



Modélisation de l'interaction didactique: un tuteur hybride sur Cabri-géomètre pour l'analyse de décisions didactiques

Salima Tahri-M'Saad

► To cite this version:

Salima Tahri-M'Saad. Modélisation de l'interaction didactique: un tuteur hybride sur Cabri-géomètre pour l'analyse de décisions didactiques. Modélisation et simulation. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1993. Français. NNT: . tel-00344064

HAL Id: tel-00344064

<https://theses.hal.science/tel-00344064>

Submitted on 3 Dec 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

K.3
TU21059
317924

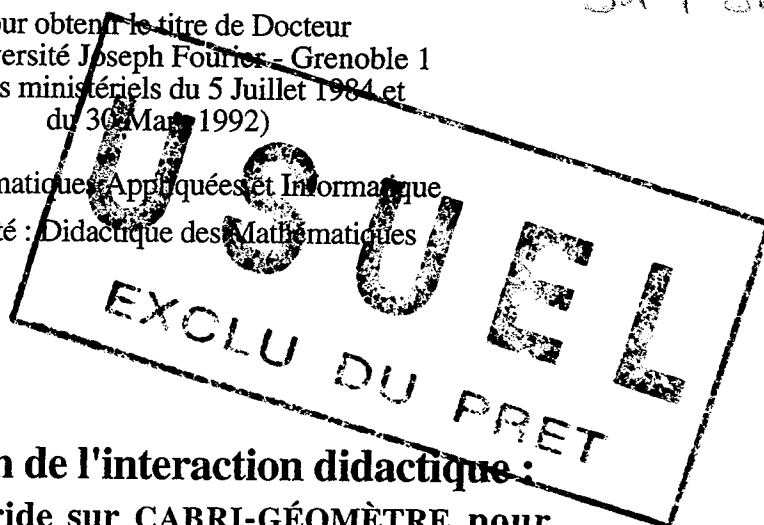
THÈSE

Présentée par

Salima TAHRI (Épouse M'SAAD)

Pour obtenir le titre de Docteur
de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1
(Arrêtés ministériels du 5 Juillet 1984 et
du 30 Mars 1992)

en Mathématiques Appliquées et Informatique
Spécialité : Didactique des Mathématiques



Modélisation de l'interaction didactique :
un tuteur hybride sur CABRI-GÉOMÈTRE pour
l'analyse de décisions didactiques

Soutenue le lundi 25 octobre 1993 devant la commission d'examen :

Président Jean-Marie LABORDE

Directeur de Recherche au CNRS

Examineurs Denise GRENIER

Maître de Conférences à l'UJF

Rosamund SUTHERLAND

Phd; Senior Lecturer Univ. of London

Nicolas BALACHEFF

Directeur de Recherche au CNRS

Bernard CAPPONI

Chercheur à l'UJF

Italo GEORGIUTTI

Professeur à l'Université de Rennes 1

Thèse préparée au sein du Laboratoire de Structures Discrètes et de Didactique de l'IMAG

INSTITUT IMAG
Informatique, Mathématiques Appliquées et de Didactique
CNRS-IMAG-UGA
MATHÉMATIQUES
B.P. 53 X
38041 GRENOBLE CEDEX
FRANCE
Tél. 76.51.46.36

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma gratitude à mon directeur de thèse Nicolas Balacheff, Directeur de Recherche au CNRS (laboratoire LSD2-IMAG), pour la confiance qu'il m'a témoignée, les conseils, le soutien et les encouragements qu'il m'a prodigués tout au long de ce travail. Je lui suis reconnaissante pour tout le temps qu'il m'a consacré. C'est grâce à ces remarques pertinentes que j'ai pu mener cette thèse à son terme.

Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma reconnaissance à Jean Marie Laborde, Directeur de Recherche au CNRS (laboratoire LSD2-IMAG) pour avoir participé à mon encadrement, pour tous les moyens qu'il a mis à ma disposition pour réaliser ce travail et pour avoir accepté de présider ce jury.

Je suis honorée par la participation à ce jury de Madame Rosamund Sutherland, Professeur à l'Université de Londres et Monsieur Italo Georgiutti Professeur à l'Université de Rennes I. Je voudrais leur exprimer toute ma reconnaissance pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'être rapporteurs de cette thèse.

Je remercie vivement Denise Grenier, Maître de conférences à l'Université Joseph Fourier pour les nombreuses discussions que nous avons eues, pour ses encouragements et ses conseils et pour avoir aimablement accepté de participer à ce jury. Je lui suis reconnaissante pour tout le temps qu'elle m'a accordé et pour son aide inconditionnelle.

Je remercie vivement Bernard Capponi, chercheur au LSD2 pour ses conseils, son amitié, son aide exemplaire tout au long de mon travail et pour sa participation au jury de thèse.

Mes vives remerciements vont aussi à Madame Colette Laborde, professeur à l'UJF-M, pour m'avoir accueillie dans le laboratoire et pour la sympathie qu'elle m'a toujours témoignée.

L'amitié et le soutien de Carol Dubois m'ont accompagnée tout au long de ma thèse. Je la remercie vivement, pour avoir participé à la réalisation d'une partie du dispositif expérimental et pour sa participation à l'expérimentation. Ce travail s'est beaucoup enrichi des discussions fructueuses que nous avons eues ensemble.

Qu'il me soit permis de remercier vivement mes amis Bachir Keskesa, Sidi Békaye Sokona et J. L. Dorier qui m'ont soutenue tout au long de ce travail, pour

leur sympathie et leur soutien permanent durant l'expérimentation et la phase finale et difficile qu'est la rédaction.

Le soutien de mon amie Najia a été indéfectible, qu'il me soit permis de lui exprimer ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

L'amitié, les encouragements et l'aide inconditionnelle de mes amis Franck Bellemain, Caroline Dos Santos, Vasilios Dzagdilielis, m'ont accompagnée pendant toute la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma gratitude.

Mes remerciements et ma reconnaissance vont aussi à Philippe Clarou, enseignant à l'UQM pour son amitié, son aide et sa participation à l'expérimentation.

Nathalie Dubos, Jean Claude Meilland, Serge Secconi et ses élèves de 5ème, Sofwan Lasem, Jena Tgaloova, Hamid Chaachoua ont aimablement participé à l'expérimentation qui est à la base de ce travail. Je voudrais les remercier vivement pour le temps, si cher, qu'ils m'ont accordée, pour leur amitié et sympathie.

Je remercie Mireille Dupraz d'avoir eu la gentillesse de me donner de son temps pour lire ma thèse. Mes remerciements vont aussi à Paula Moreira Baltar, Sylvie Tessier, Vanda Luengo, Aytte Benchalal, Jean Francois Bonneville et tous les membres du laboratoire de structures Discrètes et Didactique pour leur amitié et soutien. L'ambiance très amicale et riche du laboratoire a permis la réalisation de ce travail dans les meilleures conditions.

Mes remerciements vont aussi à ma famille, à mon cousin Driss, à tous mes amis, à et à tous ceux qui de près ou de loin ont participé à ma formation.

Enfin je ne pourrais oublier de remercier mon mari qui m'a supportée pendant ces longs mois de travail armé d'amour et de ...patience!

A mon mari et à ma sœur Reia

Table des matières

Préambule.....	5
Chapitre 1	7
Modélisation des processus de décisions didactiques et choix d'un domaine.....	7
I. La modélisation des processus de décisions didactiques.....	7
II. L'état de l'art en EIAO.....	8
II.1. Architecture générale d'un environnement d'apprentissage de type EIAO.....	9
II.2. Des modélisations de décisions didactiques en IA.....	12
II.2.1. DOMINIE.....	12
II.2.2. SOPHIE.....	13
II.2.3. WEST.....	14
II.2.4. DEFI.....	15
II.3. Des modélisations de diagnostic : de Buggy à Repair.....	16
II.3.1. BUGGY : théorie descriptive et énumérative des bugs.....	17
II.3.2. DEBUGGY : système de diagnostic.....	18
II.3.3. IDEBUGGY : une version interactive.....	18
II.3.4. REPAIR.....	19
III. La décision didactique dans le champs des recherches en didactique des mathématiques.....	20
III.1. La décision didactique : un objet à modéliser.....	20
III.2. Deux types de décisions didactiques.....	21
IV. Proposition d'un dispositif.....	22
Chapitre 2	25
Un domaine privilégié pour l'étude des processus de décision didactique : la géométrie.....	25
I. Les recherches en didactique des mathématiques sur la décision didactique dans le domaine de la géométrie.....	25
I.1. Conceptions d'élèves sur la symétrie orthogonale.....	25
I.1.1. Notion de conception.....	25
I.1.2. Conceptions d'élèves sur la symétrie orthogonale.....	26
I.1.3. Des erreurs caractéristiques.....	26
I.2. Modélisations comportementale et épistémique.....	27
I.2.1. Modélisation comportementale.....	29
I.3.2. Modélisation épistémique.....	29
II. La construction de connaissances chez l'élève.....	30
II.1. Le contexte constructiviste de construction des connaissances chez l'élève.....	30
II.2. Le système didactique.....	31
II.2.1. Le système didactique classique.....	31
II.2.2. L'interaction élève/enseignant dans le système didactique et la notion de milieu.....	32
II.3. Des limites de l'interaction élève/enseignant et l'EIAO.....	34
II.4. L'EIAO et la modification du milieu.....	35
II.4.1. Un contexte où l'enseignant est présent et reste accessible pendant l'activité de l'élève.....	35

II.4.2. Un contexte où l'apprentissage de l'élève se déroule de façon isolée, sans la présence de l'enseignant.....	36
---	----

Chapitre 3..... 39

Le dispositif expérimental : conception et réalisation 39

I. Le tuteur hybride.....	39
I.1. Finalité du tuteur hybride.....	39
I.2. Présentation du tuteur hybride.....	39
II. Le choix du domaine.....	42
II.1. Le domaine.....	42
II.2. L'environnement.....	42
II.2.1. Le micromonde Cabri-géomètre.....	43
II.2.2. La validation de construction dans Cabri-géomètre.....	43
II.3. La tâche.....	44
II.3.1. Analyse de la tâche.....	44
II.3.2. Procédure de construction.....	49
A. Procédure de construction globale.....	49
B. Procédure de construction semi-analytique.....	50
C. Procédure de construction analytique.....	50
II.3.3. Procédures correctes de résolution de la tâche.....	51
II.3.4. Description "à la Buggy" des procédures de construction du symétrique du segment.....	54
II.3.4.1 Buggy.....	54
II.3.4.2. Description (à la Buggy) de quelques procédures de construction de symétrique orthogonal d'un segment.....	55
II.3.5. Exemples d'altération au niveau des procédures analytiques.....	56
II.4. Enchaînement des situations.....	60
II.4.1. Variables de la tâche.....	60
II.4.2. L'ensemble des figures.....	61
II.4.3. Classification des procédures.....	64
II.4.4. Classification des conceptions.....	68
II.4.5. Analyse tâche par tâche.....	70
II.4.6. enchaînement des situations.....	72
A. Variable intersection- critère de complexité.....	72
B. Variation de la direction de l'axe.....	73
C. Choix d'une liste de situations en fonction du diagnostic.....	75
III. Réalisation informatique du tuteur Hybride.....	76
III.1. Logiciels utilisés pour la réalisation de la maquette.....	76
III.2. Pile de diagnostic.....	77
III.3. Pile de problèmes suivants (K/Pb).....	88
III.4. Navigation.....	90
III.5. Scénario.....	91
IV. Présentation de la tâche.....	94
IV.1. Consigne de construction.....	94
IV.2. Consigne de validation.....	94
IV.3. Choix de la première situation.....	95
IV.4. Mise en place de l'expérimentation.....	95
IV.4.1. Les élèves.....	95
IV.4.2. Les tuteurs.....	96
IV.4.3. Les observateurs.....	97

IV.4.4. Le logiciel Cabri-géomètre.....	97
IV.4.4.1. Les menus de Cabri	97
Chapitre 4.....	101
Analyse des résultats.....	101
I. Introduction	101
II. Les procédures de construction observées chez les élèves.....	102
II.1. Procédures de construction analytiques.....	102
II.2. Procédures de construction globales	103
III. Evolution des procédures de construction chez les élèves.	104
Evolution des procédures de construction	105
A - Le diagnostic.....	107
I. Les conceptions des élèves sur la notion de symétrie.....	107
I.1. Une conception correcte ou globalement correcte de la symétrie.....	108
I.1.1 Procédures de construction correctes.....	108
I.1.2. Procédures de construction erronées	111
I.2. Les conceptions erronées de la symétrie repérées chez les élèves.....	116
II. La notion de symétrie lue au cours de l'action	120
II.1. L'anticipation de l'action par les tuteurs humains	120
II.2. Le diagnostic d'une action d'élève	121
III. La notion de symétrie au travers des verbalisations et procédures des élèves	124
III.1. Les relevés des procédures.....	125
III.2. Le diagnostic des implicites	152
III.2. 1. Le diagnostic des implicites de la géométrie : les rappels horizontal et vertical.....	152
III.2. 2. Le diagnostic des implicites des objets de Cabri- géomètre	157
III.2. 3. Le fonctionnement du dispositif expérimental	158
III.3. Le diagnostic des blocages	159
IV. L'objectif du tuteur humain	160
B - Les décisions didactiques.....	168
I. Décisions didactiques des tuteurs humains et feedback	168
I.1. La logique des enchaînements des situations proposées par les tuteurs humains	169
I.1.1. L'enchaînement des situations dans les séquences réussies	171
I.1.2. L'enchaînement des situations produites face à l'échec.....	173
I.1.3. L'enchaînement des situations produites dans le dépassement de l'échec	175
I.2. Décisions didactiques relatives à une difficulté identifiée	176
I.2.1. Décisions didactiques et feedback dans les cas de succès	176
I.2.2. Décisions didactiques dans les cas d'échec	179
Décisions didactiques relatives aux problèmes géométriques et Cabri-géométriques.....	180

a. Décisions didactiques relatives aux problèmes Cabri-géométriques.....	182
b. Décisions didactiques relatives aux erreurs géométriques	187
I.3. Gestion des blocages par le tuteur humain	211
I.3.1. Proposition d'une nouvelle activité.....	211
I.3.2. Manipulation directe sur l'écran de l'élève.....	211
Conclusions.....	213
Bibliographie	229
Annexes	233

Préambule

Notre recherche aborde la question de la modélisation de décisions didactiques dans un contexte d'apprentissage en mathématiques dans un environnement informatisé. Nous nous intéressons à deux types de décisions, l'un concerne l'état courant des conceptions de l'élève mis en situation (diagnostic), l'autre porte sur le choix d'une situation suivante dans une séquence didactique ou plus généralement le feedback approprié.

Dans un premier chapitre nous discutons des choix théoriques effectués en vue d'une modélisation des deux types de décisions didactiques envisagés (diagnostic et feedback). Après une étude critique des tuteurs informatiques existants, nous retenons l'idée qu'un dispositif expérimental mettant en collaboration un tuteur artificiel et un tuteur humain peut rendre accessible un corpus exploitable d'observables sur ces deux types de décisions. Nous envisageons alors les idées de base d'un dispositif expérimental que nous proposons.

Cela nous amènera à développer dans un deuxième chapitre une vision globale de l'architecture des connaissances relativement à un domaine que nous privilégions, celui de la géométrie euclidienne plane. Une modélisation à la Buggy nous permettra la réalisation du tuteur artificiel en prenant comme terrain celui de la symétrie orthogonale.

Cela nous permettra d'exposer, dans un troisième chapitre, la conception et la réalisation du dispositif expérimental en mettant à contribution les spécificités du micromonde de géométrie CABRI-géomètre.

Dans un quatrième chapitre, nous analyserons les deux types de décisions (diagnostic et feedback) chez des tuteurs humains ainsi que la position de l'élève relativement à ces deux types de décisions.

Chapitre 1

Modélisation des processus de décisions didactiques et choix d'un domaine

I. La modélisation des processus de décisions didactiques

La prise en compte de la place du maître comme organisateur des apprentissages dans le système didactique a nécessité le dépassement d'une conception naïve de l'organisation des apprentissages dans la classe (Vivet 1991) : la machine (le Tuteur Intelligent) coopère avec le maître et ne tend pas à le remplacer. Les limites relevées au travers des modélisations "intelligentes" des apprentissages a amené à redécouvrir la question du rôle du maître :

Les modèles d'élèves utilisés aujourd'hui sont très (trop!) rustiques et il y a sans doute lieu de palier peut-être par d'autres approches les insuffisances actuelles. Plusieurs idées sont possibles : par exemple, pourquoi ne pas redonner une place au Maître ? (...).

(Vivet 1991, p. 240)

Dans son rôle d'organisateur des apprentissages, le maître se base sur des considérations générales, voire des principes, ou sur des connaissances didactiques (cf. par exemple l'«épistémologie du professeur» et l'effet «Dienes» (Brousseau 1986, p. 56 et suivantes)). Cela contribue à envisager une modélisation des apprentissages qui tienne compte du rôle du maître avec une complexité tout aussi grande qu'auparavant.

La question de la modélisation des processus de décision devient alors centrale dans ce rôle du maître et peut porter sur plus d'un aspect en ce qui concerne l'organisation des apprentissages. Par exemple, la modification d'un élément dans l'organisation des apprentissages peut provoquer en amont une résistance chez le maître voire un rejet par lui de l'ensemble de cette organisation, quand bien même elle serait mise en pratique (Briggs 1986) :

Le plus souvent la recherche sur l'enseignement est rapportée en termes qui sont séparés de la classe vue par le professeur. Ceci amène le professeur à choisir soit d'utiliser «les résultats» de la recherche comme des formules magiques, soit de les rejeter. S'il y a trop de mystère dans la technologie ou s'il y a trop peu de crédibilité dans la recherche, le professeur les rejette - et à juste raison - car elles le privent de son rôle d'éducateur.

(Briggs 1986, p.208)

Deux catégories de décisions restent constamment présentes et revêtent une importance dans ce rôle du maître dans l'organisation et la gestion d'une séquence didactique : les décisions de diagnostic et les décisions d'action. Il existe cependant peu de modèles les concernant et ceux qui sont disponibles portent surtout sur des modèles de dialogue : en informatique (analyse pragmatique portant sur la compréhension et la formulation d'énoncés) et en Intelligence artificielle (dialogue et interaction homme/machine). Chevallier (1992) donne un aperçu général des travaux portant sur les dialogues. Il cite quelques notions sur lesquelles portent ces études en IA, par exemple les actes de langage et intentions, les articulations du discours, la coopération, les implications, pertinence et contexte etc. (Chevallier 1992).

II. L'état de l'art en EIAO

La présentation qui suit n'est pas un panorama détaillé des travaux relatifs aux tuteurs intelligents en EIAO (Environnement d'Apprentissage Interactif avec Ordinateur) , ou de la modélisation de l'apprenant. Nous avons préféré la situer autour des deux notions qui nous intéressent : le diagnostic et les décisions didactiques.

Concernant le diagnostic, nous parlerons de l'évolution de quelques projets par exemple de BUGGY , IDDEBUGGY, et de la théorie REPAIR. Nous nous baserons essentiellement sur le livre d'Etienne Wenger (Wenger 1987) et sur la traduction qu'a fait N. Balacheff de certains chapitres de ce livre.

En ce qui concerne la décision, nous citerons deux paradigmes intéressants qui sont SOPHIE de PROOF Tutor et WEST.

Comme nous sommes amenés à parler des tuteurs intelligents (TI), nous commencerons par donner un aperçu sur l'architecture générale d'un TI et les éléments le composant.

Les recherches dans le domaine des tuteurs intelligents (TI) s'intéressent à :

- créer des programmes génériques d'apprentissage qui réduiront le temps de préparation des programmes;
- permettre aux programmes de répondre à une variété de comportements d'élèves sans avoir à prédire et tenir compte de chacun en particulier;
- et construire des cadres bien définis pour des programmes d'enseignement et d'apprentissage (Clancey 1986).

Cette généralité est atteinte en séparant les trois principaux aspects d'un programme et en les rendant plus explicites :

- la représentation des connaissances (expertise du domaine);
- le modèle de l'apprenant;
- la stratégie d'enseignement (interaction didactique).

II.1. Architecture générale d'un environnement d'apprentissage de type EIAO

La présentation classique de l'architecture d'un environnement d'apprentissage de type EIAO fait apparaître en général 4 composantes (Nicaud 1988): un module pédagogique (ou stratégie d'enseignement ou encore interaction didactique), un module expertise du domaine, un modèle de l'apprenant et une interface.

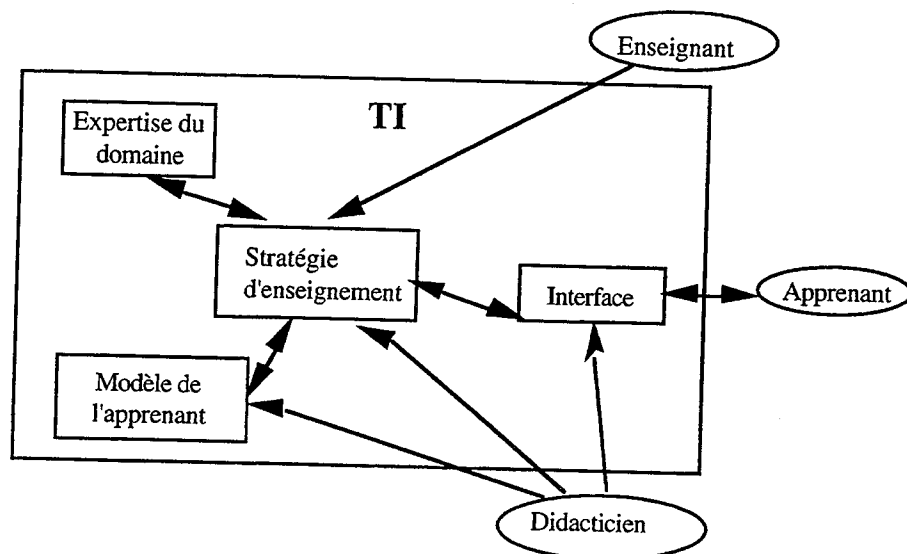


Fig.1, 1

A. Module expertise du domaine

Ce module a une double fonction :

- d'une part, il agit comme source pour la connaissance à présenter, il génère aussi bien des explications, des réponses, que des activités et des questions.

- d'autre part, il sert de référence pour évaluer les performances de l'apprenant. Pour cela il doit être capable par exemple de générer des solutions aux problèmes dans le même contexte que l'élève, de telle façon que leurs réponses puissent être comparées; ou même générer plusieurs chemins de solutions possibles.

B. Modèle de l'apprenant

C'est la partie du système

- qui devrait construire les connaissances de l'apprenant à partir de leur réalisations;

- les utiliser au sein d'une description générale du comportement de l'apprenant;

ce qui permettrait au système de s'adapter à cet individu.

Une des principales directions de recherche en Intelligence Artificielle concerne ce module. De façon idéale, le modèle de l'apprenant devrait inclure tous les aspects du comportement de l'élève et de ses connaissances qui ont une répercussion sur son apprentissage, mais ceci reste très utopique. Un handicap de l'ordinateur est que ses voies de communication sont très restreintes. En effet les données utilisées sont pour l'essentiel celles saisies à l'interface de la machine, par l'intermédiaire du clavier ou de la souris. Un traitement est effectué à partir de ces données et permettra d'avoir des données jugées pertinentes qui serviront pour le calcul des décisions didactiques et pour élaborer un modèle de l'apprenant. En didactique, ce modèle est le résultat d'étude et d'analyse au sein d'un cadre défini. En Informatique par contre, la détermination d'un tel modèle doit s'appuyer sur des modèles symboliques et des procédures de calcul bien déterminées. L'interprétation en temps réel des données saisies à l'interface du système, la difficulté de distinguer entre ce qui relève du "bruit" (par exemple, ce qui n'est pas pertinent pour la tâche concernée, dans le sens où il n'est pas lié à une conception sur la notion) et de l'information pertinente font que la détermination d'un tel modèle soit très difficile.

Le diagnostic

The word *diagnosis* has been used to refer to pedagogical activities aiming at collecting and inferring information about the student or his actions. Because this task often involves the construction of a student model, these activities have also been called student modelling (Wenger 1988, p 367).

Nous adhérons au terme plus général qui concerne l'état courant des conceptions de l'élève mis en situation et de ses actions .

Deux types de traitements paraissent relever du diagnostic :

- un qui ne traite que des observables, au sens des événements saisis à l'interface de la machine, sans prendre en charge les intentions éventuelles de l'élève.
- le diagnostic au sens strict et dont l'objectif est la construction du modèle de l'apprenant en rendant compte, avec une finesse et une représentation, des conceptions de ce dernier.

Nous renvoyons le lecteur au chapitre 2, §I.3 où nous traitons plus en détail la question de diagnostic, au sens de E.Wenger et de N. Balacheff.

C. Stratégie d'enseignement (Interaction didactique ou module pédagogique)

Les décisions didactiques sont prises en référence au modèle de l'apprenant et au modèle de l'Expert. A un niveau global, les décisions affectent l'enchaînement des différents épisodes. A partir du programme inclus dans la représentation de la matière, le module didactique devrait adapter ses représentations du contenu à enseigner, aux besoins de l'apprenant.

Au niveau local, le module détermine le moment d'une intervention, d'une interruption éventuelle momentanée de l'activité l'apprenant, ce qui doit être dit et représenté à tout moment. Ceci inclut conseils, explications et remédiations.

Les décisions didactiques sont prises dans le contexte d'un environnement d'apprentissage qui détermine le degré de contrôle sur l'activité et sur l'interaction possédée respectivement par le tuteur et par l'apprenant. Certaines stratégies interactives d'apprentissage peuvent être mises en oeuvre dans des systèmes tutoriels. Elles s'appuient souvent sur des principes pédagogiques généraux "coaching", "guided discovery learning", "tutoring", etc.

Certains systèmes contrôlent l'activité de l'apprenant très étroitement, adaptant leurs actions aux réponses de l'apprenant sans jamais lâcher le contrôle. Le système ne prend pas en compte les prises d'initiative de l'apprenant, il ne prend en compte que les réponses aux questions posées, c'est ce qui correspond par exemple à une *stratégie autoritaire*. Dans les *stratégies à initiative mixte* : le contrôle est partagé par l'élève et le système selon l'évolution des connaissances de l'apprenant. Il existe d'autres stratégies où le système tutoriel délimite les séquences pendant lesquelles l'apprenant est maître du dialogue qu'il entretient avec le système, c'est le cas des *stratégies d'apprentissage libre*.

Dans la *découverte guidée*, le système répond à toutes les prises d'initiative de l'apprenant et à ses questions. La tâche proposée à l'apprenant est structurée par l'enseignant qui sait en avance la séquence de la découverte que l'élève va faire. L'enseignant fournit un environnement où l'apprentissage peut prendre place et guide l'élève quand il le demande ou quand ce dernier est en difficulté.

The role of the tutor is to provide the pupil with appropriate assistance and guidance- either when the pupil requests it or when the tutor feels it is necessary. To do this, the tutor must reason explicitly about its interaction with the student. In some forms of interaction the tutor will apparently be hitely directive, but this directiveness must be carried out in the context of the goals and motivations of the pupil...

(Elsom-Cook 1991).

La majeure partie de l'action du système tutoriel est d'évaluer l'état courant des connaissances de l'apprenant et de lui proposer une tâche à explorer qui est au delà de l'état courant de la connaissance de l'apprenant mais qui ne s'en éloigne pas jusqu'à le mettre en difficulté pour la réaliser.

II.2. Des modélisations de décisions didactiques en IA.

