Conditions et contraintes « internes » de l'introduction des TICE dans les pratiques mathématiques à l'école élémentaire.

IMBERT Jean-Louis
IUFM Midi-Pyrénées
Doctorant ADEF UMR Université de Provence

Cette communication porte sur une partie de ma thèse qui traite des conditions et contraintes de l'intégration des TICE dans les pratiques mathématiques à l'école élémentaire. Elle fait suite à la communication présentée à Troyes (2007) sur les contraintes externes à l'introduction des TICE J'aborde ici un deuxième aspect, les contraintes internes (classe).

La première partie de ma recherche porte sur trois influences institutionnelles que j'ai qualifiées d'externes à la vie de la classe et qui constituent des contraintes à l'intégration des TICE : les programmes de l'école, les équipes de circonscriptions et les manuels. Elle m'a conduit au constat de la faible intégration des Technologies d'Information et de Communication pour l'Enseignement (TICE).

Dans la deuxième partie je me suis intéressé aux contraintes internes que peuvent constituer les pratiques mathématiques, les situations d'apprentissage, le rôle de l'enseignant et l'instrument TICE. La théorie des situations didactiques, la théorie anthropologique du didactique et l'approche instrumentale m'ont permis d'éclairer ces notions. Elles m'aident à comprendre les pratiques de cinq enseignants d'école primaire que j'ai observés pendant plusieurs mois.

Pour expliquer le peu d'utilisation des TICE dans l'enseignement des mathématiques à l'école primaire il faut donc répondre à la question :

« Quelles sont les conditions et les contraintes internes à la classe que l'enseignant doit prendre en compte pour intégrer les TICE dans les pratiques mathématiques à l'école élémentaire? » En restant dans le champ de la didactique, cette question globale m'amène à poser les questions suivantes :

- Comment comprendre et décrire les pratiques mathématiques à l'école élémentaire ?
- Quelle est la position de l'enseignant dans le pilotage de l'activité mathématique intégrant des TICE ?
- Quels sont la place et le statut des TICE dans les situations d'apprentissage mathématiques ?

Je vais présenter succinctement le cadre théorique et l'outil d'analyse, puis je présenterai l'étude des pratiques d'un des cinq enseignants observés.

1 Le cadre théorique

Pour comprendre et décrire **des pratiques mathématiques ordinaires, dans des classes ordinaires**, j'ai utilisé les notions de milieu et de contrat didactique associés aux situations d'apprentissage mises en œuvre. Ces éléments de la théorie des situations définie par BROUSSEAU permettent d'expliquer un *« système minimal de conditions nécessaires dans lesquelles une connaissance (mathématique) déterminée, peut se manifester par les décisions aux effets observables (des actions) d'un actant sur un milieu »*. (BROUSSEAU, 2002). Pour affiner la notion de contrat didactique et de milieu dans des situations ordinaires j'ai utilisé des éléments de réflexion apportés par HERSANT et PERRIN-GLORIAN (2003).

Enfin, les TICE n'étant pas encore un objet naturalisé[1] dans la classe, je les étudie comme un artefact dans le milieu matériel, comme pourrait l'être une équerre. Je m'attache à dégager à partir des travaux d'ASSUDE et de TROUCHE les apports spécifiques des environnements informatiques en lien avec les différents acteurs de la classe et avec le savoir étudié, en d'autres termes identifier si les TICE acquièrent un statut d'instrument dans les autres milieux de l'enseignant et de l'élève.

1.1 L'apport d'une approche par la Théorie des Situations Didactiques

Faire des mathématiques à l'école élémentaire peut se décrire à travers les quatre composantes de l'activité d'apprentissage : le savoir, l'élève, l'enseignant et les relations entre ces différentes composantes, ce que BROUSSEAU (1986, 2002) qualifie de situation didactique. A l'intérieur de celle-ci, le contrat implicite entre l'élève et l'enseignant conditionne la situation. Enfin, la notion de milieu permet de caractériser les positions respectives de l'élève et de l'enseignant, en particulier dans les situations a-didactiques qui sont celles où l'enseignant n'intervient pas par rapport aux connaissances en jeu et dans lesquelles l'apprenant agit sur un « *milieu antagonique en fonction de ses propres motivations »*. (BROUSSEAU, 1996)

1.1.1 Le contrat didactique

Les éléments du milieu qui caractérisent la situation sont le résultat de la mise en place d'un dispositif dont le but est l'apprentissage des élèves. Les attentes réciproques de l'enseignant et des élèves, **concernant le savoir en jeu dans la situation**, s'organisent sous la forme de ce que BROUSSEAU (1986) a nommé « **contrat didactique** ».

Pour les contrats didactiques, ceux où l'on peut déceler *« une action où quelqu'un tente d'enseigner quelque chose à quelqu'autre qui ne veut pas l'apprendre »* (BROUSSEAU, 2002, p.32), sont

1 J'utilise naturalisé dans un sens proche de celui de Assude et Chevallard c'est-à -dire, ici, dans ce contexte les TICE sont reconnues comme un outil utilisable dans la classe pour faire des mathématiques, et en ce sens sont identifiées comme un savoir de l'enseignant concernant ses pratiques.

compréhensibles si on peut identifier les systèmes en jeu et leurs rapports (BROUSSEAU, 1995, pp. 22-23). Pour l'étude des séances ordinaires, j'ai repris la caractérisation qu'en ont faite PERRIN-GLORIAN et HERSANT (2003) en lien avec le déroulement du temps didactique. En plus du partage de responsabilité, elles retiennent trois autres composantes pour affiner les contrats étudiés : le domaine mathématique, le statut didactique du savoir (ancien / nouveau), la nature et les caractéristiques de la situation, *« à savoir l'existence ou non d'un milieu adidactique capable de rétroactions interprétables au niveau des connaissances élèves »*.

J'utiliserai le repérage, dans le temps didactique, des différents types de méso-contrat[2] (*Reconnaissance du savoir, Rappel, Réinvestissement des savoirs, Reprise, Revue de savoirs,...)* pour évaluer le rapport entre la tâche logicielle (TAL) et la tâche mathématique (TAM). D'autre part au niveau local *« le partage des responsabilités entre l'enseignant et l'apprenant caractérise le micro-contrat didactique. »* PERRIN-GLORRIAN et HERSANT en identifient sept qu'elles regroupent en trois catégories : les micro-contrats où l'enseignant garde toute la responsabilité ; ceux où la responsabilité est partagée entre l'enseignant et la classe ; enfin ceux dans lesquels la responsabilité est partagée entre l'enseignant et chaque élève de la classe.

Cela me fait dire d'une part que la recherche d'un hypothétique contrat constitue pour l'enseignant une condition nécessaire, une contrainte, lors de la mise en œuvre de pratiques mathématiques à l'école élémentaire. D'autre part, le modèle de la structuration du milieu permet de comprendre les contraintes et les conditions que devra gérer l'enseignant pour piloter la situation d'apprentissage des mathématiques. Se pose donc la question de la place des TICE dans ce modèle.

En réponse au « contrat didactique » qui lui confère un statut d'élève, il va agir sur le milieu matériel. Les réponses à ses actions définissent le milieu objectif où l'élève peut produire des jeux d'essais. C'est dans ce milieu que les techniques de l'élève peuvent être visibles.

Parmi ces contrats didactiques, j'ai retenu ceux où l'enseignant a un rôle important c'est-à-dire les moments de dévolution et d'institutionnalisation.

