliquer ou elle peut s'appliquer mais avec un risque d'erreur.

Reprenons l'exemple 4. La technique dite de sur-comptage⁵ peut s'appliquer sur T_s (Calculer la somme de deux nombres entiers). Mais, si on l'applique à des grands nombres, il y a de forte chance qu'elle échoue. Cependant, elle réussit sur T_{S2} (Calculer la somme d'un entier de taille supérieure à 2 et d'un entier de taille 1). On considère donc T_{S2} comme portée pragmatique de cette technique que nous définissons ci-après.

Pour nous la notion de portée pragmatique correspond à la définition de Chevallard. Et c'est bien cette portée qui est pertinente pour la vie des praxéologies et qui est au cœur des questions didactiques. Dans la suite, nous la nommerons portée d'une technique sans l'adjectif « pragmatique » et en reprenant la définition de la portée d'une technique.

Définition 4. La portée (pragmatique)

La portée d'une technique, est l'ensemble des tâches où la technique est fiable dans le sens où elle permet d'accomplir ces tâches avec peu de risque d'échec et un coût raisonnable. La technique réussit sur cette portée et tend à échouer en dehors.

Peut-on toujours caractériser les portées des techniques ? Cela n'est pas toujours possible pour la portée théorique d'une technique comme par exemple certaines techniques de calcul d'intégrales. Cependant, pour la portée d'une technique, au sens pragmatique définit ci-dessus, on peut la caractériser bien que cette caractérisation puisse être amenée à se préciser dans le temps.

Propriété

La portée d'une technique, théorique ou pragmatique, est un type de tâches.

Cette propriété découle directement de la définition 1.

Comme la portée est un type de tâches, certaines variables et/ou valeurs sont choisies de sorte qu'on puisse générer les types de tâches qui sont des portées des techniques.

Nous considérons la caractérisation de la portée comme un objet d'étude didactique en soi.

3) *Décrire les praxéologies personnelles.*

Pour rendre compte des praxéologies personnelles des élèves (Croset, Chaachoua 2016) qu'elles soient valides ou non, nous enrichissons a posteriori les valeurs des variables. Ces valeurs permettent de générer des types de tâches susceptibles de mobiliser chez des élèves des praxéologies personnelles non valides. Par exemple, dans le cas des équations de degré 2, il est important de pouvoir générer le type de tâches « Résoudre une équation du type $P_1(x)Q_1(x) = k$, où $P_1(x)$ et $Q_1(x)$ sont des polynômes de degré 1, k non nul ». En effet, une technique personnelle non valide possible est $\tau = \{\text{Ecrire « } P_1(x) = k \text{ ou } Q_1(x) = k \text{ »}\}$ ⁶.

Comme le précisent Chaachoua et Bessot (2018, sous presse) les deux premières fonctions :

« apparaissent comme particulièrement intéressantes pour conduire des analyses a priori (point de vue épistémologique et didactique) et calculer des parcours d'apprentissage à partir d'un jeu sur ces variables et leurs valeurs. En particulier, la construction d'un modèle de praxéologie de référence pour un domaine mathématique (au sens de l'échelle de codétermination) inclue de fait pour nous l'explicitation de variables et de ses valeurs possibles ».

⁵ Pour ajouter 7 à 23 on compte 24, 25...

⁶ Cf. (Chaachoua et Bessot, 2018, sous presse) pour plus de détail sur les praxéologies personnelles et sur cet exemple.

Conditions et contraintes (institutionnelles)

Les contraintes et les conditions définies par une institution vont restreindre non seulement le type de tâches, mais aussi des variables ou des valeurs possibles d'une variable d'un type de tâches institutionnel. Par exemple, au début de l'école primaire (3-6 ans) on se limite aux nombres entiers inférieurs à 30.

Ainsi, « une variable et ses valeurs institutionnelles modélisent des conditions et des contraintes explicites ou implicites (relevant des niveaux de l'échelle de codétermination) sous lesquelles une praxéologie existe ou peut exister institutionnellement. » (ibid., 2018, sous presse). Kaspary (2018) dans sa méthodologie de recherche étudie des corrélations entre conditions/contraintes et variables pour décrire les rapports attendus par une institution noosphérienne.

Variable « Ostensifs »

Une des variables importantes est celle d'ostensifs car elle intervient dans tous les générateurs de types de tâches. Mais selon le générateur cette variable peut prendre des valeurs différentes. Elle joue un rôle au niveau des types de tâches et plus précisément au niveau des tâches mais aussi au niveau des techniques puisqu'ils sont les ingrédients premiers d'une technique.

Par exemple, dans sa thèse, Brassset (2017) considère le générateur de type de tâches GT = [Traduire, un nombre d'un ostensif de départ vers un ostensif d'arrivée ; V1.1, V1.2, V2.1, V2.2, V3.1, V3.2]⁷ où

V1.1 : Ordre de la plus grande unité de numération.

Valeurs : 1, 2, 3, ...