Nous donnons en exemple quatre paradigmes intéressants, du point de vue de l'interaction des tuteurs car ils ont des stratégies d'intervention explicites. Ce sont DOMINIE, SOPHIE, WEST et DEFI.

II.2.1. DOMINIE

DOMINIE (Elsom-Cook 1991) est un système tutoriel. Il est destiné à l'enseignement de l'utilisation de toute application informatique qui peut être vue comme une tâche procédurale dans laquelle un but majeur peut être divisé en des sous buts réalisables sur l'ordinateur. Il comprend 8 styles ou stratégies d'apprentissage

différentes. Un objectif majeur qui était derrière ce système est d'essayer de représenter explicitement un nombre différent de stratégies d'apprentissage.

In order to support the idea of guided Discovery, a tutoring system must have a range of teaching strategies available to it, and must be able to choose between those strategies on a reasoned bases...(ibid.)

Nous citons par exemple trois stratégies d'apprentissage que comprend DOMINIE :

- la stratégie de découverte guidée que nous avons présentée d'une façon succincte plus haut;

- L'apprentissage cognitif : cette technique d'apprentissage est basée sur l'idée que les compétences cognitives peuvent être apprises de la même façon dont les métiers peuvent être appris, à l'aide d'un expert en ces métiers. L'apprenti commence par regarder l'expert en action et lui pose des questions. Avec le temps, l'expert permet à l'apprenti de réaliser des sous tâches de la tâche complète; ces petites sous tâches peuvent augmenter en taille jusqu'à ce que l'apprenti soit capable de réaliser la tâche complète. Cette technique est supposée opérer au delà du niveau de l'acquisition des compétences manuelles. La résolution de problèmes, le raisonnement, les autres processus cognitifs sont soumis à cette approche.

- Les raffinements successifs : Le principe de base qui est derrière cette approche est que, un bon enseignant devrait être capable d'expliquer un sujet qui comporte différents degrés de détails. Il doit fournir une interaction à un niveau significatif pour l'élève, à un état courant de sa connaissance. En particulier, un domaine qui contient un grand nombre de détails devrait être enseigné, initialement à un niveau très général, donnant une histoire cohérente mais en omettant toutes les ramifications du domaine.

II.2.2. SOPHIE

Nous citons ici le développement du projet SOPHIE (SOPHIE I, SOPHIE II, SOPHIE III)

SOPHIE (SOPHisticated Instructional Environment) (Brown et al, 1973, 1976). Le domaine concerné par ce tuteur est la recherche de panne dans un circuit électronique. Plusieurs représentations des connaissances sont disponibles (simulation, procédurale, déclarative).

SOPHIE I: les inférences sont basées sur la simulations (Brown et al, 1973). Une simulation numérique permet de gérer une interaction avec l'apprenant, à la recherche de la panne. Ce dernier fait des hypothèses sur des valeurs des composants du circuit ou propose des mesures. Le système est interactif mais pas tutoriel (dans le sens où il n'y a pas de guidage a priori). Les problèmes envisagés dans SOPHIE I sont les suivants :

- répondre à une conjecture,
- évaluer la consistance d'une hypothèse relativement à des mesures effectuées ,
- produire des hypothèses cohérentes avec les mesures effectuées par l'apprenant;
- évaluer la pertinence, la redondance... d'une nouvelle mesure demandée par l'apprenant.

Mais ce modèle présente des limites dont les principales sont : l'impossibilité de réaliser une analyse causale, et la sensibilité aux choix de modélisation effectués. Ceci a amené les concepteurs à ajouter un expert à SOPHIE I, ce qui a conduit au modèle SOPHIE II.

SOPHIE II : (Brown et al, 1976) l'expert rajouté ici raisonne qualitativement mais les explications qu'il donne sont prédéterminées et attachées à l'arbre de décision qui sous tend son fonctionnement. Mais la rigidité de l'arbre de décision ne permet pas de suivre l'apprenant dans ses propres stratégies.

SOPHIE III (Brown et al, 1982). Un environnement dédié aux interactions avec l'apprenant est réalisé en priorité. Construction dynamique d'un modèle causal à partir d'une description structurelle, et de l'étude locale des interactions entre ses composants qui permette l'explication. SOPHIE III est "immédiat feed back" dans lequel le tuteur suit la résolution de l'apprenant et essaye en quelque sorte de le canaliser avec une prise en charge d'un certain nombre d'erreurs ("student tracing").

II.2.3. WEST

WEST (Burton et Brown, 1979). Le cadre de WEST est un cadre de jeu.

... Game environment are chosen merely for their conceptual simplicity and intrinsic motivational value...

(Wenger, 1987, p124)

Ce tuteur est un prototype de "coach" qui fournit une assistance discrète quand l'élève est impliqué dans un apprentissage guidé. Dans ce cas, lorsque l'élève fait des erreurs le système lui propose des stratégies un peu adaptées . Il y a une façon assez sophistiquée de décider si le système va réagir, ou reporter la réaction à plus tard, quel

sera le but de la réaction, s'il va montrer à l'élève comment il joue, indiquer si les stratégies sont bonnes ou pas bonnes etc.

II.2.4. DEFI

DEFI (Démonstration et Exploration de la Figure Interactives) réalisé par Giorgiutti (1991) est un tuteur conçu sur le principe de la découverte guidée (guided discovery learning). L'un des objectifs à la base de ce logiciel est d'aider l'élève dans son travail pour l'exploration de figures géométriques et la recherche de démonstration de théorèmes dans le domaine de la géométrie. Les choix didactiques qui ont été faits pour l'élaboration de ce logiciel sont entre autres :

- mettre les élèves en situation de résolution de problèmes; et intégrer dans cette résolution de problèmes un travail de nature heuristique sur la figure;
- réagir en temps réel aux erreurs de type logique;
- faire réfléchir l'élève sur sa propre activité.

"Une des caractéristiques de DEFI est d'avoir remplacé la tâche habituelle de la démonstration par de nombreuses tâches élémentaires qui doivent être accessibles à la majorité des élèves d'un cursus donné et dont le rôle est d'agir au niveau des représentations des élèves. Ces tâches élémentaires doivent avoir un sens et rester des vrais problèmes pour les élèves et surtout toujours être reliées entre elles et ne pas devenir des sous problèmes totalement coupés (pour l'élève) du problème initial" (Almouloud 1993).

La stratégie didactique adoptée par les auteurs s'organise autour deux modules : le module Exploration de la figure et le module Démonstration.

Le module Exploration de la figure a pour objectif de faire prendre conscience aux élèves du rôle et du statut de la figure dans la résolution au moyen d'un raisonnement s'appuyant sur la figure. Ce module se présente comme une suite de dialogues suscitant des activités amenant l'élève à percevoir la figure comme elle doit l'être par un mathématicien : le statut de la figure s'écartant dès lors de plus en plus de celui d'un dessin (même géométrie) (ibid.).

Dans le module de démonstration le travail porte surtout sur du texte. Ce module est conçu avec l'objectif de forcer les élèves, par les divers choix (Conclusion, théorème, hypothèse) à fournir une analyse de plus en plus approfondie des données du problème et des textes et théorèmes à l'aide des propriétés données.

A la fin d'un pas de démonstration, dans le cas où il y a invalidité de l'articulation Conclusion-théorème-hypothèse par le logiciel, ce dernier envoie un message d'erreur. L'élève pourra ensuite consulter un bilan qui lui donne l'état de sa résolution et lui permet entre autre un retour sur sa construction, de faire le point sur ses conjectures. Le rôle du bilan dans DEFI est très important, il est lié d'une part au contrat didactique et d'autre part à la réflexion de l'élève sur sa propre activité et au déclenchement de certaines procédures et vise à habituer l'élève à associer aux propriétés qu'il considère d'autres statuts que le vrai ou le faux. Au cours de la démonstration l'élève pourra aussi consulter un fichier "état de la démonstration" qui lui indiquera l'état d'avancement de la démonstration.

Le logiciel est conçu à partir d'une modélisation de l'élève mais celle-ci n'est pas implantée; "cela signifie que le traitement des élèves est statique car il n'y a aucun diagnostic mettant en oeuvre une typologie des élèves" (Luengo 1993).

II.3. Des modélisations de diagnostic : de BUGGY à REPAIR

E. Wenger (1987) dans le chapitre "Bugs in procedural skills : the 'Buggy Repair Step' story", rapporte l'évolution du projet BUGGY. Nous nous baserons essentiellement sur ce chapitre pour donner un aperçu de quelques tuteurs en rapport avec la question que nous nous posons.

Le projet BUGGY rentre dans le cadre des recherches sur les modèles génératifs d'erreurs de l'apprenant. Les concepteurs de ces modèles se fixent pour objectif de générer une description globale du comportement de l'apprenant. Pour cela, ils essaient de partir d'une description formelle du domaine des connaissances. Le modèle de l'apprenant opère sur la représentation des connaissances pour produire des perturbations qui à leur tour produisent des erreurs. Ces perturbations sont ensuite appliquées au problème en question. Si elles produisent la même réponse erronée que celle de l'apprenant alors la perturbation créée est attribuée à l'apprenant. Ayant identifié la cause exacte de la réponse erronée comme une lacune dans leurs connaissances, l'enseignement peut alors être adapté à ce problème particulier.

Les axes de recherche dans cette direction s'orientent vers

- la découverte des sources des conceptions erronées dans l'apprentissage,
- voir si elles peuvent être décrites comme des perturbations programmables de la représentation des connaissances.

II.3.1. BUGGY : théorie descriptive et énumérative des bugs

Le développement de ce projet, associé à l'arithmétique puis plus spécifiquement à la soustraction, a commencé par l'analyse des protocoles d'élèves résolvant des problèmes nécessitant des manipulations algébriques. Les études d'élèves faisant de l'algèbre a conduit à développer un schéma de représentation particulier pour des compétences procédurales de manière à représenter indépendamment chaque composante de la compétence pouvant être méconnue. Ce schéma devait supporter un projet de *modèle diagnostic*, c'est à dire des modèles de la compétence courante de l'élève devant refléter la composition exacte des sous compétences correctes et erronées. L'idée de modèle diagnostic suppose que dans les problèmes qui nécessitent des compétences procédurales, les erreurs sont dues à l'exécution correcte de procédures incorrectes et non à l'incapacité de produire des procédures correctes. Ceci a amené Brown (Brown et al 1977) à définir un *réseau procédural* pour représenter des modèles diagnostic. Un réseau procédural pour une compétence, est une décomposition de cette compétence en sous procédures reliées entre elles dans un treillis de sous buts.

Un schéma de modèle diagnostic basé sur un réseau procédural contient toutes les sous compétences nécessaires pour la compétence globale ainsi que les variantes erronées possibles (ou bugs) de chaque compétence. Le comportement erroné de l'élève peut être obtenu par simple remplacement d'une sous-compétence individuelle (ou altération) dans le réseau procédural, par un de ces bugs. Si un tel réseau erroné obtient les mêmes réponses que l'élève sur un ensemble suffisant de problèmes alors les bugs qui ont remplacé les éléments corrects dans le réseau sont attribués à l'élève. Une information précise sur la nature des bugs est donc très utile pour les besoins et buts pédagogiques.

Deux limites importante des théories énumératives des bugs:

- d'une part la capacité de modélisation du réseau repose sur une décomposition propre de la compétence à un niveau granulaire où chacun des bugs peut être isolé comme variante d'une procédure séparée. Ce qui exigera en général une analyse assez profonde à la fois du domaine et des performances réelles.

- d'autre part le réseau procédural de BUGGY est capable d'isoler les bugs dans la procédure de l'élève, mais il ne peut les expliquer. Dans le langage de représentation de réseaux procéduraux, toute sous procédure erronée est seulement reliée à une correcte

en raison de l'exécution du même sous but, c'est à dire d'un appel dans les mêmes circonstances. Le langage ne permet pas d'expliquer comment a été engendré un bug.

Pour compléter BUGGY par un système de diagnostic, deux versions ont été développées : DEBUGGY qui analyse les tests des élèves en différé et IDEBUGGY qui diagnostique la procédure de l'élève progressivement en lui donnant de nouveaux problèmes à résoudre

II.3.2. DEBUGGY : système de diagnostic

Pour construire le modèle sous forme de réseau procédural individualisé, la méthode la plus naturelle est de générer puis tester : chaque bug remplace une sous procédure du modèle correcte, on teste jusqu'à ce qu'on trouve un bug avec lequel le modèle reproduise toutes les réponses de l'élève sur l'ensemble des problèmes rencontrés. Mais la complexité de la situation vient du fait qu'on doive considérer des faits composés dans lesquels des bugs primitifs se combinent pour se manifester d'une façon qui peut être non triviale. Mais essayer toutes les combinaisons générera un grand espace de recherche pour une étude exhaustive. DEBUGGY (Burton 1982) a été réalisé pour rendre cette recherche exécutable informatiquement. Il suppose que les bugs simples qui réagissent sous forme de bugs multiples peuvent être détectés individuellement. Sous cette hypothèse, la méthode générer puis tester est d'abord utilisée pour construire un espace initial d'hypothèses. Cet espace sera réduit par élimination de certains chevauchements. Les bugs de cet espace initial sont ensuite combinés. DEBUGGY limite la composition en supprimant quelques incompatibilités spécifiques aux bugs et en éliminant les combinaisons équivalentes. cette version fonctionnant en différé et exigeant toutes les données à la fois elle ne peut être utilisée pour un tutorat. C'est ce qui a motivé le projet IDEBUGGY (Burton 1982).

II.3.3. IDEBUGGY : une version interactive

Le système IDEBUGGY peut générer intelligemment de nouveaux problèmes en cours de diagnostic ce qui permet de prévoir ces problèmes afin de discriminer les hypothèses en compétition. A chaque bug primitif est associé un générateur heuristique de problèmes. Un problème généré est résolu de manière interne pour chaque modèle. Si des réponses différentes sont produites, les problèmes permettent de discriminer les compétiteurs, ils sont alors soumis à l'élève. Le système a des mesures pour limiter l'espace de recherche, par exemple ne garder actif qu'un nombre d'hypothèses, ordonner les bugs du commun au rare etc.

II.3.4. REPAIR

La théorie REPAIR est proposée par John Seely Brown et Kurt Van Lehn (1980). Cette théorie suppose que, en résolvant une tâche de soustraction, les élèves utilisent bien une procédure incomplète.

Dans le modèle REPAIR, la formation des bugs est décrite comme le résultat d'"actions intentionnelles complexes reflétant des croyances erronées sur la compétence". Les élèves, devant une "impasse", c'est à dire lorsqu'ils sont bloqués par une situation que leur connaissance courante ne permet pas de traiter deviennent inventifs et essayent des réparations (ou bricolage), qui leur permettront de continuer malgré l'impasse. Ils peuvent procéder par exemple comme suit :

étant donné la soustraction

$$790-268;$$

les élèves essayent de soustraire 8 à 0; sachant qu'ils ne peuvent décrémenter 0 mais ne maîtrisant pas la règle d'"empreint"; ils inventent une règle qui dit qu'"on peut ignorer le zéro" ;

$$\text{donc } 0-8=8;$$

et ainsi obtiennent le résultat erroné :

$$790-268= 538$$

L'existence du mécanisme impasse-reparation est utilisée pour justifier la manipulation interne et logique de la représentation des connaissances pour produire des réponses qui reflètent celles de l'apprenant.

Comme cela diagnostique la nature exacte de l'erreur de l'apprenant, le tuteur peut alors centrer son enseignement sur les besoins particuliers de l'apprenant. Dans l'exemple qui précède, cela concernera les connaissances liées à l'apprentissage de la règle d'emprunt faisant défaut.

Une hypothèse sous-jacente à l'existence de tels modèles est que : l'apprenant possède un ensemble de procédures incomplètes et inadéquates qui, avec les règles telles que le mécanisme impasse-reparation produit des erreurs caractéristiques.

Cependant Elsom-Cook (1990) rapporte que, dans une critique de la théorie REPAIR, Sara Henessey évoque les faiblesses conceptuelle et méthodologique de la théorie qui mettent en question sa valeur explicative. De plus le point important d'ordre

pédagogique qu'elle souligne n'est pas l'absence de la règle d'emprunt mais la présence du mécanisme Impasse-Reparation.

Elsom-Cook se pose par ailleurs la question de savoir jusqu'à quel point il est utile de générer un modèle étudiant à partir des connaissances expertes. Il souligne que le point important pour y arriver est d'être capable d'identifier la nature du problème d'apprentissage de l'apprenant afin qu'il puisse être remédié avec succès. Mais cette identification doit être plus approfondie que l'identification des erreurs superficielles. Dans le but de fournir une remédiation pleine de signification elle doit s'adresser à la source d'erreurs.

III. La décision didactique dans le champs des recherches en didactique des mathématiques

III.1. La décision didactique : un objet à modéliser

La modélisation de décisions didactiques en mathématiques est un des aspects importants dans la modélisation, plus générale, du système didactique. Les recherches sur les interactions entre un enseignant et un élève à propos d'un savoir mis en jeu ont déjà mis en évidence l'importance du rôle des décisions de l'enseignant et des représentations qui les sous-tendent (Laborde C. 1990, p. 360). L'enseignant prend des décisions et fait des choix qui ne sont pas sans conséquence sur l'apprentissage des élèves en mathématiques. Arsac et al. (1992) soulignent plus particulièrement deux aspects en ce qui concerne les origines des décisions prises par le maître en situation de classe : les problèmes de gestion du temps et de responsabilité épistémologique. Ces auteurs montrent par ailleurs qu'au niveau cognitif ces aspects peuvent provoquer chez l'enseignant une gestion sélective des productions d'élèves alors même que celui-ci n'en partage pas les idées.

Brousseau (1990) retient l'idée qu'une part importante de l'enseignement apparaît comme une réorganisation d'un milieu favorable aux adaptations a-didactiques et soulève la question difficile des conditions d'une dévolution didactique à réaliser pour provoquer une entrée de l'élève dans un tel contrat. La question des processus de décision didactique fait alors émerger celle des conditions pour lesquelles un milieu peut être déterminant dans la construction et le développement des connaissances de l'apprenant.

Dans une perspective de modélisation, Brousseau (ibid.) exprime comme observables et interprétables les décisions didactiques relativement à une théorie de référence : la théorie des jeux.

Une décision du joueur peut être interprétée par un observateur :

- comme le résultat d'une stratégie anciennement choisie : soit qu'elle ait été apprise spontanément, soit qu'elle ait été enseignée au joueur.
- ou comme une improvisation nouvelle, soit au hasard, soit résultant d'une réflexion et/ou d'une information extérieure contemporaines de la décision.

(Brousseau 1990, p. 314)

Cet auteur retient par ailleurs que l'introduction d'un environnement informatisé influe sur la nature de la modélisation :

La nature des modèles que nécessite le point de vue informatique va exiger de clarifier la nature des environnements et en particulier le type d'intentions, le type de décisions à modéliser.

(Brousseau 1991-1992, p. 101)

Et la question du contrat est alors posée comme essentielle (Guin 1991) :

Il serait souhaitable que la modélisation de l'interaction didactique entre enseignant et élève et tuteur prenne en compte la diversité des *contrats didactiques* qui correspond à une réalité de l'enseignement. Ce qui conduirait dans l'environnement d'apprentissage à un *choix* possible de stratégies pédagogiques (comme dans l'utilitaire "accès guidé" de [Coste ibidem] depuis la stratégie libre (environnement de découverte) à des stratégies complètement guidées.

(en italique dans le texte) (Guin 1991, pp.257-258)

Nous abordons dès maintenant la question des types de décisions qui nous intéressent dans ce qui suit.

III.2. Deux types de décisions didactiques

Nous considérons avec Brousseau (1986) une séquence didactique comme une suite organisée de situations dont certaines sont des situations-problèmes susceptibles de faire évoluer les conceptions d'un élève mis en situation. Cette organisation des situations appelle deux types de décisions qui participent de façon essentielle du fonctionnement de la séquence didactique : le diagnostic et le feedback. Les décisions relevant du diagnostic portent sur l'état courant du système de connaissances que l'on peut identifier chez l'élève à propos du savoir en jeu. Ces décisions portent sur les *conceptions de l'élève* et réfèrent à un "modèle de l'apprenant". Quant aux décisions relatives au feedback, elles peuvent porter sur une action au sein d'une situation-

problème donnée comme elles peuvent mettre en jeu le choix de la succession d'une situation-problème à une autre lors du fonctionnement d'une séquence didactique.

Les recherches entreprises laissent penser que de telles décisions restent difficilement modélisables dans le cadre d'un tuteur informatique. En effet le développement d'environnements informatiques permettant un pilotage de l'apprentissage rencontre le problème de l'absence de modèle explicite et opérationnel en didactique et en informatique pour le choix et le séquençement de situations prises parmi un ensemble assez grand de situations possibles (Nature des observables accessibles à l'interface du système, difficulté d'analyse a priori (passage du corpus papier crayon au corpus machine). Le problème peut être résumé comme étant celui de la prise de décision à la suite de chaque situation sur l'état des connaissances de l'apprenant (diagnostic) puis sur la situation la plus adéquate à la poursuite du processus.

Le dispositif expérimental réalisé vise à constituer un tel corpus et analyser les problèmes d'interprétation des observables liés à la prise en compte de l'apprenant et la prise de décision.

Nous nous proposons donc d'aborder dans notre recherche l'étude de ces deux catégories de décisions que sont les décisions de diagnostic et les décisions d'action, dans une séquence didactique.

IV. Proposition d'un dispositif

Nous avons élaboré un dispositif expérimental dans lequel l'élève interagit avec une machine qu'il croit autonome alors qu'elle est pilotée en partie par deux enseignants invisibles à ses yeux (principe du magicien d'Oz) L'étude porte sur les processus de décision verbalisés par ces deux enseignants alors qu'ils doivent trouver un accord à la fois sur le diagnostic et sur le choix de la situation successeur.

L'activité de l'élève est une activité de résolution de problèmes dans le cadre du micromonde de géométrie Cabri-géomètre, le domaine concerné est celui des premiers apprentissages de la symétrie orthogonale. Le corpus étudié est constitué d'une part des informations recueillies à l'interface du système informatique, d'autre part, des dialogues des enseignants et ceux des élèves.

Nous ferons une description plus détaillée du dispositif expérimental et nous présenterons le domaine choisi, dans le chapitre 3.

Chapitre 2

Un domaine privilégié pour l'étude des processus de décision didactique : la géométrie

I. Les recherches en didactique des mathématiques sur la décision didactique dans le domaine de la géométrie

Les recherches en didactiques des mathématiques ont peu abordé la modélisation de décisions didactiques dans le domaine de la géométrie (Laborde C. 1990, p. 360). Parmi les notions mathématiques ayant fait l'objet de recherches dans le domaine de la géométrie, la symétrie orthogonale constitue a priori un terrain privilégié pour l'étude des décisions didactiques que nous envisageons. En effet, les travaux de Grenier (1988) sur cette notion ont permis de dégager dans un environnement de type papier-crayon, d'une part des conceptions d'élèves sur la symétrie orthogonale, et d'autre part, des conditions d'évolution de ces conceptions. D'autres travaux ont permis aussi d'envisager l'apprentissage de cette notion de symétrie dans un environnement informatisé, CABRI-géomètre (Bellemain & Capponi 1991, Bellemain 1992).

Nous situons notre problématique de la modélisation de la décision didactique dans un cadre d'interaction entre un apprenant et un dispositif artificiel (une machine) à propos d'un savoir en jeu, la symétrie orthogonale. Ce choix nous amène à nous intéresser à une modélisation comportementale à partir d'un ensemble d'événements relatifs à la symétrie orthogonale descriptibles au moyen des commandes du dispositif artificiel. Cela pose alors la question du diagnostic à partir d'une reconstruction du processus de résolution d'un problème ou la caractérisation de l'état cognitif de l'élève. Cela relève alors d'une modélisation épistémique au sens de Balacheff (1991).

I.1. Conceptions d'élèves sur la symétrie orthogonale

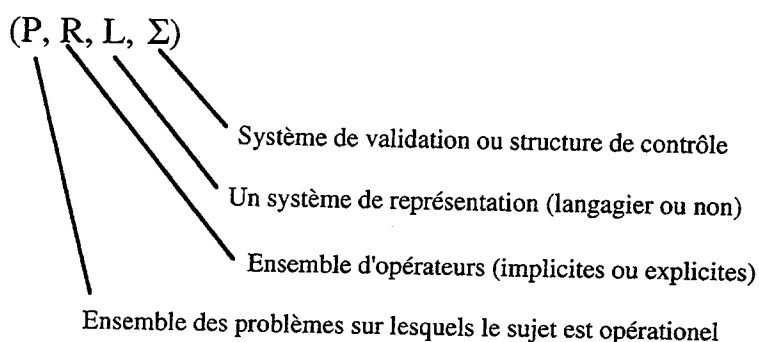
I.1.1. Notion de conception

La connaissance chez un sujet prend plusieurs aspects. Un individu peut avoir plusieurs façons de concevoir et de mettre en oeuvre une opération donnée.

Vergnaud (1984) propose de caractériser une conception par trois ensembles très liés : l'ensemble des problèmes sur lesquels le sujet est opérationnel, les invariants opératoires (outils de résolution mis en oeuvre), les signifiants (moyens de représentation utilisés). Balacheff rajoute les moyens de contrôle et de validation que l'élève mobilise pour décider de la légitimité des actions engagées.

Une conception au sens de Ballacheff est donc :

un quadruplet :



Le regroupement des problèmes en un ensemble P pour caractériser une conception est le résultat d'une analyse en référence à une connaissance donnée: il s'agit d'une modélisation du chercheur.

I.1.2. Conceptions d'élèves sur la symétrie orthogonale

L'ensemble des événements que nous retenons peut, a priori, être généré à partir des conceptions attribuées à l'élève par des recherches antérieures sur la symétrie orthogonale (cf. ci-dessus). Plus particulièrement, les propriétés d'invariance des points de l'axe et la conservation des alignements par la symétrie font partie des connaissances des élèves et sont susceptibles de provoquer des productions qu'il faudra rendre descriptibles dans le dispositif artificiel à envisager. De même que l'isométrie qui apparaît sous la forme suivante : " le symétrique d'une figure est une figure "égale" située de l'autre côté de l'axe, à même "distance" de l'axe que la figure objet." (Grenier 1988, p. 398). Cela s'accompagne d'une conception de l'axe de symétrie qui en fait "une droite des milieux" : l'axe de symétrie partage la figure en deux parties égales. Cela rejoint l'idée très répandue chez les élèves que la symétrie est une action d'un demi plan sur l'autre qui est à relier avec la notion de symétrie-pliage ou symétrie-miroir (Ibid.).

Mais ces caractéristiques de la symétrie orthogonale comportent des implicites qui induisent la majorité des erreurs des élèves dans la reconnaissance d'axes de symétrie dans une figure ou lors de la construction de figures symétriques.

I.1.3. Des erreurs caractéristiques

Des erreurs caractéristiques sont attribuées par Grenier aux significations induites par les élèves sur la conservation de la distance à l'axe de symétrie. Deux règles mises en actes par les élèves permettent d'expliquer la plupart des erreurs (Ibid.) :

- la conservation de la distance se rapporte à la figure globale et non à chacun de ses points.
- la conservation de la distance le long d'une direction qui n'est pas forcément perpendiculaire à l'axe de symétrie.

Cela met en évidence l'importance de l'interaction entre deux manières d'envisager une figure dans une symétrie, l'une globale et l'autre analytique.

I.2. Modélisations comportementale et épistémique

Les recherches en IA, devant la difficulté de modélisation des connaissances de l'élève, s'intéressent et formulent des questions à propos du diagnostic. Wenger distingue trois niveaux de diagnostic : le niveau comportemental, le niveau épistémique et le niveau individuel.

