

CHAP. 5 UN ARTEFACT COMME INSTRUMENT DE MEDIATION SEMIOTIQUE : UNE RESSOURCE POUR LE PROFESSEUR

Les artefacts, en particulier numériques, sont en général considérés comme des ressources susceptibles d'améliorer aussi bien l'enseignement que l'apprentissage. Cependant, alors que les recherches ont largement pris en compte les potentialités de ces artefacts pour l'apprentissage, en particulier du point de vue des usages des élèves et des bénéfices qu'ils pourraient en tirer, elles ont eu tendance à sous-estimer la complexité du rôle du professeur dès lors qu'il veut exploiter ces potentialités. C'est ce que nous voulons étudier ici.

Nous commençons par la présentation de la théorie de la médiation sémiotique (TMS) élaborée par Bartolini Bussi et Mariotti (2008) dans l'objectif de décrire et modéliser les processus d'enseignement - apprentissage reposant sur l'utilisation d'un artefact spécifique. La TMS est centrée sur l'idée séminale de *médiation* introduite par Vygotsky (1978) et propose de décrire et de comprendre le processus qui commence avec l'utilisation par un élève d'un artefact et conduit à l'appropriation, par cet élève, d'un contenu mathématique particulier. Cette perspective prend en compte le rôle du professeur, et fournit la base pour un modèle explicite de ce qui est attendu de celui-ci. Nous voulons préciser ce modèle, avec l'objectif d'éclairer la manière dont le professeur peut utiliser l'artefact pour accomplir ses tâches didactiques. Il s'agit donc d'analyser le rôle spécifique joué par l'artefact comme ressource pour le professeur. Dans le fil de l'approche instrumentale (Rabardel 1995), en exploitant la notion de *schème d'utilisation*, nous analysons le développement, par le professeur, de cet artefact en *instrument de médiation sémiotique*. Plus particulièrement, nous nous centrons sur les actions du professeur médiées par l'artefact, concernant *l'orchestration de la discussion de classe*.

5.1 Médiation, apprentissage et enseignement selon l'approche sémiotique

C'est certainement en relation avec l'utilisation des artefacts, spécialement pour l'intégration scolaire des nouvelles technologies, que le terme *médiation* a été le plus exploité dans la littérature de recherche sur l'enseignement mathématique (Meira 1995 ; Radford 2003 ; Noss & Hoyles 1996 ; Borba & Villarreal 2005). L'idée de médiation est alors employée pour désigner les potentialités qu'a un artefact de favoriser les processus d'apprentissage. La participation d'un expert dans le processus de médiation est rarement prise en compte : le *potentiel de médiation* se rapporte en général à l'accomplissement d'une tâche à travers l'utilisation d'un artefact. La relation entre l'accomplissement de cette tâche appuyée sur l'artefact et l'apprentissage demeure souvent implicite. Beaucoup d'enseignants, mais aussi de chercheurs, semblent croire que les significations mathématiques liées à l'usage d'un artefact sont transparentes pour les élèves et que, en conséquence, la situation ne justifie pas une médiation du professeur.

La TMS prend en compte cette question. Elle combine des perspectives sémiotique et didactique, et développe la notion de médiation en prenant en compte le rôle crucial de la *médiation humaine* (Kozulin 2003, p.19) dans les processus d'enseignement et d'apprentissage. Adopter une perspective sémiotique suppose d'interpréter l'enseignement et l'apprentissage en reconnaissant le rôle central des signes¹, à la fois comme produits et moyens de construction du savoir. Comme encourager ou guider ce processus est une question cruciale. Dans les sections suivantes, nous décrivons comment il est possible, dans cette perspective, d'organiser une séquence d'enseignement intégrant un artefact donné. Cette description s'appuie sur les notions clés de *potentiel sémiotique d'un artefact* et de *cycle didactique*.

5.2 Le potentiel sémiotique d'un artefact

En suivant Hoyles (1993), on peut désigner la relation entre un artefact et le savoir comme *savoir évoqué*. Par exemple, un boulier (Fig. 1) peut évoquer la notation positionnelle des nombres ; de même, un logiciel de géométrie dynamique peut évoquer la géométrie classique « règle et compas ». Cependant il est sans doute nécessaire de distinguer entre les significations émergeant de l'utilisation d'un artefact et le savoir mathématique développé en relation avec cette utilisation. De ce point de vue, le cas des bouliers est paradigmatique : des siècles de pratique du calcul à l'aide du boulier n'ont pas été suffisants pour déclencher le passage à la notation positionnelle des

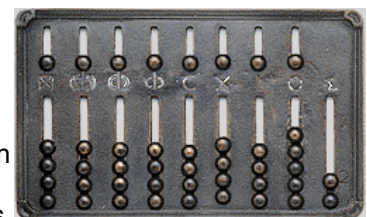


Fig. 1. Copie d'un boulier romain (1^{er} siècle)

¹ L'utilisation du terme "signe" est inspiré de Pierce. Nous posons une relation consubstantielle entre signifié et signifiant. Avec d'autres chercheurs (Radford, 2003; Arzarello, 2006), nous développons l'idée que les significations proviennent d'interactions complexes entre des signes (Bartolini Bussi & Mariotti, 2008).

nombres.

Nous introduisons la notion de *potentiel sémiotique* d'un artefact pour prendre en compte cette distinction. Le potentiel sémiotique d'un artefact représente le double lien qui peut s'établir entre i) un artefact et les significations personnelles émergeant de son utilisation finalisée ; ii) cet artefact et les significations mathématiques évoquées par son usage, reconnaissables comme mathématiques par un expert. La distinction entre significations personnelles et mathématiques peut être mise en relation avec la distinction que fait Brousseau (1997) entre *connaissance* et *savoir*. Même si elles ne sont pas contradictoires, les deux perspectives ne sont pas réductibles l'une à l'autre : la première insiste sur la dimension sémiotique des processus d'enseignement-apprentissage, qui reste dans l'ombre avec la seconde.