1.1.1 La dévolution

Les gestes de l'enseignant devraient mettre en évidence des ruptures de contrat liées au paradoxe de la dévolution : *« tout ce qu'il [l'enseignant] entreprend pour faire produire par l'élève les comportements qu'il attend, tend à priver ce dernier des conditions nécessaires à la compréhension et à l'apprentissage de la notion visée : si le maître dit ce qu'il veut, il ne peut plus l'obtenir. [...]. Apprendre, implique, pour lui, qu'il accepte la relation didactique mais qu'il la considère comme provisoire et s'efforce de la rejeter. »* (BROUSSEAU, 2002)

2 PERRIN-GLORRIAN et HERSANT (2003)

Dans ces conditions, si le milieu pour une dévolution existe et qu'il permet les rétroactions, alors on pourra identifier un élève apprenant. En revanche, si le milieu n'offre pas cette possibilité, alors l'enseignant devra assumer la responsabilité de tous les gestes de l'élève qui ne pourra plus être en position d'apprenant. L'enseignant devra alors utiliser d'autres stratégies didactiques comme les « ostensions » (BERTHELOT & SALIN, 1992) pour justifier des conditions d'usage des TICE.

Ces conditions de réalisation d'une dévolution réussie doivent être repérées par l'enseignant comme étant des contraintes et anticipées dès la phase de construction. Elles sont les obstacles qu'il devra dépasser pour la mise en œuvre de la situation d'apprentissage des élèves.

1.1.2 L'institutionnalisation

Du côté de l'apprenant, le deuxième moment fort de l'intervention de l'enseignant est l'institutionnalisation des connaissances comme référence pour la classe, c'est-à-dire un savoir réinvestissable dans d'autres tâches.

1.2 L'approche par la dimension instrumentale et praxéologique

Un élément particulier dans le milieu étudié est l'objet informatique. Il prend des places différentes du point de vue du savoir étudié, de l'élève ou de l'enseignant. Comment est-il orchestré, intégré, reconnu dans les différents milieux par les différents acteurs ? Pour répondre à cette question, je m'appuie sur l'approche instrumentale proposée par RABARDEL et les développements en mathématiques étudiés par ASSUDE (2001, 2002, 2005) et TROUCHE (2005).

L'idée que l'usage des instruments est transparent, c'est-à-dire qu'il laisse voir ce qu'il y a à faire pour les utiliser, est une idée très répandue : voir ASSUDE et al. (1996). Dans ses travaux, TROUCHE (2005) la décrit *« comme la possibilité de comprendre les traitements réalisés par la machine sur la base de son expérience des techniques papier-crayon. »*

L'approche d'ASSUDE (2002, 2005, 2007) place l'objet TICE dans un rapport global à la situation d'apprentissage. Elle caractérise l'intégration des TICE dans les séances de mathématiques.

1.2.1 Les modes d'intégration

A propos de l'intégration du logiciel Cabri, je retiens que l'enseignant va devoir gérer deux ruptures, l'une dans l'usage des techniques de résolution de problèmes, l'autre dans l'usage social de l'ordinateur par les élèves. L'enseignant aura donc à sa charge les choix d'activités avec la prise en compte de ces conditions. Il devra faire des choix de types de tâches pour qu'une connaissance instrumentale apparaisse en tant qu'outil pour résoudre une question. Cette modélisation caractérise le mode d'intégration instrumentale et le mode d'intégration praxéologique résumés ci-après.

Le mode d'**intégration instrumentale** est caractérisé par quatre types, *« l'initiation instrumentale, l'exploration instrumentale, le renforcement instrumental et la symbiose instrumentale »* ASSUDE

(2007), par plusieurs critères, le niveau de connaissance de l'outil « Cabri » et l'existence dans le travail de l'élève d'une "*Tache de type Cabri*" (TAC), une "*Tâche de type Mathématique*" (TAM) ou son absence, une "*connaissance instrumentale*" (IK), une "*connaissance Mathématique*" (MK) et le "*rapport entre la connaissance Mathématique et la connaissance Instrumentale"* (MK/IK).

Le mode d'**intégration praxéologique** a pour objectif de décrire l'activité des élèves en termes de praxéologies mathématiques c'est-à-dire en termes de "Tâches, Techniques, Technologie et Théorie" dont les deux éléments tâches et techniques seront essentiellement rencontrés à l'école primaire, ASSUDE identifie d'une part les rapports entre les praxéologies dans l'environnement "papier-crayon" ou "Cabri" et d'autre part leur statut en termes d'ancien ou de nouveau.

Ce modèle constitue un outil, pour situer les usages d'intégration des TICE par rapport à ces critères. Pour les usages des TICE que j'ai observés, il existe des logiciels qui ne disposent pas de la possibilité de réaliser une tâche différente de celle que l'on peut réaliser en environnement « papier-crayon ». Ce qui m'a fait introduire un nouveau mode d'intégration instrumental que j'ai appelé "Détournement" et qui caractérise une situation où l'on observe la mise en jeu d'une connaissance mathématique et d'une connaissance instrumentale avec une certaine indépendance entre elles. D'autre part, par similitude avec la notation d'ASSUDE, j'ai substitué l'appellation "Tâche Logicielle" (TAL) à "Tâche Cabri" (TAC) dans le tableau descriptif des différents modes d'intégration instrumentale :

	Débutants			Non débutants	
	Initiation	Exploration	Détournement	Renforcement	Symbiose
TAM		x	x	x	x
TAL	x				
IK	x	x	x		x
MK			x	x	x
IK/MK		MK prétexte pour IK	IK indépendant de MK	IK outil pour MK	Max

1.2.2 Praxéologie d'intégration et méso-contrats

ASSUDE identifie cinq modes d'intégration praxéologique et le lien entre les pratiques anciennes et les pratiques nouvelles. Pour structurer notre compréhension des conditions que l'enseignant doit prendre en compte dans l'intégration des TICE, je les interroge à partir des types de situation et des types de méso-contrat[3] qui résultent du statut didactique du savoir.

3 PERRIN-GLORIAN (2003)

1.2.3 Gestion de la transparence

La diversité des environnements numériques ne favorise pas une démarche simple d'identification. Plus l'environnement est complexe, plus il contient d'artefacts spécifiques, plus l'analyse des éléments constitutifs du milieu matériel devra être approfondie au risque de rencontrer des incidents successifs lors de la mise en œuvre. Cette prise en compte de la transparence peut être globale, mais aussi dans l'utilisation d'une technique logicielle associée à une sous tâche.

1.3 Deux contrats spécifiques : la dévolution et l'institutionnalisation

1.3.1 Organiser la dévolution en favorisant un environnement

La mise en œuvre d'une séance et l'élaboration du milieu matériel de la situation devrait conduire l'enseignant à envisager l'influence de l'ordre de rencontre de la connaissance mathématique dans un environnement ou dans l'autre. Ces choix d'introduction de la TAL antérieurement à la TAPP ne peuvent porter que sur l'hypothèse qu'elle favorise une connaissance ou un savoir mathématique que la TAPP ne permet pas de construire simplement ou de façon aussi pertinente ou efficace d'un point de vue didactique.

1.3.2 Gestion de l'institutionnalisation

L'organisation d'une institutionnalisation après un passage dans la résolution de deux tâches, une papier-crayon et l'autre TICE, nécessite l'organisation des deux mémoires successives des activités de résolution pour aboutir à une mise en relation. De plus cette mémoire porte sur la connaissance mathématique dans ses deux aspects, TAL et TAPP, les techniques « papier-crayon » et/ou logicielles et les rapports entre elles.

2 Un outil pour repérer l'intégration et son évolution

Pour caractériser l'évolution de la pratique d'un enseignant, les TICE étant intégrées comme les autres artefacts didactiques, j'ai choisi de m'intéresser à plusieurs indicateurs qui facilitent le repérage de ses actions. A partir des rétroactions que produit sa mise en œuvre, j'observe son évolution vers ce que j'ai appelé une intégration « optimale », c'est-à-dire ce que **l'outil TICE permet de réaliser que les autres outils n'auraient pas permis de mettre en œuvre du point de vue des mathématiques**. Cela correspond, pour l'enseignant, à la reconnaissance de l'outil TICE dans le milieu matériel et aux usages qui en seront faits dans la situation d'apprentissage.