Le niveau comportemental : le diagnostic comportemental traite le comportement de l'élève et donc les actions constitutives du processus de résolution de problème, sans essayer de percevoir l'état de connaissance impliqué dans les résultats ce comportement. A ce niveau il n'y a donc pas d'interprétation de ce comportement. Wenger distingue ici entre le comportement observable qui concerne les actions externes comme taper une réponse à la machine, et le comportement inobservable qui est purement un processus mental interne ou au moins ce que l'ordinateur ne peut pas observer.

Le niveau épistémique : le diagnostic épistémique, traite de l'état de connaissance de l'élève, incluant les aspects de son modèle du domaine et ses connaissances stratégiques. On s'intéresse donc ici à l'interprétation du comportement de l'élève donc à la nature de ses conceptions et en particulier à la nature des erreurs, pour construire le modèle de l'élève.

Le niveau individuel : ce diagnostic traite de toutes les autres choses. Wenger cite des aspects de ce niveau, nous en rapportons ici quelques uns.

- Stéréotypique : les traits personnels et les préférences individuelles peuvent être estimables dans la sélection des thèmes et des styles de présentation¹.

¹ Wenger cite par exemple le système produit par Elaine Rich appelé GRUNDY fournissant de l'aide à un conseiller libraire. Il essaye de construire des profils personnels de gens afin de leur recommander des livres dont ils apprécieraient probablement la lecture. Il utilise un langage d'attributs pour décrire les

Circonstanciel: il peut être utile de comprendre l'influence de l'environnement sur les signaux que le système reçoit de l'élève. Ceci inclue quelques événements spéciaux qui distraient l'élève ou modifient ses performances comme par exemple une intervention de l'enseignant ou une aide d'un élève.

- **Intentionnel :** ceci couvre le point de vue de l'élève, non pas en rapport avec la matière en question, mais en rapport avec la signification de l'interaction tutorielle. Wenger (ibid) cite des expériences avec le système WEST qui fournissent une anecdote intéressante. Quelques élèves ont tellement aimé les interventions du système (coach) qu'ils ont abandonné le but de gagner le jeu et ont essayé à la place d'amener le tuteur à parler aussi souvent que possible.

Nous nous intéresserons comme Balacheff (1992) aux deux types de diagnostic : comportemental et épistémique. Balacheff distingue d'une part l'univers des observables et de modélisation externe et d'autre part l'univers des observables et de modélisation interne du système. C'est ce qu'il représente dans le schéma ci dessous :

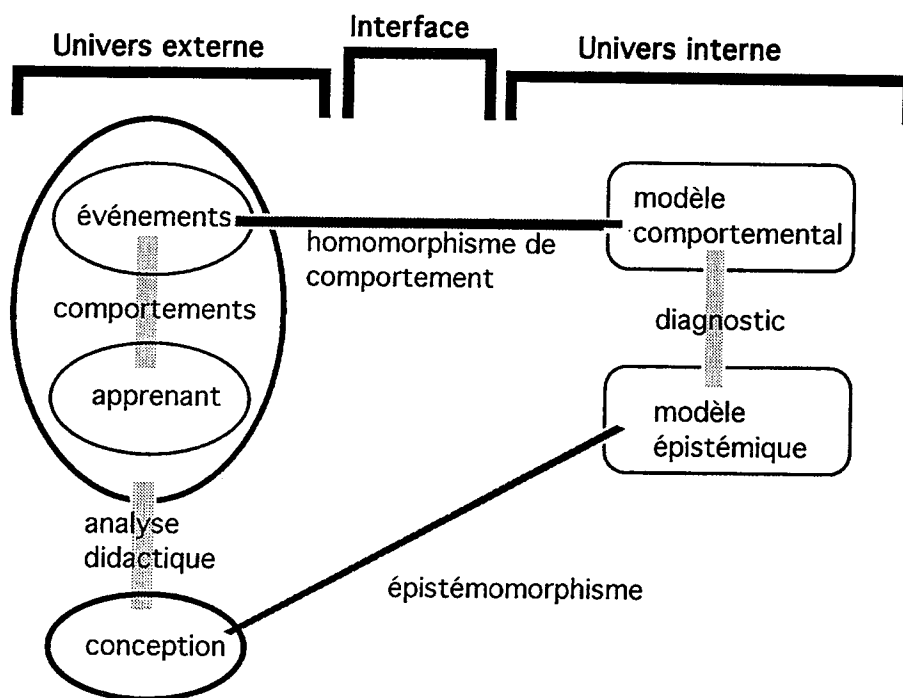


Fig.2, 1

goûts des lecteurs, leur bagages intellectuels, leurs statuts d'enseignement, et autres caractéristiques pertinentes pour un conseiller libraire.

Pour Balacheff (ibid) l'univers externe au système "offre à l'analyse une réalité qui n'est pas directement organisée en observables. Les observables sont le résultat d'un découpage et d'une organisation du "réel" sous un contrôle théorique et méthodologique dont la pertinence est déterminée par la problématique de l'observateur () ainsi le travail du didacticien comprend la constitution d'un corpus d'observables parmi lesquels ceux appelés "comportements" de l'apprenant, à partir duquel est construit un modèle des connaissances de l'apprenant " que l'auteur appelle "conception".

Pour le même auteur "l'univers interne offre à l'analyse une réalité constituée de l'ensemble des événements, au sens informatique, saisis à l'interface du système.

Balacheff distingue deux types de modélisation : une modélisation comportementale et une modélisation épistémique.

I.2.1. Modélisation comportementale

Le modèle comportemental est obtenu à partir de l'ensemble des événements (actions déclenchés par l'élève à l'interface du système et identifiable sous la forme de signaux au sens physique) soit

- en ignorant des événements non pertinents en regard avec la problématique posée,
- en remplaçant certaines séquences d'événements par des "descripteurs de plus haut niveau déterminé par le langage de commande du système ".

Ce traitement permet d'obtenir une description des observables qui doit permettre "de rejouer la session de l'apprenant de façon fidèle au regard de la problématique dans laquelle on se place"(ibid). Cette transformation est appelée "homomorphisme de comportement".

I.3.2. Modélisation épistémique

Le modèle épistémique est obtenu à partir d'un traitement du modèle comportemental (diagnostic), c'est à dire, une reconstruction à partir des observables du processus de résolution de problème, ou la caractérisation de l'état des connaissances de l'élève. "La relation qu'entretient le modèle épistémique avec le modèle (conception) élaboré par le didacticien constitue un épistémomorphisme si elle permet de mettre en évidence que le modèle épistémique rend compte des propriétés structurelles et conceptuelles décrites par le modèle de conception attribué à l'élève " (ibid). Nous présentons dans l'annexe du chapitre 2 une solution d'un élève représentant l'image du

segment et le modèle comportemental correspondant (cf. Chapitre 2, exemple de modèle comportemental).

Cette approche qui fait référence à l'agencement de ces deux modélisations, comportementale et épistémique, aura à gérer leurs descriptions en temps réel par un opérateur humain (le maître). C'est dans la gestion de ces descriptions par un opérateur humain qu'une explicitation des processus de décision didactique peut être rendue observable.

Cela pose la question de la construction des connaissances chez l'élève ainsi que celle du milieu dans lequel est mis l'élève. Nous abordons cela dans ce qui suit.

II. La construction de connaissances chez l'élève

II.1. Le contexte constructiviste de construction des connaissances chez l'élève

Un point de vue largement adopté en didactique des mathématiques sur la construction de connaissances est lié au modèle constructiviste d'acquisition des connaissances issu des théories de Piaget. La dimension sociale est retenue par ailleurs comme intervenant de manière essentielle dans cette construction des connaissances. Les recherches en didactique (cf. par exemple : Brousseau 1986, Brousseau 1990, Vergnaud 1990, Chevallard 1989) ont mis en avant les principes suivants :

- c'est essentiellement par son activité que l'élève élabore de nouvelles connaissances.
- les problèmes sont la source et le critère du savoir.
- les connaissances peuvent être caractérisées par des situations qui en préservent le sens et c'est lorsque l'élève sait les faire fonctionner dans ces situations qu'il les aura acquises.
- l'élève n'est pas vide de connaissances. Il est au contraire riche d'une connaissance dont la sollicitation par l'environnement d'apprentissage conduit à la remise en question et à l'évolution.

Un concept ne peut être réduit à sa définition, du moins si l'on s'intéresse à son apprentissage et à son enseignement. C'est à travers des situations et des problèmes à résoudre qu'un concept acquiert du sens pour l'enfant.

(Vergnaud 1990, p135)

L'élève en situation élabore des conceptions liées aux contenus d'enseignement. Plusieurs représentations d'une même notion mathématique peuvent cohabiter chez l'élève. L'élève peut utiliser l'une ou l'autre de ces représentations selon le problème qui lui est posé. Ces conceptions peuvent être incomplètes, erronées ou localement ou globalement correctes. Une conception peut fonctionner pour un type de problèmes et ne plus fonctionner pour un autre type de problèmes.

L'élève est ainsi vu, comme un constructeur actif de connaissances.

Les recherches en didactique vont donc dans le sens de l'organisation de l'apprentissage, par la mise en place de situations privilégiant l'activité de l'élève et susceptibles de faire évoluer ses conceptions, autrement dit permettre un passage à des conceptions différentes.

L'enseignant a ainsi pour rôle, la gestion et l'organisation de telles situations :

L'enseignant n'a pas pour mission d'obtenir des élèves qu'ils apprennent, mais bien de faire en sorte qu'ils puissent apprendre. Il a pour tâche, non la prise en charge de l'apprentissage- ce qui demeure hors de son pouvoir- mais la prise en charge de la création des conditions de possibilité de l'apprentissage.

(Chevallard 1986, p.).

II.2. Le système didactique

II.2.1. Le système didactique classique

Les situations classiques d'enseignement peuvent être représentées comme un système s'articulant autour de trois pôles principaux : un Savoir mathématique particulier, un Enseignant et un Élève avec ses propres conceptions et son propre système de compréhension.

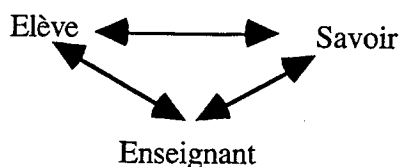


Fig.2, 2

L'enseignant entretient une relation privilégiée au savoir alors que la relation de l'élève au savoir est presque inexistante ou inadéquate. Il y a dissymétrie entre ces deux

rapports au savoir. Margolinas (1989) décrit cette dissymétrie comme un état didactique initial.

La distinction entre l'enseignant et l'élève réside dans le fait que l'enseignant est "supposé savoir", mais aussi qu'il est "supposé capable d'anticiper" sur les apprentissages éventuels de l'élève. Le système didactique a une caractéristique particulière, celle d'avoir pour finalité de disparaître : si l'enseignant accomplit sa mission, il doit pouvoir se retirer et l'élève doit pouvoir maintenir une relation au savoir indépendante de la présence de l'enseignant.

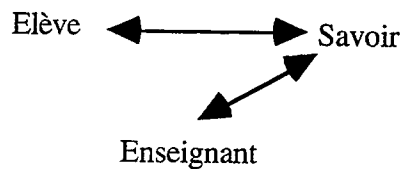


Fig.2, 3

II.2.2. L'interaction élève/enseignant dans le système didactique et la notion de milieu.

Un schéma classique de l'enseignement est celui de la communication entre l'élève et l'enseignant. Le savoir est l'objet explicite de cette interaction.

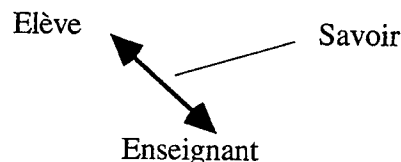


Fig.2, 4

L'interaction didactique a pour objectif que l'élève s'approprie et acquiert des connaissances et compétences particulières. L'enseignant est à la fois l'organisateur des apprentissages à l'intérieur de la classe et le médiateur entre la classe et son extérieur. Le terme apprentissage désignant communément un processus adaptatif par lequel un individu élabore les moyens d'une réponse adéquate à certaines situations dans un environnement donné.

Mais la nature sociale de cette interaction peut conduire à des dysfonctionnements affectant la signification de la connaissance construite. L'élève cherchant à satisfaire l'enseignant peut construire une connaissance qui ne sera pas opératoire dans les situations auxquelles elle est destinée.

La dimension sociale de l'interaction avec le maître et sa dissymétrie peut conduire à privilégier la valeur d'échange de la connaissance au détriment de sa valeur d'usage.

(Lave 89).

Pour dépasser les difficultés créées par l'interaction directe entre l'élève et l'enseignant, les recherches en didactique s'intéressent à l'étude de dispositifs d'enseignement qui permettraient à l'élève un certain apprentissage en interaction avec un milieu spécifique.

C'est dans cette problématique de l'apprentissage que Brousseau (1986 & 1990) a développé le concept de situations ou séquences didactiques : un jeu dans lequel l'enseignant négocie avec les élèves des situations spécifiques permettant une interaction avec un milieu, qui lui permettrait de construire une partie de la connaissance en question. La construction de la connaissance est ainsi vue comme un résultat d'un processus d'interaction entre l'élève et le milieu.

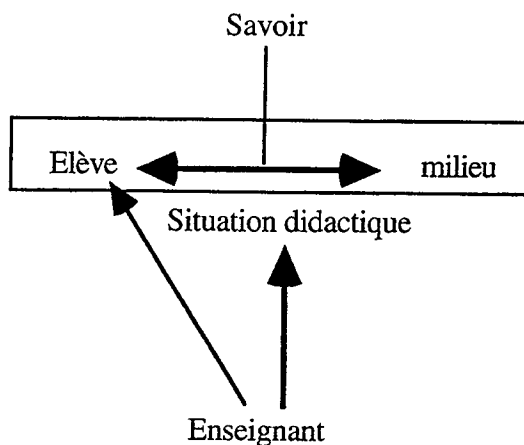
L'élève apprend en s'adaptant à un milieu qui est facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres, un peu comme le fait la société humaine. Ce savoir, fruit de l'adaptation de l'élève, se manifeste par des réponses nouvelles qui sont la preuve d'apprentissage.

(Brousseau 1986).

Le milieu organisé par le maître est porteur d'une intention didactique éventuellement repérable par l'élève qui peut s'opposer à la réalisation du projet d'enseignement. Par exemple, si l'élève parvient à "lire" dans la situation les attentes du maître et à répondre en conséquence, sa réponse n'est alors pas "la preuve" de l'apprentissage espéré. L'organisation et la gestion des situations d'apprentissage est donc un problème délicat car elles déterminent la signification que les apprenants se forgeront de la connaissance en jeu.

(Balacheff 1991)

Le schéma suivant illustre cette interaction de l'élève avec un milieu :



Le savoir est le résultat des interactions entre l'élève et un milieu spécifique organisé par l'enseignant dans le cadre d'une situation didactique (Schéma repris de Balacheff, 1992)

Fig.2, 5

Dans ce système l'élève doit résoudre une situation problématique en rapport avec un certain savoir. L'enseignant a un rôle essentiel dans l'organisation des interactions des élèves avec les outils d'apprentissage en fournissant et négociant un contexte qui leur permet de donner un sens à ces interactions. L'enseignant a ainsi un rôle de gestionnaire et d'organisateur du milieu pour l'élève. Il choisit les situations, évalue les procédures et diagnostique les connaissances de l'élève et institutionnalise des nouvelles connaissances.

II.3. Des limites de l'interaction élève/enseignant et l'EIAO

Dans une situation didactique, tout acte de l'enseignant est donc susceptible de prendre une signification par rapport à l'activité de l'élève et de devenir le générateur de perturbations de l'apprentissage. On pourrait penser que tout au long d'une phase de communication impliquant l'enseignant, l'élève cherche à rencontrer les exigences et les critères émis par celui-ci. Ses commentaires positifs ou même l'absence d'une évaluation négative sont des indices pour l'élève qu'il est dans la bonne direction. L'élève se demande ce qui est le mieux, le pire le plus efficace, le plus approprié dans une stratégie suivant le point de vue du maître. Il cherchera à faire coïncider sa position à celle de l'enseignant, donc produire ce que celui-ci attend de lui. Grâce au processus d'évaluation et aux réactions à l'évaluation "dirigiste, insinuante" de l'enseignant, l'élève finit par produire les comportements les plus appropriés aux attentes de l'enseignant.

Les concepteurs et réalisateurs de logiciels EIAO se demandaient si la substitution de l'enseignant par l'ordinateur n'allait pas permettre d'éliminer ces effets perturbateurs et ce en utilisant un système informatique permettant une interaction indépendante de l'enseignant et qui aurait les caractéristiques d'une situation a-didactique (Brousseau 1986). Les arguments avancés par les défenseurs de cette hypothèse sont que l'élève sera plus autonome, et en relation plus étroite avec la connaissance à acquérir.

Nous allons introduire dans la suite différents contextes d'utilisation de logiciels EIAO, avec ou sans la présence de l'enseignant.

II.4. L'EIAO et la modification du milieu

L'introduction des logiciels EIAO amène un changement notable dans le système didactique notamment dans le rôle de l'enseignant. Le logiciel peut être utilisé dans différents contextes d'apprentissage que nous abordons maintenant.

II.4.1. Un contexte où l'enseignant est présent et reste accessible pendant l'activité de l'élève.

L'ordinateur, apparaît comme étant :

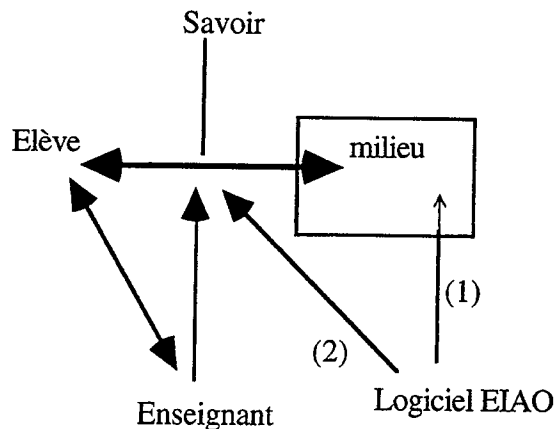
(1) un élément du milieu, dans le sens où il est le lieu de la résolution par l'élève d'un problème donné.

(2) il participe, en collaboration avec l'enseignant :

- à l'organisation et à la gestion du milieu en proposant un enchaînement de situations à l'élève. L'enchaînement des situations doit permettre une évolution de la conception de l'élève vers une conception souhaitée et de renforcer cette conception. On espère donc faire évoluer les procédures et conceptions de l'élève grâce aux rétroactions du milieu dans lequel il va être placé. Et ce en lui permettant de mettre en oeuvre d'anciennes connaissances et en favorisant la construction de nouvelles connaissances, celles pertinentes pour l'apprentissage (c'est à dire celles dont l'apprentissage est visé).

- à l'évaluation des activités de l'élève. L'ordinateur participe à l'évaluation de l'activité de l'élève. En fonction des résultats de cette évaluation, il lui propose de revenir sur sa tâche ou de passer à une autre tâche sélectionnée dans une succession de situations pertinentes pour la situation en cours.

- à l'institutionnalisation de nouvelles connaissances. L'ordinateur peut intervenir dans l'institutionnalisation de nouvelles connaissances mises en oeuvre par l'élève lors de la résolution d'un problème donné.



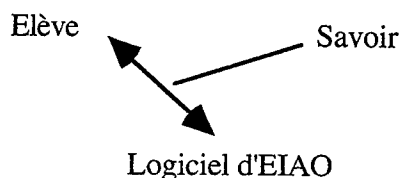
L'ordinateur est élément du milieu. Il participe en plus de l'enseignant à l'organisation et à la gestion des interactions avec ce dernier.
Le savoir est le résultat de cette interaction

Fig.2, 6

Mais comme nous l'avons noté plus haut, on pourrait penser que la simple présence de l'enseignant peut apparaître comme une perturbation possible du processus d'apprentissage et que le mettant à l'écart, il serait possible d'éviter ces perturbations. On en arrive donc à envisager un contexte où l'apprentissage est indépendant de l'enseignant.

II.4.2. Un contexte où l'apprentissage de l'élève se déroule de façon isolée, sans la présence de l'enseignant.

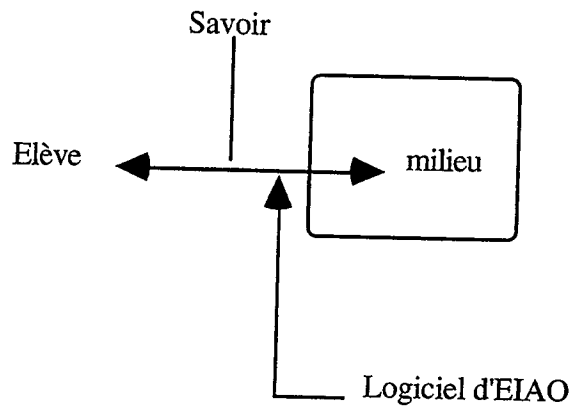
Balacheff (1992) représente la relation didactique, avec le logiciel d'apprentissage comme élément, comme suit :



Le savoir est l'objet explicite de l'interaction entre l'élève et le logiciel d'apprentissage

Fig.2, 7

Ce schéma devient (ibid), en considérant le milieu fourni par le logiciel et avec lequel l'élève va interagir pour construire la connaissance visée :



Le logiciel d'apprentissage fournit à l'élève un milieu
et organise les interactions de l'élève avec ce dernier.
Le savoir est le résultat de cette interaction.

Fig.2, 8

Les logiciels d'EIAO peuvent être utilisés dans de tels contextes. Dans de tels environnements, l'évaluation faite par le logiciel est isolée de l'enseignant.

Nous allons présenter dans le chapitre qui suit le dispositif expérimental. Il correspond à une situation qui ne rentre dans aucun des contextes évoqués. Il s'agit d'une situation où l'enseignant est présent (il interagit avec les élèves chaque fois que "la machine est mise en défaut" mais sa présence est ignorée par eux). Nous ferons une description plus détaillée du dispositif expérimental et nous présenterons le domaine choisi, la tâche et son analyse a priori .

Chapitre 3

Le dispositif expérimental : conception et réalisation

I. Le tuteur hybride

I.1. Finalité du tuteur hybride

Nous avons construit un dispositif expérimental mettant en collaboration deux tuteurs humains et un tuteur artificiel (tuteur hybride). Deux enseignants en interaction auront à jouer le rôle des tuteurs humains. Ce qui leur permettra d'explicitier et de confronter leurs critères de choix et de décision et donc pour nous de récupérer une information sur ces processus. Le dispositif devrait donc permettre l'étude des processus de décision verbalisés par ces deux enseignants alors qu'ils doivent trouver un accord à la fois sur le diagnostic et sur le choix de la situation successeur lors de la résolution de problèmes.

Une interaction entre les agents tuteurs (humains et artificiel) va donc s'engager en vue d'une décision. Les décisions sont pour partie prises de façon automatique par le tuteur artificiel, pour partie par les tuteurs humains. Elles sont prises par le tuteur humain dans toutes les circonstances où il juge que le modèle d'interaction mis en oeuvre est mis en défaut.

Le corpus étudié est constitué d'une part des informations recueillies à l'interface du système informatique, d'autre part, des dialogues des enseignants et ceux des élèves.

Le domaine concerné est celui des premiers apprentissages de la symétrie orthogonale, dans le cadre du micromonde de géométrie Cabri-géomètre.

I.2. Présentation du tuteur hybride

Le dispositif expérimental que nous avons mis en place est le suivant :

Deux postes de travail, un pour l'"Elève" et un pour le "Maître" sont connectés et distants. L'élève interagit avec la machine Élève qu'il croit autonome alors qu'elle est pilotée par deux enseignants invisibles à ses yeux (principe du magicien d'Oz).

Sur le poste Élève sont disponibles Cabri-géomètre et une fenêtre d'interaction où l'élève reçoit les messages qui permettent de le guider.

Sur le poste Maître, l'Enseignant dispose d'une image en temps réel de l'écran de l'élève lui permettant d'observer les comportements de ce dernier à l'interface de Cabri-géomètre. Il dispose également d'une fenêtre de communication avec le tuteur artificiel (TA), le guidant d'une part dans un diagnostic de l'activité de l'élève et d'autre part dans la prise de décision pour la conduite de la session.

Une interaction entre les deux agents tuteurs va s'engager en vue d'une décision. Le TH doit saisir les données sur lesquelles le TA doit s'appuyer pour faire son diagnostic et évaluer la construction de l'élève. Le TA envoie ensuite le résultat de l'évaluation à l'élève. Il renvoie ensuite la nature de la procédure (correcte ou erronée) au TH et lui propose un ensemble d'activités qui seraient les successeurs possibles, c'est à dire les situations jugées pertinentes pour l'activité en cours. Le TH décide alors de ce qu'il choisit comme situation suivante.

Deux enseignants en interaction auront à jouer le rôle du tuteur humain. Ce qui leur permettra d'explicitier et de confronter leurs critères de choix et de décision et donc pour nous de récupérer une information sur ces processus.

Sur le poste Élève, deux élèves travailleront par binômes. Ils auront à résoudre ensemble le problème proposé. Une telle situation leur permettra de confronter leurs démarches et leurs procédures de résolution de problèmes et d'explicitier leurs prises de décision.

Outre les informations à l'écran, le Tuteur Humain entend les échanges verbaux des élèves, qui, de leur côté, sont filmés et enregistrés mais lui ne les voit pas. L'étude sans cet accès au discours des élèves serait intéressante, voire très importante.

Pour réaliser notre étude nous nous mettons donc dans une situation où l'enseignant et le logiciel EIAO sont en interaction avec l'élève, la présence de l'enseignant étant comme nous l'avons souligné ignorée par l'élève.

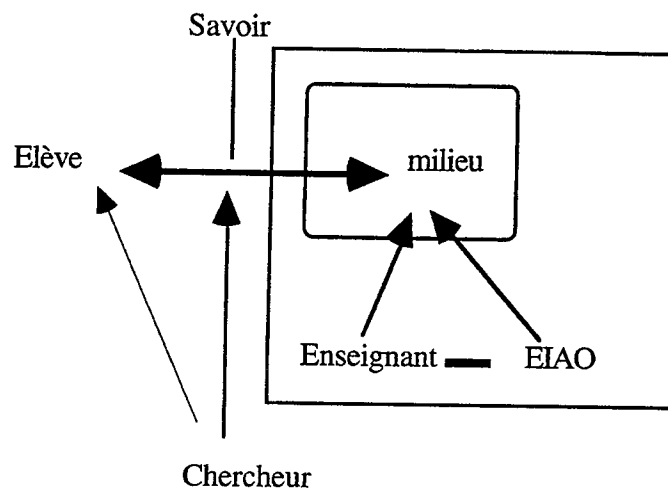
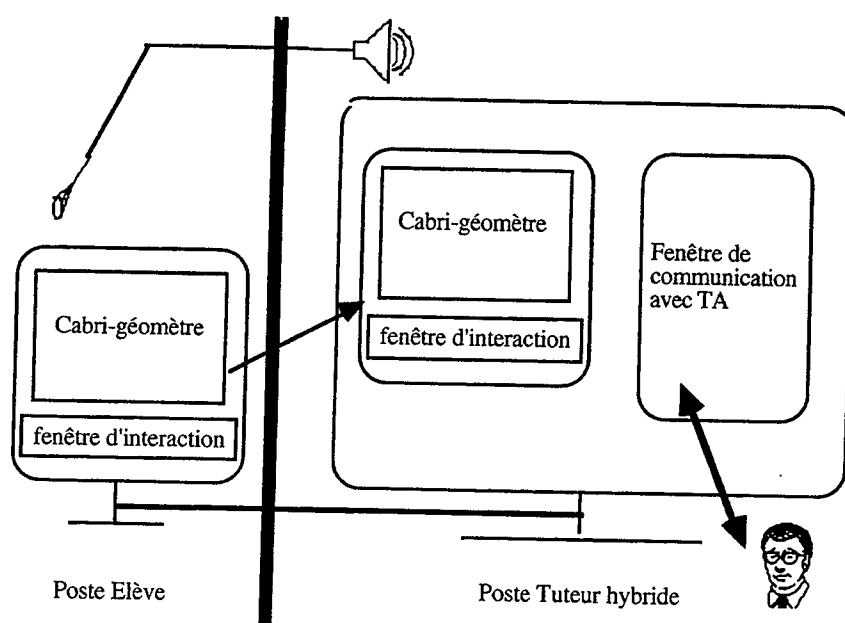


Fig.3, 1

Le savoir est le résultat de l'interaction de l'élève avec un milieu organisé par l'ordinateur et l'enseignant.