Dans le contexte de la classe de mathématiques, les élèves qui utilisent un artefact produisent des signes liés à l'activité avec l'artefact (signes-artefact) qui peuvent être mis en relation avec des signes mathématiques. Cependant la construction d'une telle relation n'est pas spontanée. Bien au contraire, elle doit être prise en charge, comme un objectif didactique, par l'enseignant, qui doit contribuer à faire évoluer les signes produits par les élèves, d'une relation entre artefact et tâches vers une relation entre artefact et savoir (Fig. 2). L'artefact constitue dans cette mesure une *ressource* pour l'action didactique du professeur (Gueudet & Trouche, chap. 3).

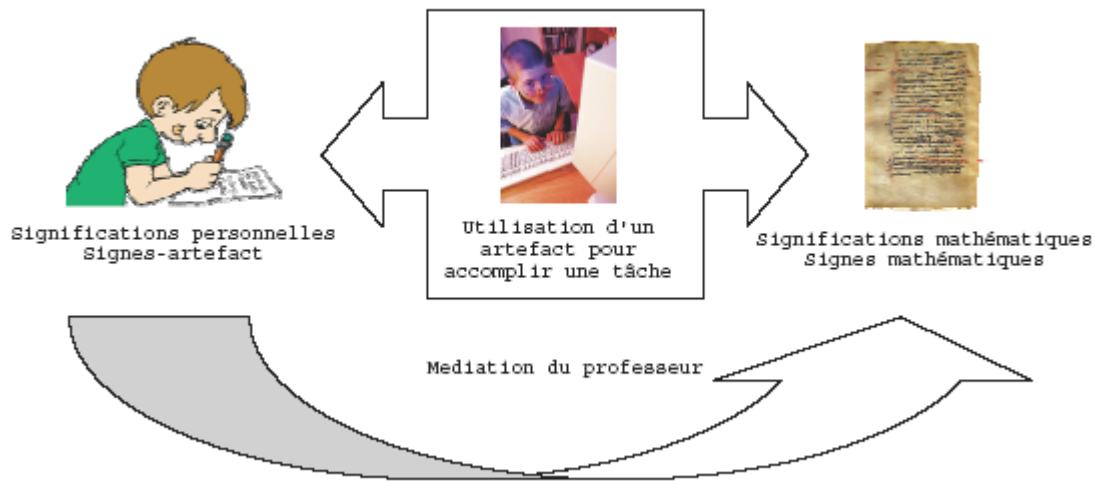


Fig. 2. Le potentiel sémiotique d'un artefact et la médiation de l'enseignant

Le potentiel sémiotique d'un artefact peut être identifié à partir d'une analyse impliquant à la fois des perspectives cognitive et épistémologique. Plus la description du potentiel sémiotique est riche, plus riche est la base pour la conception de séquences d'enseignement-apprentissage centrées sur l'utilisation d'un artefact donné. Cette question peut être inscrite dans la *problématique* plus vaste des relations entre les ressources disponibles pour un enseignant et les décisions didactiques qu'il prend dans la phase de conception. Dans le chapitre 15, Trgalova étudie aussi les décisions didactiques du professeur en situation de projet de séance, en relation avec les ressources auxquelles il a accès. Utilisant la terminologie de Winslow (2003, p. 275), la notion de potentiel sémiotique insiste sur le rôle d'un artefact peut avoir comme « véhicule d'apprentissage » et interroge explicitement les relations entre les questions pragmatiques et didactiques.

5.3 Les cycles didactiques

Comment peut-il advenir, en utilisant une terminologie inspirée de Leont'ev (1964/1976), que les significations personnelles émergeant de la réalisation d'une tâche médiée par un artefact deviennent des significations mathématiques ? Selon le modèle développé dans la TMS, l'évolution des significations personnelles vers les significations mathématiques peut être soutenue par une itération de *cycles didactiques* où différents types d'activité prennent place, chacun d'entre eux contribuant diversement, mais de façon complémentaire, au développement du processus complexe de médiation sémiotique. Chaque cycle didactique comporte trois étapes :

- des activités avec l'artefact. Cette étape intègre les tâches à accomplir en utilisant un artefact. Les situations sont conçues pour favoriser l'émergence de signes reliés à l'utilisation de cet artefact ;

- des activités de rédaction individuelle. Les élèves sont impliqués individuellement dans différentes activités sémiotiques concernant des productions écrites. Par exemple, on peut demander aux élèves, comme travail à faire à la maison, d'écrire un rapport individuel sur l'activité réalisée avec un artefact, réfléchissant sur leur propre expérience, et en formulant des doutes possibles ou des questions. Ces productions écrites peuvent devenir des objets de discussion dans le travail collectif qui va suivre ;

- une discussion de classe. Les discussions jouent un rôle essentiel dans le processus d'enseignement-apprentissage et constituent le cœur du processus sémiotique, sur lequel enseignement et apprentissage sont fondés. Toute la classe peut être engagée dans cette discussion : par exemple, après une session de résolution de problèmes, les différentes résolutions peuvent être discutées collectivement, ou les textes écrits par les élèves, ou d'autres textes, peuvent être analysés et commentés. Dans une telle discussion, le principal objectif du professeur est de pousser la l'évolution vers des significations mathématiques, prenant en compte les contributions individuelles et exploitant les potentialités sémiotiques de l'utilisation de l'artefact.

Autrement dit, se situer dans une perspective de *médiation sémiotique* demande l'établissement, dans la pratique de l'enseignant, d'un *format d'activité* spécifique (Burns & Anderson 1987; Ruthven chap. 10) consistant en l'itération de cycles didactiques. Quand l'enseignant réussit à exploiter ainsi les potentialités d'un artefact, on dit qu'il l'utilise comme un *outil de médiation sémiotique* (Bartolini Bussi & Mariotti 2008, p. 754).