V1.2 : Absence d'au moins une unité de numération

Valeurs : Oui, Non

V2.1 : Nature de l'ostensif de départ.

Valeurs : Écriture chiffrée, Écriture en unité de numération, Écriture en matériel de numération, Écriture additive,

V2.2 : Forme de l'ostensif de départ.

Valeurs : Canonique, Non canonique

V3.1 : Nature de l'ostensif d'arrivé.

Valeurs : Écriture chiffrée, Écriture en unité de numération, Écriture en matériel de numération, Écriture additive,

V3.2 : Forme de l'ostensif d'arrivé.

Valeurs : Canonique, Non canonique.

Par exemple le type de tâches T(Traduire un nombre de l'écriture en écriture en unité de numération non canonique vers l'écriture chiffrée) est obtenu à partir du générateur par les instanciations des variables suivantes :

V2.1 = Écriture en unité de numération

V2.2 = Non canonique

V3.1 = Écriture chiffrée

Une tâche de ce type de tâches est « Écris en chiffres le nombre 14 centaines et 235 dizaines ».

⁷ D'autres variables ont été considérées dans Brassset (2017), comme l'organisation du matériel, que nous ne présentons pas ici.

Dans ce travail la considération des ostensifs dans les variables permet de structurer les types de tâches de traduction d'écritures de nombres. Cependant, il manque un véritable travail conceptuel sur l'intégration des ostensifs dans T4TEL. C'est ce qui est au cœur de la thèse de Kaspary (thèse en cours) où elle étudie le rôle des ostensifs dans les techniques et leurs évolutions. Cela est lié en partie aux portés des techniques. Par exemple pour le type de tâches « calculer la somme de deux entiers » la technique, qui mobilise les doigts pour compter de 1 en 1, a pour portée le type de tâches T_{S2} .

Description des techniques

Le problème de description des techniques a été soulevé dans (Chevallard, 1994) « ... de quoi est faite une technique donnée ? De quels "ingrédients" se compose-t-elle ? Et encore : en quoi consiste la "mise en œuvre" d'une technique ? ». Si ce problème n'est pas posé explicitement dans les différents travaux qui font usage de l'analyse praxéologique, ces travaux en proposent des descriptions. Certains les décrivent sous forme d'actions plus ou moins structurées, d'autres les décrivent par des sous-tâches. Par exemple, Cirade & Matheron (1998) décrivent la technique utilisée pour le type de tâches T (Résoudre une équation du premier degré), par des sous-tâches : développer une expression algébrique, effectuer les produits, transposer les termes, réduire chacun des membres, résoudre une équation de la forme $ax = b$. Puis, les auteurs ajoutent que ce découpage est arbitraire, et qu'il s'agit d'un modèle dont l'objectif est de mettre en évidence l'organisation mathématique et de l'évaluer. L'intérêt de ce découpage est qu'il renvoie à des tâches reconnues institutionnellement et, pour chacune d'elles, il existe une praxéologie mathématique qui a été mise en place avant. D'ailleurs, les manuels adoptent ce mode de description des techniques. Nous voyons un intérêt dans ce découpage : il permet de mieux situer les difficultés des élèves dans la mise en œuvre d'une technique au niveau des sous-tâches qui composent la technique. Ce découpage a été aussi adopté par Castela (2008) où elle étudie comment une tâche peut intervenir dans la technique d'une autre tâche. Elle étudie la technique d'une tâche sous forme d'un enchaînement d'organisations mathématiques ponctuelles (Castela, 2008, p.129).

Définition 5. Description d'une technique

Une technique est décrite par un ensemble de types de tâches appelés ingrédients de la technique.

Pour pouvoir décrire les techniques par un ensemble de types de tâches nous avons distingué deux sortes de types de tâches pour intégrer dans la technique des types de tâches comme T (Transposer les termes) de l'exemple ci-dessus.

Définition 6. Types de tâches intrinsèque et extrinsèque

Nous distinguons deux sortes de types de tâches :

- les types de tâches qui n'existent qu'à travers la mise en œuvre des techniques de certains autres types de tâches, appelés types de tâches *intrinsèques* ;
- les types de tâches qui existent en dehors des techniques et peuvent être prescrits institutionnellement aux élèves, qualifiés de types de tâches *extrinsèques*.

Exemple 5. Pour le type de tâches T_{S2} (Calculer la somme d'un entier de taille 1 et d'un entier de taille supérieure à 2), de l'exemple 4, une des techniques est la technique dite algorithmique où il s'agit de poser l'addition. On peut la décrire par au moins deux types de tâches : TD (Disposer en colonne l'addition des deux nombres) et TS1 (Calculer la somme de deux entiers de taille 1). Le type de tâches TD est intrinsèque : il n'est pas prescrit par l'institution tout en ayant une praxéologie, en particulier une technique et une technologie. Le type de tâches TS1 est extrinsèque car il est prescrit au début de l'école primaire.