L'ordinateur joue ici le même rôle que dans le premier contexte défini dans (cf. Chap.2. § II.4.1.). Le logiciel d'apprentissage fournit à l'élève un milieu et organise les interactions de l'élève avec ce dernier. Le savoir est le résultat de cette interaction. Là où il le logiciel ne peut pas prendre de décisions, l'enseignant intervient. Ce dernier prend des décisions qui seront l'objet de notre étude et analyse.

Le rôle du chercheur est de constituer un corpus d'observables, parmi lesquels "les comportements" de l'élève, qui servira à construire un modèle de connaissances de l'élève appelé conception.



Les élèves interagissent avec une machine qu'ils croient autonome
alors qu'elle est pilotée par les enseignants.
Ces derniers entendent les échanges verbaux des élèves mais ne les voient pas.

Schéma du dispositif expérimental

Fig.3, 2

II. Le choix du domaine

II.1. Le domaine

Nous avons choisi de travailler dans le domaine de la géométrie euclidienne plane, celle enseignée dans les lycées et collèges, qui présente l'intérêt d'offrir une interaction entre l'espace physique, domaine de représentations graphiques et de constructions, et un modèle formel accompagné de règles de déduction. Les activités proposées à l'élève sont autour de la notion de symétrie orthogonale. Nous avons énoncé plus loin les motivations pour un tel choix.

II.2. L'environnement

L'élève a pour tâche la résolution de problèmes de géométrie plus précisément la construction du symétrique orthogonal d'un segment, dans le micromonde Cabri-géomètre.

II.2.1. Le micromonde Cabri-géomètre

Cabri-géomètre est un environnement d'apprentissage informatisé de type micromonde intelligent. Il permet avec une interface de type manipulation directe et des opérateurs exprimés dans un langage de haut niveau, de construire et de déformer en respectant les contraintes initiales, des configurations géométriques de la géométrie euclidienne plane.

Les figures que traite Cabri-géomètre font essentiellement intervenir des points, droites ou cercles ainsi que les objets ou les notions qui leur sont habituellement associés : segments, triangles, orthogonalité, parallélisme, symétrie axiale...

L'élève peut utiliser les outils que ce logiciel met à sa disposition comme aides à la résolution de problèmes : il peut les utiliser pour explorer les propriétés ou les cas de figures qu'envisagent ou que passent sous silence les énoncés qui lui sont proposés.

L'enseignant, de son côté, a la possibilité de préciser les situations didactiques qu'il désire mettre en oeuvre puisque le logiciel lui permet par exemple d'ajouter ou de supprimer certaines fonctionnalités de construction ou de tracé : on peut ainsi supprimer (au début de l'enseignement géométrique du premier cycle par exemple) la possibilité de tracer immédiatement la médiatrice d'un bipoint ou la bissectrice ou une autre notion à enseigner. Lors d'une expérimentation sur la symétrie, on peut par exemple supprimer la possibilité de tracer le symétrique pour étudier les procédures de constructions investies par l'élève dans une recherche de symétrie d'une figure donnée.

La particularité originale du logiciel est d'offrir à tout moment la possibilité de modifier dynamiquement une figure, en temps réel, tout en conservant les propriétés géométriques explicitées entre les éléments de cette dernière.

Ceci permet de multiplier très rapidement les cas de figures, d'envisager ou au contraire d'éliminer certains cas particuliers, de visualiser les propriétés communes à un ensemble de figures (mise en évidence d'invariants géométriques).

II.2.2. La validation de construction dans Cabri-géomètre.

Une figure valide, au sens de Cabri-géomètre, est une figure dans laquelle les propriétés géométriques se conservent dans la modification de la figure par déplacement. Cela nécessite :

- l'explicitation des propriétés en action

Lors de l'utilisation de Cabri-géomètre pour construire une figure, l'apprenant doit choisir dans les menus toutes les relations nécessaires, y compris celles qu'il fait habituellement d'une façon implicite et spontanée. Il ne pourra par exemple pas utiliser

un point d'intersection de deux droites tracées, sans en avoir explicité la construction. Il doit aussi expliciter l'appartenance d'un point à une droite...

- la distinction entre ce qui relève de coïncidences perceptives et ce qui relève des propriétés géométriques

Dans des tâches de construction de figures géométriques, notamment sur la symétrie, il a été souvent remarqué que les élèves tracent certains éléments au jugé sans mettre en oeuvre de propriétés géométriques. Ces procédures au jugé sont disqualifiées par Cabri-géomètre dans la mesure où une construction obtenue au jugé et respectant perceptivement à l'écran les propriétés demandées ne les remplit plus dès lors qu'on déforme la figure.

Dans des cas où les figures sont construites au jugé sans explicitation des propriétés géométriques, ou dans le cas où il n'y a pas eu d'explicitation des propriétés en action (au sens où nous l'entendons), nous dirons que les procédures ne sont pas valides.

II.3. La tâche

Nous proposons des activités qui concernent la construction du symétrique d'un segment par rapport à une droite à des élèves de 5ème (11-13 ans). Ces activités sont dans un enchaînement de situations réalisé en référence aux connaissances et procédures particulières à chacune de ces situations. Ce qui devrait permettre une évolution de l'état de connaissances de l'élève sur la notion de symétrie, d'une conception initiale (éventuellement erronée ou incomplète) vers la conception désirée.

II.3.1. Analyse de la tâche

La tâche que nous proposons aux élèves consiste en la construction de l'image d'un segment par une symétrie orthogonale. Pour ce faire, on dispose d'un ensemble d'objets qui sont : un *segment* dont on cherche l'image et une droite comme *axe de symétrie*.

Observons la figure suivante obtenue en construisant le symétrique S' d'un segment S par rapport à un axe (a) :

Lorsqu'on est amené à expliquer (ou de rendre compte) qu'il y a une symétrie orthogonale exprimée dans cette figure sans mobiliser d'outils géométriques, on fait recours au pliage de la feuille de papier sur laquelle la figure est dessinée. On plie la feuille de papier suivant la droite (a) et on constate alors que les segments S et S' se superposent exactement (point par point). De l'observation de la figure, on dégage un système de relations (caractéristique à la symétrie orthogonale) liant les trois objets (segment initial, axe et segment image) composant la figure.

Résumé (1):

Système de relation :

- pliage suivant (a);
- superposition de S et S'.

Chapitre 3

Résumé (2) :

Triplet : $((A, B), a, (A', B'))$ où (A, B) est représentant de S , (A', B') celui de S' et (a) l'axe;

Système de relation : - pliage suivant (a) ;
 - superposition de A et A' et de B et B' .

Ainsi de la figure 1, on arrive à la figure suivante :

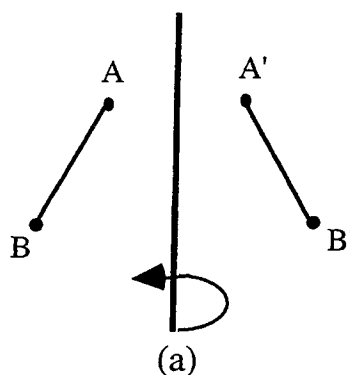


Fig.3, 4

Lorsqu'on cherche à exprimer la symétrie orthogonale dans la même figure en utilisant des outils géométriques, on est amené à interpréter géométriquement le système de relation donné par le couple (*pliage*, *superposition*). L'outil géométrique qui servira à cette interprétation est l'*équidistance* des deux points objets et image à l'axe. Et le résumé suivant s'en suit :

Résumé (3) :

Triplet : $((A, B), a, (A', B'))$ où (A, B) est représentant de S , (A', B') celui de S' et (a) l'axe;

Système de relation : $d(A, (a))=d(A', (a))$ et $d(B, (a))=d(B', (a))$

De la notion de l'*équidistance* on pourrait passer à celle de la *médiatrice* pour exprimer la symétrie de la figure. Autrement dit, l'axe (a) représente la médiatrice commune des segments $[A, a']$ et $[B, B']$. Cela revient à dire que la droite est perpendiculaire à l'axe et que le cercle c centré à l'intersection de (AA') et l'axe contient

les points A et A' (A et A' forment le diamètre du cercle perpendiculaire à l'axe). Cela est aussi valable pour les points B et B'.

Ainsi lorsqu'un segment $[A, B]$ et une droite (a) sont donnés, pour construire l'image $[A', B']$ de $[A, B]$ par la symétrie orthogonale d'axe (a) , on pourra se référer au principe suivant :

Résumé (4) :

Triplet : $((A, B), a, (A', B'))$ où (A, B) est représentant de S, (A', B') celui de S' et (a) l'axe;

Système de relation : $(AA') \perp (a)$ et $A' \in c(I, A)$ avec $I = (AA') \cap (a)$

et $(BB') \perp (a)$ et $B \in c(I, B)$ avec $I = (BB') \cap (a)$

Ce principe qui exprime la symétrie orthogonale en explicitant les outils nécessaires à la construction de l'image repose sur deux notions : l'orthogonalité de droites et le report de distances à l'aide du compas.

On pourra schématiser la démarche qui permet d'aller de la notion de symétrie orthogonale aux outils géométriques permettant de construire l'image d'un segment de la façon suivante :

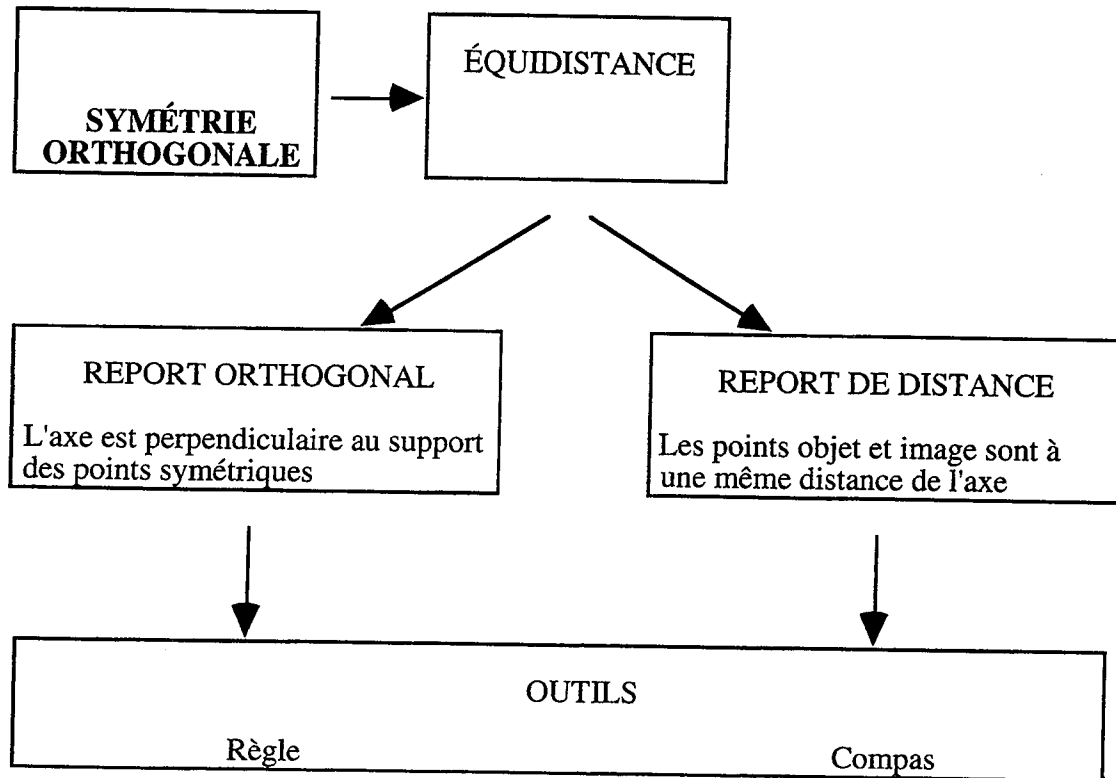


Fig.3, 5

L'analyse que nous venons d'effectuer rend compte d'une certaine genèse, d'un mouvement du pragmatique-global à l'analytique-mathématique. Dans un premier temps, on fait recours à la reproduction du segment par pliage ou à sa réflexion dans un miroir. Ensuite on passe de ces objets (culturels) à une transformation du segment par symétrie orthogonale (objet mathématique) en se donnant des outils mathématiques qui servent à caractériser la relation qui lie l'ensemble des objets unis dans cette transformation.

La symétrie apparaît dans le programme scolaire (1986) comme une "transformation de figure plane" mettant en relation deux configurations géométriques ou deux parties d'une même configuration. Le programme met l'accent sur les manipulations, les constructions et les propriétés se dégageant de ces constructions. L'analyse précédente rend compte d'une certaine démarche qui est une pratique d'enseignement proposée comme une genèse de la notion de symétrie en classe de sixième. En effet, cette démarche consiste à partir d'une manipulation de figure séparée par un axe en deux parties superposables pour dégager les propriétés mathématiques caractérisant la symétrie orthogonale. L'enseignement s'appuyant ainsi sur un objet

culturel (le pliage ou le miroir) cherche à amener les élèves à dégager un ensemble de relations géométriques liant les objets d'une figure symétrique.

En ce qui concerne l'environnement Cabri-géomètre, les deux outils droite (pour le tracé de perpendiculaire) et cercle (pour le report de distance) vont jouer un rôle important dans la construction de l'image du segment. Les élèves, pour résoudre la tâche proposée (construction du symétrique d'un segment), pourraient se la représenter comme une tâche de pliage et chercher à repérer la position du segment image. Mais face à la rigidité de l'écran, rendant impossible l'action de pliage, les élèves vont être amenés à expliciter, entre les objets de la figure (y compris le segment image), un système de relations leur permettant d'interpréter l'objet culturel dans le domaine de la géométrie.

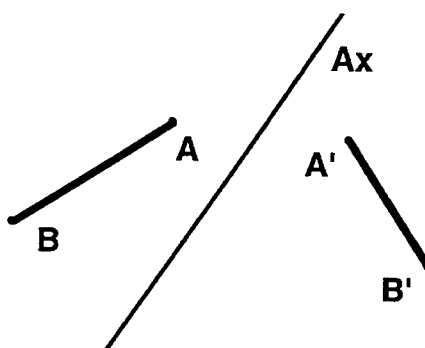
La construction de cette image, selon que les outils (droite et cercle) sont investis ou pas, pourrait se ramener à l'un des trois types de procédures de construction suivants : globale, semi globale ou analytique.

II.3.2. Procédure de construction

Nous présentons dans ce qui suit les trois types de constructions cités ci dessus :

A. Procédure de construction globale

On dit que la procédure de construction de l'image du segment est globale si cette image ne fait pas intervenir d'autres objets que le segment produit. Une telle procédure est non valide (Fig.3, 6).

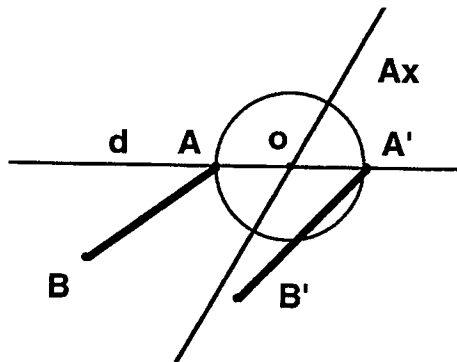


L'élève trace au jugé l'image du segment [AB].

Fig.3, 6

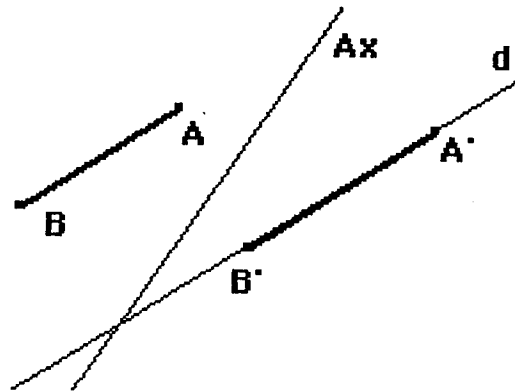
B. Procédure de construction semi-analytique

On dit que la procédure de construction de l'image du segment est semi analytique, ou semi globale si seule une extrémité image est construite. Le segment image est ensuite construit "au jugé" en s'appuyant sur cette extrémité (cf. figures ci-dessous). Une telle procédure est non valide.



L'élève construit l'image de A comme intersection d'une droite horizontale et du cercle et trace le segment $[A'B']$ le point B étant perceptiblement dans une direction parallèle à l'axe.

Fig.3, 7

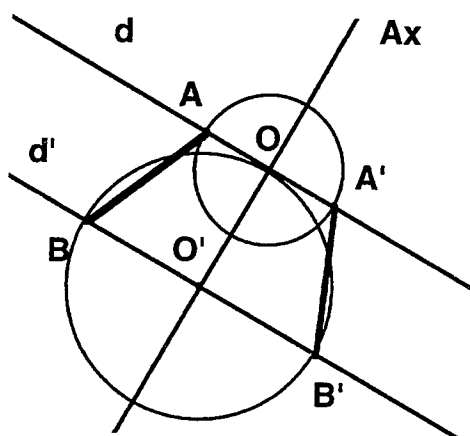


L'élève place au hasard l'image de A, puis trace la droite (d) parallèle au segment puis trace le segment $[A'B']$ en choisissant B sur (d). Le choix d'une "distance horizontale" de A' à l'axe, différente de celle de A à l'axe, vient d'une anticipation de la position du segment image ($[A'B'] \parallel [AB]$).

Fig.3, 8

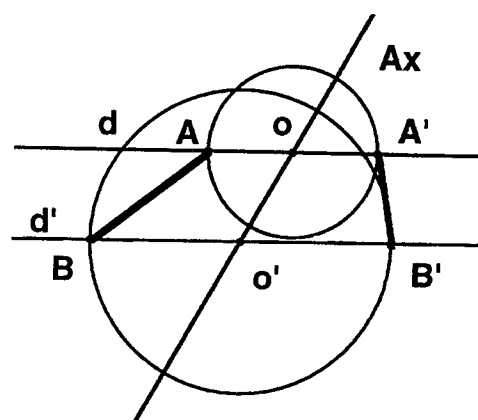
C. Procédure de construction analytique

On dit que la procédure de construction de l'image du segment est analytique si cette image est obtenue après construction des deux extrémités. L'élève construit l'image de la première extrémité, puis celle de la deuxième et ensuite définit le segment image en joignant ces deux extrémités. Cette procédure peut être valide ou non valide. Nous présentons ci-dessous deux procédures analytiques, une valide (Fig.3, 9) et l'autre non valide (Fig.3, 10).



L'élève construit l'image $[A'B']$ du segment $[AB]$ en respectant les propriétés de la symétrie. Procédure valide.

Fig.3, 9



L'élève construit l'image $[A'B']$ du segment $[AB]$ sans respecter la propriété d'orthogonalité à l'axe pour les deux extrémités. Procédure non valide.

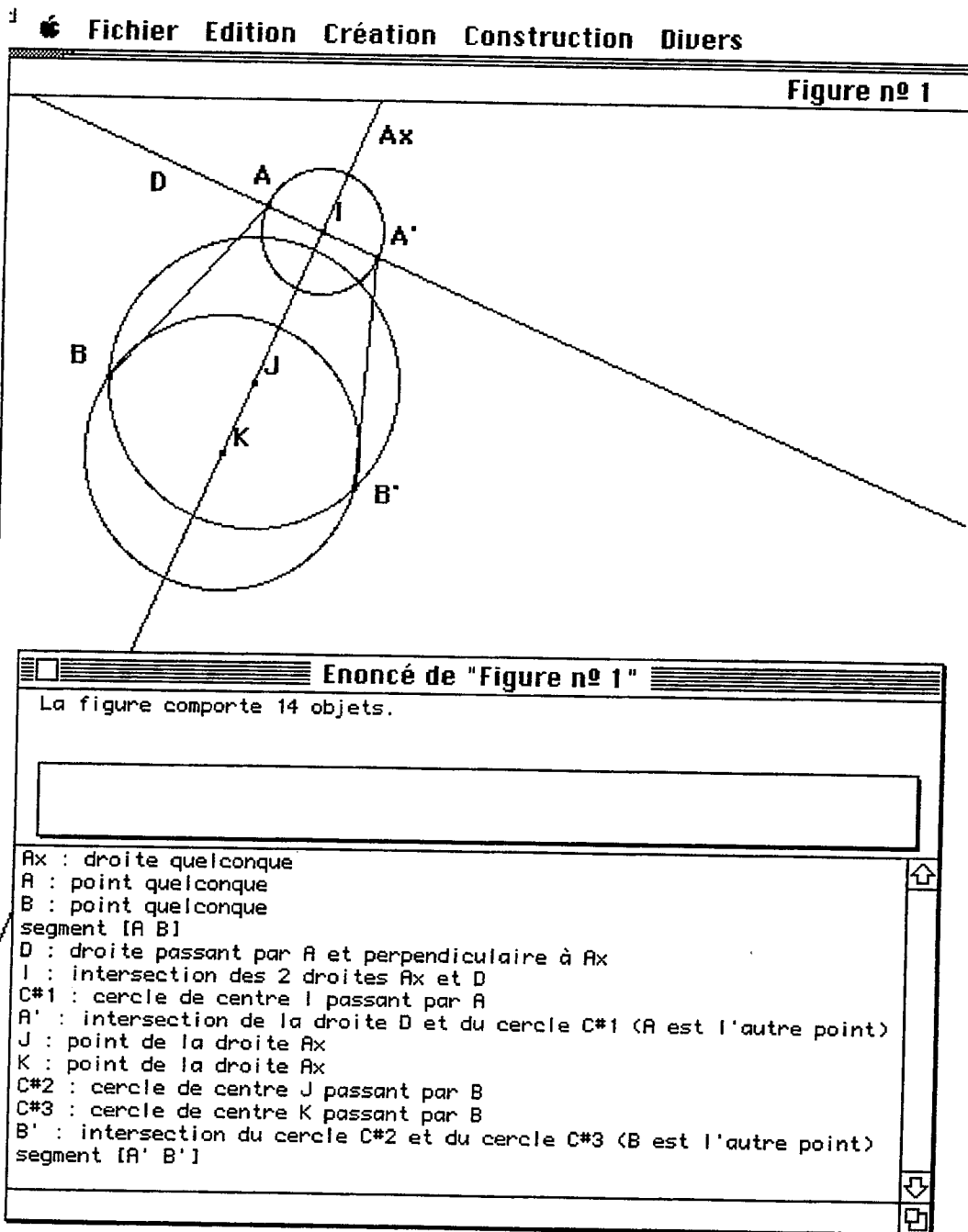
Fig.3, 10

A la lumière de ce qui précède et en considérant l'environnement Cabri-géomètre, et le fait que les outils droite orthogonale et cercle sont des outils appropriés qui peuvent être investis dans la construction correcte du symétrique, on a fait une présentation "à la Buggy" des procédures correctes. Cette présentation n'est pas générale dans le sens où elle ne prend pas en compte toutes les possibilités de construction. On s'est limité à des procédures de résolution qui risquent d'apparaître chez des élèves de 5ème, ceux à qui on s'intéresse dans cette étude.

II.3.3. Procédures correctes de résolution de la tâche

Les procédures correctes de résolution, valides (cf. § II.2.2.) dans Cabri-géomètre sont de type analytiques, parce que ce sont les seules qui sont robustes par déplacement. Les procédures globales et semi-globales donnent des points libres pour l'image (choix perceptif à l'écran). Ces procédures de construction ont été classées sous deux formes :

- procédure où la construction de l'image de la deuxième extrémité ne dépend pas de celle de la première (construction indépendante) (Fig.3, 11);
- procédure où la construction de l'image de la deuxième extrémité dépend de la première (construction dépendante) (Fig.3, 12).



Légende : les quatre premières lignes de cet énoncé représentent les données du problème. Les autres décrivent la procédure de construction du segment image à partir de ses extrémités. Cette procédure combine deux procédures (i) droite/cercle, (ii) deux cercles.

Remarquons que nous avons au moins deux autres façons de construire le symétrique du segment [AB] :

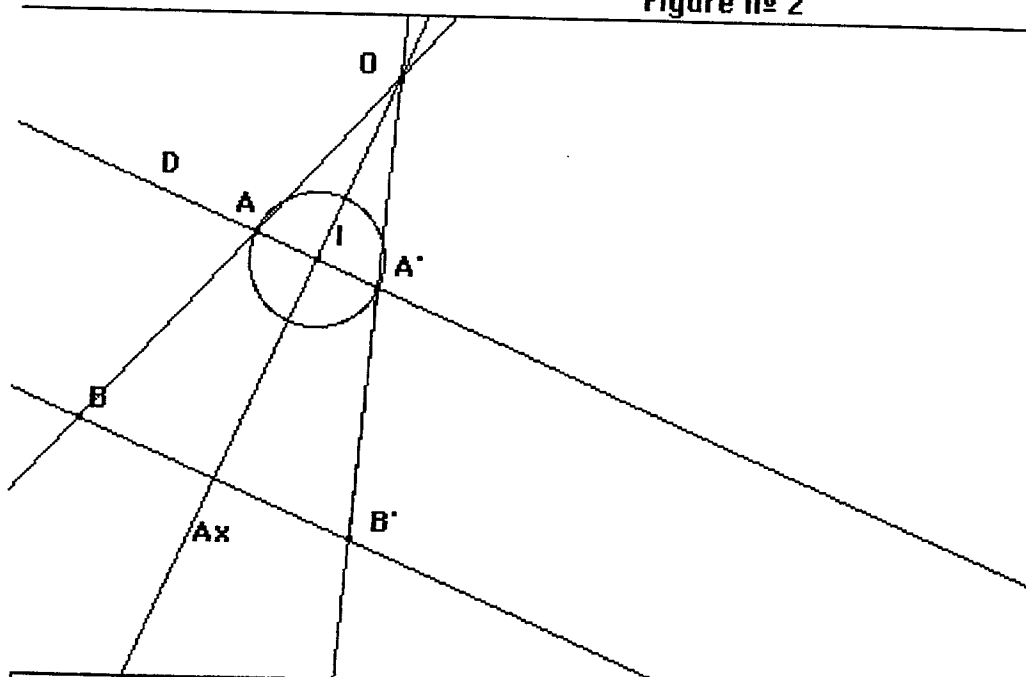
- en construisant B' comme intersection d'une droite orthogonale à l'axe passant par l'extrémité B et d'un cercle centré sur l'axe et passant par B;
- en construisant A' comme intersection de deux cercles centrés sur l'axe et passant par l'extrémité A.

Énoncé de la figure donné par
la fonctionnalité "énoncé" de Cabri-géomètre.

Fig.3, 11

Fichier Edition Création Construction Divers

Figure n° 2



Énoncé de "Figure n° 2"

La figure comporte 14 objets.