5.4 Le rôle du professeur

L'action du professeur, à chaque étape d'un cycle didactique, est cruciale, en particulier au niveau des discussions de classe, qu'il a la responsabilité *d'orchestrer*. Cette métaphore d'orchestration est souvent empruntée, dans des sens variés, pour évoquer l'intégration d'outils dans la classe. Comme Bartolini Bussi (1998) nous utilisons le terme d'orchestration pour désigner la gestion par le professeur de la discussion de classe ; discussion qui est décrite comme « une polyphonie de voix articulées sur un objet mathématique, qui est une des raisons d'être de l'activité d'enseignement-apprentissage » (op.cit., p. 68). Trouche (2005, p. 126) définit pour sa part une *orchestration instrumentale* comme l'organisation intentionnelle des artefacts et des acteurs d'un environnement d'apprentissage pour assister les genèses instrumentales des élèves. Cette définition est complétée par (Drijvers *et al.* 2009), qui distingue plusieurs composantes dans une orchestration. D'un côté, *l'orchestration d'une discussion de classe* peut être mise en relation avec ce que Drijvers appelle la *performance didactique*, composante d'une *orchestration instrumentale*. D'un autre côté, l'objectif d'une orchestration de discussion de classe n'est pas d'assister les genèses instrumentales des élèves, mais de développer des significations partagées, reposant sur des formulations explicites, décontextualisées par rapport à l'utilisation de l'artefact, reconnaissables et acceptables par la communauté des mathématiciens.

Comme Sensevy le met en évidence (chap. 8), l'étude des *intentions didactiques* du professeur est cruciale pour la compréhension de son activité didactique. Pour décrire ces intentions, il propose un cadre articulant plusieurs dimensions. Deux d'entre elles semblent spécialement pertinentes pour notre étude : l'existence d'un lien entre intentions et ressources, et la possibilité de décrire les intentions à différents niveaux de granularité, en distinguant en particulier *intentions préalables* et *intentions en action*. On retrouve les premières dans le fait que l'analyse du potentiel sémiotique d'un artefact influence les intentions didactiques de l'enseignant. Quant aux intentions en action, nous verrons que l'activité du professeur ne peut être conçue complètement *a priori*. L'orchestration d'une discussion de classe suppose de prendre à chaud un grand nombre de décisions révélant les intentions didactiques *en action*, qui découlent d'une combinaison entre les intentions didactiques *préalables* et le développement courant de la discussion.

5.5 La notion de schème et l'approche instrumentale

L'*approche instrumentale* (Rabardel 1995 ; Trouche 2005 ; Gueudet & Trouche, chap. 3) permet d'articuler l'usage de l'artefact avec les tâches dans lesquelles il intervient. Elle distingue *artefact* et *instrument* : un artefact est un objet *in se*, symbolique ou matériel, conçu pour répondre à un besoin spécifique, alors qu'un instrument réfère à une entité mixte faite de composants type artefacts et de composants cognitifs que nous appelons *schèmes d'utilisation*. Cette entité mixte est « le produit à la fois du sujet et de l'objet » (Rabardel & Samurçay 2001).

Vergnaud (1990, p. 159) redéfinit la notion piagétienne originale de schème, en le caractérisant comme une organisation invariante de l'activité pour une classe de situations², une « une totalité organisée, qui permet

² Dans ce chapitre, nous utilisons le terme « situation » selon Vergnaud (1990, p.151), pour qui « toute situation peut être ramenée à une combinaison de relations de base avec des données connues et des inconnues, lesquelles

de générer une classe de conduites différentes en fonction des caractéristiques particulières de chacune des situations de la classe à laquelle il s'adresse », composée d'invariants opératoires, des anticipations du but à atteindre, de règles d'action et d'inférences. Les invariants opératoires ont un rôle éminent : composés des connaissances implicites qui structurent le schème tout entier, ils pilotent l'identification de la situation et de ses aspects pertinents, permettent de sélectionner les buts appropriés et d'inférer les règles générant les actions appropriées pour atteindre ces buts. Dans une perspective instrumentale, nous pouvons dire que l'enseignant développe, à partir d'un artefact, un instrument pour accomplir une tâche de médiation, i.e. un *instrument de médiation sémiotique*. Nous allons désormais préciser cela à travers des exemples, que nous avons collectés à travers un grand nombre d'expérimentation. Cette procédure soulève une question méthodologique cruciale : comment les schèmes, et, en particulier, les schèmes d'utilisation d'un artefact, peuvent être inférés de l'observation ? L'idée directrice est de rechercher des régularités dans le comportement d'un individu à travers un ensemble de situations : Bourmaud (2006, p.41), après Zanarelli (2003), soutient la nécessité de prendre en compte :

- « - des régularités de séquences d'activité ;
- l'existence de choix entre plusieurs possibilités ;
- la transformation de la situation, à savoir les effets de l'activité sur la situation ;
- l'opérationnalité, c'est-à-dire la performance de l'activité.»

Dès lors que l'on veut prendre en compte des artefact, l'analyse, selon Bourmaud (op.cit. p.41), doit aussi considérer :

- « - les classes de situations dans lesquelles sont utilisés ces artefacts ;
- des organisations invariantes de l'activité, pour en inférer les schèmes sous-jacents ;
- des fonctions attribuées aux artefacts par les observateurs, par une approche fonctionnelle ;
- l'objet sur lequel l'artefact permet d'effectuer des modifications. »

Dans nos analyses, nous tentons, autant que faire se peut, d'explicitier ces différentes dimensions.

5.6 L'expérimentation

Nos exemples sont issus d'une expérience d'enseignement de deux mois, centrée sur l'utilisation de Cabri, impliquant des classes (10^{ème} grade) françaises et italiennes, réitérée pendant trois années successives (Falcade, Laborde & Mariotti 2007 ; Falcade 2006). L'objectif didactique était l'utilisation de l'artefact Cabri, logiciel de géométrie dynamique (Laborde & Bellemain, 1995), comme un outil de médiation sémiotique pour introduire les élèves à l'idée de fonction comme co-variation. La séquence d'activité fut conçue en cohérence avec la structure de cycle didactique (§ 5.3). Les productions des élèves et l'enregistrement audio des activités de classe furent collectées et analysées.

Un système riche de significations émerge de l'utilisation de logiciels de géométrie dynamique, que l'on peut mettre en relation avec le système de significations relié à la notion mathématique de fonction, par exemple :

- le mouvement obtenu à partir de l'utilisation de l'outil de déplacement constitue la principale caractéristique d'un logiciel de géométrie dynamique. On doit considérer deux types de points : les *points de base* peuvent bouger après une action directe *via* l'outil de déplacement, alors que les *points construits* ne peuvent bouger que comme conséquence du mouvement de points de base, à travers une relation établie par construction. L'utilisation de l'outil de déplacement peut donc être considérée en relation avec l'idée de fonction comme co-variation entre une variable dépendante et une variable indépendante.
- l'outil de macro permet de réaliser une construction. Dès lors qu'il est appliqué aux « éléments initiaux » requis, la macro produit les « éléments finaux » correspondants. Cela évoque clairement l'idée de fonction comme relation entre une « entrée » et une « sortie ».