Je vais donc utiliser les critères qui reprennent les éléments associés au cadre théorique de cette partie : la dimension instrumentale, l'intégration praxéologique, les types de contrats mis en œuvre et sur la gestion de la dévolution et l'institutionnalisation.

2.1 L'outil d'analyse « Toile »

Pour obtenir une lisibilité des éléments retenus dans le cadre théorique, j'ai synthétisé les indicateurs dans un outil graphique que j'ai nommé "Toile". Il se construit à partir du cadre théorique présenté sur les différentes entrées.

Pour la **dimension instrumentale** j'ai choisi de retenir deux critères :

L'usage des techniques
- Les techniques utilisées ou potentiellement utilisables dans l'environnement numérique.
- TEPP (pour techniques « papier-crayon »)
- TEL (pour techniques «logicielles »)
- TEPP et TEL indépendantes, elles sont juxtaposées dans l'activité
- TEPP et TEL induites par l'enseignant
- TEPP et TEL interagissent

A propos d'une TAM, le rapport entre les tâches dans l'environnement numérique et papier-crayon

Pour prendre en compte la **dimension praxéologique** j'ai retenu deux critères :

Les niveaux d'intégration instrumentale
- le détournement, niveau le moins adapté
- l'initiation,
- l'exploration,
- le renforcement
- le niveau le plus adapté : la symbiose.

La gestion de la transparence de l'outil et des techniques logicielles
- Non gérée
- Localement non gérée : par exemple un artefact intervenant dans une technique n'est pas pris en compte
- La connaissance des problèmes ne donne pas lieu à une anticipation dans la séance d'où des

Pour caractériser les contrats en jeu, j'ai retenu trois critères :

Le statut du savoir
- Ancien
- Institutionnalisé à consolider
- En cours d'institutionnalisation
- Nouveau après une première rencontre
- Nouveau

Les caractéristiques de la situation
- Ostension assumée ou Transmission du savoir
- Ostension déguisée : lorsque le professeur assume la responsabilité dans la production des connaissances et l'évaluation des réponses alors qu'il a mis en place une situation d'action, de formulation ou de validation.
- Situation non antagonique
- Situation antagonique non exploitée
- Situation antagonique

Le partage de responsabilité entre l'élève et l'enseignant
- Non partagée : l'enseignant assume totalement la transmission du savoir et la façon de le mettre

Pour caractériser **la mise en place des contrats** de dévolution j'ai choisi de retenir

Les points d'appui de la dévolution
- Elle n'existe pas
- Elle s'appuie sur des TICE qui sont un objet culturel (Je considère que l'image sociale n'a pas de fonction par rapport à la TAM)
- Elle s'appuie uniquement sur la tâche mathématique en ne prenant pas en compte la dimension instrumentale
- Elle s'appuie uniquement sur la TAL
- Elle entrelace le problème mathématique et l'artefact

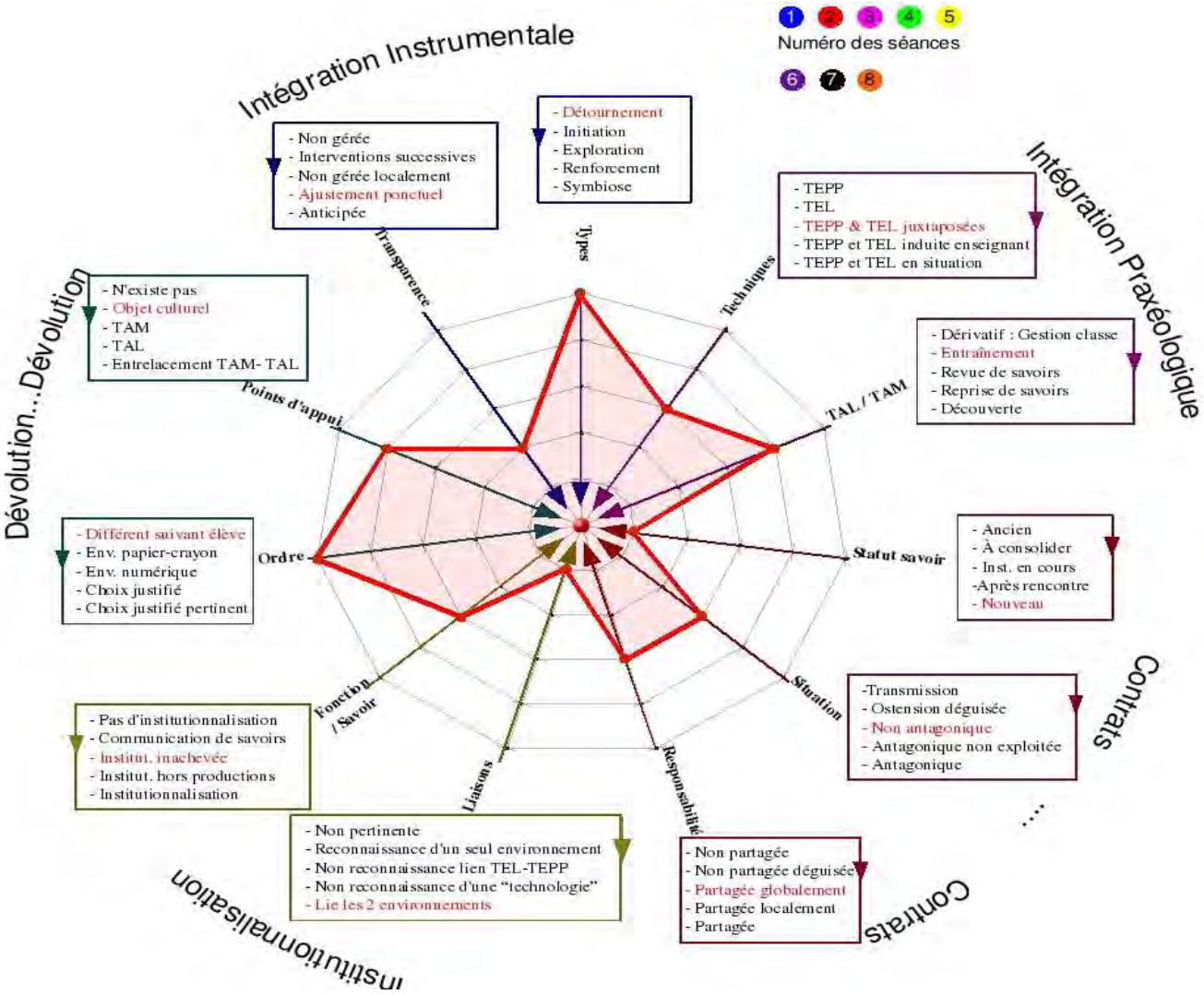
L'ordre d'introduction de l'environnement
- les élèves ne rencontrent pas les environnements dans le même ordre
- le savoir ou la situation est introduit en environnement “papier-crayon”

Pour prendre en compte un contrat spécifique, **l'institutionnalisation**, j'ai retenu :

Sa fonction par rapport au savoir
- Pas d'institutionnalisation ou ne correspond pas avec l'objectif initialement visé
- Une communication de savoirs : l'enseignant reformule des savoirs déjà là, sans lien réel avec les productions des élèves
- Une institutionnalisation inachevée où les connaissances engagées par les élèves ne sont que partiellement reconnues, partiellement débattues sans validation...
- Une institutionnalisation hors des productions : l'enseignant n'établit pas le lien explicite avec les connaissances engagées.
- Une institutionnalisation

La liaison entre connaissance et technique
- N'est pas pertinente en regard des connaissances en jeu ou absence d'institutionnalisation
- N'est réalisée qu'en référence à un environnement
- Alors qu'il existe un potentiel de justification qui lie les deux techniques, la liaison n'est pas réalisée

Ce repérage d'un mode d'intégration est schématisé sur la “Toile”, à la manière de la cible, où le point central constitue le voisinage de l'intégration “optimale”. Chaque hendécagone régulier représente un niveau ordonné. Les niveaux sont ordonnés, c'est-à-dire plus le point de repérage s'éloigne du centre, plus l'intégration est éloignée de l'intégration “optimale”. J'ai simplifié le texte des critères et des niveaux et je les ai reportés autour de la “Toile” dans des cadres rectangulaires. Ce codage est renforcé par une flèche sur le cadre donnant le sens de l'intégration optimale. J'utilise une ligne polygonale de couleur pour désigner le positionnement de la pratique de l'enseignant lors d'une séance ou d'une séquence. Sur la “Toile” ci-après j'ai présenté un codage fictif où j'ai écrit en rouge le niveau pour un critère, codé sur la “Toile” par un point rouge, le polygone représentant globalement la séance.