Les types de tâches intrinsèques ont eux aussi leurs propres praxéologies. Elles peuvent même être prescrites aux élèves pendant un moment sous des formes adaptées dans des organisations didactiques. Par exemple pour TD (Disposer en colonne l'addition des deux nombres) on trouve des tâches qui visent à travailler la disposition des nombres. Par exemple, on donne une opération en ligne et on demande de poser l'addition sans l'effectuer.

Exemple 6. Un autre exemple est autour de l'ostensif « tableau de variation » où l'institution crée des organisations didactiques autour des types de tâches comme (Compléter le tableau de variation), (Produire un tableau de variation) ou (Lire un tableau de variation). Ensuite, ces types de tâches ne vivent que comme ingrédients de techniques d'autres types de tâches.

Dans l'extrait ci-dessous (Figure 2), il s'agit d'une tâche qui vise à comprendre les règles de formation d'un tableau de variation à partir de certaines informations sur la fonction. Ce type de tâches, présent en classe de seconde en France, l'année où on introduit l'ostensif « tableau de variation », disparaît les années suivantes mais continue à vivre comme ingrédient des techniques de types de tâches, par exemple le type de tâches d'étude de fonctions.

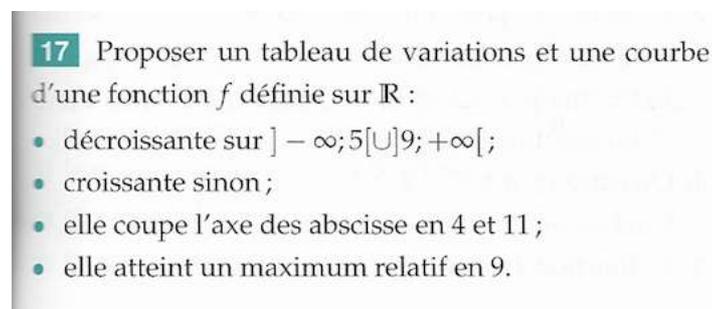


Figure 2 : Extrait de Sésamath, Seconde, 2014, p.123.

Remarquons que chaque type de tâches qui est ingrédient d'une technique a lui-même une ou plusieurs techniques qui s'expriment à leur tour par un ensemble de types de tâches. Nous avons donc introduit la notion de type de tâches élémentaire pour exprimer qu'à un niveau donné de la description on arrête le processus.

Définition 7. Type de tâches élémentaire

Un type de tâches est *élémentaire* si l'institution ou le chercheur du domaine considère qu'il n'est pas nécessaire d'explicitier la ou les techniques pour ce type de tâches.

Au niveau de l'institution le statut élémentaire est souvent réglé au niveau du contrat didactique et qui évolue dans le temps : ce qui devait être explicité à un moment donné ne l'est plus à un autre moment. Par exemple T_S (Calculer la somme de deux nombres entiers) n'est pas élémentaire au niveau de l'école primaire mais qui devient élémentaire à partir du lycée (plus de 16 ans).

Au niveau du chercheur il peut désigner des types de tâches comme élémentaires dans la construction de son modèle. Ce choix est souvent lié aux questions de recherche.

Revenons sur la description des techniques par des types de tâches. Comme chaque type de tâches admet lui-même sa propre technique qui à son tour est décrite par un ensemble de types de tâches, une question de nature méthodologique se pose : quel est le niveau de granularité pour décrire une technique. Ce qui peut se traduire par la question : quels sont les critères de choix des types de tâches ingrédients d'une technique ?

Considérons la tâche suivante t_6 : résoudre l'équation $x(x + 1) = (3 - x)(2x + 2)$. C'est une tâche qui relève du type de tâches T_{eq3} (Résoudre une équation algébrique de degré 2). En classe de seconde, une mise en œuvre d'une technique attendue peut être transcrite comme suit :

$$\begin{aligned}
&x(x + 1) = (3 - x)(2x + 2) \\
&x(x + 1) - (3 - x)(2x + 2) = \\
&0 \\
&x(x + 1) - 2(3 - x)(x + 1) = \\
&0 \\
&(x + 1)[x - 2(3 - x)] = 0 \\
&(x + 1)(x - 6 + 2x) = 0 \\
&(x + 1)(3x - 6) = 0 \\
&x + 1 = 0 \text{ ou } 3x - 6 = 0 \\
&x = -1 \text{ ou } 3x = 6 \\
&x = -1 \text{ ou } x = 2
\end{aligned}$$

Comment peut-on décrire cette technique à l'aide de types de tâches ? On reconnaît dans ces étapes des types de tâches comme : (Factoriser une expression algébrique), (Réduire une expression algébrique), (Résoudre une équation produit nul), (Résoudre une équation de degré 1), (Regrouper les termes dans un seul membre).

Précisons qu'on ne peut pas considérer en même temps comme ingrédients (Résoudre une équation produit nul) et (Résoudre une équation de degré 1). En effet, le deuxième type de tâches est un ingrédient de la technique du premier.

Considérons le découpage suivant où la technique est être décrite par {(Regrouper les termes dans un seul membre), (Factoriser une expression algébrique), (Réduire une expression algébrique), (Appliquer la règle du produit nul), (Résoudre une équation de degré 1)}.