Nous nous centrons ici sur la première discussion de classe de la séquence. Elle survient après une activité avec Cabri, dédiée à l'exploration des effets d'une macro. Dans la séance précédente on avait demandé aux élèves, travaillant par binômes, d'appliquer à trois points donnés (A, B et P) une macro inconnue engendrant un quatrième point (H). Ils devaient ensuite explorer systématiquement les effets du déplacement d'un point et produire une description commune du mouvement des autres points. L'objectif de la discussion est d'introduire la notion de variation et de co-variation et de proposer une formulation partagée, dans des cadres géométriques, de la définition d'une fonction comme co-variation.

5.7 Schèmes d'utilisation d'un artefact pour l'orchestration d'une discussion de classe : soutenir l'émergence de signes personnels

Nous pouvons maintenant décrire des schèmes d'utilisation possibles, que le professeur devrait développer pour construire un instrument de médiation sémiotique. Ces schèmes sont identifiés à partir de l'observation de plusieurs exemples d'usages effectifs de l'artefact.

Nous considérons plusieurs classes de situations, liées à la *famille d'activité* des discussions de classe. Comme Bourmaud (2006, p.40), nous désignons par *famille d'activité* un « ensemble de classes de situations qui correspondent à un même type de finalité générale de l'action ». L'objectif général de la discussion de classe est de soutenir à la fois l'émergence de signes personnels pour les élèves et leur évolution vers les signes mathématiques visés. Cette évolution requiert un engagement actif des élèves : il ne suffit pas que le professeur explicite la connaissance mathématique visée et la relie à la solution des exercices. L'élément crucial est de relier les significations partagées émergeant de l'expérience personnelle et les significations mathématiques qui, par nature, sont culturellement établies. Le processus sémiotique qui prend place dans une discussion de classe est au cœur du processus de médiation sémiotique : il implique le professeur et les élèves, l'usage de l'artefact et les mathématiques. On peut identifier dans une discussion de classe deux types d'objectifs distincts : la construction conjointe de signes partagés, et l'évolution de ces signes vers des signes mathématiques. L'analyse des schèmes d'utilisation du professeur est articulée selon ces deux objectifs.

La description des schèmes est faite en termes de classes de situations, d'ensembles d'objectifs, et de systèmes d'invariants opératoires, qui permettent de saisir l'essence du schème : « c'est le concept d'invariant opératoire qui permet de faire le lien entre la forme opératoire et la forme prédictive de la connaissance, justement parce qu'il s'agit de la composante épistémique du schème, celle qui soutient en dernier ressort l'organisation de l'activité » (Vergnaud 2005, p. 129). Comme le souligne Lagrange (1999, p.58) : « les schèmes étant des élaborations mentales adaptatives, ils ne peuvent pas être décrits sous une forme entièrement rationnelle ». Cependant on ne peut éviter de décrire les différents éléments d'un schème en recourant aux catégories de la connaissance explicite (Vergnaud 1990, p. 145). Ainsi, le risque existe d'entraîner, par cette formulation explicite, des répétitions et des redondances qui ne rendent pas compte des différentes fonctions cognitives et surchargent l'analyse.

Considérons d'abord l'objectif de soutenir l'émergence de signes personnels issus de l'expérience commune avec l'artefact. Deux schèmes d'utilisation peuvent être liés à cet objectif : le schème de « retour sur la tâche » et le schème de « focalisation ».

5.7.1 Le schème de « retour sur la tâche »

Dans une discussion de classe, le moment où commence la production de signes par les élèves est crucial, cette production doit être provoquée par l'intervention du professeur. Nous nommons **S1** la classe de situations caractérisée par la nécessité de démarrer, ou relancer (par exemple, lorsque les contributions des élèves se tarissent) la production de signes liés à l'activité avec l'artefact. Ces situations demandent une intervention explicite du professeur, dont les actions peuvent viser trois objectifs articulés :

- **Ob_1a** : provoquer la production, par les élèves, de signes liés à l'emploi effectif de l'artefact ;
- **Ob_1b** : construire un contexte partagé, lié à l'usage de l'artefact, pour ces signes ;
- **Ob_1c** : obtenir des élèves le plus grand nombre possible de contributions.

Les actions du professeur visent souvent tous ces objectifs simultanément, même si l'un d'eux peut être prééminent, en voici un premier exemple.

Extrait 1

12) Professeur : Bon, alors... voyons si, en revenant sur ce que nous avons fait, *nous pouvons trouver notre idée de ce qu'est une fonction...* alors.. qu'avez-vous fait ? Vous me le dites, et je fais pareil [le professeur est prêt à manipuler l'ordinateur] qui peut me dire ?

13) BA : Je vais vous dire... alors, nous avons dessiné des points A, B et P n'importe où et ensuite nous avons appliqué la macro construction aux points A, B et P dans cet ordre et nous avons obtenu un autre point que nous avons appelé H [pendant ce temps, le professeur fait la construction sur l'ordinateur, dont l'écran est projeté pour la classe entière].

Au début de la discussion, le professeur invite les élèves à revenir sur ce qu'ils ont fait et déclare explicitement ce qui doit être considéré comme le but didactique commun de l'activité : développer une idée partagée de fonction (12). Pour faire cela, il leur demande de rappeler la tâche rencontrée à la séance précédente et de décrire de quelle manière ils l'ont accomplie. Le professeur, grâce à un vidéoprojecteur disponible dans la classe, effectue pour toute la classe, la construction décrite par BA. Tout en gardant les mêmes objectifs, le professeur peut utiliser l'artefact encore plus indirectement : par exemple en référant explicitement aux textes écrits produits par les élèves après le travail avec l'artefact. Dans tous les cas, nous

pouvons noter que le professeur « utilise l'artefact » pour accomplir ses tâches didactiques : soutenir la production d'un contexte social de signes liés à l'usage de l'artefact et construire un contexte commun pour développer des significations partagées pour ces signes.