Ax : droite quelconque
 A : point quelconque
 B : point quelconque
 segment [A B]
 D : droite passant par A et perpendiculaire à Ax
 I : intersection des 2 droites Ax et D
 C#1 : cercle de centre I passant par A
 A' : intersection de la droite D et du cercle C#1 (A est l'autre point)
 D#3 : droite passant par A et B
 O : intersection des 2 droites D#3 et Ax
 D#4 : droite passant par O et A'
 D#5 : droite passant par B et perpendiculaire à Ax
 B' : intersection des 2 droites D#4 et D#5
 segment [A' B']

Légende : les quatre premières lignes de cet énoncé représentent les données du problème. Les autres décrivent la procédure de construction du segment image à partir de ses extrémités. La deuxième extrémité est construite de façon dépendante de la première.

Remarquons que là aussi nous avons au moins deux autres façons de construire le symétrique du segment [AB] :

- en construisant B' comme intersection de la droite (O, B') , image du support du segment [AB], et du cercle centré sur l'axe et passant par B;
- en construisant A' comme intersection de deux cercles (centrés sur l'axe et passant chacun par l'extrémité A).

Énoncé de la figure donné par
 la fonctionnalité "énoncé" de Cabri-géomètre
Fig.3, 12

II.3.4. Description "à la Buggy" des procédures de construction du symétrique du segment.

Nous allons proposer, dans cette partie, une description "à la BUGGY¹" des procédures de construction du symétrique axial d'un segment. Ce modèle nous a paru intéressant et pertinent pour deux raisons :

- nous avons considéré que les problèmes de construction du symétrique du segment nécessitent des techniques procédurales;
- nous nous étions demandés dans quelle mesure nous pouvions générer une description globale du comportement de l'apprenant en élaborant des modèles génératifs d'erreurs de ses erreurs (en rapport avec l'activité géométrique que nous proposons).

Pour cela, nous sommes partis d'une description formelle des procédures correctes des élèves (la liste étant non exhaustive) et nous avons essayé de produire des altérations sur les procédures correctes (voir annexe chapitre 3: Altérations des procédures correctes à la Buggy) et par conséquent générer des procédures erronées.

Devant la complexité d'une telle tâche, complexité due entre autres à la difficulté de prise en compte des nombreux implicites au niveau de Cabri-géomètre (cf. § II.2.2.), nous avons opté pour le dispositif que nous présentons dans ce chapitre.

II.3.4.1 Buggy

La notion de "bugs" a mis en évidence l'importance du diagnostic des erreurs intériorisées qui apparaissent lors du travail des élèves sous des aspects différents. Il s'agit en général d'erreurs procédurales et locales.

Rappelons que le tuteur Buggy s'appuie sur un réseau procédural (Brown et al 1977), c'est à dire une décomposition d'une compétence en sous-compétences reliées entre elles dans un treillis de sous buts (liens exprimant des relations d'appel de procédures).

Un schéma de diagnostic, basé sur un réseau procédural, contient toutes les sous-compétences nécessaires pour la compétence globale ainsi que les variantes erronées possibles (ou bugs) de chaque compétence. Le comportement erroné de l'élève peut être obtenu par simple remplacement d'une sous-compétence individuelle (ou altération)

¹Nous renvoyons le lecteur au chapitre 1, §. II.3 pour plus de détail sur le logiciel BUGGY.

dans le réseau procédural, par un de ces bugs. Si un tel réseau erroné obtient les mêmes réponses que l'élève sur un ensemble suffisant de problèmes alors les bugs qui ont remplacé les éléments corrects dans le réseau sont attribués à l'élève.

Nous présentons dans ce qui suit une description "à la Buggy" de quelques procédures de constructions du symétrique du segment, description évidemment non unique.

II.3.4.2. Description (à la Buggy) de quelques procédures de construction de symétrique orthogonal d'un segment.

Remarquons que dans cette description, nous n'avons pas présenté une description des procédures semi-analytiques ou globales. La raison en est que celles ci peuvent être obtenues par altération (omission de certaines règles, substitution d'une ou plusieurs règles par d'autres etc.) à partir des règles définissant les procédures analytiques (description "à la Buggy" ci dessous).

- B0 (Image_segment (point A, point B, droite Axe) (segment S))**
 (Image_analytique_segment (point A, point B) (segment S)) **B1**
 (Image_semi-analytique_segment (point A, point B) (segment S)) **B2**
 (Image_globale_segment (point A, point B) (segment S)) **B3**
- B1 (Image_analytique_segment (point A, point B) (segment S)) ET**
 r11 (Image_de_point (point A) (point A') et (Image_de_point (point B) (point B'))) **B11**
 r12 (segment S) = (C_Segment, point A', point B')
- B11 (Image_de_point (point A) (point A') et (Image_de_point (point B) (point B'))) OU**
 r111 si construction indépendante alors **B111**
 r112 si construction dépendante alors **B112**
- B111 Construction indépendante ET**
 r1111 (Image_de_point (point A) (point A')) **B5**
 r1112 (Image_de_point (point B) (point B')) **B5**
- B112 Construction dépendante ET**
 r1121 (Image_de_point (point A) (point A')) **B5**
 r1122 (Puis_image_de_point (point B) (point B')) **B1121**
B1121 (Puis_image_de_point (point B) (point B')) ET
 r11211 (droite D1) = (C_droite, point A, point B)
 r11212 (point I) = (C_intersection, droite D1, droite Axe)
 r11213 (droite D2) = (C_droite, point A', point I)
 r11214 (objet_intermédiaire () (objet O)) **B4**
 r11215 (point B') = (C_intersection, droite D2, objet O)
- B4 (objet_intermédiaire () (objet O)) OU**
 r41 (droite_orthogonale (point B, droite Axe) (objet O)) **B41**
 r42 (objet O) = (C_cercle, (C_point sur objet, droite Axe), point B)
- B41 (droite_orthogonale (point B, droite Axe) (objet O)) OU**
 r411 (objet O) = (C_droite_orthogonale, droite Axe, point B)
 r412 (objet O) = (C_droite_parallèle, (C_droite, point A, point A'), point B)

B5(Image_de_point (point A) (point A')) OUr51 si Point n'est pas sur l'axe alors transport de Point **B51**

r52 si VRAI alors FAIT

B51 Transport de Point OUr511 (Image_par intersection de cercle et de droite _de_point (point A) (point A')) **B511**r512 (Image_par intersection de cercles _de_point (point A) (point A')) **B512****B511 (Image_par intersection de cercle et de droite _de_point (point A) (point A')) ET**

r5111 (droite D) = (C_droite orthogonale, droite Axe, Point A)

r5112 (centre_du_cercle() (point I)) **B5111**

r5113 (cercle C) = (C_cercle, point I, point A)

r5114 (point A') = (C_intersection, cercle C, droite D)

B5111 (centre_du_cercle() (point I)) OU

r51111 (point I) = (C_intersection, droite D, droite Axe)

r51112 (point I) = (C_point sur objet, droite Axe)

B512 (Image_par intersection de cercles _de_point (point A) (point A')) ET

r5121 (point M1) = (C_point sur objet, droite Axe)

r5122 (point M2) = (C_point sur objet, droite Axe)

r5123 (cercle C1) = (C_cercle, point M1, Point A)

r5124 (cercle C2) = (C_cercle, point M2, Point A)

r5125 (point A') = (C_intersection, cercle C1, cercle C2)

Description des procédures correctes de construction du symétrique d'un segment. Cette description contient les procédures qui renvoient à des sous procédures nécessaires à la construction du symétrique.

Nous présentons dans ce qui suit quelques exemples d'altération et les procédures qui en résultent.

II.3.5. Exemples d'altération au niveau des procédures analytiques.

Les procédures de type analytiques (erronées) semi analytiques, ou globales peuvent être engendrées par omission et / ou substitution de règles dans la description "à la Buggy". Par exemple:

A. Cas où les constructions des image sont indépendantes (but B111).

1) Une omission de la règle r5111, au niveau du but B511 induit forcément une suppression de la règle r51111 et une modification au niveau de la règle r5114 qui donne

[r'5114 (point A') = (C_point sur objet, cercle C)]

Le but B511 devient alors :

B' 511 (Image_ sur cercle _de_ point (point A) (point A')) ET
 r_{5112} (centre_ du_cercle() (point I)) B5111
 r_{5113} (cercle C) = (C_cercle, point I, point A)
 r'_{5114} (point A') = (C_point sur objet, cercle C)
 B5111 (centre_ du_cercle() (point I))
 r_{51112} (point I) = (C_point sur objet, droite Axe)

qui se ramène plus simplement au but B" 511 :

B" 511 (Image_ sur cercle _de_ point (point A) (point A')) ET
 r''_{5111} (point I) = (C_point sur objet, droite Axe)
 r''_{5113} (cercle C) = (C_cercle, point I, point A)
 r''_{5114} (point A') = (C_point sur objet, cercle C)

La procédure de construction est alors de type analytique erronée (le point image est construit comme point sur le cercle).

2) Une substitution de la règle r_{5111} , au niveau du but B511 par l'une des règles ci dessous implique une procédure de construction de type analytique erronée :

r^1_{5111} (droite D) = (C_droite orthogonale, segment, point A)

r^2_{5111} (droite D) = (C_droite _de rappel horizontal, point A, point P) avec P appartenant à D

r^3_{5111} (droite D) = (C_droite _de rappel vertical, point A, point P) avec P appartenant à D

r^4_{5111} (droite D) = (C_droite _de prolongement, point A, point B)

r^5_{5111} (droite D) = (C_droite _quelconque, point A, point P) avec P appartenant à D

Remarques :

. La droite D (dans la règle r^1_{5111}) est orthogonale à l'axe dans le cas où l'axe et le segment sont parallèles.

. La droite D (dans la règle r^2_{5111}) est perceptivement orthogonale à l'axe dans le cas de l'axe vertical et elle est horizontale dans le cas où l'axe est oblique

. La droite D (dans la règle r^3_{5111}) est perceptivement orthogonale à l'axe dans le cas de l'axe horizontal et verticale dans le cas où l'axe est oblique

. La droite D (dans la règle r^4_{5111}) correspond au support du segment objet, elle est dans le prolongement de ce dernier.

3) Une suppression des règles r_{1111} , r_{1112} et r_{1113} au niveau du but B_{511} implique une modification de la règle r_{1114} qui devient (point A') = (C_point de base) et qui donne une procédure de type globale.

Il existe d'autres exemples de procédures obtenues par des altérations des règles dans la description précédente.

B. Cas où la construction de l'image de la 2ème extrémité est dépendante de la première (règle r_{112} du but B_{11}),

une omission de la règle r_{11211} , au niveau du but B_{1121} peut engendrer :

1) une suppression des règles r_{11212} , r_{11213} , r_{11214} . Ces suppressions impliquent forcément une altération de la règle r_{11215} [r'_{11215} (point B') = (C_point de base)]. Ainsi la substitution de B_{1121} dans la description "à la Buggy" au but B'_{1121} , tel que

B'_{1121} (Puis_image_de_point (point B) (point B'))

r'_{11215} (point B') = (C_point de base)

donne une procédure semi analytique ou globale.

- 2) une altération de la règle r_{11212} [r'_{11212} (point I) = (C_point sur objet, droite Axe)]

En substitution dans la description "à la Buggy" le but B_{1121} au but B'_{1121} tel que

B'_{1121} (Puis_image_de_point (point B) (point B')) ET

r'_{11212} (point I) = (C_point sur objet, droite Axe)

r_{11213} (droite D2) = (C_droite, point A', point I)

r_{11214} (objet_intermédiaire () (objet O)) **B4**

r_{11215} (point B') = (C_intersection, droite D2, objet O)

on obtient une procédure analytique erronée.

- 3) une suppression de la règle r_{11212} et une altération de la règle r_{11213}

[r'_{11213} (droite D2) = (C_droite parallèle, (C_segment, point A, point B), point A')] ou

$[r''_{11213} \text{ (droite D2)} = (C_droite, \text{point A}', \text{point quelconque})]$.

Le but B1121 devient alors :

$B'''_{1121} \text{ (Puis_image_de_point (point B) (point B')) ET}$

$r'_{11213} \text{ (droite D2)} = (C_droite \text{ parallèle, } (C_segment, \text{point A, point B}), \text{point A'})$

$r_{11214} \text{ (objet_intermédiaire () (objet O)) B4}$

$r_{11215} \text{ (point B')} = (C_intersection, \text{droite D2, objet O}).$

On obtient là aussi une procédure analytique erronée.

Nous pouvons obtenir d'autres procédures par substitution et /ou omission des règles dans la description des procédures. Un schéma "à la Buggy" avec les altérations possibles sur les règles (modification seulement, par substitution) et proposé dans l'annexe chapitre 3: Altérations des procédures correctes à la Buggy.

Nous avons souligné que les seules procédures valides dans cabri sont des procédures analytiques qui respectent les critères de validité d'une procédure (cf. § II.2.2.).

Nous avons été alors amenés à considérer les procédures de construction de chaque extrémité du segment, selon que les outils de construction sont investis ou pas. Pour cela, par abus d'usage, nous définirons les procédures de construction des images des extrémités du segment de la façon suivante :

Procédure analytique : on dit que la procédure de construction de l'image d'une extrémité du segment est analytique si cette image est obtenue comme intersection de deux objets, que cette intersection soit explicitée ou non dans Cabri-géomètre.

Procédure semi analytique : on dit que la procédure de construction de l'image d'une extrémité du segment est semi analytique si cette image est obtenue comme point lié à un objet, que cette liaison soit explicitée ou non dans Cabri-géomètre. On peut citer par exemple, un point image placé au jugé sur une droite ou un cercle.

Procédure globale : on dit que la procédure de construction de l'image d'une extrémité du segment est globale si cette image ne fait pas intervenir d'autres objets que le point produit.

II.4. Enchaînement des situations

II.4.1. Variables de la tâche

Les études de Grenier lui ont permis de dégager un certain nombre de variables didactiques sur lesquelles nous avons fondé la construction de nos situations.

Nous entendons par variable didactique toute caractéristique de la tâche dont une variation des valeurs entraînerait une modification des procédures de l'élève. Pour une valeur d'une variable donnée une procédure peut être adéquate ou pas. Le choix de la procédure la plus adéquate se trouve donc sous la commande des variables.

Ces variables didactiques sont :

1) la variable intersection de l'axe et du segment notée *Segment localisation*. Cette variable prend la valeur :

— c, si le segment a une intersection avec l'axe. Cette intersection peut être l'une des extrémités du segment, ou le segment tout entier (cas du segment porté par l'axe de symétrie); elle sera alors notée T, ou un point autre que l'extrémité; on la notera alors C;

— nc, si l'intersection de l'axe et du segment est vide.

2) les variables de direction :

- direction de l'axe notée *Axe*;
- direction du segment notée *Segment*;

Les valeurs des variables direction de l'axe et direction du segment sont : O(oblique), V(vertical), H(horizontal).

3) La variable Angle formé par le segment et l'axe notée *Angle(segment, axe)*.

Les valeurs de la variable *Angle(segment, axe)* sont : 0° , 90° ou α (angle quelconque différent de 0 et de 90°).

II.4.2. L'ensemble des figures

A. Classification des problèmes

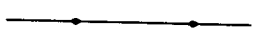
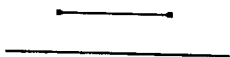
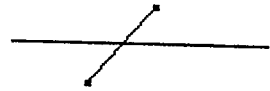
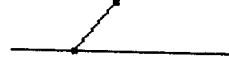
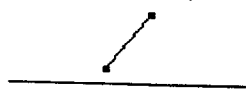
On peut présenter les problèmes sous forme de quadruplets (Axe, Segment, Angle(segment, axe), Segment localisation), chacune des composantes de ce quadruplet étant une des variables citées ci dessus, avec des valeurs possibles comme suit :

Axe	Segment	Angle	Intersect?
H	H	0	C
V	V	90	T
O	O	α	nc

La combinaison de ces paramètres nous donne 81 figures dont 30 seulement sont possibles (ou réalisables). Les 51 autres cas sont impossibles (par exemple tous les quadruplets (H, H, 0, C); (O, O, 0, C); (H, H, 90, *); (H, H, α , *); (H, V, 0, *); (H, V, α , *); (H, O, 90, *); (H, O, 0, *)..., avec * prenant les valeurs C, T ou nc).

Liste des cas de figures par rapport aux valeurs des variables

Les figures retenues sont donc les suivantes :

(H, H, 0°, c)  Pb.1	(H, H, 0°, nc)  Pb.2	(H, V, 90°, c)  Pb.3
(H, V, 90°, c)  Pb.4	(H, V, 90°, nc)  Pb.5	(H, O, α, c)  Pb.6
(H, O, α, c)  Pb.7	(H, O, α, nc)  Pb.8	(V, H, 90°, c)  Pb.9

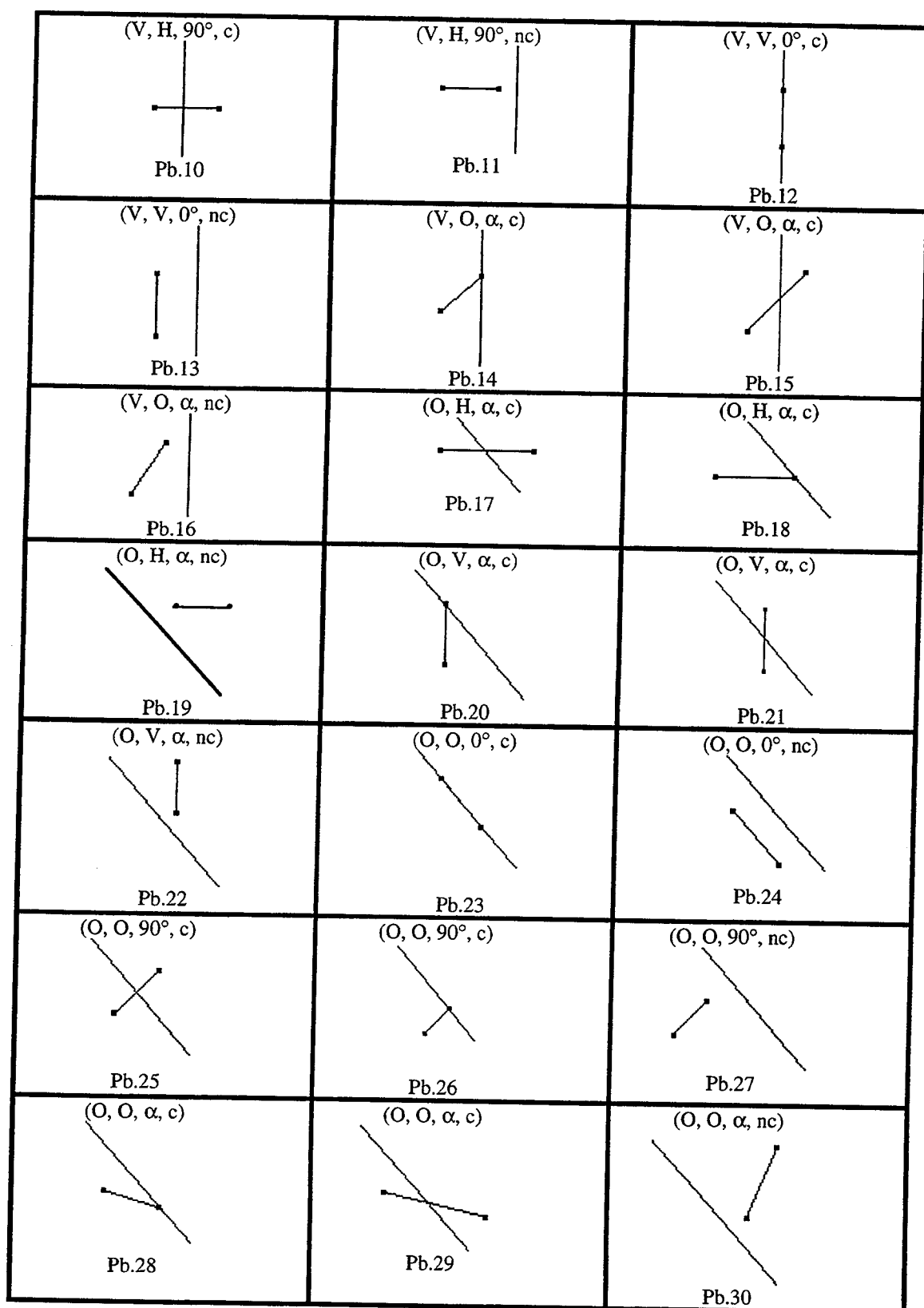


Fig.3, 13

Si on considère que l'axe est à un angle α_1 , relativement à une direction donnée (par exemple, une direction horizontale), et le segment est à un angle α_2 relativement à la même direction, alors en tenant compte des valeurs choisies pour l'angle, un des trois cas peut se présenter :

cas $A_1 \Rightarrow \alpha_1 = \alpha_2$

cas $A_2 \Rightarrow \alpha_1 = \alpha_2 + 90^\circ$

cas $A_3 \Rightarrow \alpha_1 < \alpha_2 \text{ \& } \alpha_1 < \alpha_2 + 90^\circ$

et si nous décrivons les problèmes mathématiquement, sans référence aux procédures qu'ils peuvent induire, alors nous pouvons les grouper comme suit :

<u>Type</u>	<u>Problème</u>
$A_1(c)$	1, 12, 23
$A_1(nc)$	2, 13, 24
$A_2(c)$	3/4, 9/10, 25/26
$A_2(nc)$	5, 11, 27
$A_3(c)$	6/7, 14/15, 17/18, 20/21, 28/29
$A_3(nc)$	8, 16, 19, 22, 30

La prise en compte des 3 orientations possibles de l'axe donne les problèmes suivants :

<u>Type</u>	<u>H</u>	<u>V</u>	<u>O</u>
$A_1(c)$	1	12	23
$A_1(nc)$	2	13	24
$A_2(c)$	3/4	9/10	25/26
$A_2(nc)$	5	11	27
$A_3(c)$	6/7	14/15	17/18, 20/21, 28/29
$A_3(nc)$	8	16	19, 22, 30

II.4.3. Classification des procédures

Le but de cette analyse a été de déterminer les outils et les stratégies (correctes, erronées ou incomplètes) que les élèves peuvent mettre en oeuvre pour résoudre un problème donné, ainsi que leurs domaines de validité et les procédures qui peuvent leur être rattachées.

Grenier (1988), en jouant sur des variables directionnelles (car la conservation des "distances" est toujours prise en compte chez les élèves) a pu mettre en évidence des procédures erronées chez les élèves de 6ème. Nous citons dans ce qui suit ces procédures et nous donnerons un classement des conceptions qui les sous tendent :

- Le rappel vertical : les élèves tracent les images du segment sur une direction verticale au lieu de faire un report orthogonal à l'axe (voir Fig.3, 14). Dans le cas où l'axe est horizontal, elle se confond alors avec un report orthogonal à l'axe.

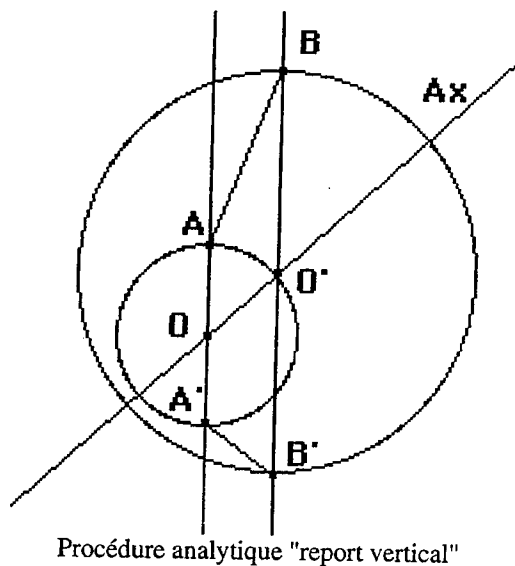
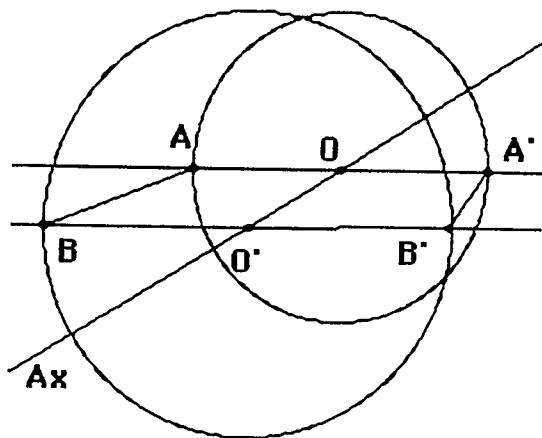


Fig.3, 14

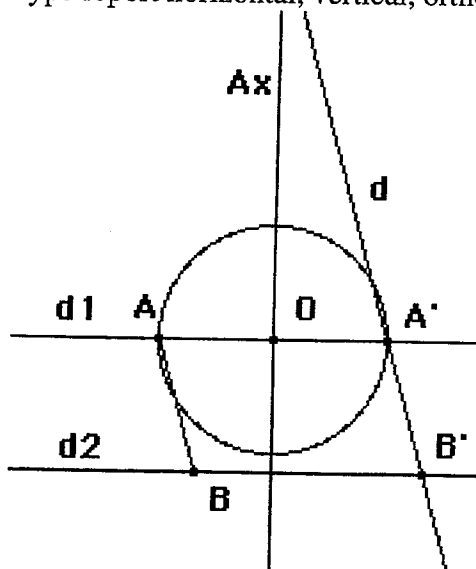
- le rappel horizontal : les élèves tracent les images des extrémités du segment sur une direction horizontale au lieu de faire un report orthogonal à l'axe (voir Fig.3, 15). Dans le cas où l'axe est vertical, elle se confond alors avec un report orthogonal à l'axe.



Procédure analytique "report horizontal"

Fig.3, 15

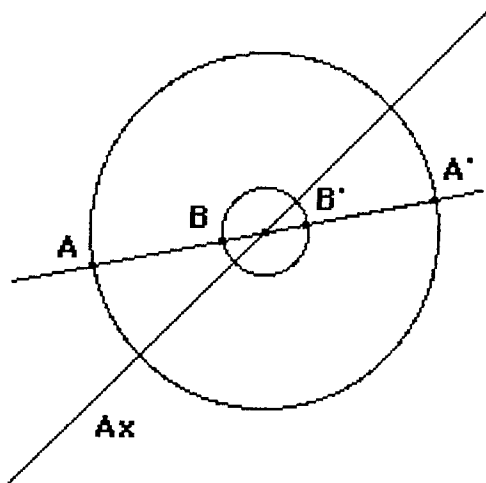
- le parallélisme : l'élève peut avoir la conception que le segment objet et son image doivent être parallèles et construire alors l'image du segment parallèlement à ce dernier. Pour la construction d'une extrémité, il peut faire appel dans ce cas, à des procédures de type report horizontal, vertical, orthogonal au segment, etc.