Regrouper les termes dans un seul membre

$$\begin{aligned}
&x(x + 1) = (3 - x)(2x + 2) \\
&x(x + 1) - (3 - x)(2x + 2) = 0
\end{aligned}$$

Factoriser une expression algébrique

$$\begin{aligned}
&x(x + 1) - 2(3 - x)(x + 1) = 0 \\
&(x + 1)[x - 2(3 - x)] = 0
\end{aligned}$$

Réduire une expression algébrique

$$\begin{aligned}
&(x + 1)(x - 6 + 2x) = 0 \\
&(x + 1)(3x - 6) = 0
\end{aligned}$$

Appliquer la règle du produit nul

$$\begin{aligned}
&(x + 1)(3x - 6) = 0 \\
&x + 1 = 0 \text{ ou } 3x - 6 = 0
\end{aligned}$$

Résoudre une équation de degré 1

$$\begin{aligned}
&x + 1 = 0 \text{ ou } 3x - 6 = 0 \\
&x = -1 \text{ ou } 3x = 6 \\
&x = -1 \text{ ou } x = 2
\end{aligned}$$

On peut considérer aussi un autre découpage où la technique est décrite par : {(Regrouper les termes dans un seul membre), (Factoriser une expression algébrique), (Résoudre une équation produit nul)}.

Regrouper les termes dans un seul membre

$$\begin{aligned}
&x(x + 1) = (3 - x)(2x + 2) \\
&x(x + 1) - (3 - x)(2x + 2) = 0
\end{aligned}$$

Factoriser une expression algébrique

$$\begin{aligned}x(x + 1) - 2(3 - x)(x + 1) &= 0 \\(x + 1)[x - 2(3 - x)] &= 0 \\(x + 1)(x - 6 + 2x) &= 0 \\(x + 1)(3x - 6) &= 0\end{aligned}$$

Résoudre une équation produit nul

$$\begin{aligned}(x + 1)(3x - 6) &= 0 \\x + 1 = 0 \text{ ou } 3x - 6 &= 0 \\x = -1 \text{ ou } 3x &= 6 \\x = -1 \text{ ou } x &= 2\end{aligned}$$

Nous faisons trois remarques concernant ce découpage. La première est que pour le type de tâches (Factoriser une expression algébrique) il est attendu des réductions des expressions factorisées.

Une deuxième remarque est qu'on aurait pu mettre comme ingrédient (Résoudre une équation de degré 2) à la place du type de tâches (Résoudre une équation produit nul). Mais, dans ce cas on aura le type de tâches (Résoudre une équation du degré 2) qui intervient dans sa propre technique et alors dans le processus de description il y aura une boucle qui ne s'arrête pas.

Une troisième remarque est qu'on aurait pu mettre comme ingrédient (Factoriser une expression de la forme $P(x)Q(x) + P(x)R(x) = 0$) à la place de (Factoriser une expression algébrique). Le premier est plus spécifique que le second. Cependant, il n'est pas toujours possible de connaître le niveau de spécification qui dépend de la forme de l'expression à factoriser.

Compte tenu de ces remarques nous avons retenu les critères suivant pour les ingrédients de la technique.

Définition 8. Les ingrédients d'une technique

Soit τ une technique d'un type de tâche T_0 d'un générateur GT. Les types de tâches qui composent la technique τ peuvent être :

- (i) des types de tâches intrinsèques
- (ii) des types de tâches extrinsèques T_e générés par GT et que T_0 ne soit pas un sous-type de tâches de T_e
- (iii) des types de tâches extrinsèques générés par d'autres générateurs de types de tâches mais qui peut être du niveau le plus générique. C'est à dire le type de tâches obtenu par le verbe et par le complément fixe sans aucune instanciation de variables.

La condition (ii) permet d'éviter au processus de ne pas s'arrêter, donc d'éviter la situation « pour accomplir un type de tâches T on applique le type de tâches T ou un type de tâches plus générique ».

Dans la figure ci-dessous (Figure 3) nous avons représenté une structuration de types de tâches autour de deux générateurs GT et GT'. Les types de tâches pouvant être ingrédients de la technique τ du type de tâche T_0 sont :

- T_4 : est sous-type de tâches de T_0
- T_2 et T_3 : ne sont pas des sous-types de tâches de T_0 , sont du même générateur GT, T_0 n'est pas sous-type de tâches de T_3 et de T_2
- T' : est au niveau générique d'un autre générateur de types de tâches GT'.

Les types de tâches T et T1 ne peuvent pas être des ingrédients de la technique τ car T_0 est un sous-type de tâches de T et de T1.