Comme nous l'avons signalé, la nécessité d'amener la production de signes peut advenir à différents moments. L'extrait suivant montre ainsi une intervention ultérieure du professeur, visant toujours à diriger la discussion vers un retour sur la tâche.

Extrait 2

21) Professeur : oui, parce que maintenant vous avez été conduits à découvrir cette construction... Pourquoi ? Qu'est-ce qu'on avait dit ? Je veux dire, *qu'est-ce qui vous était demandé ?*

22) BA : Nous devons dire... d'abord si nous bougions le point A, quels étaient les points qui bougeaient ou qui ne bougeaient pas...

Ces interventions ne sont qu'en partie prévues à l'avance ; elles sont, la plupart du temps, des réactions aux comportements des élèves. Le professeur a recours à ce type d'interventions lorsqu'il ressent le besoin de revenir à l'expérience vécue en contexte avec l'artefact. Même si elles semblent redondantes, leur caractère répétitif sert à construire un riche réseau de significations reliées à un signe spécifique (dans ce cas, par exemple, les expressions utilisant « point » et « déplacer »), et à accroître la participation des élèves pour une construction partagée de significations.

Les extraits ci-dessus illustrent différentes instances d'un même schème. Face au même type de situation (S1), le professeur identifie et retient le même type d'objectif (Ob1 et ses différentes composantes) et « utilise l'artefact » de manière cohérente : il demande aux élèves de revenir sur la tâche et d'expliquer comment ils ont utilisé l'artefact pour l'accomplir. Par cette demande, le professeur accompagne la reconstruction du contexte de la tâche et de l'usage de l'artefact dans ce contexte. L'observation de ces régularités dans l'organisation de l'activité du professeur nous conduit à inférer l'existence d'une classe d'invariants opératoires qui la pilotent, en particulier :

- **InvOp_1a** : des signes liés à l'emploi effectif de l'artefact peuvent émerger à la suite d'une demande explicite de description de l'activité avec l'artefact (en se référant à l'expérience commune de la classe) ;
- **InvOp_1b** : une demande explicite de description de l'activité avec l'artefact (se référant à l'expérience partagée en classe) contribue à la re-construction d'un contexte commun partagé ;
- **InvOp_1c** : l'effort de communication commun soutient la production de signes partagés.

5.7.2 Le schème de « focalisation »

Une intervention productive du type *retour sur la tâche* peut amener un grand nombre de contributions, certaines inappropriées. Ceci amène une deuxième classe de situations, **S2** : lorsque la discussion a amené l'émergence et la mise en partage d'un riche réseau de signes reliés à l'usage de l'artefact, il faut alors sélectionner les aspects pertinents de leurs significations partagées, du point de vue du développement des signes mathématiques qui constituent l'objectif d'enseignement visé. Les actions du professeur visent alors les objectifs suivants :

- **Ob_2a** : souligner les signes spécifiques (partagés) produits jusque là ;
- **Ob_2b** : sélectionner des aspects pertinents des significations de ces signes ;
- **Ob_2c** : circonscrire la référence à certains signes à des aspects spécifiques de l'usage de l'artefact ;
- **Ob_2d** : attirer l'attention des élèves sur ces aspects-clés.

L'extrait suivant montre le professeur dans une situation de ce type, résultant précisément d'une intervention du type *retour sur la tâche* (12, extrait 1). Le professeur attire l'attention des élèves sur « l'effet 1 » de la macro et leur demande de proposer une interprétation de cette macro (14).

Extrait 3

14) Professeur : OK, arrêtons nous là... il y a quelque chose... je veux dire si je dois voir cet effet 1... *Qu'est ce qu'est l'effet 1 de la macro, selon vous ?*

15) BA : je veux dire, c'est la construction qui... *il y a une construction cachée derrière qui nous permet de dessiner le point H en partant des points A,B et P.*

16) Professeur : l'effet 1 intègre, en la dissimulant, une construction que vous avez découverte... et que fait cette construction ?

17) BA : elle construit un point, elle construit le point H... parce que nous avons...

18) Professeur : *elle construit le point H en partant ?*

19) Les élèves : *Des trois points.*

En se référant à la construction cachée (15), BA explique les caractéristiques du fonctionnement d'une macro, induisant une relation de dépendance entre des éléments initiaux et des éléments finaux. Le

professeur reformule partiellement l'explication et pousse les élèves à exprimer ce que fait la construction, jusqu'à ce que les éléments centraux deviennent clairs pour tous - « elle construit le point H à partir des trois points ». L'intervention du professeur initie le processus qui permet de (a) partager des aspects-clés des signes liés à l'usage de l'artefact et (b) attirer l'attention des élèves sur ces aspects ; de plus il alimente en continu ce processus en reprenant les contributions des élèves (16 et 18).

L'extrait suivant (qui inclut l'extrait 2) se situe immédiatement après le précédent. Après une intervention de *retour sur la tâche* (21), le professeur demande aux élèves de rappeler comment ils ont fait, en utilisant l'outil de déplacement, l'expérience de la dépendance du mouvement d'un point à celui d'un autre point.

Extrait 4

21) Professeur : oui, parce que maintenant vous avez été conduits à découvrir cette construction... Pourquoi ? Qu'est-ce qu'on avait dit ? Je veux dire, *qu'est-ce qui vous était demandé ?*

22) BA : nous devons dire... d'abord si nous bougions le point A, quels étaient les points qui bougeaient ou qui ne bougeaient pas...

23) Professeur : OK, alors... par exemple, *en bougeant P, je vois que seulement H bouge et pas seulement...* Je vois aussi que quoi bouge... ?

Le professeur veut attirer l'attention des élèves sur les aspects de leur expérience pertinents pour le développement des significations mathématiques qu'il vise. Il intervient donc pour que les élèves soient attentifs aux aspects clés de cette expérience. Il limite donc le champ sémantique des signes spécifiques et isole les aspects qui sont pertinents pour le développement des signes mathématiques. Dans une situation S2, pour accomplir les objectifs Ob2, le professeur « utilise l'artefact » pour *focaliser* l'attention des élèves sur certains aspects de leur propre utilisation de l'artefact.