3 Les contraintes attachées aux situations mathématiques : l'exemple de la classe de l'enseignante Coralie

Je vais présenter comment mon outil "Toile" souligne les résultats d'observations que j'ai réalisé dans la classe de l'enseignante Coralie. Ces observations ont été mémorisées à partir d'un enregistrement vidéo pour garder la dimension collective des actions des élèves et de l'enseignant ce qui m'a permis de décrire le synopsis de chaque séance.

Pour capturer les échanges particuliers, que la caméra ne peut pas saisir, j'ai utilisé un enregistreur audio qui permet d'observer les adaptations de l'enseignant en réponse aux questions des élèves ou aux observations particulières.

Chaque séance a donc donné lieu à un entretien ante et un entretien post séance. L'objectif principal de l'entretien “ante” est de repérer les éléments de préparation de la séance. L'entretien “post” reprend les points qui invitent l'enseignant à se situer par rapport à ce qu'il retient de la séance.

3.1 La séance “calcul en arbre”

Coralie a une classe double niveau CM1-CM2. J'ai choisi de présenter ici l'étude concernant l'intégration des TICE avec les CM1. La séance que je vais analyser est la séance qui se situe dans la troisième séquence observée. Elle porte sur du calcul réfléchi. Le support logiciel est le logiciel « calcul » et l'activité exploitée s'appelle “Calcul en arbre”.

3.1.1 Le dispositif de travail

Pendant que les cinq élèves de CM1 travaillent sur l'ordinateur, les dix élèves de CM2 effectuent une activité « autonome » de recherche sur des problèmes de mathématique pour lesquels il s'agit de donner du sens au texte (recherche de questions, reformulation de données,...) à partir de documents photocopiés.

L'orchestration générale des activités est assez stable et est liée à la particularité des classes multi-niveaux. La classe est spatialement partagée pour séparer les deux niveaux CM1 et CM2, mais aussi pour pouvoir provoquer et gérer des moments collectifs. Au fond de la salle, Coralie dispose de trois ordinateurs équipés de “Windows 98”. Bien sûr, ces conditions ne sont pas idéales pour intégrer les TICE.

Pour comprendre la séance, voyons maintenant le logiciel “calcul en arbre”, peu connu, qu'elle a utilisé dans la séance.

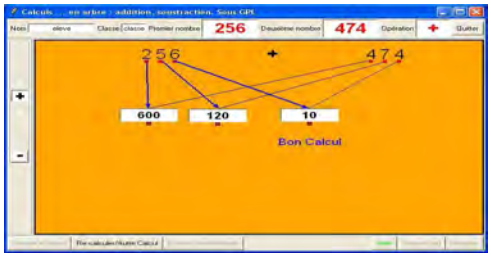
3.1.2 La situation point de départ et l'objectif

Au cours du cycle, 2 les élèves ont résolu des problèmes additifs sans totalement maîtriser la technique opératoire. Les techniques personnelles sont alors utilisées. L'arbre de calcul permet de garder la mémoire des associations réalisées entre les termes en utilisant implicitement l'associativité et la commutativité pour arriver à une expression contenant le plus possible de nombres “faciles” pour organiser la suite des calculs. Repris dans d'autres problèmes, l'arbre de calcul, utilisé dans de nombreux manuels, permet de mettre en relation les données d'un problème sous forme schématique et d'en garder une trace permettant une explicitation par exemple dans les mises en commun. En fin de cycle 2, il est devenu un schéma qui permet l'explicitation et aide à la formulation d'une technique de calcul réfléchi, par exemple pour mettre en relation les différentes unités dans l'écriture linéaire d'additions ou de soustractions. L'objectif déclaré lors des entretiens est un renforcement de la technique opératoire de l'addition et de la numération de position.

3.1.3 Le dispositif de travail : Présentation générale de l'outil logiciel

Les élèves s'identifient par leur nom et leur classe et doivent saisir deux nombres et l'opération à effectuer. Il n'y a que deux types de tâches possibles : calculer une somme, calculer une différence.

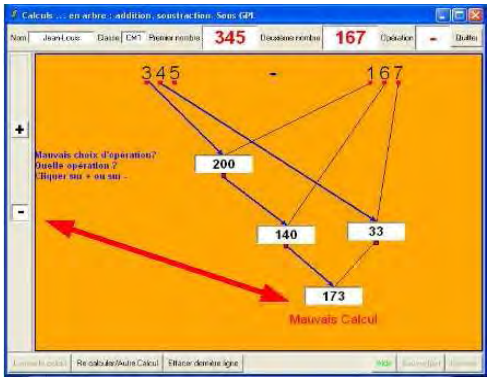
Après avoir cliqué sur le bouton « lancer le calcul », la somme ou la différence apparaît dans la zone orange de calcul. La tâche se décompose en plusieurs sous-tâches :



T_1 : choisir deux unités pour les additionner

T_2 : associer à la souris les deux chiffres choisis en un point de la zone de l'espace de calcul.

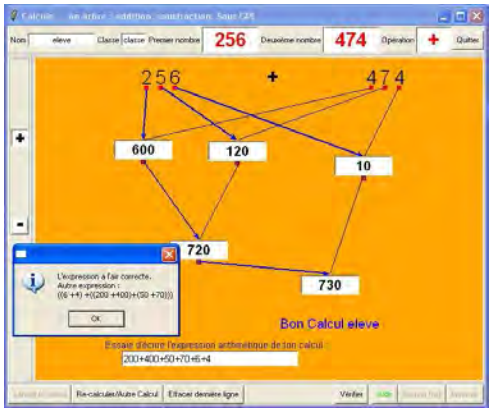
Chaque chiffre est souligné par un carré. L'association entre plusieurs carrés par des « flèches » désigne les termes d'une ou plusieurs sommes (ou différences) par rapprochement avec un arbre de calcul en environnement “papier-crayon”.



T_3 : activer une zone de saisie à la pointe des deux « flèches » et sélectionner l'opération à effectuer

T_4 : calculer la somme ou la différence

T_5 : saisir dans la zone la valeur du calcul. Si la valeur est exacte le logiciel affiche « Bon Calcul » sinon il faut saisir une nouvelle valeur. On ne peut continuer que si le résultat est exact. La validation est fonction de l'opération choisie sur la partie gauche de l'écran.



T_6 : Lors de la dernière étape de calcul il est demandé d'écrire globalement la technique de calcul.

T_7 : la validation de cette écriture est réalisée par un clic sur le bouton « vérifier ». Ce qui provoque l'affichage d'un message de validation de l'expression.