Procédure analytique "parallélisme"

Fig.3, 16

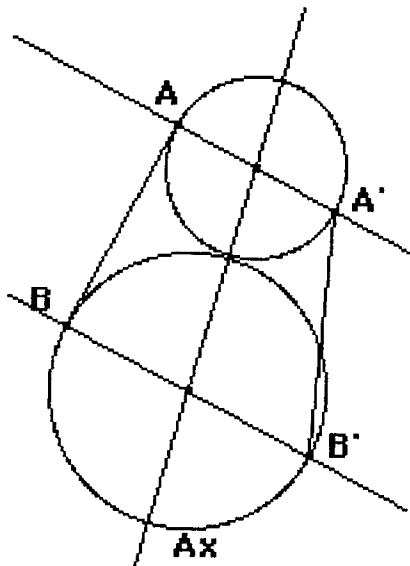
- le prolongement : l'élève construit l'image du segment dans le prolongement du segment objet;



Procédure "Prolongement"

Fig.3, 17

- l'orthogonalité par rapport au segment et non par rapport à l'axe;

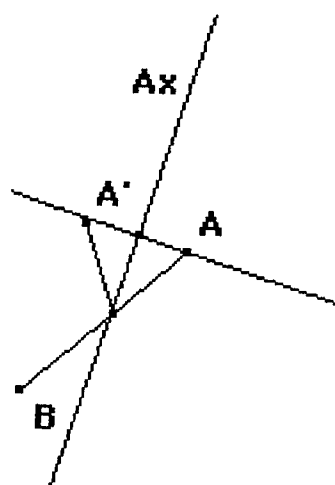


Procédure "Report orthogonal au segment"

Fig.3, 18

- la demi-symétrie : dans le cas où le segment coupe l'axe,

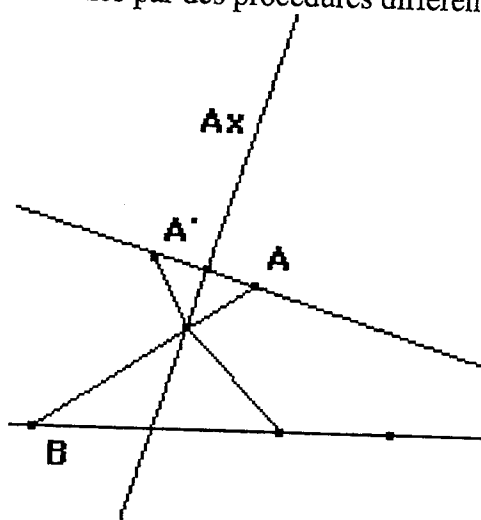
. l'élève peut construire l'image d'une des parties du segment située dans un des demi plans déterminés par l'axe de symétrie, l'autre partie n'est pas tracée, l'élève s'arrête au point d'intersection avec l'axe;



Procédure "demi-symétrie"

Fig.3, 19

. il trace un segment brisé de part et d'autre de l'axe. Cette procédure consiste à prendre le symétrique de chaque partie du segment située dans chacun des demi plans définis par l'axe et à recoller ces deux images partielles. Ce qui caractérise ces deux dernières, c'est qu'elles n'ont pas le même support du fait qu'elles aient été définies par des procédures différentes.

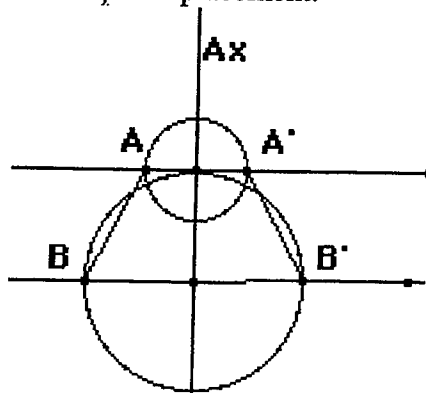


Procédure "demi-symétrie"

Fig.3, 20

En se plaçant dans l'environnement Cabri-géomètre, d'autres procédures peuvent apparaître, elles peuvent correspondre à une non explicitation de la relation d'orthogonalité, de parallélisme..., ce qui peut se traduire par ce qu'on a appelé, perceptivement orthogonal à l'axe, ou perceptivement orthogonal au segment,

perceptivement parallèle au segment, etc. L'exemple suivant montre une non explicitation de la relation d'orthogonalité. L'axe étant vertical, le report horizontal se confond avec le report perceptivement orthogonal à l'axe. En situation papier crayon, cette procédure est correcte mais dans l'environnement Cabri-géomètre, elle n'est pas valide par déplacement.



Construction de l'image en utilisant une procédure de report horizontal

Fig.3, 21

II.4.4. Classification des conceptions

Nous avons pu classer 4 types de conceptions liés à la symétrie. Par le terme conception nous entendons "conception attribuée à l'élève par le didacticien". Ces conceptions peuvent faire appel à l'une ou l'autre des procédures recensées dans le paragraphe précédent. Il s'agit de :

- la conception de "parallélisme" liée à une procédure de parallélisme citée plus haut. Le segment et son image sont parallèles et de même longueur. Les extrémités du segment peuvent être obtenues par une procédure de type "rappel horizontal", "rappel vertical"...

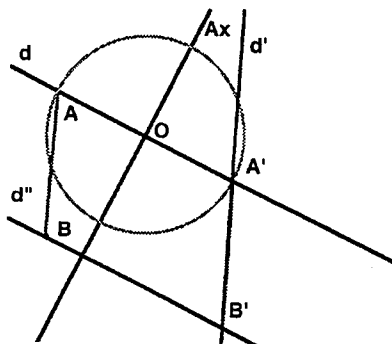


Fig.3, 22
Conception "parallélisme"

- la conception "symétrie oblique". L'image du segment est obtenue par symétrie oblique. Les distances à l'axe du point et de son image sont conservées ainsi que les directions des supports des points et de leurs images. Les élèves ayant cette conception peuvent investir des procédures de type report horizontal, vertical, orthogonal à l'axe, etc. pour la construction des images des extrémités du segment.

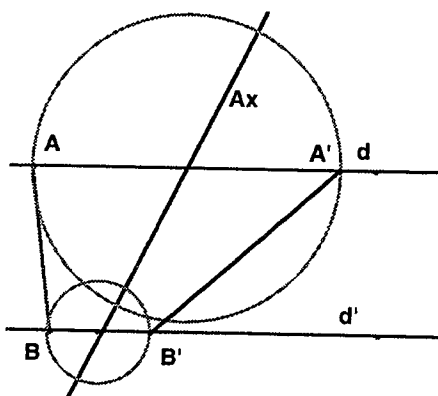
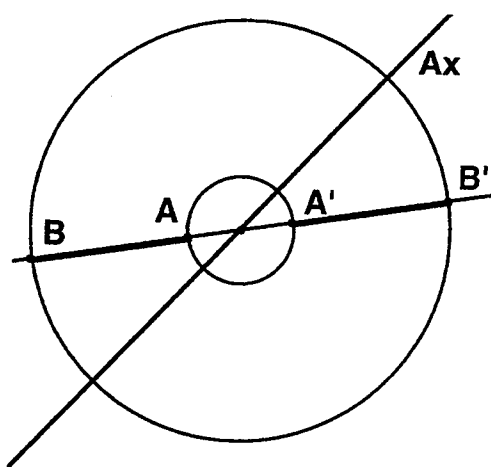
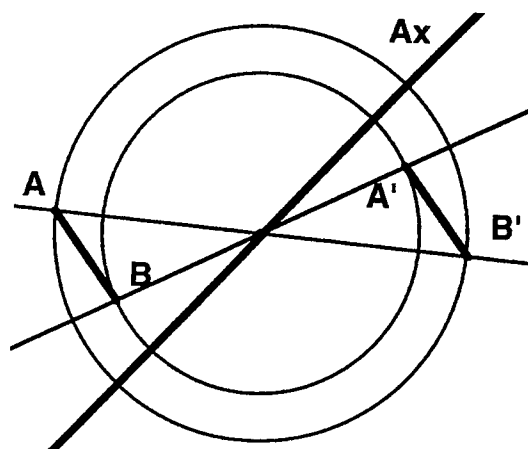


Fig.3, 23
Conception "symétrie oblique"

- la conception "symétrie centrale". Le segment image est obtenu par symétrie centrale. Il est soit dans le prolongement du segment objet (cas 1) soit parallèle et de sens inverse (cas 2).



cas 1



cas 2

Fig.3, 24

- la conception symétrie orthogonale. Le segment image est obtenu par symétrie orthogonale par rapport à l'axe.

II.4.5. Analyse tâche par tâche

Nous avons adopté une caractérisation des conceptions issue des propositions de Vergnaud. Une conception est caractérisée par l'ensemble P des problèmes pour lesquels elle est valide (caractère local), et l'ensemble R des règles d'action et des opérateurs mis en œuvre par l'apprenant. Enfin, nous rendons compte de la relation entre problème et conception par la constitution d'un graphe biparti dont les deux classes de sommets sont la classe des problèmes et celle des procédures.

Dans ce paragraphe, nous donnons un tableau représentant la liste des 30 problèmes avec les procédures susceptibles d'être investies, en fonction des valeurs des variables que nous avons considérées.

	Caractéristiques	Procédures erronées	Remarques
1	(H, H, 0, c)	a	
2	(H, H, 0, nc)	rv, pa	rv $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pos
3	(H, V, 90, c)	rv, pr	rv $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pr
4	(H, V, 90, c)	rv, pr, a	rv $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pr
5	(H, V, 90, nc)	rv, pr	rv $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pr
6	(H, O, α , c)	rv, (pa), pr, ds	pa pas très probable
7	(H, O, α , c)	rv, (pa), pr	pa pas très probable, rv $\Leftrightarrow$ poa
8	(H, O, α , nc)	rv, pa, pr	
9	(V, H, 90, c)	rh, pr	rh $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pr
10	(V, H, 90, c)	rh, pr, a	rh $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pr
11	(V, H, 90, nc)	rh, pr	rh $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pr
12	(V, V, 0, c)	a	
13	(V, V, 0, nc)	rh, pa	rh $\Leftrightarrow$ poa $\Leftrightarrow$ pos
14	(V, O, α , c)	rh, (pa), pr	rh $\Leftrightarrow$ poa
15	(V, O, α , c)	rh, (pa), pr, ds	(pa) pas très probable, rh $\Leftrightarrow$ poa
16	(V, O, α , nc)	rh, pa, pr	(pr) pas très probable, rh $\Leftrightarrow$ poa
17	(O, H, α , c)	rh, pr, ds, (rv)	rh $\Leftrightarrow$ pr, (rv) pas très probable
18	(O, H, α , c)	rh, pr, (rv)	rh $\Leftrightarrow$ pr, (rv) pas très probable
19	(O, H, α , nc)	rh, pr, (rv)	rh $\Leftrightarrow$ pr, (rv) pas très probable
20	(O, V, α , c)	rh, rv, (pa), pr	(pa) pas très probable, rv $\Leftrightarrow$ pr
21	(O, V, α , c)	rh, rv, (pa), pr, ds, a	(pa) pas très probable, rv $\Leftrightarrow$ pr
22	(O, V, α , nc)	rh, rv, pa, pr	rv $\Leftrightarrow$ pr, rh $\Leftrightarrow$ pos
23	(O, O, 0, c)	a	
24	(O, O, 0, nc)	rh, pa, (rv)	
25	(O, O, 90, c)	rh, pr, (rv), ds, a	pr $\Leftrightarrow$ poa
26	(O, O, 90, c)	rh, pr, (rv)	pr $\Leftrightarrow$ poa
27	(O, O, 90, nc)	rh, pr, (rv)	pr $\Leftrightarrow$ poa
28	(O, O, α , c)	rh, pr, (rv), (pa)	
29	(O, O, α , c)	rh, pr, (rv), ds, a	
30	(O, O, α , nc)	rh, pa, pr, (rv)	

Fig.3, 25

Guide : pour chaque situation n°, (valeurs des variables), (procédures erronées probables)

valeurs des variables Axe, Segment, angle(axe, segment), segment localisation :

Axe et segment : V: vertical, H: horizontal, O: oblique;

Angle : 0; 90° ou α (différent de 0 et de 90°);

Segment localisation : c pour coupe; nc pour ne coupe pas;

Procédures : rh : rappel horizontal; rv : rappel vertical; pa : parallélisme; ds : demi symétrie;

poa : perceptivement orthogonale à l'axe; pos : perceptivement orthogonale au segment; a : autre;

le symbole ($\Leftrightarrow$) veut dire que la procédure se confond avec...

II.4.6. Enchaînement des situations

Certaines propriétés ou connaissances erronées ou incomplètes sur la symétrie orthogonale axiale peuvent être privilégiées par les élèves. L'enchaînement des situations devrait permettre de faire obstacle aux stratégies mobilisant ces connaissances dans la construction de l'image du segment, en obligeant les élèves à une attitude réflexive qui conduirait à l'investissement d'une procédure correcte.

Les variables didactiques dont on a tenu compte pour l'enchaînement des situations sont :

- la variable "intersection de l'axe et du segment" et
- les variables directionnelles

Ce choix se justifie par le fait que les variations de direction de l'axe ou du segment impliquent forcément une variation de la variable Angle (entre l'axe et le segment); en ce sens que tous les cas de figure réalisables par variation de l'angle s'obtiendront en faisant varier la direction du segment ou de l'axe.

A. Variable intersection- critère de complexité

Les tâches que nous proposons aux élèves se partagent suivant leur complexité en deux catégories : celles où l'axe et le segment objet se coupent et celles où leur intersection est vide. Nous supposons que ces deux catégories de problèmes n'ont pas le même degré de complexité pour les élèves. En effet, Grenier (1988, p) remarque dans son étude que les élèves réussissaient mieux les tâches où le segment objet ne coupe pas l'axe et celles où le segment coupe l'axe en un point.

On suppose effectivement que des problèmes où l'intersection est vide correspondent à une conception dominante qui existe chez les élèves. Cette conception consiste à voir le segment objet placé entièrement d'un même côté de l'axe. Ceci conduit l'élève à situer le segment objet dans une zone et son image dans une autre zone (une partie du segment objet ne doit pas se situer dans la zone réservée au segment image et inversement). L'axe de symétrie partage le plan qui peut être (une feuille, une partie d'une feuille, un tableau ou l'écran d'un ordinateur) en deux zones séparées A et B. Les problèmes où le segment objet occupe les deux zones peuvent être considérés comme

une composition de deux problèmes où l'objet est dans une seule zone. En considérant ces problèmes comme des tâches élémentaires, des problèmes de type II, on pourrait envisager une décomposition d'un problème de type II en deux problèmes de type I, en ce sens que le segment objet se décomposerait en deux parties : une située dans la zone A et l'autre dans la zone B. La construction de son image se ramène à celle des deux parties (parfois l'élève restreint la construction de l'image du segment à celle de la partie se situant dans la zone A ou B ce qui donne des procédures que Grenier a appelées demi-symétrie). Ainsi chaque problème élémentaire pourrait être traité comme étant un problème de type I. Il faut cependant signaler que les problèmes de type I peuvent être décomposés en sous problèmes : le cas où l'intersection est vide (type I₁) et le cas où l'intersection de l'axe et du segment est l'une des extrémités du segment (type I₂). Les problèmes de type I₂ se posent comme intermédiaires des problèmes de type I₁ et II. Le point situé sur l'axe doit être géré, l'élève doit prendre conscience que c'est un point invariant, qu'il appartient en même temps aux deux segments objet et image. Cette prise de conscience doit être généralisée en tout point situé sur l'axe. C'est la conception symétrie comme application d'un demi plan sur l'autre. La difficulté (type II) d'un segment coupant l'axe peut être dépassée par le traitement des deux demi segments type I₂, qui reste complexe car ayant une extrémité sur l'axe.

Grenier remarque que les problèmes de type I (I₁ et I₂) sont mieux réussis par les élèves que ceux de type II. Nous partons donc des problèmes de type I₁, qui seraient de complexité la plus faible, et nous chercherons à faire évoluer les élèves vers des problèmes de type II, les plus complexes a priori.

Cependant nous supposons que la spécificité de Cabri-géomètre fera que les problèmes de type I₂ présenteront eux aussi quelques difficultés aux élèves, à cause de l'extrémité sur l'axe. Les élèves chercheront à construire une extrémité, même invariante, donc se heurteront à d'autres difficultés.

B. Variation de la direction de l'axe

On devait faire des choix concernant les variations des valeurs des variables citées ci dessus pour l'enchaînement des situations. Nous avons opté pour une variation de la variable Axe, en priorité, plutôt qu'une variation de la variable Segment pour deux raisons :

- la première est le fait que pour valider (ou invalider) une construction nous demandons à l'élève de déplacer l'une des extrémités du segment objet. Donc nous

supposons que si l'élève n'arrive pas à invalider sa construction par déplacement des extrémités du segment objet, nous lui proposons des problèmes avec une variation de la direction de l'axe.

- La deuxième est qu'il existe des procédures analytiques erronées qui sont difficilement invalidables par déplacement des extrémités du segment objet (c'est par exemple le cas de report horizontal quand l'axe est vertical, ou report vertical quand l'axe est horizontal..., dans le cas bien sûr où il y a un report de distance correct...). Si la situation successeur est obtenue à partir de celle courante par variation de la direction de l'axe, alors l'élève pourrait invalider sa construction (par déplacement de l'une des extrémités du segment objet) par contre si cette situation est proposée après une variation de la direction du segment seul alors l'élève en investissant le même problème peut avoir les mêmes difficultés pour invalider sa construction. Ceci nous amène à considérer en priorité une variation de la direction de l'axe plutôt que celle du segment.

C'est le cas par exemple des figures qui suivent :

Étant donné un axe vertical et un segment oblique (formant un angle α), supposons que la procédure de construction du symétrique du segment corresponde à un rappel horizontal et qu'on opère sur la variable Segment. Le segment de départ étant oblique, il reste donc deux possibilités parmi les 30 problèmes disponibles : segment horizontal (cas 1) ou segment vertical (cas 2).

Dans le cas 1, comme dans le cas 2, si l'élève investit la même procédure alors cette dernière est difficilement invalidable par déplacement des extrémités du segment. Dans le cas 2 on retrouve le même problème avec un segment vertical.

Par contre, cette procédure serait plus facilement invalidable dans le cas 3 en prenant la valeur Axe = Oblique, au lieu du déplacement du segment.

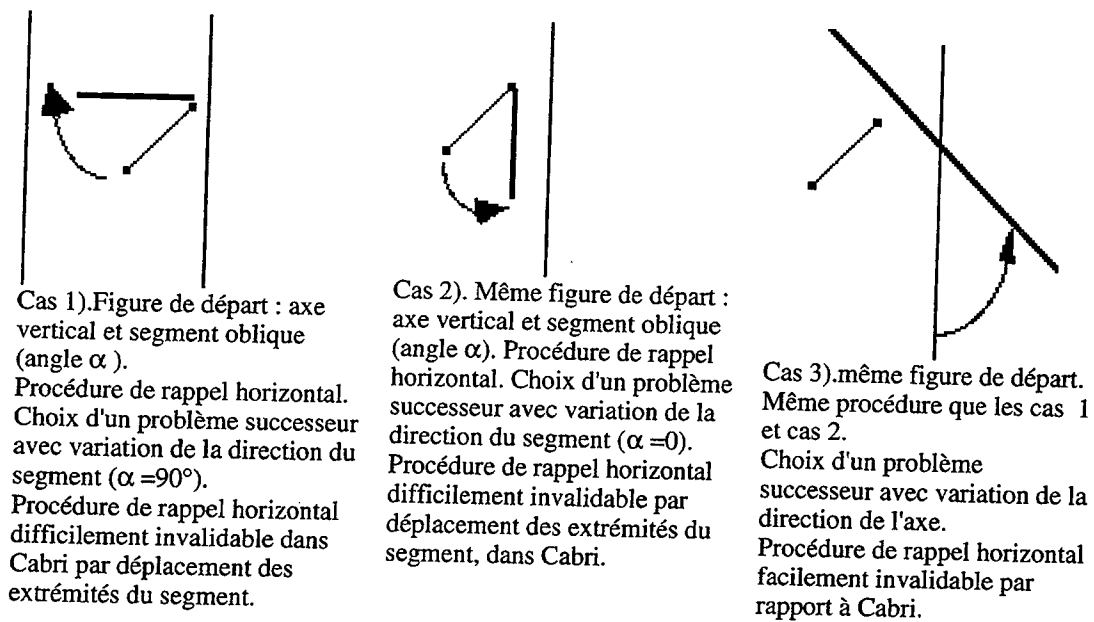


Fig.3, 26

C. Choix d'une liste de situations en fonction du diagnostic

Nous avons proposé des situations en faisant les choix suivants :

1. Si la procédure correcte (PC) appartient au diagnostic alors on propose une situation qui la renforce.
2. si la procédure erronée (PE) appartient au diagnostic alors on propose des situations qui pourraient la déstabiliser;
 - Ces situations doivent permettre l'émergence de la procédure erronée observée (pas d'abandon de PE); par exemple :
 - Si PE est un rappel horizontal seul alors on ne propose pas de situations où la procédure erronée rappel vertical risque d'apparaître seule et réciproquement.
 - On favorise des situations telles que seul l'axe varie (pour les raisons évoquées dans la partie B).

* Cas de rappel horizontal

Hypothèse : si Axe est oblique et Intersection (ou Segment localisation) est vide, alors si on déplace le segment, le segment

image coupe l'axe et les longueurs des deux segments ne sont pas conservées.

* Cas de rappel vertical : idem

* Cas de parallélisme

on propose Axe vertical ou horizontal et Segment oblique,
hypothèse: quand on déplace le segment, le segment image coupe l'axe. Idem pour axe et segment obliques.

* Cas de prolongement

le cas du segment parallèle à l'axe devrait déstabiliser les procédures de prolongement (déplacement).

- On favorise des situations telles que cas général : intersection vide (Pour les raisons évoquées dans la partie A.
- On défavorise des situations trop proches au sens où elles pourraient favoriser les mêmes procédures erronées et que ces procédures produisent les mêmes effets. Par exemple les situations telles que la nouvelle figure est obtenue par rotation de 90° de l'ancienne.
- Si la situation courante correspond à un quadruplet (H, V,...) et PE est un rappel vertical (RV) ou prolongement (PR) alors on propose des situations avec PR ou RV seul (pour pouvoir éventuellement discerner entre les deux procédures car dans ce cas de figure, les deux procédures se confondent);
- Si la situation courante correspond à un quadruplet (V, H,...) et PE est un rappel horizontal (RH) ou prolongement (PR) alors on propose des situations avec PR ou RH seul (pour les mêmes raisons que ce qui précède).

III. Réalisation informatique du tuteur Hybride

III.1. Logiciels utilisés pour la réalisation de la maquette

Nous avons utilisé l'environnement "HyperCard", les logiciels MT Player™, Cabri-géomètre et "Timbuktu" pour réaliser notre maquette.

L'environnement HyperCard nous a permis de définir les fenêtres d'interaction, entre les deux tuteurs Artificiel et Humain et entre les élèves et le Tuteur Hybride.

Le logiciel MT Player™ nous a permis d'enregistrer (sous forme de bandes vidéo sur écran) des aides visuelles concernant l'utilisation des items de Cabri-géomètre.

La fenêtre d'interaction où l'élève reçoit les messages qui permettent de le guider correspond à une carte Hypercard contenue dans une pile appelée "Messages". Les cartes d'une telle pile sont dans l'annexe (cf. Pile "messages" annexe Chap.3).

Le lien entre les deux postes de travail, Élève et Tuteur est rendu possible par le logiciel Timbuktu. Une image en temps réel de l'écran de l'élève, permet à l'enseignant d'observer les comportements de ce dernier à l'interface de Cabri-géomètre et d'agir sur l'écran de ce dernier.

La fenêtre de communication avec le tuteur artificiel, guidant l'enseignant d'une part dans un diagnostic de l'activité de l'élève et d'autre part dans la prise de décision pour la conduite de la session correspond à une carte HyperCard. Sur le poste Tuteur, les tuteurs humains disposent donc de trois piles HyperCard :

- une pile "départ" qui permet de démarrer la session de travail et de faire les réinitialisations (cf. Pile "Depart" annexe Chap.3);
- une pile "de diagnostic" qui permet au Tuteur Humain d'analyser ce que fait l'élève dans la fenêtre courante (cf. Pile de "diagnostic" annexe Chap.3);
- une pile de problème "K/Pb" qui propose un ensemble de successeurs possibles qui sont les situations pertinentes pour l'activité en cours (cf. Pile de problèmes "K/Pb" annexe Chap.3).

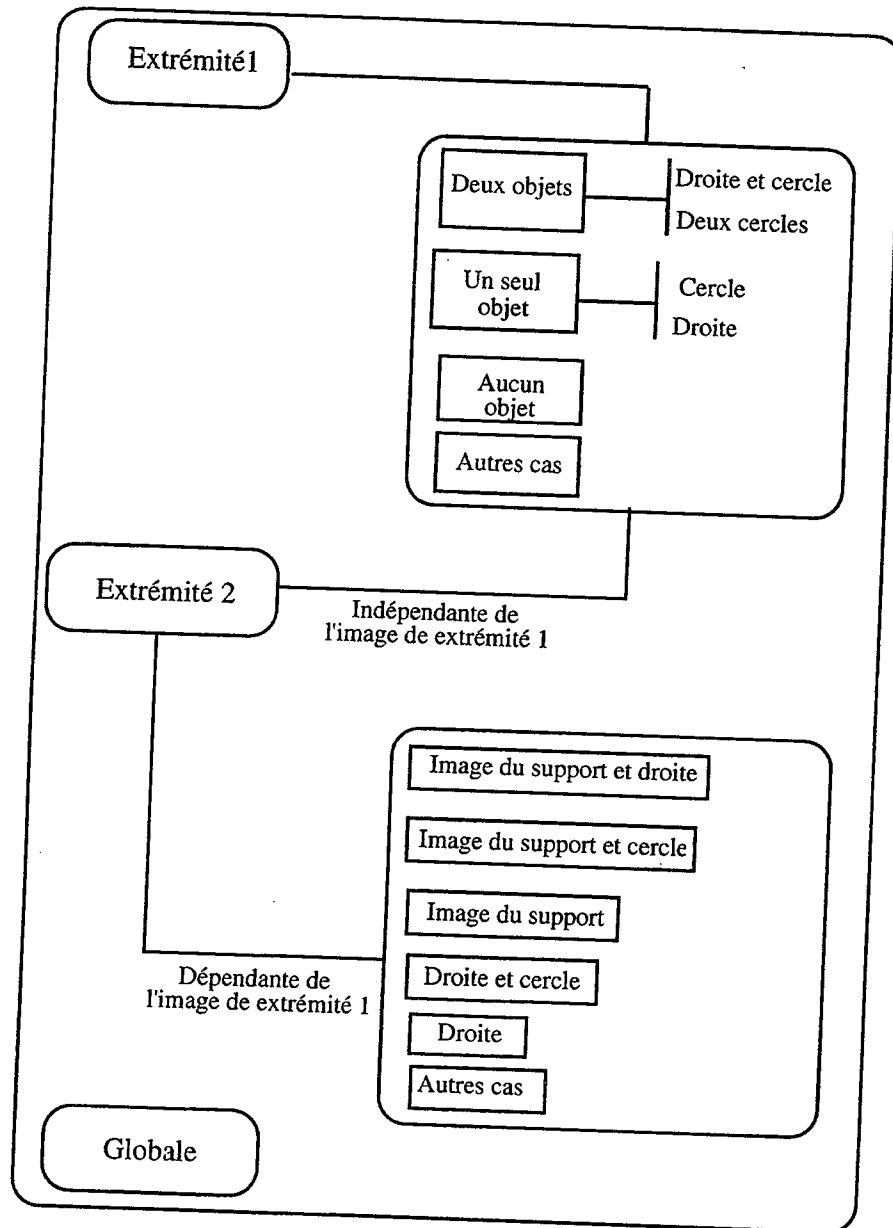
Essayons de caractériser ces deux dernières piles et de voir comment elles sont fabriquées (La première pile a un rôle limité et ne présente qu'un intérêt technique nous ne nous attarderons pas dessus).