Les extraits ci-dessus peuvent donner une idée des actions que le professeur réalise pour attirer l'attention des élèves sur des éléments spécifiques de leur expérience. Ces actions ne comportent pas que du discours : des gestes, ou des changements dans le ton de la voix sont souvent observés, montrant l'intention de focalisation.

A partir de l'observation de ces régularités, on peut supposer la présence des invariants opératoires suivants :

- **InvOp_2a** : il est possible de diriger l'attention des élèves vers des aspects spécifiques de l'utilisation de l'artefact, par des formes spécifiques de discours ;
- **InvOp_2b** : Se centrer sur des aspects spécifiques de l'utilisation de l'artefact aide à circonscrire la signification de signes spécifiques ;
- **InvOp_2c** : dans un contexte social, l'effort d'explicitation d'aspects clés des signes partagés (par des formes spécifiques de discours) aide les élèves à prendre conscience de ces éléments et de la possibilité de les isoler parmi une multiplicité d'autres aspects.

Les deux schèmes (*retour sur la tâche* et *focalisation*) sont complémentaires, en interaction : l'un est orienté vers l'enrichissement du champ sémantique en référence à l'utilisation de l'artefact, alors que l'autre est orienté vers la sélection des aspects pertinents.

5.8 Schèmes d'utilisation d'un artefact pour l'orchestration d'une discussion de classe : vers des signes mathématiques

La mobilisation répétée de chacun des deux schèmes décrits ci-dessus peut amener à la construction de signes stables et partagés, qui d'une part sont liés à l'artefact effectif, et d'autre part retiennent les éléments clés des significations qui sont pertinents pour le développement des signes mathématiques visés. L'évolution vers les signes mathématiques requiert aussi une re-élaboration des signes produits et une décontextualisation de l'artefact et de son utilisation. Deux schèmes peuvent être engagés dans une mise en œuvre visant cette évolution.

5.8.1 Le schème de « demande d'une synthèse »

En conséquence des actions du professeur, la situation d'origine s'inscrit dans une nouvelle classe de situations, **S3**, qui correspond à un moment où la discussion a fait émerger des signes stables et partagés, concentrant les aspects clés de l'expérience commune avec l'artefact, et qu'il faut généraliser et décontextualiser. Ce processus ne peut pas se résumer seulement à remplacer des signes produits (par exemple « point mobile ») par les significations mathématiques appropriées (« variable indépendante ») : les signes doivent acquérir leur pleine signification mathématique et garder un lien avec les signes qui leur donnent une matière. Par exemple, la liberté d'un point mobile doit rester une instanciation possible de la notion de « variable indépendante ». Cette évolution prend ainsi nécessairement en compte les significations

personnelles que les élèves attribuent aux signes partagés. C'est un processus sémiotique complexe qui demande au professeur d'intervenir pour :

- **Ob_3a**: soutenir la décontextualisation (le contexte étant celui de l'utilisation de l'artefact) par les élèves des significations reliées à l'utilisation de l'artefact ;
- **Ob_3b** : soutenir la généralisation (par rapport aux tâches spécifiques) par les élèves des significations reliées à l'utilisation de l'artefact ;
- **Ob_3c** : maintenir (au cours des processus de décontextualisation et de généralisation) les aspects des significations personnelles qui sont liés à l'utilisation de l'artefact mais sont identifiés comme pertinents pour viser les signes mathématiques.

Afin d'atteindre ces objectifs, le professeur encourage les élèves à synthétiser, c'est-à-dire à rendre compte d'une manière synthétique de ce qui a été fait et discuté en classe jusqu'à un moment donné.

Extrait 5

211) Professeur : *Qui voudrait synthétiser tout ce que j'ai dit ?* Mais je voudrais quelqu'un qui n'a jamais parlé... MA!

212) MA : ce que j'ai compris...?

213) Professeur : OK, vas-y, qu'est-ce que tu as compris?

214) MA : Je veux dire... il y a certaines choses que sont prises d'autres qui sont indépendantes...ce sont les points A, B et P, H est obtenu par une construction qui dérive de A, B et P, donc H dépend de la position...

215) Professeur : ... de la position de trois points A, B et P. *Donc la fonction... qu'est-ce que c'est [la fonction] pour toi ?*

216) MA : La fonction pour moi est... je veux dire que ça devrait être une construction qui en pratique ... est obtenue par différents moyens ... qui dérive de ...

217) Professeur : *De quels points?*

218) MA : A, B, et P.

219) Professeur : OK

Le professeur demande explicitement une synthèse (211). MA, qui n'est pas intervenu avant, commence à clarifier son interprétation de la demande : expliciter ce qu'il a compris. Le tour de parole suivant (214) montre des traces du processus attendu de décontextualisation. MA utilise des termes génériques, tout en maintenant le lien avec le contexte de l'artefact. Le professeur suit l'élève quand il revient au contexte de l'artefact, mais relance immédiatement le processus de médiation et demande d'explicitier la signification personnelle du signe <fonction> (215). MA tente une formulation générale sans faire référence à l'artefact. Comme le lien avec l'artefact n'avait pas été coupé, il est possible d'y revenir dès que la formulation de la tâche devient trop difficile (217).

Comme le montre l'extrait 5, l'évolution des signes peut avancer par un mouvement alternatif : en s'éloignant et en se rapprochant du contexte de l'artefact ou du contexte mathématique. Des expressions comme « certaines choses » ou « dépend de » semblent jouer un rôle charnière pour l'articulation des deux contextes.

Les invariants opératoires suivants semblent fonder l'activité du professeur dans cette classe de situations.

- **InvOp_3a**: Une demande explicite de synthèse peut déclencher un processus de généralisation et de décontextualisation de significations au-delà de l'emploi effectif de l'artefact ;
- **InvOp_3b** : des synthèses peuvent aider à élaborer un environnement sémiotique partagé au sein duquel les signes mathématiques peuvent être produits et mis en relation avec les signes attachés à l'artefact ;
- **InvOp_3c** : une demande de synthèse peut aider à établir des connections entre le contexte de l'artefact et le contexte mathématique.