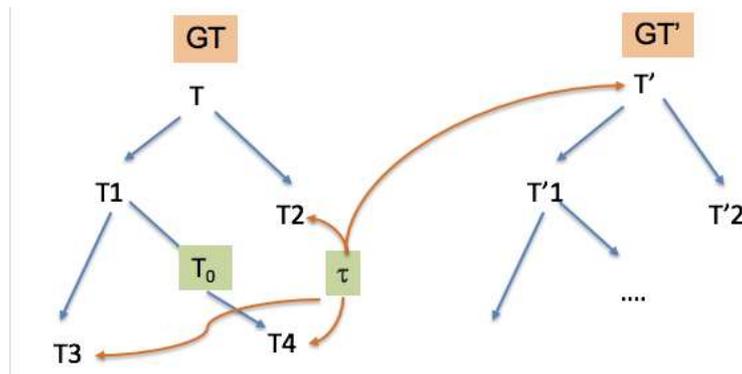


Figure 3 : Les ingrédients possibles d'une technique.

Exemple 6. Reprenons l'exemple ci-dessous. La tâche t_6 peut être considérée comme relevant du type de tâches Teq.6 (Résoudre une équation du second degré du type $P_1(x) Q_1(x) = R_1(x) S_1(x)$ où P_1, Q_1, R_1 et S_1 sont des polynômes de degré 1 et $R_1(x)$ est un multiple de $P_1(x)$). C'est un sous-type de tâches de Teq.3 de l'exemple 2 repris au début du paragraphe 2.2. Il peut être généré à partir du générateur G_{Teq} . Une des techniques peut être décrite par les types de tâches : {TF (Factoriser une expression algébrique), Teq.7 (Résoudre une équation du type $P_1(x) Q_1(x) = 0$)}. Dans cette description le type de tâches TF n'est pas du même générateur que Teq.6 et donc il peut être exprimé au niveau le plus générique de son générateur. Alors que Teq.7 et Teq.6 sont du même générateur et Teq.7 peut être à un niveau plus bas de la structuration.

Description des technologies et théories

Dans la TAD une technologie est un discours rationnel qui permet de justifier, de produire, de rendre intelligible, de contrôler et d'adapter une technique (Chevallard, 1992).

Nous modélisons la technologie par un ensemble d'énoncés qui ont un statut et un domaine de validité. Le statut peut être : définition, propriété, règle, croyance... Le domaine de validité précise la validité de l'énoncé par rapport à un domaine de référence. Comme la théorie est pour la technologie ce qu'est la technologie est pour la technique nous adoptons la même modélisation pour la théorie.

III. MISES EN ŒUVRE DU CADRE T4TEL POUR LA CONCEPTION D'UN EIAH

Comme nous l'avons dit au début qu'une des motivations du développement du cadre T4TEL est de produire différents services EIAH avec des considérations didactiques. Mais, ce qui est en amont à la conception des différents services est la construction d'un modèle praxéologique de référence (MPR) selon le cadre T4TEL. Dans Chaachoua et al. (2013) nous avons indiqué les grandes lignes de la construction du modèle, sa représentation informatique et des exemples de mises en œuvre.

Nous présentons dans le paragraphe 3.1 quelques éléments de la représentation informatique du modèle, puis dans les paragraphes 3.2 et 3.3 deux exemples de mises en œuvre de T4TEL

dans des recherches autour de la conception d'EIAH développées au sein de l'équipe MeTAH.

1. Représentation informatique des praxéologies

Un premier défi était la représentation informatique de ce modèle dans un EIAH. C'est ce que nous avons relevé d'abord dans le cadre du projet Cartographie des savoirs⁸ puis dans d'autres projets en cours.

Dans ce projet nous avons représenté les référentiels de différents domaines de connaissance selon le cadre T4TEL avec un modèle ontologique Ontoprax (Chaachoua et al. 2013). L'objectif est de développer une ontologie des praxéologies qui réponde aux conditions suivantes : constituer une référence pour une communauté de praticiens, être complète et cohérente, être calculable et interopérable, être manipulable par des humains, et enfin fournir des services à des EIAH.

Le modèle Ontoprax repose sur la définition de 4 ensembles : Ensemble de types de tâche (ETT) ; Ensemble de techniques (E τ) ; Ensemble de technologies (E θ) ; Ensemble de théories (E Θ). Mais aussi sur des relations du type :

- Un type de tâche est accompli par une ou plusieurs techniques.
- Une technique est justifiée par une et une seule technologie.
- Une technologie justifie une ou plusieurs techniques.
- Une technologie est intégrée dans une théorie.
- Une théorie intègre une ou plusieurs technologies.