III.2. Pile de diagnostic

Dans la partie (cf. § I.4.) nous avons identifié par une analyse a priori, les procédures de résolution des élèves (correctes et erronées) et nous les avons classées en trois catégories : les procédures analytiques, les procédures semi analytiques et globales.

Nous avons caractérisé ces trois catégories par des descripteurs qui apparaissent sous forme de boutons que le Tuteur Humain doit cocher.

Pour mieux comprendre la structure de cette pile, nous présentons le schéma suivant que nous commentons par la suite en donnant quelques exemples de cartes de la pile:



Enchaînement des cartes de la pile de diagnostic

Fig.3, 27

La pile de diagnostic contient 31 cartes. Le travail effectué sur les procédures correctes et les altérations de ces procédures (cf. § I.4.3) nous a permis de construire ces fenêtres d'analyse.

Nous allons en présenter quelques unes, le reste sera présenté en annexe (cf annexe chapitre 3, pile de problèmes "K/Pb").

La première carte de la pile (figure 20) regroupe 4 types de boutons :

- 3 boutons de diagnostic : "Extrémité 1", "Extrémité 2", au cas où la procédure de construction de l'élève est analytique, semi analytique ou autre et "Globale", au cas où la procédure est globale.

- 2 boutons d'accès direct aux dernières cartes parcourues pour " extrémité 1" et "extrémité 2". Le tuteur fait son diagnostic en temps réel en parcourant les cartes de diagnostic concernant les deux extrémités. En cas de changement de procédures de construction chez l'élève, le tuteur peut avoir un accès direct à la dernière carte parcourue (concernant la première extrémité et/ou la deuxième) pour changer éventuellement son diagnostic.

- 1 bouton "si blocage" que le tuteur Humain peut utiliser en cas de blocage chez l'élève. Ce bouton lui permet d'accéder à une nouvelle carte (carte blocage de la pile de diagnostic. Cf. annexe chap.3) par l'intermédiaire de laquelle il peut envoyer un message de blocage à l'élève lui demandant s'il veut passer à une autre activité ou arrêter. Dans le cas où l'élève décide de passer à une autre activité, un bouton de la même carte permet au tuteur d'accéder à la pile de problèmes "K/Pb" et plus précisément à une carte de spécification d'un problème.

- 1 bouton "fin de saisie" qui d'une part envoie une évaluation à l'élève et d'autre part renvoie le tuteur humain à une carte, de la pile de problèmes "K/Pb", correspondant à la procédure diagnostiquée.

Nous présentons ci-dessous la carte concernée :

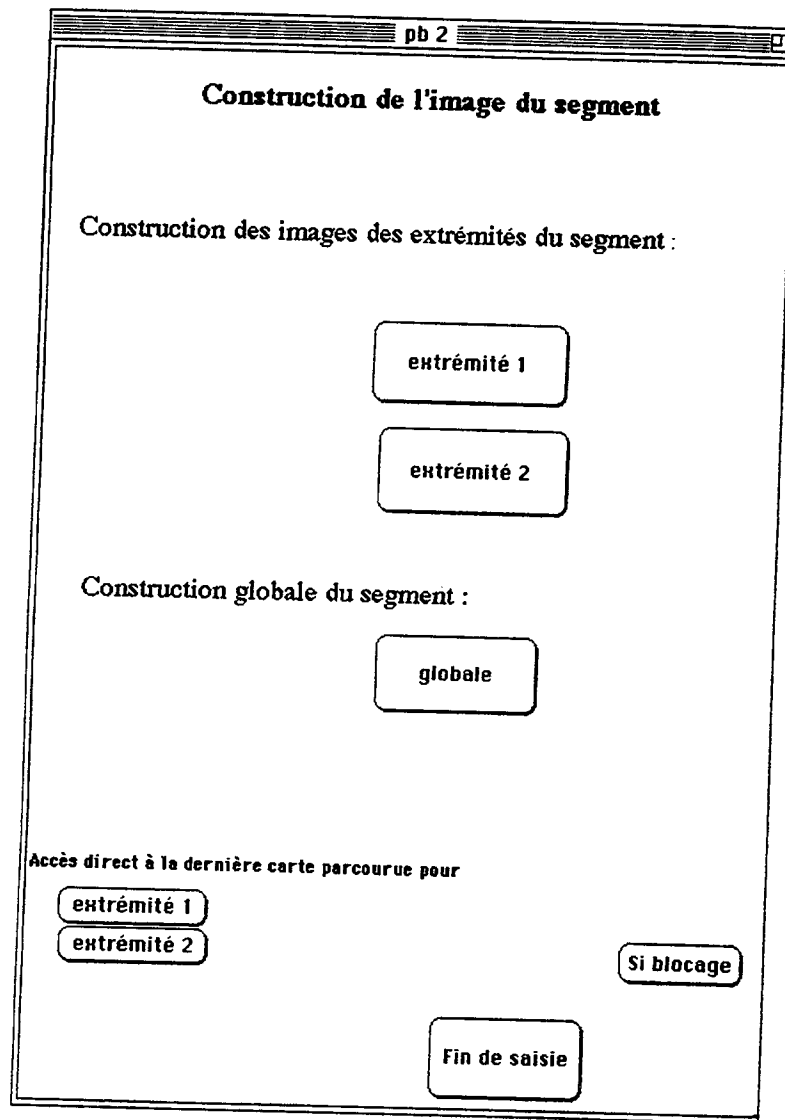


Fig.3, 28

Le bouton "Extrémité 1" renvoie à une carte (Fig.3, 29) qui regroupe d'autres boutons qui correspondent à des constructions de l'image de l'extrémité à partir :

- 1. de deux objets (droite et cercle ou deux cercles). Les procédures sont dans ce cas de type analytique;
- 2. un seul objet (cercle ou droite). Les procédures qui rentrent dans ce cadre sont de type semi analytique;
- 3. aucun objet. Les procédures sont dans ce cas de type global;

- 4. autres cas (qui correspond à une construction non prévue et non analysée a priori). Les procédures qui rentrent dans ce cas peuvent faire partie des trois types de procédures (analytique, semi analytique ou global).

pb 2

Construction de l'image de l'extrémité 1

en utilisant :

deux objets

droite et cercle 2 cercles

un seul objet

cercle droite

aucun objet

Aucun

autres cas

Autre cas

Fig.3, 29

Le bouton "droite et cercle" de la carte précédente renvoie à une carte (Fig.3, 30) contenant une énumération des observables possibles qui sont les descripteurs des procédures probables, correctes ou altérées.

Ces observables apparaissent sous forme de boutons² que le tuteur doit cocher.

Cette carte est représentée ci dessous :

pb 2

Construction de l'image de l'extrémité 1

utilisation de droite et cercle

droite

- ☒ horizontale
- ☐ verticale
- support du segment passant par
 - ☐ extrémités
 - ☐ points voisins
- perceptivement orthogonale
 - ☐ au segment
 - ☐ à l'axe
- orthogonale
 - ☐ au segment
 - * ☐ à l'axe
- ☐ quelconque

cercle

- de centre
 - ☐ extrémité
 - * ☒ point lié à axe
 - * ☐ intersection droite/axe
 - ☐ point de base à l'intersection
 - ☐ point de base sur axe
 - ☐ point qqe
- passant par
 - ☐ point qqe
 - * ☒ extrémité
 - ☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image

- ☐ point de base à l'intersection de droite et cercle
- ☐ sur le cercle
- * ☒ intersection de droite et cercle
- ☐ non défini

⏪ OK

Nous donnons ici un exemple de ce qui correspondrait à une saisie des observables liés à une construction analytique d'une extrémité du segment (point image comme intersection d'une droite horizontale et d'un cercle, de centre un point lié à l'axe et passant par une extrémité).

Fig.3, 30

Revenons maintenant au bouton "Extrémité 2" de la carte de la figure Fig.3, 28.

² Ces boutons sont précédés par des étoiles dans le cas de sous-procédure correctes. Dans ce cas, il s'agit de la droite orthogonale à l'axe, du cercle centré sur l'axe et passant par une extrémité et du point d'intersection définie comme intersection de la droite et du cercle. Ce choix de mettre des étoiles a été fait dans le simple but de faciliter la saisie au tuteur humain quand la procédure de construction de l'élève est correcte.

Ce bouton renvoie à une carte qui regroupe deux boutons :

- un qui correspond à une construction (de l'extrémité 2) indépendante de l'image de l'extrémité 1 et qui renvoie à une carte identique à celle de l'extrémité 1 (au sens où elle renvoie aux mêmes possibilités de construction);

- un autre bouton qui correspond à une construction dépendante de l'image de l'extrémité 1 et qui renvoie à une carte regroupant les boutons suivants :

- construction à partir de l'image du support du segment objet et d'une droite;

- construction à partir de l'image du support du segment objet et d'un cercle;

- construction à partir de droite et cercle

(ces trois procédures étant analytiques);

- construction à partir de l'image du support (il s'agit ici d'une procédure semi analytique)

- autres cas (comme pour extrémité 1, il s'agit ici de toutes les procédures non prévues).

Une telle carte est présentée dans la figure ci dessous :

pb 2

Construction de l'image de l'extrémité 2

dépendante de l'image de l'extrémité 1

utilisant :

- image du support & droite
- image du support & cercle
- image du support
- 2 droites
- droite et cercle
- droite
- Autre cas

↶

Fig.3, 31

Les boutons de cette carte renvoient à des cartes comportant une énumération des observables possibles qui sont là aussi les descripteurs de procédures probables, altérées qui correspondent à des boutons que le tuteur doit cocher. Le bouton "image du support et droite" renvoie à la carte suivante :

pb 2

Construction de l'image de l'extrémité 2

*indépendamment de l'image de la 1ère extrémité
en utilisant l'image du support et une droite*

image du support du segment

Construction du support du segment à partir

- * ☒ extrémités
- ☐ points voisins

intersection (I) du support du segment et de l'axe

- ☐ point de base à l'intersection
- ☐ non définie
- * ☒ intersection

image du support du segment passant par

- * ☒ (I) et image de ext1
- ☐ points voisins

2ème droite

- ☒ horizontale
- ☐ verticale
- perceptivement orthogonale
 - ☐ à l'axe
 - ☐ au segment
- orthogonale
 - ☐ au segment
 - * ☐ à l'axe
- ☐ quelconque

Marquage du point image

- ☐ sur droite
- * ☒ intersection des 2 droites
- ☐ non défini
- ☐ sur d'autres objets

↩

OK

Fig.3, 32

Cette carte peut correspondre à une construction de type :

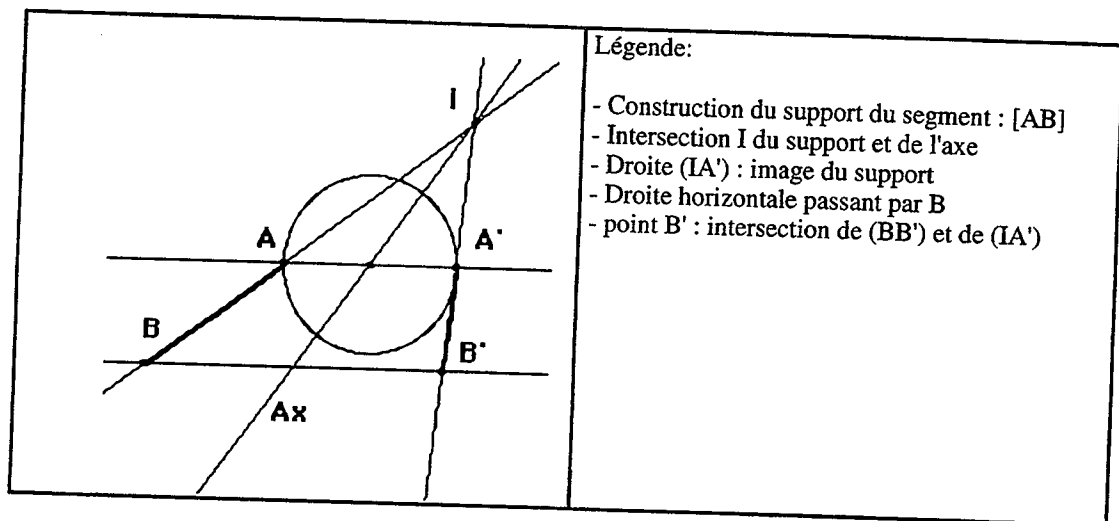


Fig.3, 33

Le tuteur humain coche ces boutons et il obtient des propositions sur un ensemble d'activités qui sont les situations pertinentes pour l'activité en cours. Il choisit donc la situation suivante et un nouveau cycle recommence.

Le Tuteur Artificiel gère la succession des situations. En effet une fois l'analyse faite, le TA identifie la procédure de résolution qui correspond aux observables saisis à l'interface et renvoie, en fonction de cette procédure de résolution, un ensemble de situations pertinentes qui se trouvent dans la pile de problèmes "K/Pb". Un exemple de ces cartes est donné ci dessous :

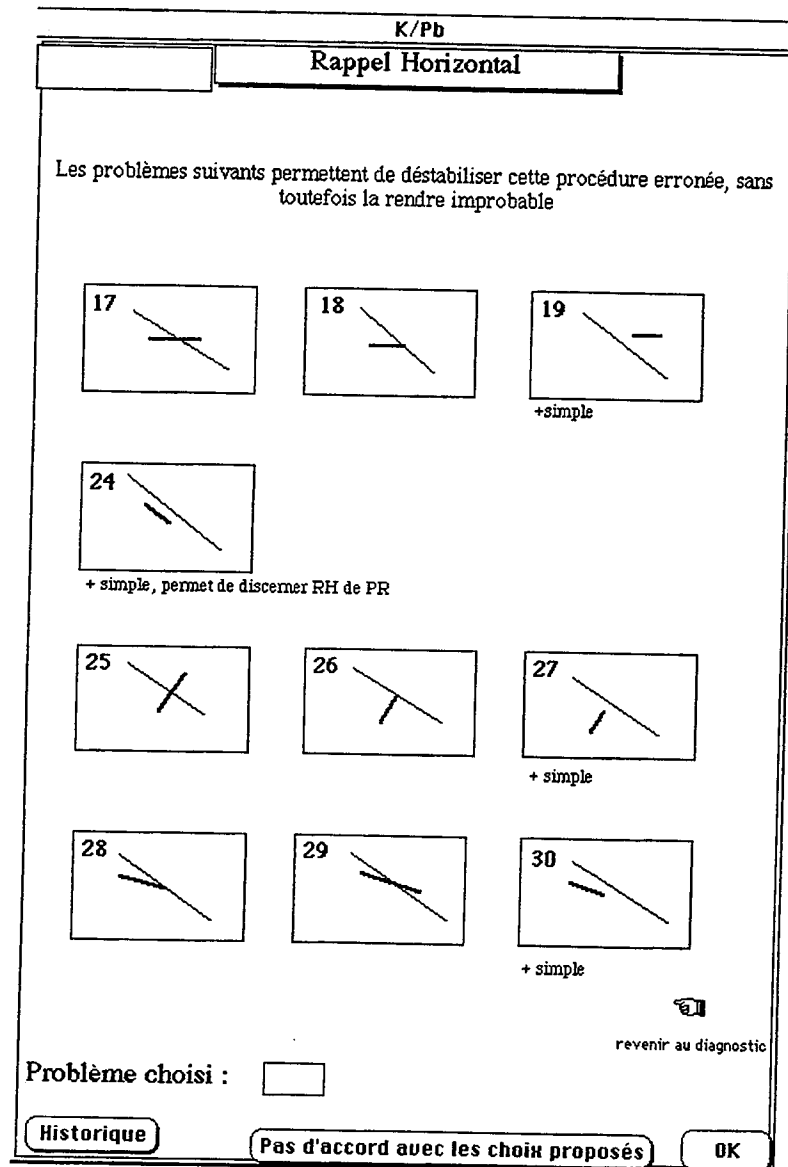


Fig.3, 34

Le tuteur humain choisit alors parmi ces problèmes, ou en définit un autre en cas de désaccord avec le tuteur artificiel. Dans ce cas, il clique sur le bouton "pas d'accord avec les choix proposés" qui le renvoie à une carte pour définir le problème choisi à partir des valeurs des variables.

III.3. Pile de problèmes suivants (K/Pb)

Nous avons présenté dans le paragraphe (cf. § 1.4.4.6, partie C.) les règles et les choix des enchaînements de situations. Nous résumons ces choix dans ce qui suit :

Cas PC (procédure correcte)

liste proposée: liste des problèmes renforçants (liste avec des problèmes où l'intersection est non vide)

critère de sélection : problèmes plus compliqués (on passe à une intersection non vide, problèmes de types I2 et II (cf. § II.4.6. partie A)).

Cas PE (procédure erronée),

RV (report vertical), **RH** (report horizontal), **PA** (parallélisme)

liste proposée : liste des problèmes déstabilisants (liste de situations susceptibles de provoquer entre autres, les mêmes procédures erronées. On traite un problème donc on choisira des situations où il risque d'apparaître:

Si lors d'une situation S_i , il y a une procédure erronée pe_i qui apparaît (d'une façon stable, l'élève n'évolue pas vers une autre procédure éventuellement correcte), on suppose alors que cette situation ne permet pas une évolution des connaissances de cet élève particulier. Dans ces conditions on lui propose un nouveau problème S_j où la procédure pe_i a beaucoup de chance d'apparaître et d'être mise en question.

Pour cela on évitera de proposer à l'élève des problèmes où la procédure risque de ne pas émerger et par conséquent où il risque d'être confronté à de nouvelles procédures erronées donc à de nouveaux problèmes différents de celui de la situation initiale.

critères de sélection :

* discerner les reports horizontaux ou verticaux du prolongement dans certains cas particuliers où les procédures se confondent.

* simplifier, favoriser les cas les plus généraux (problèmes plus simples, intersection vide);

* résoudre le problème de validation par déplacement, en favorisant des problèmes où seul l'axe varie (cf. II.4.6. PARTIE B)

PR (prolongement),

Liste proposée : (1 2 12 13 23 24) liste de problèmes où le segment est parallèle à l'axe.

RD (report de distance)

liste proposée : (2 5 8 11 13 16 19 22 24 27 30)³, liste de problèmes avec des positions particulières de l'axe et du segment horizontal ou vertical en plus de valeurs particulières pour l'angle (segment, axe).

On propose aussi une activité de report de distance dans ce cas là. Une telle activité est présentée dans l'annexe (cf. § Annexe Chap.3).

ROS (report orthogonal au segment); **POS** (perceptivement orthogonal au segment)

liste des problèmes qui correspond à des situations où l'axe est perpendiculaire au segment. On suppose que l'élève va essayer d'investir la même procédure et qu'il va se heurter à des constructions (qui ne tiennent pas compte de l'axe) qu'il pourrait facilement remettre en cause.

POA (perceptivement orthogonal à l'axe)

liste des problèmes

critère de choix : l'intersection de l'axe et du segment est vide

III.4. Navigation

Le tuteur humain a devant lui l'image de l'écran de l'élève et une fenêtre de diagnostic dont le but est de réunir les éléments pour prendre une décision sur la prochaine activité destinée à l'élève. Le moyen de prendre cette décision est l'analyse de ce que fait l'élève (rôle du tuteur humain) dans la fenêtre courante.

Pour faire cette analyse, le tuteur humain doit décrire la construction de l'élève sur une fenêtre comportant une énumération des observables possibles, caractérisant des comportements, des procédures à un niveau global ou un niveau local qui peuvent

³ cette liste renvoie aux problèmes (pb2 , pb5 , pb8 , pb11 , pb13 , pb16 , pb19 , pb22 , pb24 , pb27 , pb30).

être par exemple un défaut de report de longueur ou qui peuvent être liées à l'orthogonalité ou une caractérisation de l'utilisation de cercle, de parallélogramme ou d'autres moyens de report. Un exemple d'une telle fenêtre est donné plus haut (cf Fig.3, 32)

Une telle fenêtre permet de faire une analyse qui correspond à une identification des procédures de résolution et enverra le tuteur humain, quand elle sera terminée, vers un ensemble de successeurs possibles qui sont les situations pertinentes pour l'activité en cours. Ce dernier décidera alors lui même de ce qu'il choisit parmi cet ensemble, ou en spécifiant un autre problème. La définition de cet ensemble des successeurs possibles est gérée par le tuteur artificiel à partir des éléments d'analyse fournis par le tuteur humain.

Le tuteur humain choisit parmi ces propositions et un nouveau cycle commence. Ce cycle est donc, une nouvelle fenêtre Élève, une nouvelle fenêtre Tuteur donc de nouveau, des variables pertinentes que le tuteur humain va pouvoir saisir pendant qu'il observe l'élève puis une transition vers un successeur S ou un ensemble de successeurs S.

III.5. Scénario

Nous avons fait le choix de vérifier, quand la procédure de construction du symétrique est analytique, si la procédure de construction de la première extrémité est géométriquement correcte (c'est à dire si les propriétés de la symétrie sont explicitées par l'élève) ou pas. Dans le cas où elle l'est, on traite la deuxième extrémité. Si cette dernière est géométriquement correcte, et si elle est valide au sens de Cabri-géomètre, on vérifie la validité de la première extrémité et on traite éventuellement, le problème Cabri-géométrique (c'est à dire tout ce qui concerne la non explicitation des actions, intersection non définie, point apparemment sur un objet, etc.) (cf. § II.2.2.). Si un problème géométrique apparaît au niveau de la première extrémité, on envoie le résultat de l'évaluation à l'élève (construction incorrecte) et on lui demande s'il veut revoir sa construction ou passer à un nouveau problème. Dans le cas où il choisit une nouvelle activité, on traite alors le problème géométrique apparu (dans le sens où on propose un problème qui déstabiliserait la procédure erronée) en priorité tout en laissant la possibilité au tuteur de traiter (s'il le décide) le problème lié à la deuxième extrémité.

Les problèmes Cabri-géométriques sont traités par des aides textuelles et ensuite, à un niveau profond, par des aides visuelles, sous formes de films sur écran permettant à l'élève de voir une démonstration de l'action à faire, des items à utiliser etc.

Nous présentons dans ce qui le schéma d'un scénario d'une session de travail :

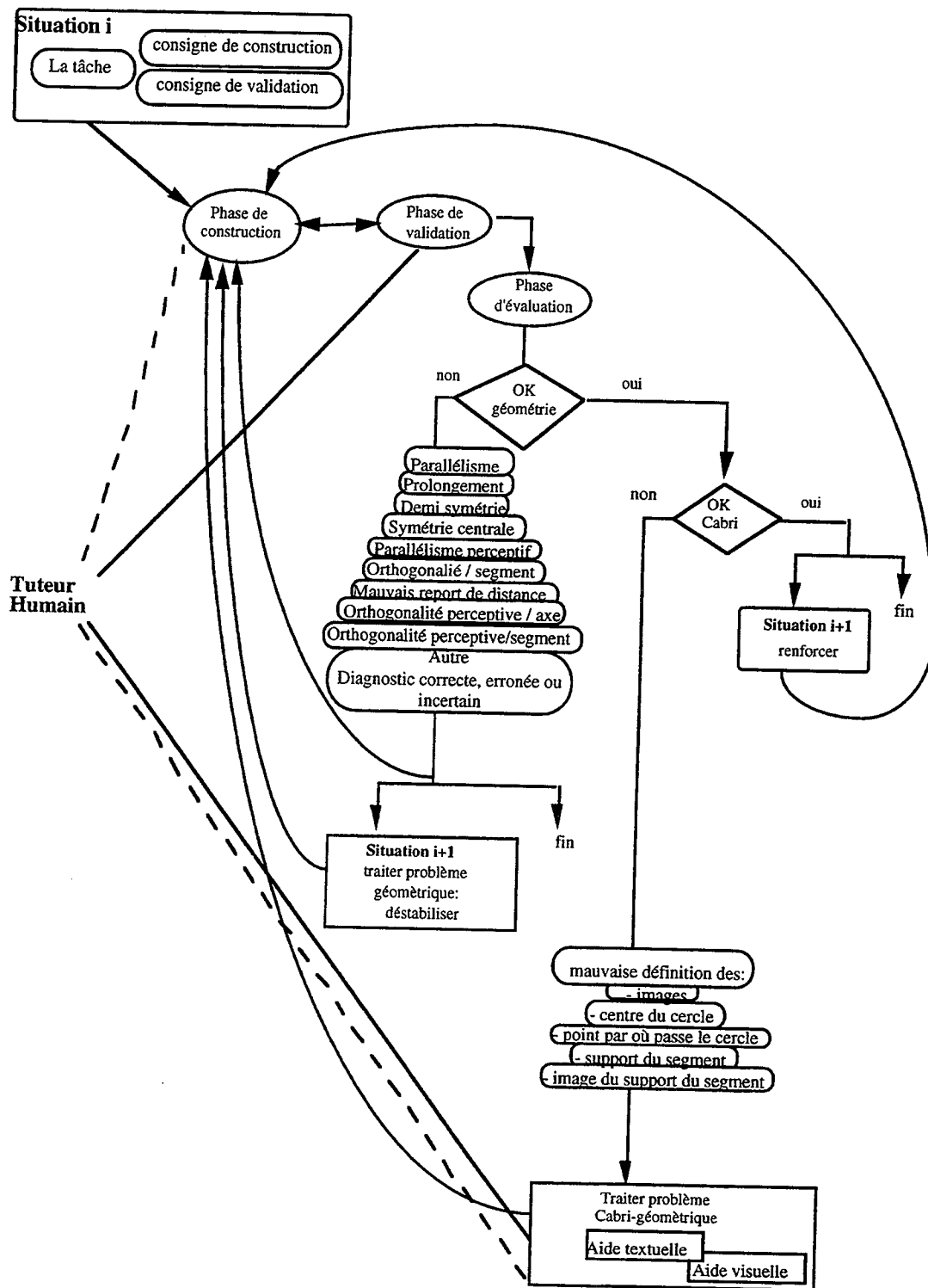


Fig.3, 34

Un problème est proposé à l'élève, une première phase correspond à la construction de l'image du segment, une deuxième correspond à la validation par déplacement et une troisième à une phase d'évaluation par le TA ou TH (quand la procédure n'a pas été analysée a priori). Deux cas peuvent se présenter : construction correcte ou incorrecte. Si la construction est correcte, on passe à un problème renforçant cette procédure. Si elle est erronée :

- par rapport à Cabri, on propose des aides textuelles ou visuelles pour aider à dépasser ces problèmes Cabri-géométriques
- par rapport à la géométrie, on propose des problèmes déstabilisants.

IV. Présentation de la tâche

IV.1. Consigne de construction

Nous avons proposé aux élèves la consigne de construction suivante :

"Voici une droite et un segment, construis le symétrique de ce segment par rapport à cette droite".

Nous avons choisi de ne pas nommer les objets droite et segment pour ne pas favoriser des procédures de types analytiques ou semi analytiques.

IV.2. Consigne de validation

La validation par déplacement de figures sera, sous contrôle perceptif et géométrique.

L'élève devra déplacer l'une des extrémités du segment objet et voir que le segment et son image restent symétriques dans tous les cas, c'est à dire quel que soit le déplacement effectué.

Le contrôle géométrique est en liaison avec certaines connaissances que peuvent avoir les élèves, sur la symétrie, même si ces connaissances ne sont que localement ou partiellement correctes.

Nous avons donc été amenés à négocier un contrat de validation, avec les élèves, dont les clauses doivent rester implicites, car les connaissances qui sont sous-jacentes ne doivent pas être dévoilées, sinon il n'y aurait plus apprentissage par l'élève lui même.