5.8.2 Le schème d' « apport d'une synthèse »

De manière générale, la mobilisation du schème de demande de synthèse doit contribuer au développement d'un environnement sémiotique partagé au sein duquel des signes mathématiques peuvent être produits et mis en relation avec les signes de l'artefact. Dans ce contexte, le professeur peut introduire le point de vue mathématique, et éventuellement une terminologie de référence. Nous nommons **S4** la classe de situations qui apparaît lorsque la discussion a amené à la décontextualisation et à la généralisation des significations, du contexte de l'artefact vers le contexte mathématique, et qu'il faut statuer sur l'acceptabilité et le statut d'un signe dans le contexte mathématique.

Des pas cruciaux ont déjà été accomplis en direction de l'élaboration des signes mathématiques visés, mais l'évolution ne peut pas encore être considérée comme complète. Il reste une nécessité d'explicitier le statut mathématique de certains signes, d'établir des connections explicites entre le contexte de l'artefact, les

significations associées, et le contexte mathématique avec ses significations. Dans cette situation, les objectifs du professeur sont :

- **Ob_4a** : apporter une formulation mathématique qui introduit les signes mathématiques visés comme des évolutions des signes personnels qui ont émergé auparavant ;
- **Ob_4b** : de statuer sur l'acceptabilité et le statut mathématique d'un signe spécifique ;
- **Ob_4c** : de mettre en évidence le système de relations entre les significations mathématiques et les significations construites au cours de la discussion de classe.

L'exemple ci-dessous montre le professeur qui synthétise ce qui a émergé jusque là, et qui dans le même temps explique la relation entre variables indépendantes et dépendantes. Il est intéressant de noter que l'expérience avec l'artefact est toujours évoquée par le professeur.

Extrait 6

159) Professeur : Bon, alors, ce qui se passe c'est que en *général pour une fonction*, les *points dont je pars* sont appelés *variables indépendantes*, parce que je peux les bouger où je veux, tandis que ce que j'obtiens est nommé *variable dépendante*, parce que ça dépend... de quoi [est-ce que ça dépend] ?

160) MO: [ça dépend] des variables indépendantes.

Dans cet exemple d'intervention, le professeur détermine l'emploi de termes mathématiques comme « variable indépendante » et « variable dépendante ». Il explicite le lien entre les signes mathématiques et les significations qui ont émergé de l'activité avec l'artefact en s'appuyant sur des signes spécifiques au contexte de l'artefact : <les points dont je pars>, <je peux les bouger où je veux>. Il ouvre la voie pour les mathématiques. Clairement, viser les objectifs Ob4 demande au professeur une implication plus « directe » et évidente. Il a en fait la responsabilité d'amener dans le discours les éléments et le point de vue des mathématiques. Une intervention explicite doit ratifier la reconnaissance et l'acceptation, par la communauté mathématique. Ainsi, l'activité du professeur semble révéler la présence de différents invariants opératoires :

- **InvOp_4a** : Lorsque le processus de généralisation et de décontextualisation a été enclenché, il est possible d'introduire des signes mathématiques, en les reliant aux significations partagées qui ont été développées jusque-là ;
- **InvOp_4b** : Une synthèse explicite donnée par le professeur peut fournir une formulation mathématique des significations qui ont émergé ;
- **InvOp_4c** : Une orchestration de la discussion de classe reposant sur des allers-retour entre le contexte de l'artefact et le contexte mathématique peut amener le développement d'un ensemble riche de significations personnelles et de significations mathématiques.

La mobilisation des schèmes de « demande de synthèse » et d'« apport de synthèse » a une importance cruciale pour la production d'interventions du professeur visant à impliquer directement les élèves dans des processus de généralisation et de décontextualisation, et leur donnant dans le même temps la possibilité de s'approprier les signes mathématiques qui sont introduits par le professeur.

5.9 Conclusion

Dans le cadre de la TMS, l'utilisation d'un artefact a une double nature : d'une part l'artefact est utilisé directement par les élèves pour accomplir une tâche ; d'autre part il est utilisé indirectement par le professeur pour des objectifs d'enseignement. En utilisant la terminologie de (Winslow, 2003, p.275), nous pouvons dire que cet artefact spécifique peut jouer à la fois un rôle pragmatique et un rôle didactique. En ce sens, un artefact donné peut être considéré comme une *ressource* pour le professeur, c'est-à-dire un « moyen de soutenir » son action didactique. Dans ce chapitre, nous avons montré comment le professeur peut guider un processus sémiotique basé sur l'utilisation d'un artefact, en décrivant les schèmes d'utilisation susceptibles de se développer pour accompagner l'évolution des signes pendant une discussion collective. Selon l'analyse de nos données, ces schèmes se révèlent efficaces, c'est-à-dire qu'ils contribuent à assurer le développement d'un artefact en un *instrument de médiation sémiotique*.

Les schèmes décrits ici semblent ne pas être spécifiques à l'artefact ou au domaine mathématique considéré. Ceci est une conséquence du niveau de description retenu, qui est lui-même choisi dans l'objectif de présenter une analyse ayant la portée la plus générale possible. En retenant d'autres niveaux d'analyse, certains amèneraient à identifier des schèmes directement liés à l'utilisation de Cabri et aux notions en jeu.

Au-delà de l'illustration du processus de médiation sémiotique, la présentation ci-dessus vise à contribuer à un point clé concernant le processus de médiation, sémiotique en particulier. Il semble particulièrement important d'identifier d'une manière explicite les différentes formes de médiation (Kozulin, 2003), afin de pouvoir les communiquer et les partager avec la communauté enseignante. Ainsi l'association d'un artefact

et de schèmes de médiation sémiotique peut être considérée comme un instrument, développé à partir de ressources du professeur et qui peut se constituer en ressource pour d'autres professeurs.

L'étude du processus de développement d'un instrument de médiation sémiotique partage de nombreuses caractéristiques avec l'étude du processus de *genèse documentaire* (Gueudet & Trouche, chap. 3). Il y a cependant des différences importantes, en tout cas au stade actuel de développement des deux approches. D'une part, dans notre analyse nous nous sommes centrés sur l'utilisation par le professeur d'un seul artefact et nous avons laissé de côté l'étude de l'utilisation d'autres ressources (les productions écrites des élèves ou d'autres artefacts) ; l'étude des genèses documentaires nous aurait demandé de prendre en compte dans la mesure du possible tout un système de ressources. D'autre part, notre analyse ne vise pas à classer ou à décrire tous les schèmes d'utilisation de l'artefact, pour le professeur : dans le cas d'un instrument de médiation sémiotique, nous retenons les schèmes qui prennent sens du point de vue de la médiation sémiotique.