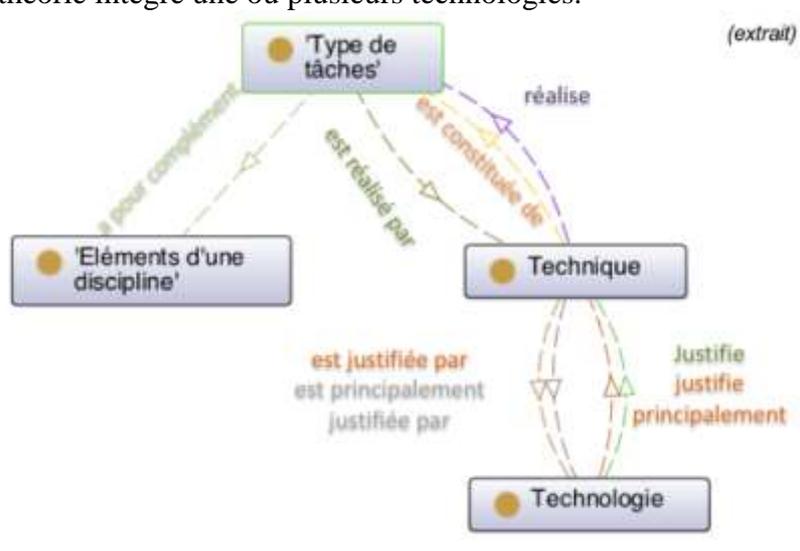


Figure 4 : Ontoprax - représentation ontologique des praxéologies.

Dans ce projet nous avons abouti à la représentation des praxéologies : 413 (resp. 712) types de tâches, et 1473 (resp. 2242) relations obtenues à partir des praxéologies pour les mathématiques en CM1 (resp. le français en CM1). Différents services (production de profils des élèves, production de tests de diagnostic, ...) ont été produits par d'autres équipes de recherche, ce qui a montré que notre modèle Ontoprax est interopérable. Une expérimentation a été menée pour valider le modèle et les services produits à grande échelle (7500 élèves).

⁸ « Cartographie des savoirs » (<http://intranet.cartodessavoirs.fr>). C'est un projet e-education 2 (2012-2014).

Indexation des ressources

Dans un travail de thèse en cours (S. Jolivet) qui vise à proposer un modèle de description de ressources de type « exercices et problèmes » de mathématiques basé sur des critères didactiques, la place de T4TEL est centrale pour au moins trois raisons :

- L'utilisation des variables permet une structuration d'un modèle praxéologique de référence permettant de rechercher des relations entre différents types de tâches présents dans une même ressource ;
- L'intégration en cours des ostensifs dans le modèle T4TEL permet de les prendre en compte dans la description des ressources ;
- La dimension calculable de la représentation permet de placer le travail dans une perspective EIAH avec d'une part un processus d'indexation adapté à un volume important de ressources pour un coût raisonnable et d'autre part une augmentation « automatisée » de la description à partir de calculs sur le MPR.

La description d'une ressource dans la modélisation de Jolivet repose sur cinq qualités

- Etre basée sur des critères didactiques ;
- Etre indépendante du descripteur ;
- Etre inscrite dans une perspective EIAH, pour sa réalisation et pour son exploitation ;
- Permettre de déterminer les adéquations institutionnelles d'une ressource ;
- Permettre de déterminer l'adéquation à un ou des projets d'étude d'une organisation mathématique.

Exploitation des praxéologies personnelles

Un premier travail sur les praxéologies personnelles en EIAH a été développé par Croset (2009) dans le micromonde d'algèbre Aplusix. Il s'agissait de diagnostiquer les techniques et les technologies des élèves à partir des traces de manipulations d'expressions algébriques. Le processus de diagnostic a été présenté dans Croset (2009) et Chaachoua (2010). Ici nous nous centrons sur l'exploitation des techniques diagnostiquées en vue de produire des rétroactions à l'élève, à l'enseignant ou au système.

Soit t une tâche que l'élève doit accomplir au sein d'une institution I . Elle relève d'un type de tâches T généré dans un MPR. On suppose qu'il y a une technique τ_1 qui accomplit t et attendue par I^9 . Nous présentons quelques éléments du modèle de traitement d'une technique personnelle une fois diagnostiquée (Figure 5). On note τ_e la technique de l'élève pour le type de tâches T^{10} .

Si le diagnostic indique l'absence de la technique alors trois cas se présentent : (i) T est un type de tâches élémentaire pour l'institution I , auquel cas c'est normal qu'il ne soit pas nécessaire de produire une technique, (ii) l'élève considère que c'est un type de tâches élémentaire, (iii) il y a un manque d'équipement praxéologique pour l'élève.

Si une technique τ_e est diagnostiquée appartient au MPR deux cas se présentent : (i) elle est égale à τ_1 et donc elle est correcte et conforme au rapport institutionnel ; (ii) elle est correcte et différente de τ_1 alors il faut prendre en compte d'autres informations sur le type de tâches T .

⁹ Il peut y en avoir plusieurs.

¹⁰ Le diagnostic d'une technique à partir d'une tâche ne permet pas d'inférer au type de tâches institutionnel car cela suppose une stabilité sur un ensemble de tâches à caractériser et qui correspond au type de tâches personnel. Ce problème a été largement étudié par Croset (2009) où elle a développé des critères de stabilité inter et intra-élèves. Cependant, le coût de ce diagnostic est important et donc nous avons opté pour un choix de ne pas chercher la stabilité.