3.1.4 Le potentiel a-didactique du logiciel[4], les types de tâches, tâches et techniques associées

Dans les manuels, l'arbre de calcul apparaît comme une pratique de formulation d'une technique de calcul réfléchi ou comme un outil méthodologique pour conduire un calcul réfléchi suivant les phases de l'apprentissage. Dans ce logiciel, les deux aspects, support pour une formulation d'une technique et outil méthodologique de calcul réfléchi, se renforcent pour contraindre l'élève à un usage réfléchi de techniques de calcul et de compréhension du nombre. Ce sont eux qui devraient définir la consigne qui pourrait être « calculer la somme ou la différence de ces deux nombres en utilisant des calculs simples à faire de tête dont vous garderez la mémoire en utilisant les “flèches” du logiciel. »

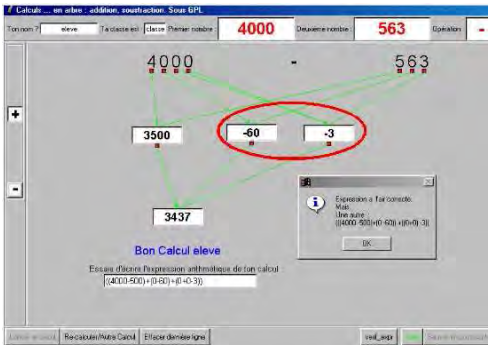
4 Le logiciel est un élément du milieu matériel qui peut favoriser la rencontre d'un obstacle dans des conditions qu'il reste à préciser et qui détermineront les niveaux des situations.

Les principales compétences mises en jeu dans "calcul en arbre" relèvent de la numération et du calcul. Dans le domaine de la numération, il s'agit de savoir déterminer la valeur d'un chiffre selon sa position dans le nombre et décomposer le nombre sous la forme de sa décomposition canonique en puissance de 10. Dans le domaine du calcul, il s'agit de connaître les tables d'addition et savoir additionner ou soustraire des dizaines entières ou des centaines entières.

L'usage du calcul en arbre pour la soustraction est en rupture avec la technique traditionnelle et s'apparente avec la technique de calcul anglo-saxonne présentée dans les documents d'accompagnement de l'école primaire.

La disposition des “flèches” peut rendre illisibles les liens entre les calculs intermédiaires si l'élève n'a pas anticipé suffisamment l'organisation spatiale de l'arbre de calcul.

Enfin, lors de la préparation, la documentation de ce module est porteuse d'une technique qui n'a pas à être enseignée et qui ne relève pas de l'école primaire, puisqu'elle utilise un passage par les nombres entiers relatifs négatifs, comme le montre cette copie d'écran extraite de la documentation diffusée avec le logiciel. Ce type de document pèsera sur les pratiques des enseignants s'ils n'ont pas beaucoup de temps à consacrer à la préparation de leur séance.



Dans la gestion de la situation, l'enseignante va être confrontée à d'autres problèmes :

- Les élèves de CM1 disposent d'un algorithme de calcul de la soustraction posée qui n'est pas directement ré-investissable ici, et les élèves n'ont pas de raison immédiate d'en chercher un autre puisque, à propos de l'addition, ils ont pu utiliser l'algorithme de l'addition posée.
- Cette technique complexifie la tâche de calcul des élèves sans apporter des éléments de connaissances nouvelles, ni par rapport au calcul, ni par rapport à la connaissance du système de numération. Dans tous les cas, l'usage que pourrait en faire l'enseignante pour confronter les élèves à la décomposition des nombres selon les unités devrait être associé à la résolution de problèmes.
- Enfin, l'enseignante devra gérer des mises en commun où les élèves vont devoir expliquer les difficultés qu'ils rencontrent. Les conditions matérielles et logicielles ne sont pas favorables à une mise en commun efficace.

Pour comprendre l'organisation générale de la séance je vais présenter un synopsis réduit.

3.2 Synopsis de la séance 5

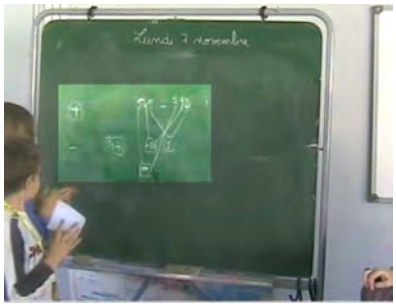
Episode 1 jusqu'à la 2e minute : Les CM1 finissent un choix d'images sur l'ordinateur pour une présentation pendant que Coralie passe les consignes aux CM2. Les CM1 sont répartis en deux

groupes de deux et un élève seul.

Episode 2 jusqu'à la 6e minute : Passage de la consigne *« On va faire le même travail que la semaine dernière chut ! Sur le calcul en arbre, mais... hou ! Hou ! Mais cette semaine avec des soustractions. D'accord ! L'autre fois on avait fait des additions cette semaine des soustractions. On va ouvrir le logiciel. »* Puis elle donne la soustraction qu'ils vont faire au départ. Première réaction des élèves à l'impossibilité de réaliser le calcul *« 40 moins 80 »*.

Episode 3 jusqu'à la 23e minute : A la 9e minute un élève suggère la possibilité de faire « *140 – 90* » ; 10e minute, un élève demande « *On peut aller sur Aide ?* » ; 11e minute nouvelle suggestion : « *il faudrait qu'on mette une retenue* »

A la 18e minute l'enseignante procède à la mise en commun, avec écriture au tableau, de la technique de deux élèves qui ont utilisé le signe "-" *« avec le moins en dessous de zéro quoi ! »*



Les élèves reviennent à leur place et Coralie interpelle Ey pour lui demander sa démarche mais il n'a pas la possibilité de développer ses arguments. Échec de la formulation de la technique de Ey.

Episode 4 jusqu'à la 30e minute : *« Je vais vous en donner une autre et vous allez voir si vous avez une autre façon de faire »* sous entendu « qu'avec des nombres négatifs » mais cela peut s'entendre « autrement que la dernière proposition » ! Puis elle se reprend pour dire : *« on n'a plus le droit de mettre de signe moins dans les nombres ! [...] donc il faut faire autrement. »*

Episode 5 jusqu'à la 55e minute : Devant l'impasse des échanges des élèves, la séance se termine par un échange collectif pour résoudre 832 – 198 en utilisant un arbre de calcul.

3.3 Analyse a posteriori de la séquence d'apprentissage

3.3.1 Le mode d'intégration instrumentale

Pour toutes les séances "calcul en arbre", le logiciel est un prétexte à la rencontre avec une connaissance mathématique qui aurait pu être traitée sans environnement numérique. On a une intégration que l'on qualifie de détournement instrumental.

3.3.2 La gestion de la transparence

J'observe comment les questions d'usage restent non explicitées en s'appuyant sur deux exemples parmi tous ceux observés.

Dans la zone de saisie, le logiciel valide le résultat à partir de l'opération sélectionnée sur la gauche de l'écran. C'est en cours d'utilisation, en réaction à la remarque d'une élève, que Coralie donnera l'information. Elle n'a pas d'importance dans le cas de la somme de deux nombres (initialement le choix d'opération est positionné sur l'addition) mais elle en aura dans le cas d'une soustraction.

La gestion de l'espace de la fenêtre est l'occasion pour les élèves de jouer avec l'organisation spatiale (symétrie, alignement) mais ce type de présentation n'est pas forcément compatible avec une lisibilité dans l'organisation des calculs, ce que Coralie n'a pas anticipé. C'est dans la rencontre avec cette difficulté qu'elle en avertira les élèves.

La répétition sur trois séances de l'utilisation du même environnement permettra de passer d'interventions successives à une intervention ponctuelle pour celle-ci et les suivantes.

3.3.3 L'intégration praxéologique : des techniques anciennes à l'environnement logiciel

Je vais présenter quelques éléments permettant de comprendre mes repérages.

La situation de départ est donnée par la consigne : *« On va faire le même travail que la semaine dernière sur le "calcul en arbre" mais cette semaine avec des soustractions. Je vous donne la soustraction que vous allez faire au départ : "545 – 392". Ça fonctionne exactement pareil sauf qu'il faut mettre moins ! »* Il faut bien sûr entendre « l'interface est la même et l'opération mathématique est la soustraction ». Je retiens que les élèves auront peut-être entendu *« qu'il faut mettre moins »* mais où ?