Ce qui fait l'intérêt d'une telle analyse, selon nous, est le fait qu'elle fournit un modèle explicite des actions du professeur médiées par un artefact, éclairant ainsi des éléments spécifiques concernant l'orchestration de la discussion en classe, et clarifiant ce qui est attendu du professeur – ce que le celui-ci doit faire. Bien que le modèle présenté dans ce chapitre soit très spécifique, inscrit dans le cadre de la TMS, il contribue à l'étude générale des processus didactiques, centrée sur le professeur. Dans cette perspective, il est important de questionner la conscience que le professeur a de son propre rôle et particulièrement des choix qu'il doit effectuer. L'analyse et la description des actions du professeur est l'élément de départ qui permet à la recherche en éducation de contribuer à cet aspect du développement professionnel des enseignants. Notre étude vise un apport dans cette direction, d'une part en fournissant un cadre clair dans lequel l'utilisation de l'artefact comme ressource didactique peut être décrite, et d'autre part en proposant une description de schèmes d'utilisation efficaces qui pourraient être développés pour exploiter cette ressource en classe.

References

- Arzarello, F. (2006). *Semiosis as a multimodal process*, *Relime Vo1 Especial*, 267-299.
- Bartolini Bussi, M. G. (1998). Verbal interaction in mathematics classroom: A Vygotskian analysis. In H. Steinbring, M. G. Bartolini Bussi, & A. Sierpinska (Eds.), *Language and communication in mathematics classroom* (pp. 65–84). Reston, VA: NCTM.
- Bartolini Bussi M. G., & Mariotti M. A. (2008). Semiotic Mediation in the Mathematics Classroom: Artefacts and Signs after a Vygotskian Perspective, In L. English *et al.* (Eds.), *Handbook of International Research in Mathematics Education*, LEA.
- Borba, M. C., & Villarreal, M. E. (2005). *Humans-with-media and the reorganization of mathematical thinking: Information and communication technologies, modeling, visualization and experimentation*. New York: Springer.
- Bourmaud, G. (2006). Les systèmes d'instruments : méthodes d'analyse et perspectives de conception. Thèse de Doctorat de Psychologie Ergonomique, Université Paris VIII Saint-Denis.
- Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situations in Mathematics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Burns, R. B., & Anderson, L. W. (1987). The activity structure of lesson segments. *Curriculum Inquiry*, 17(1), 31-53.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P. & van Gisbergen, S. (in press). Instrumental orchestration: theory and practice. *Proceedings of CERME 6, Lyon, France, 2009*.
- Falcade, R. (2006). *Théorie des Situations, médiation sémiotique et discussions collective, dans des séquences d'enseignement avec Cabri- Géomètre pour la construction des notions de fonction et graphe de fonction*. Grenoble : Université J. Fourier, Unpublished doctoral dissertation.
- Falcade, R., Laborde, C., & Mariotti, M.A. (2007). Approaching functions: Cabri tools as instruments of semiotic mediation. *Educational Studies in Mathematics*, 66(3), 317-333.
- Hoyle, C. (1993). Microworlds/schoolworlds: The transformation of an innovation, in C. Keitel & K. Ruthven *Learning from computers: Mathematics Education and Technology* (NATO ASI Series F, vol.12). Berlin: Springer-Verlag. 1-17.
- Kozulin, A. (2003). Psychological tools and mediated learning. In A. Kozulin, B. Gindis, V.S. Ageyev, & S.M. Miller (Eds.), *Vygotsky's Educational Theory in Cultural Context*. Cambridge University Press. 15 -38
- Laborde J.-M., & Bellemain, F. (1995). *Cabri-géomètre II* and *Cabri-géomètre II plus* [computer program]. Dallas, USA: Texas Instruments and Grenoble, France: Cabrilog.
- Lagrange J.-B. (1999). Complex calculators in the classroom: theoretical and practical reflections on

- teaching pre-calculus. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, **4**(1), 51-81.
- Leont'ev, A.N. (1976, orig. ed. 1964). *Problemi dello sviluppo psichico*, Roma: Editori Riuniti and Mir.
- Meira, L. (1995). Mediation by Tools in the Mathematics Classroom. In L. Meira & D. Carraher (Eds.), *Proceedings of the 19th PME*. Recife, Brazil. Vol I, 102-111.
- Noss, R., & Hoyles, C. (1996). *Windows on mathematical meanings: learning cultures and computers*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies - Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Rabardel, P., & Samurçay, R. (2001). From Artefact to Instrumented-Mediated Learning. *New Challenges to Research on Learning: An international symposium organized by the Center for Activity Theory and Developmental Work Research, University of Helsinki, March 21-23*.
- Radford, L. (2003). Gestures, Speech, and the Sprouting of Signs: A Semiotic-Cultural Approach to Students' Types of Generalization, *Mathematical Thinking and Learning*, **5**(1), 37-70.
- Trouche, L. (2005). An instrumental approach to mathematics learning in symbolic calculator environments. In D. Guin, K. Ruthven, & L. Trouche (Eds.) *The Didactical Challenge of Symbolic Calculators Turning a Computational Device into a Mathematical Instrument*, Springer, 137-162.
- Vergnaud, G. (1990). La Théorie des champs Conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, **10** (2.3), 133-170.
- Vergnaud, G. (2005). Repères pour une théorie psychologique de la connaissance. In A. Mercier & C. Margolinas (dir.) *Balises pour la didactique des mathématiques*. La Pensée Sauvage Editions, 123-136.
- Vygotsky, L.S. (1978). Mind in Society. *The Development of Higher Psychological Processes*, Harvard: University Press.
- Winslow, C. (2003). Semiotic and discursive variables in CAS-Based didactical engineering, *Educational Studies in Mathematics*, **52**, (1), 271-288.
- Zanarelli, C. (2003). *Caractérisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques : analyse de l'activité de régulation du métro*. Thèse de Doctorat de Psychologie Ergonomique Université Paris 8.