Si une technique τ_e diagnostiquée appartient au MPR alors deux cas se présentent : (i) l'erreur est au niveau des ingrédients de τ_e (cf. Figure 5 pour les différents sous cas) ; (ii) l'erreur est au niveau de la technique d'un ingrédient T de τ_e . Dans ce cas on itère le processus sur la technique de cet ingrédient.

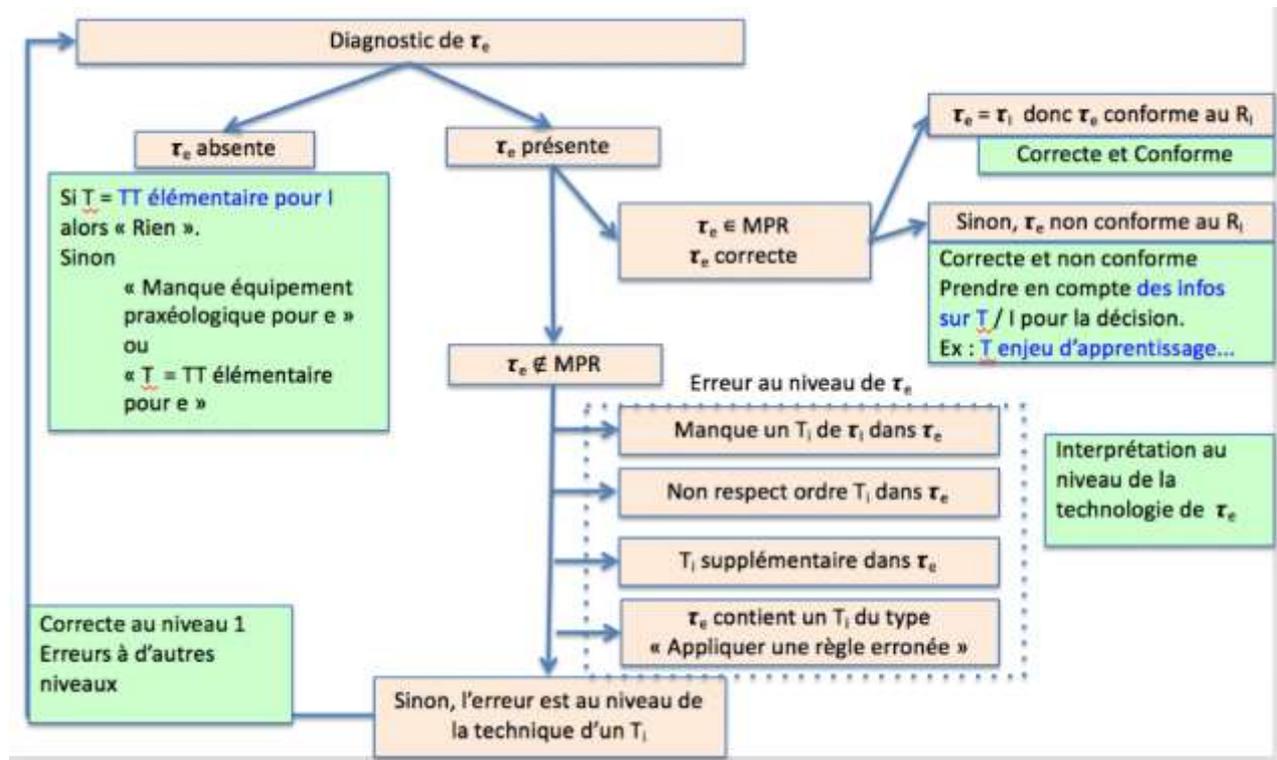


Figure 5 : Modèle de traitement d'une technique de l'élève diagnostiquée.

A partir de cette catégorisation on construit une fonction qui à chaque catégorie associe un type de rétroaction pour le système, pour l'élève ou l'enseignant. Cette fonction est en cours de construction.

Ce modèle a été utilisé dans la thèse de Bonnat (2017). L'étude porte sur une modélisation de l'erreur dans une situation de conception expérimentale en biologie proposée dans une plateforme informatique. Cela se traduit par une modélisation de praxéologies personnelles a priori qui s'appuie sur de possibles erreurs portant sur la technique du type de tâches ou bien sur la valeur de variable de la tâche. La modélisation a été enrichie par l'analyse de productions d'élèves et participera dans un second temps à l'évolution de la plateforme vers la mise en place d'un diagnostic automatique des erreurs.

IV. CONCLUSION

Dans les recherches en EIAH basées sur des modèles didactiques, la représentation informatique de ces modèles rend nécessaire leur transformation pour répondre à certains critères comme la calculabilité et la généricité. L'exigence de généricité signifie que le modèle ne doit pas être conçu de façon instanciée à un domaine de connaissances donné. Il a été mis en œuvre dans différentes disciplines, mathématiques, français, physique, chimie et biologie.