Au bout de cinq minutes les élèves sont bloqués par l'impossibilité de retrancher 90 de 40. Coralie sollicite l'ensemble des CM1. En faisant cela elle fait passer l'obstacle du statut d'une difficulté personnelle à celui d'une difficulté de tous.

Les tentatives sont nombreuses, infructueuses, de plus en plus magiques. Coralie choisit de faire une mise en commun au tableau pour favoriser la formulation. C'est la première fois qu'elle sort de l'environnement ordinateur. La proximité de la technique en arbre dans l'environnement papier-crayon et dans l'environnement numérique laisse croire à Coralie qu'elle pourra mieux faire expliciter les opérations en jeu sur le tableau plus grand, plus lisible que l'écran de l'ordinateur dans une interaction avec tous les élèves. Alors que la difficulté est d'ordre mathématique, Coralie cherche une réponse dans les outils de gestion de la classe qu'elle connaît le mieux, la « mise en commun » autour du tableau.

Elle va essayer d'exploiter la proximité entre les techniques instrumentales et les techniques “papier-crayon” pour faire verbaliser leurs techniques nouvelles. Cependant elle ne pose pas la question du sens de ces calculs. Et lorsqu'elle évoque la possibilité de rechercher du sens, elle reste dans les outils TICE et tableau au détriment des mathématiques.

Les éléments que je viens de présenter me semblent fixer le mode d'intégration sur le critère “Techniques” au niveau d'une juxtaposition de techniques des deux environnements sans que l'une enrichisse l'autre comme je l'ai dit dans l'analyse du logiciel.

3.3.4 Rapport entre la TAL et la TAM

La tâche logicielle utiliser « un calcul en arbre pour calculer une différence » se confond avec la tâche mathématique, elle peut être réalisée comme c'est le cas ici en environnement “papier-crayon” ou sur le tableau. Pour des élèves de cycle 3, il s'agit d'un problème complexe, plusieurs étapes sont nécessaires, les tâches intermédiaires sont des tâches maîtrisées depuis le début du cycle 3. Il s'agit globalement d'organiser une suite de calcul qui structure, une technique particulière, « le calcul en arbre ».

C'est la rupture entre les situations antérieures où l'arbre de calcul avait un sens et celle-ci qui empêche les élèves de le réinvestir dans cette situation, l'utilisation de l'environnement numérique ne favorisant pas ici le retour vers des situations déjà rencontrées.

Les élèves doivent donc réinvestir leurs savoirs dans une situation nouvelle et n'ont pas les outils pour y réussir.

3.3.5 Les contrats

Pour le savoir engagé, les situations et la responsabilité des acteurs je reprends ici les éléments clés qui permettront au lecteur de les situer sur notre “Toile”.

La recherche d'une technique de calcul intégrant les propriétés des nombres place les élèves en situation d'utiliser des savoirs déjà rencontrés mais qu'il faudra organiser pour résoudre le problème proposé.

Comme je l'ai dit à propos des tâches, Coralie n'a pas su exploiter les limites des techniques de calcul posé, bien maîtrisées par la plupart des élèves, qui, ici, ne peuvent pas être appliquées directement, ce qui crée une situation antagonique.

Mais les échecs dans la conduite de la séance font que Coralie organise davantage l'activité, oriente davantage le choix d'une technique, contrôle davantage les productions. C'est Coralie qui garde la responsabilité générale de la dévolution et la validation.

3.3.6 Les points d'appui pour réaliser la dévolution de la situation

Le fait que la première séance réalisée en environnement logiciel n'apporte qu'une surcharge dans la complexité de la gestion d'une séance me fait dire que Coralie utilise l'image sociale positive de l'ordinateur pour impliquer les élèves dans la tâche mathématique.

On peut dire qu'elle fait le choix d'exploiter la dimension logicielle pour revisiter des savoirs.

Mais l'échec relatif de cette séance conduit Coralie à placer la recherche individuelle dans la tâche logicielle, où les moments de formulation, d'explicitation s'appuient sur la trace du tableau qui regroupe les élèves.

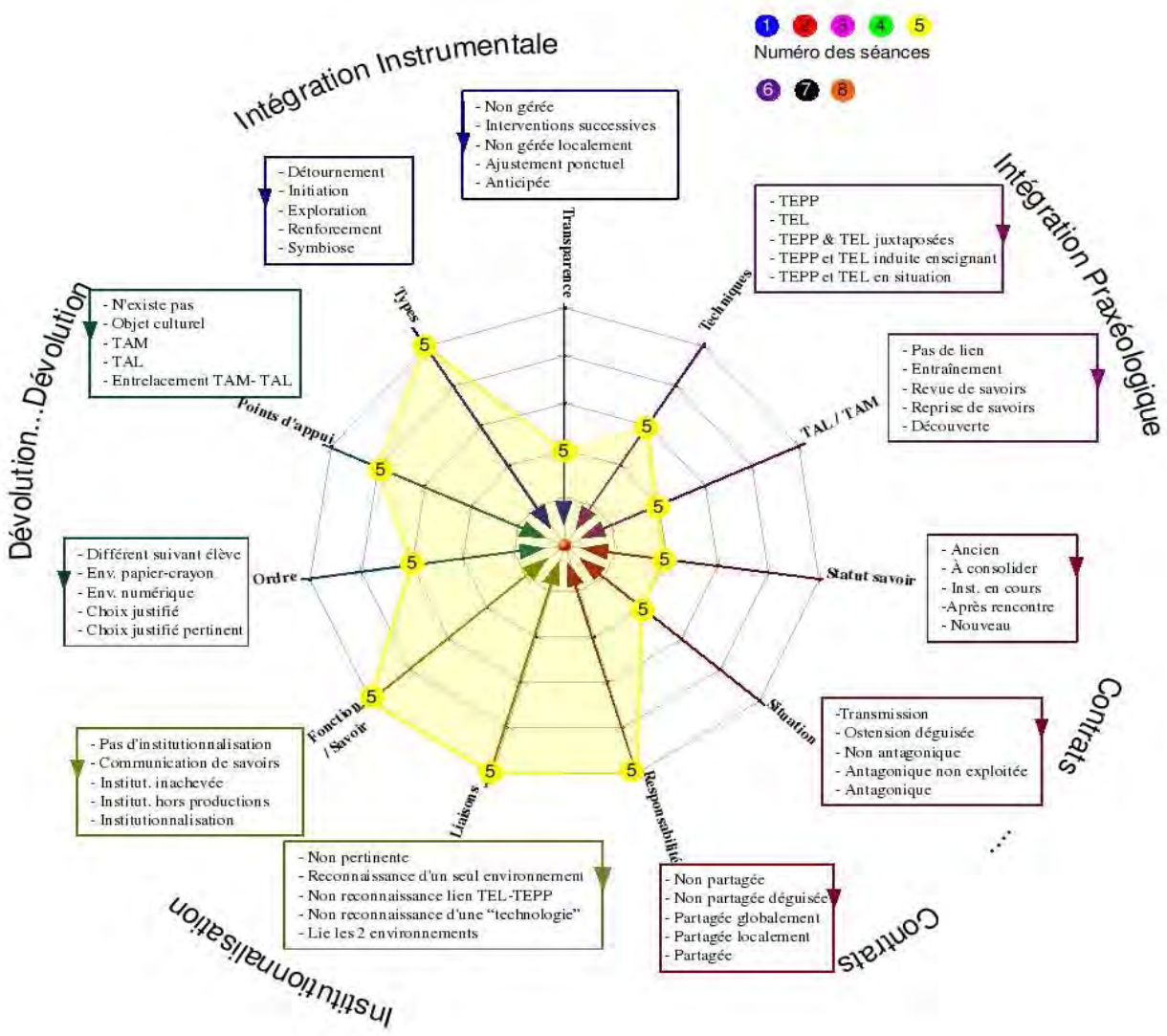
Une telle organisation ne peut pas être le fruit du hasard et, même si les résultats n'ont pas

l'efficacité escomptée, elle me semble avoir des éléments de pertinence.