Le modèle T4TEL apporte une réponse à ces exigences. Nous avons représenté des structures praxéologiques avec des relations permettant de produire différents services EIAH en sciences expérimentales et en mathématiques autour des services : diagnostic et rétroactions, outil d'orchestration pour un professeur, indexation de ressources. Un exemple de mise en œuvre en sciences expérimentale est présenté par Girault et al. (2018) dans la conception d'un EIAH, TitrAB, dédié à la conception d'expériences de titrage en chimie, à la fois dans la sélection des tâches de l'activité travaillées dans TitrAB ainsi que dans la production de rétroactions automatiques.

Pour arriver à ces résultats des travaux en didactiques des mathématiques sont nécessaires. Par exemple, la thèse de Brassset (2017) porte sur la modélisation didactique et informatique de décisions didactiques fournit des résultats pour la conception d'un EIAH et plus précisément, pour produire un système capable d'accompagner l'enseignant dans sa pratique mais aussi un système tuteur capable de fournir à l'élève des feedbacks favorables à la construction d'une connaissance visée. Un autre exemple est le travail de thèse en cours de Jolivet sur l'indexation de ressources du type exercice.

Au-delà de la finalité EIAH, ces travaux contribuent également à faire avancer des recherches en didactique des mathématiques. En effet, la thèse de Brassset propose une modélisation des décisions didactique dans le cadre de la TAD. La thèse de Jolivet contribue à la modélisation de la notion de tâches et aussi la notion d'intentions didactiques.

Enfin, soulignons que le développement de T4TEL se fait aussi dans des champs hors EIAH comme dans les travaux de Tang (2014) sur l'analyse comparative des rapports institutionnels en France et au Vietnam à l'objet « représentation en perspectives » à partir un modèle praxéologique de référence pour construit dans le cadre de T4TEL.

Deux développements, hors champ EIAH, sont en cours dans la thèse Kasparly : intégration conceptuelle des ostensifs dans T4TEL et caractérisation des conditions et contraintes des rapports institutionnels à l'aide des variables. Un autre développement en cours concerne la construction des parcours d'étude et de recherche en s'appuyant en particulier sur le jeu des variables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BONNAT, C. (2017). *Etayage de l'activité de conception expérimentale par un EIAH pour apprendre la notion de métabolisme cellulaire en terminale scientifique*. Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes.
- BOSCH, M. & CHEVALLARD, Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. *Recherche en Didactique des Mathématiques* (19/1), 77-124.
- BRASSET, N. (2017). *Les décisions didactiques d'un enseignant dans un EIAH Etude de facteurs de type histoire didactique*. Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes.
- CASTELA, C. (2008). Travailler avec, travailler sur la notion de praxéologie mathématique pour décrire les besoins d'apprentissage ignorées par les institutions d'enseignement. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 28 (2), 135-182.
- CHAACHOUA, H. (2010). *La praxéologie comme modèle didactique pour la problématique EIAH. Etude de cas : la modélisation des connaissances des élèves*. Note de synthèse HDR, Grenoble : Université Joseph Fourier.
- CHAACHOUA, H. & BESSOT, A. (2018, sous presse). Introduction de la notion de variable dans le modèle praxéologique. *Actes du 5e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*.
- CHAACHOUA, H., FERRATON, G. & DESMOULINS, C. (2013). Utilisation du modèle praxéologique de référence dans un EIAH. *Actes du 4e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*, Toulouse.
- CHEVALLARD, Y. (1989). Le concept de rapport au savoir, rapport personnel, rapport institutionnel. *Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique 108*. Grenoble.
- CHEVALLARD, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : Perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12.1, 73 - 112.
- CHEVALLARD, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique de mathématiques*, 19 (2), 221-265.
- CHEVALLARD, Y. (2002). Organiser l'étude 3. Écologie & régulation. In J. L. Dorier & al. (Eds.), *Actes de la 11e école de didactique des mathématiques*. (pp. 41-56) Grenoble : La Pensée Sauvage.

- CIRADE, G. & MATHERON, Y. (1998). Équations du premier degré et modélisation algébrique. *Actes de l'université d'été de la Rochelle : Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques*. IREM de Clermont-Ferrand.
- CROSET, M-C. (2009). *Modélisation des connaissances des élèves au sein d'un logiciel éducatif d'algèbre. Etude des erreurs stables inter-élèves et intra-élève en termes de praxis-en-acte*. Thèse de doctorat, Grenoble : Université Joseph Fourier.
- CROSET, M-C., WAJEMAN, C. & D'HAM, C. (2018, sous presse). Modèle de construction d'un EIAH pour une activité de conception expérimentale. *Actes du 6e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*.
- GIRAULT, I. & CHAACHOUA, H. (2013). How do students deal with the chemical knowledge during an experimental design in SCY-Lab? *Actes du 4e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*.
- KASPARY, D. (2018, sous presse). Relations entre deux institutions noosphériques : effets d'un système d'évaluation de manuels didactiques. *Actes du 6e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*.
- TANG, M.D. (2014). *Une étude didactique des praxéologies de la représentation en perspective dans la géométrie de l'espace, en France et au Viêt Nam*. Thèse de doctorat, Grenoble : Université Joseph Fourier.