3.3.7 L'institutionnalisation réalisée et les environnements

Ici l'institutionnalisation se résume à une mise en commun d'impressions sur la séance sans contenu mathématique réel. Elle ne donne pas un statut de savoir aux connaissances étudiées, elle va même à l'encontre de ce qui est attendu dans la mise en commun intermédiaire. Elle est plus une réponse à notre présence comme le confirment les entretiens ante, qu'une nécessité réfléchie pour la classe.

Ce repérage me permet de situer cette séance sur la “Toile” par rapport à nos critères d'intégration



des pratiques en environnement TICE.

3.4 Comparaison de la séance □ aux autres séances de Coralie

J'utilise le principe de la superposition de mes “Toiles” pour identifier les signes d'une évolution possible d'une séance à l'autre.

J'utilise la “Toile des critères” pour repérer les évolutions à partir des éléments de lecture suivants :

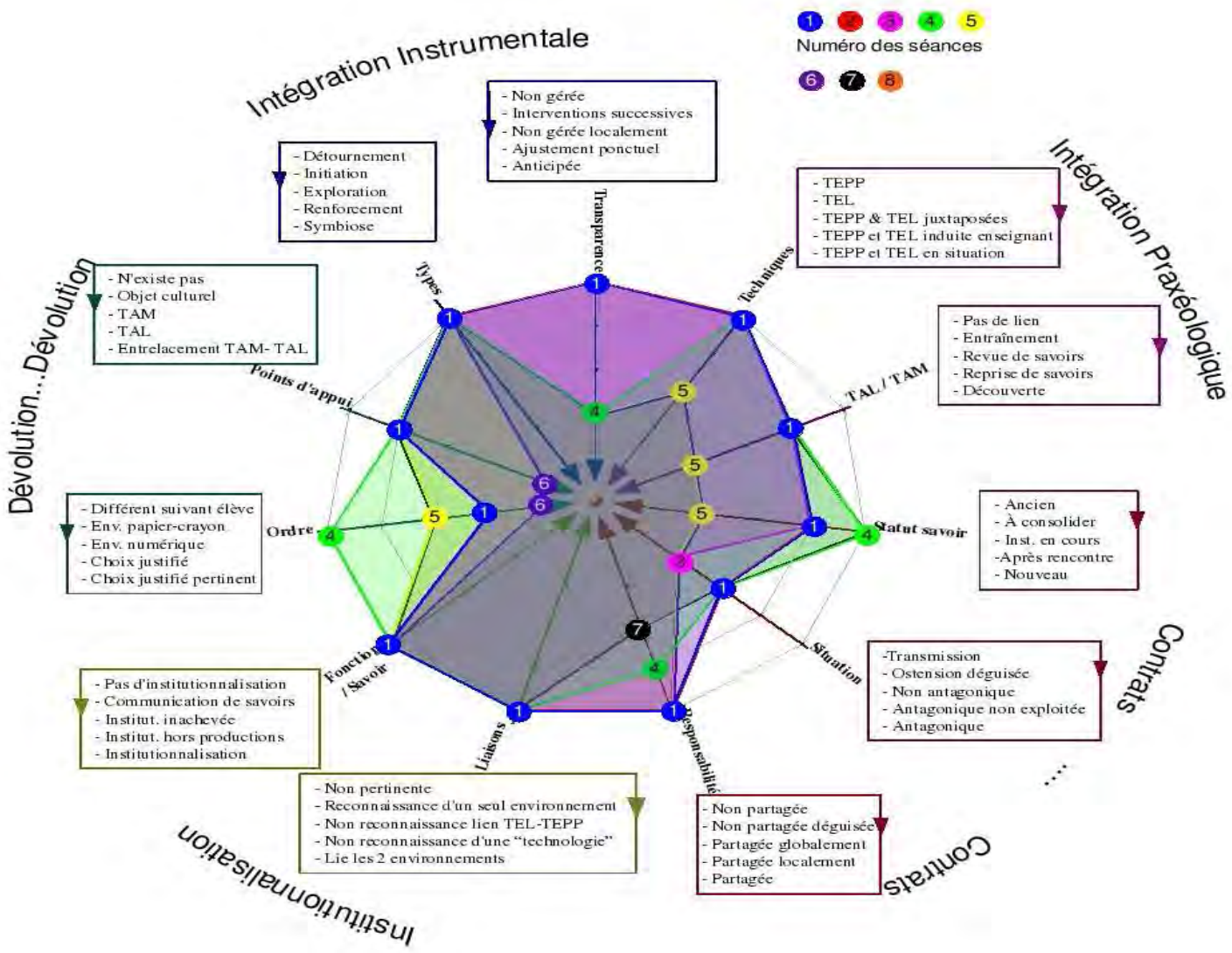
- Chaque séquence est identifiée par une ligne polygonale portant un numéro correspondant à l'ordre dans lequel elle a été réalisée.
- Les pastilles, sommets de la ligne polygonale, portant le numéro de la séquence, situent, pour un critère ou un contrat, les indicateurs sur une position qui, lorsqu'elle se rapproche du centre de la toile, traduit un rapprochement de ce que j'appelle “intégration optimale”.
- La superposition des lignes polygonales permet de situer les évolutions vers une “intégration optimale”. Dans l'empilement, la couche la plus profonde est celle qui décrit la dernière séquence (ou séance). S'il y a superposition de pastilles, dans ce cas la pastille visible portera le numéro de la première séquence où cette position a été prise. Pour faciliter la lecture, lorsque la surcharge graphique de la “Toile” est trop importante, je superpose partiellement les pastilles pour qu'elles soient visibles.
- Dans le cas où le recouvrement des pastilles ne permet pas d'identifier l'évolution des positions, ce sont les côtés de la ligne polygonale qui les identifient.

La lecture de la “Toile” traduit les tendances évolutives des enseignants sur les différents critères, selon leurs changements ou non de positions, que j'identifie de la façon suivante :

- Il y a évolution s'il y a plus de deux positions différentes sur notre “Toile”. Elle est progressive si l'évolution est marquée par des positions qui se rapprochent au moins deux fois du centre de la “Toile”. Elle est régressive si l'évolution est marquée par des positions qui s'éloignent au moins deux fois du centre de la “Toile”.
- Un critère est stable, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'évolution, si les pastilles n'occupent pas plus de deux positions. La stabilité est totale lorsque les pastilles occupent la même position ou des positions voisines dans l'ordre des séances sans changement de sens. La stabilité est relative si les positions sont éloignées ou si j'observe un va et vient sur les deux positions.

Remarque : Ces variations sur un critère sont identifiées plus simplement par une représentation graphique qui facilite l'interrogation sur le type d'évolution. Il ne s'agit pas de donner au schéma un statut de preuve. Pour des raisons de lisibilité, j'ai choisi d'établir une équidistance entre les niveaux et entre les critères. Cependant il ne s'agit pas de mesures mais de repères.

Cette superposition des “Toiles” permet de représenter les critères sur lesquels Coralie évolue et ceux sur lesquels elle a une stabilité d'usage. Il est alors plus facile d'identifier que les critères portant sur la dévolution, les types d'intégration instrumentale, ceux de l'intégration praxéologique et le statut du savoir sont susceptible d'une évolution tandis que les autres restent stables.



J'ai alors repris cette réponse de BROUSSEAU à VERGNAUD *« Je suis entièrement d'accord pour admettre que le professeur se trouve devant le triplet "situation, connaissance, sujet" un peu comme l'actant devant une "situation objective" »* pour ouvrir le débat sur la question : Peut-on prolonger cette réflexion par la question : A partir des rétroactions du milieu classe les enseignants apprennent-ils ? À laquelle je tente de répondre dans la suite de la thèse.

4 Conclusion

La conclusion de cette communication aurait dû émerger du débat à la suite de ma dernière question : Est-ce que l'outil « Toile » permet d'identifier chez les enseignants des pratiques d'auto-apprentissage lors de l'intégration des TICE dans les pratiques mathématiques ?

Les questions qui ont suivi cette communication ont principalement porté sur des éclaircissements à propos de l'élaboration de l'outil « Toile », ainsi que sur la pertinence qu'il y a à utiliser de tels logiciels mais la question de l'auto-apprentissage n'a pas été abordée.

Concernant l'usage « de tels logiciels » ma communication en termes de contraintes internes n'y répond pas. En effet, elle ne peut pas être étudiée du seul point de vue interne des pratiques dans la classe, les influences externes que j'ai identifiées dans la première partie de ma thèse donnent un éclairage sur les choix de tels logiciels par les enseignants.

Concernant l'outil « Toile » la durée de la présentation n'a pas permis de développer une explicitation des éléments qui m'ont conduit à retenir onze critères et les niveaux pour caractériser une échelle vers une « intégration optimale ».

J'ai cependant essayé de présenter :

- Quels sont les cadres théoriques qui m'ont permis de retenir ces critères. Ils apparaissent alors comme un bon compromis entre leur utilisabilité et la complexité des pratiques mathématiques à décrire.
- Comment leur représentation sur la « Toile » favorise alors un repérage des conditions et des contraintes qui pèsent sur la pratique. En cela, comment elle facilite dans un premier temps, dans un contexte donné, la compréhension du sens, c'est ma démarche à propos de la pratique de Coralie, puis dans un deuxième temps comment elle permet d'interroger la stabilité de ces évolutions chez d'autres enseignants.

L'utilisation de cet outil à propos des pratiques de Coralie permet bien d'identifier ses évolutions qui révèlent des obstacles qu'elle rencontre dans l'intégration des TICE. Ces évolutions caractérisent ses techniques pour introduire les TICE dans les pratiques mathématiques de sa classe.

Je formule alors l'hypothèse que l'on dispose d'un outil pour décrire la situation objective de l'enseignant lorsqu'il tente de résoudre le problème de l'intégration des TICE en mathématique. Cette position justifie alors que j'ouvre le débat sur « l'auto-apprentissage » des enseignants et notamment sur les conditions pour construire un milieu d'auto-apprentissage.

1 BIBLIOGRAPHIE

ASSUDE T. CAPPONI B. BERTOMEU J.F. BONNET J.F. (1996), De l'économie et de l'écologie du travail avec le logiciel Cabri-géomètre, *Petit x n° 44*, IREM Grenoble, pp. 53-79.

ASSUDE T. & GRUGEON B. (2002), Intégration de logiciels de géométrie dynamique à l'école primaire, *Actes du XXIXème Colloque de la COPIRELEM, IREM des Pays de la Loire*, pp. 227-253.

ASSUDE T. & GELIS J-M (2002), La dialectique ancien-nouveau dans l'intégration de Cabri-géomètre à l'école primaire, *Educational Studies in Mathematics*, pp. 259-287.

ASSUDE T. (2005), Time management in the work economy of a class. *Educational Studies in Mathematics*. 59.1, pp. 183-203.

ASSUDE T., MERCIER A., SENSEVY G. (2007), L'action didactique du professeur dans la dynamique des milieux, *27/2*, pp. 221-252, Éditions La Pensée Sauvage, Grenoble.

BERTHELOT R. et SALIN M.H. (1992), L'enseignement de l'espace et la géométrie dans la scolarité obligatoire, Thèse Université Bordeaux I.

BROUSSEAU G. (1986), Fondements et méthodes de la didactique, *Revue de Didactique des Mathématiques*, Vol. 7, n°2, La pensée sauvage éditions, pp. 33-115.

BROUSSEAU G. (1995), L'enseignant dans la théorie des situations didactiques. In NOIRFALISSE R., PERRIN-GLORIAN M.J., (Éd.) *Actes de la VIII^e école d'été de didactique des mathématiques*, pp. 3-45, Clermont-Ferrand : IREM.

BROUSSEAU G. (1996), La théorie des situations didactiques, Cours donné lors de l'attribution du titre de Docteur Honoris Causa de l'Université de Montréal, disponible en ligne : http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/TDS_Montreal.pdf

BROUSSEAU G. (1998), La théorie des situations didactiques. Recueil de textes de Didactique des mathématiques 1970-1990 présentés par BALACHEFF N., COOPER M., SUTHERLAND R. et WARFIELD V., La pensée sauvage, Grenoble.

BROUSSEAU G. (2002). Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques, DEAST (Didactique et Anthropologie des Enseignements Scientifiques et Techniques),
http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf texte en ligne septembre 2007.

BROUSSEAU G. (2005), Réponses à VERGNAUD G, in Sur la théorie des situations didactiques. Questions, réponses, ouvertures Hommage à Guy Brousseau, (Ed.) CLANCHE P, SALIN M.H., SARRAZY B., La Pensée Sauvage.

MARGOLINAS C., 2002, Situations, milieux, connaissances – analyse de l'activité du professeur, *Actes de la 11ème École d'Eté de Didactique des Mathématiques*, pp. 141-156, Éditions La Pensée Sauvage, Grenoble.

PERRIN-GLORIAN M-J, HERSANT M (2003), Milieu et contrat didactique, outils pour l'analyse de séquences ordinaires, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 23/2, pp. *217-276*, Éditions La Pensée Sauvage, Grenoble.

TROUCHE L. (2005), Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 25/1, pp. 91-138, Éditions La Pensée Sauvage, Grenoble.

Table des matières

1 Le cadre théorique 2
1.1 L'apport d'une approche par la Théorie des Situations Didactiques 2
1.1.1 Le contrat didactique 2
1.1.1 La dévolution 3
1.1.2 L'institutionnalisation 4
1.2 L'approche par la dimension instrumentale et praxéologique 4
1.2.1 Les modes d'intégration 4
1.2.2 Praxéologie d'intégration et méso-contrats 5
1.2.3 Gestion de la transparence 6
1.3 Deux contrats spécifiques : la dévolution et l'institutionnalisation 6
1.3.1 Organiser la dévolution en favorisant un environnement 6
1.3.2 Gestion de l'institutionnalisation 6
2 Un outil pour repérer l'intégration et son évolution 6
2.1 L'outil d'analyse « Toile » 7
3 Les contraintes attachées aux situations mathématiques : l'exemple de la classe de l'enseignante Coralie 9
3.1 La séance “calcul en arbre” 10
3.1.1 Le dispositif de travail 10
3.1.2 La situation point de départ et l'objectif 10
3.1.3 Le dispositif de travail : Présentation générale de l'outil logiciel 11
3.1.4 Le potentiel a-didactique du logiciel, les types de tâches, tâches et techniques associées 11
3.2 Synopsis de la séance 5 13
3.3 Analyse a posteriori de la séquence d'apprentissage 13
3.3.1 Le mode d'intégration instrumentale 13
3.3.2 La gestion de la transparence 14
3.3.3 L'intégration praxéologique : des techniques anciennes à l'environnement logiciel 14
3.3.4 Rapport entre la TAL et la TAM 15
3.3.5 Les contrats 15
3.3.6 Les points d'appui pour réaliser la dévolution de la situation 16
3.3.7 L'institutionnalisation réalisée et les environnements 16
3.4 Comparaison de la séance aux autres séances de Coralie 17
4 Conclusion 19
1 BIBLIOGRAPHIE : 21