"Le problème posé par l'énoncé de la consigne est classique, l'enseignant ne peut dire aux élèves ce qu'il veut leur faire faire puisque cela reviendrait à leur donner la solution. Il doit donc leur annoncer un autre objectif (c'est celui qui correspond à la consigne) qui puisse amener les élèves à mettre en jeu les apprentissages cachés. Ce paradoxe est classique dans une situation d'enseignement".

Les élèves avec qui nous avons travaillé ont une certaine connaissance de la symétrie qui fournit des éléments de contrôle que nous pensons que l'élève utilise de façon plus ou moins consciente. Ces éléments sont notamment la conservation de la longueur du segment et le fait que l'image et l'objet sont situés de part et d'autre de l'axe. Cependant dans certaines situations, ces critères peuvent s'avérer inefficaces. Il nous faut alors recourir à d'autres critères. Pour ce faire, nous exploiterons d'autres éléments

de contrôle qui existaient chez les élèves, mais de façon beaucoup moins consciente que les précédents. Nous pensons que l'explicitation de ces éléments de contrôle (que nous souhaitons provoquer) permettrait de les transformer en critères de validation supplémentaires (ex.: l'orthogonalité peut être utilisée de façon implicite par l'élève; elle se traduit par un report orthogonal ou perceptivement orthogonal à l'axe).

Nous avons choisi de proposer à l'élève la consigne de validation suivante:
consigne de validation:

" Attention, ta figure doit rester symétrique quand tu déplaces l'une des extrémités du segment de départ."

IV.3. Choix de la première situation

Nous avons choisi de commencer la session de travail par le problème suivant :
axe vertical, segment oblique et angle quelconque avec une intersection vide. En effet, on constate que dans la plupart des manuels :

- pour toutes les activités préliminaires (pliage, premières définitions de points symétriques) ainsi que la construction ou l'identification de l'axe de symétrie d'une figure, les axes de symétrie sont majoritairement verticaux ou horizontaux;
- pour la construction de figures géométriques, l'axe est en général donné vertical
- c'est une tâche qui se prête bien au pliage malgré le fait qu'elle induit l'horizontalité.

Cela fait de la situation où l'axe est vertical une situation assez courante, qui peut donc être présentée aux élèves. Il y a un bon pronostic pour que tous les élèves puissent engager une procédure de résolution dans ce cas, quelle soit correcte ou erronée.

IV.4. Mise en place de l'expérimentation

IV.4.1. Les élèves

Nous avons travaillé avec des élèves de 5ème, qui avaient eu un enseignement de la symétrie en 6ème mais qui n'avaient pas encore revu la notion en 5ème. La familiarisation avec le logiciel Cabri-géomètre n'a pas été nécessaire car ces élèves avaient l'habitude de travailler dans cet environnement. Ils avaient une connaissance suffisante de l'utilisation de l'ordinateur. On a donc supposé qu'ils avaient une

connaissance sur ce qui doit être explicité dans Cabri-géomètre. Les élèves avaient déjà eu à résoudre des problèmes portant sur des constructions et à les valider par manipulation dans Cabri-géomètre.

Nous avons donc supposé que ces élèves avaient accédé au fait que les problèmes qu'ils se proposaient en général de résoudre portaient sur des classes de dessin et non sur des dessins particuliers et qu'ils étaient familiers avec la notion de validation des procédures de construction, par déplacement, dans Cabri-géomètre.

Pour favoriser les "interactions sociales" entre les élèves, nous avons choisi la modalité de travail en binômes. L'interaction entre élèves d'un même groupe permettrait d'activer la recherche de solution et d'aboutir à une meilleure structuration et formulation de la procédure de construction retenue. Nous nous attendons ainsi à ce que la recherche d'explicitation des procédures entraîne une évolution de ces dernières (Laborde, 1982).

IV.4.2. Les tuteurs

Deux enseignants, un stagiaire de l'IUFM et un autre ayant déjà exercé, en interaction auront à jouer le rôle des tuteurs humains.

L'enseignant confirmé a une certaine expérience du métier, notamment des difficultés que les élèves rencontrent de façon générale lorsqu'ils abordent la notion de symétrie orthogonale. Nous pensons que ses décisions vont être de nature à contourner ces difficultés qu'il peut prévoir d'avance et à élaborer des stratégies qui permettent de les surmonter.

Quant à l'enseignant stagiaire, nous pensons qu'il centrera davantage ses décisions sur les connaissances mathématiques relatives à la notion en jeu.

Cette hétérogénéité va permettre de confronter et de faire expliciter des critères de choix et de décisions différents : les uns centrés sur les connaissances mathématiques et les autres sur les difficultés relatives à la notion.

En jouant d'une part sur l'interaction sociale et d'autre part sur la différence de niveau d'expérience des deux tuteurs, nous espérons recueillir des informations sur ces processus. Nous espérons à cet effet créer un contexte favorable aux débats de validation entre élèves (ou groupes) de points de vue différents (Balacheff, Laborde, 1985).

IV.4.3. Les observateurs

Deux observateurs (étudiants en didactique des mathématiques) auront à s'occuper d'un binôme à la fois. Les consignes qui leur ont été données se trouvent en annexe (Annexe chapitre 3 "Consignes aux observateurs")

IV.4.4. Le logiciel Cabri-géomètre

Une version de Cabri (2.5) a été préparée pour recevoir des messages des piles du Tuteur Artificiel et ouvrir des figures sur le poste élève.

IV.4.4.1. Les menus de Cabri

Comme le but de l'expérimentation était de travailler sur l'apprentissage de la notion de symétrie, nous avons dû enlever certains items du menu Cabri-géomètre habituel, par exemple l'item "symétrique", et choisi d'en enlever d'autres (par exemple, droite de base et cercle de base). Nous citons dans ce qui suit ces items et les raisons pour lesquelles ils ont été enlevés :

Symétrique : cet item de Cabri permet de construire le symétrique d'un point par rapport à un point (symétrie centrale) ou par rapport à une droite (symétrie orthogonale). La raison de sa suppression est évidente : on voulait travailler sur la symétrie et avoir les procédures d'élaboration de symétries, il nous fallait donc enlever la possibilité de les avoir d'une façon automatique.

Droite de base et cercle de base : ces items permettent de construire les objets droite et cercle. Leur position, le fait d'être placés en début de la liste des items du menu "création", amènerait l'élève, dont l'objectif est de tracer une droite ou un cercle, à les choisir en premier au lieu de choisir les items "droite def.2pts" et "cercle def.2pts".

Les tâches que nous proposons aux élèves exigent un report de distance, à l'aide de l'outil cercle. La validation de la procédure se fait comme nous l'avons énoncé par déplacement des extrémités du segment. Dans le cas où les objets construits ne sont pas liés au sens de Cabri, c'est à dire que les relations ne sont pas explicitées, la construction n'est pas valide par déplacement. Or en utilisant un cercle de base, les objets ne sont pas liés, l'élève doit expliciter ces liens en utilisant par exemple l'item "point sur objet " ou autre.

En plus la démarche qui consiste à créer un cercle(de base) et à lui lier un point est plus coûteuse (en nombre d'opérations à exécuter) que celle qui consiste à créer un cercle (def. centre et point) à partir d'un point qui existe déjà ou qui est créé simultanément.

Mesurer, quadrillage :

Nous avons voulu limiter l'espace de résolution des problèmes à la géométrie d'incidence.

Les procédures de construction où le report de distance serait fait à l'aide de l'item "calculer" et plus précisément "mesurer" ne seront pas validées (par déplacement dans Cabri). Nous avons donc décidé de supprimer cet item de la barre des menus.

Nous allons présenter dans le chapitre 4 les analyses des protocoles des élèves. Nous commencerons par une introduction sur le déroulement de l'observation en classe, puis nous ferons un état des procédures et conceptions des élèves et nous finirons par l'analyse en rapport avec les questions que nous nous posons.

Chapitre 4

Analyse des résultats

I. Introduction

L'observation a concerné 12 binômes d'élèves de la classe de cinquième du collège. Deux enseignants, l'un du collège et l'autre de l'IUFM¹, et deux élèves maîtres de l'IUFM jouaient le rôle des tuteurs humains.

Les élèves concernés ici sont déjà familiarisés avec le micromonde Cabri-Géomètre. Cela a permis une centration sur l'activité géométrique dans la mesure où ces élèves ont moins de difficultés dans les manipulations clavier-souris ainsi que dans celles des fonctionnalités du logiciel.

L'expérimentation a eu lieu en deux jours, au mois de Décembre 93. Les binômes d'élèves ont travaillé séparément, l'un à la suite de l'autre, chaque fois dans une séance d'environ une heure. Nous donnons ci-dessous la liste des binômes dans l'ordre des passations ainsi que leurs appariements avec les tuteurs humains :

a) Les binômes :

B1 : Céline et Sandrine B2 : Olivier et Laurent B3 : Antony et Morad B4 : Michaël et Sébastien	B5 : Cécile et Marlène B6 : Maryline et Sandrine B7 : Romain et Michaël B8 : Sonia et Christelle	B9 : (protocole défectueux) B10 : Grégory et Nathalie B11 : Rémi et Stéphane B12 : Jessica et Hakima
---	---	---

b) L'appariement Tuteurs humains/Binômes :

Bernard et Nathalie : B1 - B2 - B7 - B8.

Bernard et Jean-Claude : B10.

Philippe et Jean-Claude : B3 - B4 - B6.

Philippe et Nathalie : B5 - B11 - B12.

L'enregistrement pour l'un des binômes (le B9) a été perturbé et n'a pas permis une exploitation des productions. Nos analyses concernent 11 binômes d'élèves.

Nous allons présenter, d'une façon assez générale, dans le paragraphe qui suit les types de procédures apparues chez les élèves. Nous reviendrons aux binômes d'une façon plus détaillée dans la suite de notre travail et ce en rapport avec les questions que nous

¹ Institut Universitaire de Formation des Maîtres

nous posons. Nous mettrons donc l'accent sur les diagnostics de ces procédures et les décisions des tuteurs les concernant.

II. Les procédures de construction observées chez les élèves

Les procédures rencontrées chez les élèves sont surtout de type "globales" et "analytiques". Les binômes qui ont débuté avec des procédures analytiques sont restés dans le même type de procédures. Parmi ceux qui ont mis en oeuvre des procédures globales, il y en a qui ont évolué vers des procédures de type analytique, les autres ont continué à investir des procédures globales.

II.1. Procédures de construction analytiques

- Procédures basées sur une conception correcte ou globalement correcte de la symétrie axiale : ces procédures sont mises en oeuvre chez des élèves qui fonctionnent en général par rapports aux invariants correspondant aux propriétés de la symétrie orthogonale à savoir

- la conservation des formes : l'image d'un segment est un segment
- la conservation des longueurs.
- la conservation des distances à l'axe mais sans mise en oeuvre des outils pour reporter une telle distance.
- segment et image de part et d'autre de l'axe.

Ces procédures sont soit :

- géométriquement et Cabri-géométriquement correctes dans le sens où les propriétés de la symétrie sont explicitées et où la construction est valide au sens de Cabri-géomètre.

- géométriquement correctes dans le sens où les propriétés de la symétrie sont explicitées mais où la construction n'est pas valide au sens de Cabri-géomètre.

- procédures géométriquement erronées, basées sur une conception erronée de la symétrie.

Les procédures de construction géométriquement erronées ont été observées chez des élèves qui avaient une conception erronée de la symétrie (report horizontal,

prolongement, parallélisme) ou dans des cas de figures où le report horizontal (ou prolongement) se confondait avec le report orthogonal à l'axe.

II.2. Procédures de construction globales

Certains élèves ont mis en oeuvre des procédures de construction "globales" avec des conceptions globalement correctes de la symétrie. Ils ont construit le segment image perceptivement correct, c'est à dire avec une conservation perceptive de la distance à l'axe, et avec conservation perceptive des longueurs. D'autres ont commencé par investir des procédures "globales" qui renvoient à la conception erronée de la symétrie "parallélisme" (cf. chap.3 § II.4.3.) et ont évolué ensuite vers une conception globalement correcte en utilisant toujours le même type de procédure (globale).

Le problème de ces élèves qui investissent ce genre de procédures peut se ramener au fait que :

- ils ne savent pas reporter une distance avec les outils de Cabri-géomètre. Ces élèves ont, en général, beaucoup évoqué l'item "mesurer" mais devant l'impossibilité d'utiliser cet item (car non disponible), ils ont essayé de construire l'image du segment en ayant comme moyen de contrôle la perception. Les déplacements des points objets étaient suivis de déplacements de points images pour ajuster le segment image de telle façon qu'il y ait symétrie perceptive. Ils ont en général fait des déplacements successifs des points et de leurs images de façon à ce que la figure reste perceptivement symétrique. On peut penser que c'était là leur interprétation de la consigne de validation "la figure doit rester symétrique dans tous les cas". Ces élèves considèrent en général leurs figures statiques. L'enchaînement des problèmes n'a pas permis une déstabilisation de ces procédures.

- ils ne savent pas que les points et leurs images doivent être liés par des relations géométriques qui se traduisent par l'utilisation de cercles et/ou de droites orthogonales.

- ils ne savent pas comment lier les points et leurs images par ces mêmes relations. Leur problème est purement au niveau des outils, ils savent que les distances sont conservées mais ne savent pas comment les reporter. Ces élèves restent à un stade préopératoire et non pas d'explicitation. Ils sont par exemple capables de reconnaître une figure symétrique, mais sont incapables d'explicitier les phases de construction du symétrique.

Il existe cependant des cas de binômes qui ont initialement mis en oeuvre des procédures de constructions globales et qui ont évolué vers des procédures analytiques. Nous allons essayer d'expliquer ce passage.

III. Evolution des procédures de construction chez les élèves.

L'évolution des procédures de construction (de globale à analytique) peut être expliquée de deux manières :

1) les élèves ont mis en oeuvre des procédures de constructions analytiques faisant intervenir les objets droites, droites parallèles, perpendiculaires et/ou cercles pour construire l'image du segment. Ces constructions ont été entamées après:

- recours au pliage, par les élèves, comme moyen de contrôle
- un enchaînement de situations pertinentes.

2) Nous avons vu dans le paragraphe (cf. chap. 1 § II.3.4.) que les résultats des travaux de Burton ont montré que les élèves, devant une "impasse", c'est à dire lorsqu'ils sont bloqués par une situation que leur connaissance courante ne permet pas de résoudre, essaient des "réparations" ou "bricolage". Ils deviennent inventifs et mettent en oeuvre des procédures de résolution de problème qui leur permettront de continuer malgré l'impasse.

L'absence des items "mesurer" et "quadrillage" ont posé beaucoup de problèmes que ce soit aux élèves qui mettaient en oeuvre des procédures analytiques ou à ceux qui au contraire mettaient en oeuvre des procédures globales. Les élèves ont alors essayé de contourner la difficulté liée à l'absence de ces deux items, et donc en rapport avec le report de distance, en construisant de nouveaux outils. Ils sont ainsi passés de procédures globales à des procédures analytiques. Ce passage a consisté en la redéfinition (explicitée dans cabri ou non) d'un point de base en un point d'intersection de deux objets. En général ces objets ont été construits après la construction globale donc perceptive, des points images, dans des problématiques différentes. Ils correspondent à des droites orthogonales, parallèles ou à des cercles.

Evolution des procédures de construction

Les élèves devant l'impasse mesure" ont opéré, comme nous l'avons signalé, des modifications sur les procédures globales initiales. Ces changements ont été réalisés dans des problématiques différentes :

- **problématique de validation de la construction** : la validation a joué un rôle assez important dans le changement de la procédure de construction des élèves car en déplaçant les objets et en observant la figure, ils se rendent compte que la "symétrie" de la figure n'est pas conservée et que "ça bouge". Ils décident alors de lier ces points par des relations. Ils cherchent en général à mettre les points comme "point sur objet" ou comme "intersection de deux objets" quand les objets existent sinon ils les créent et ensuite essayent de les lier aux points.

Séba.: Non. ...Maintenant, il faudrait plus qu'il bouge. Faudra faire.. faudra voir s'il y a pas un truc de symétrie².. Moi je crois que j'ai vu un truc symétrie?

- **problématique "aide à la perception" ou "contrôle perceptif"** : certains outils ont été créés comme moyen d'aide à la perception ou de contrôle de la procédure perceptive. Exemple, les cercles pour le binôme Antony et Morad (B3) et le quadrillage pour les binômes Antony et Morad(B3) et Romain et Michaël (B7).

- **problématique de réajustement** : le segment étant construit au jugé, selon une conception particulière (par exemple "parallélisme" avec l'existence de l'invariant : "le point et son image doivent être sur une même ligne horizontale"), les élèves cherchent un moyen pour réajuster le point image en créant par exemple

Mich.: On va mettre droit¹ maintenant, on va mettre droit

Séba.: Ah d'accord, pour régler, mais après on l'enlève.

Mich.: Ben évidemment ... [...]

note ¹ (Michael trace la droite qui passe par le point et son image et l'ajuste de façon à ce qu'elle soit horizontale, il dit "droit", il passe la main à Sébastien qui fait la droite passant par les deux autres points)

- **problématique "conforter la solution"** : certains objets ont été créés dans cette problématique. Un binôme a eu recours à des constructions de cercles pour conforter le résultat (binôme Antony et Morad :B3). Il plaçait le point image à peu près à égale distance de l'axe que le point objet. Il traçait ensuite deux cercles l'un centré en une extrémité et l'autre en son image et tous les deux passant par un point perceptivement sur l'axe. Il comparait ensuite les deux cercles et quand ces derniers n'étaient pas "perceptiblement pareils", il effaçait le point image, les cercles, retraçait un autre point

image et retraçait les cercles pour les comparer ensuite. Ce binôme a passé le temps de travail à essayer de conforter le perceptif avec des constructions de cercles.

- **problématique "parer à la mesure"** : les élèves créent des outils "quadrillages", "compas", "quadrillage et compas" etc. pour parer à la mesure.

Les différentes problématiques citées peuvent être très liées et se rapportent à une problématique de mesure.

Dans ce genre de problématiques l'évolution des procédures n'est certainement pas motivée par le fait que les élèves veulent investir des propriétés géométriques pour la construction du symétrique.

A - Le diagnostic

Dans cette première partie nous abordons les conceptions de l'élève du point de vue du tuteur humain. Pour cela nous discuterons des représentations explicitées par les tuteurs humains sur les procédures de construction chez les élèves et sur les conceptions de symétrie qui leur sont associées. Nous porterons notre intérêt aussi sur les implicites qui émergent entre l'intention exprimée par les tuteurs humains et sa mise en action. Nous étudierons chez les tuteurs humains l'objectif courant dans une situation ainsi que le rôle de la modalité orale prévue dans le dispositif expérimental.

I. Les conceptions des élèves sur la notion de symétrie

Les tuteurs humains ont relevé la notion de symétrie chez les élèves, à partir d'une observation des objets géométriques produits par ces derniers, des relations entre ces objets, et du discours tenu par les élèves à leur sujet. La verbalisation concernant des objets et relations par les élèves introduit une modification dans la lecture faite par les tuteurs humains. La nature de cette verbalisation fait apparaître des moments particuliers où les tuteurs humains s'expriment sur les mises en action de la notion de symétrie par les élèves. Nous les aborderons dans cette partie.

D'une manière générale, les élèves observés mettent en action une conception qui relève de l'isométrie. Par contre au niveau des procédures de construction, l'orthogonalité est moins facilement exprimée. Cela rejoint un résultat déjà évoqué dans d'autres recherches (cf. par exemple : Grenier 1988).

Les tuteurs humains ont constaté la réussite dans la production du symétrique du segment au moins une fois chez 5 binômes ; 6 autres binômes n'ont pas réussi.

Nous analysons les conceptions d'élèves sur la symétrie en mettant en rapport les tuteurs humains et le binôme d'élèves.

Nous présentons d'abord les cas où les tuteurs humains et le tuteur artificiel évaluent une construction correcte du segment par le binôme. Nous aborderons ensuite les cas où le segment image produit n'a pas été retenu correct.

I.1. Une conception correcte ou globalement correcte de la symétrie

Certains élèves semblent avoir une conception globalement correcte de la symétrie, mais peuvent investir des procédures de construction erronées parce que plus analytiques.

I.1.1 Procédures de construction correctes

Le diagnostic a été réalisé sans difficulté par les tuteurs humains dans les cas où une procédure de construction correcte a été mise en oeuvre par le binôme. Les tuteurs humains ont vu dans l'application d'une même procédure de construction, pour les deux extrémités du segment symétrique, un signe de stabilité de la procédure chez les élèves (cf. Cécile et Marlène).

Cécile et Marlène (B5) évoquent chacune une idée pour construire le segment image sans l'explicitier davantage au début du premier problème (Pb. 16) : pour Céline il faut une perpendiculaire, pour Marlène une parallèle. Mais Céline, qui construit (elle a la main dans Cabri-géomètre), impose son point de vue : une perpendiculaire à l'axe passant par une extrémité du segment objet. Dans la suite des actions, les élèves tiennent compte de l'orthogonalité à l'axe et explicitent les points d'intersection entre les objets : l'image d'une extrémité du segment objet est obtenue comme intersection de cette perpendiculaire à l'axe et d'un cercle. Ce cercle est centré en l'intersection de l'axe avec cette perpendiculaire et passe par cette extrémité du segment objet (cf. figure ci-dessous).

Cette procédure de construction a permis à Céline d'obtenir le second point image.

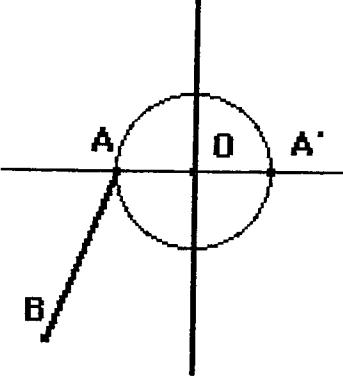
Ecran élève :	Côté élèves :	Observations	Côté tuteurs humains :
	Marlène : Droite parallèle! Cécile : Non, tu fais droite perpendiculaire comme ça, tu connais là! Oui, ça doit être ça. Ce point¹... cette droite²	¹(le point A) ²(l'axe)	Philippe : On parle de droites perpendiculaires, ouf! Il y a déjà des droites parallèles!

Fig.4.A, 1

Ces deux élèves montrent une certaine maîtrise de la construction dans Cabri-géomètre dans la mesure où une fois les constructions réalisées, elles rendent invisibles les objets auxiliaires (figure ci-dessous).

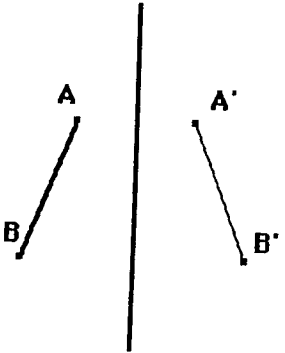
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
 Bravo, ta construction est correcte...	Marlène : C'est bon! Cécile : Oui, c'est bon on l'a déjà fait!	Philippe : La procédure est bien installée.

Fig.4.A, 2

Cette procédure de construction sera investie dans d'autres problèmes confirmant une conception correcte de la symétrie.

Céline et Sandrine (B1) évoquent le mesurage et le quadrillage dès le début de leur recherche dans le premier problème proposé (Pb. 16). Mais les outils "Mesurer" et "Quadrillage" n'ont pas été édités dans les menus, les deux élèves ont alors verbalisé et mis en action, dans Cabri-géomètre, les idées de cercle, de perpendiculaire, et d'intersection d'objets. Les relations entre objets ont été finalement explicitées dans Cabri-géomètre.

La procédure des élèves est de type analytique et renvoie à une conception correcte de la symétrie : elles ont commencé par tracer un cercle centré sur l'axe et passant par une extrémité puis ont construit la perpendiculaire à l'axe passant par cette même extrémité. Elles ont ensuite construit l'image de cette extrémité comme intersection du cercle et de la droite. L'image de la deuxième extrémité du segment est définie comme intersection d'une droite perpendiculaire à l'axe et d'un cercle centré à l'intersection de l'axe avec la droite et passant par cette extrémité.

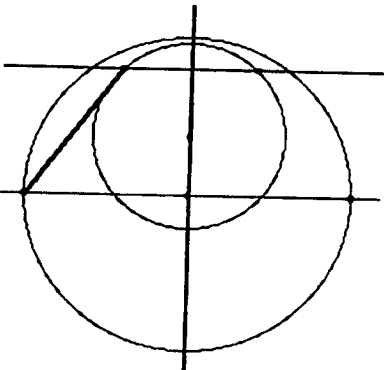
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
 Bravo, ta construction est correcte...	<u>Côté élèves :</u> Céline : Oui mais on fait...on essaye de faire une droite qui ...qui coupe le cercle. Sandrine : qui fasse la perpendiculaire, ah oui ! La perpendiculaire à celle là! (...) Céline : (...) Non mais attends...parce que...si on bouge, il doit rester symétrique. (...) Sandrine : Bravo, ta construction est correcte. Tu continues? Ben oui on continue.	<u>Côté tuteurs humains :</u> Nathalie : Droite et cercle.(...) Donc droite et toujours orthogonale. Bernard : Oui c'est ça... le cercle Nathalie : C'est l'intersection droite truc Bernard : Oui celui là Nathalie : Et l'intersection, ben c'est bon! Bernard : Oui.

Fig.4.A, 3

Cette construction de points images par cercles et droites perpendiculaires sera encore observée chez ces élèves dans d'autres problèmes. La stabilité de cette conception résistera aux valeurs des variables axe et segment dans le cas : axe oblique et segment horizontal (figure ci-dessous).

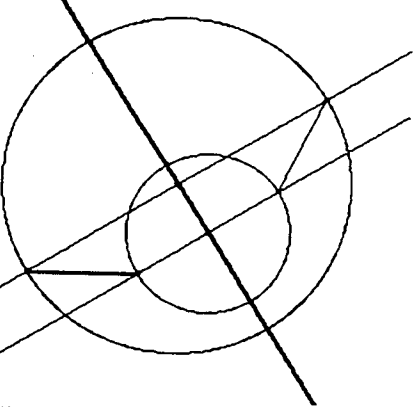
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
 Bravo, ta construction est correcte...	<u>Côté élèves :</u> Sandrine : Fin de construction... Céline : Normalement elle est juste parce que ça devrait être comme tout à l'heure, non? Sandrine : Oui, on continue ? Céline : Continue	<u>Côté tuteurs humains :</u> Nathalie : Droite orthogonale à l'axe. Bernard : A l'axe oui Nathalie : Le centre c'est l'intersection droite, axe Bernard : Oui c'est ça. (...) C'est la même méthode pour le...l'extrémité 2. Bon vas-y tu peux la marquer!

Fig.4.A, 4

Olivier et Laurent (B2) produisent une solution pour le premier problème proposé (Pb 16). Les élèves ont explicité, dans Cabri-géomètre, l'orthogonalité des droites avec l'axe de symétrie mais n'ont pas explicité les points d'intersection avec l'axe et avec les cercles. Ils ont tracé le cercle en prenant comme centre le point d'intersection de la perpendiculaire à l'axe et du cercle sans avoir défini cette intersection dans Cabri-

géomètre. Le tuteur artificiel a diagnostiqué une erreur Cabri-géométrique : il y a donc eu invalidation du centre de l'un des cercles de la figure (le point O de la figure ci-dessous). Il a donc proposé à l'élève de redéfinir le centre comme point d'intersection de l'axe et de la perpendiculaire à l'axe, ou comme un point lié à l'axe à l'aide de l'item "redéfinir un objet". Cet item ayant posé problème pour les élèves, l'observateur a intervenu pour leur fournir une aide. Le centre O du cercle une fois redéfini comme intersection de l'axe et de la droite perpendiculaire à ce dernier, la construction est déclarée correcte par le tuteur artificiel. Par la suite, la procédure de construction restera stable.

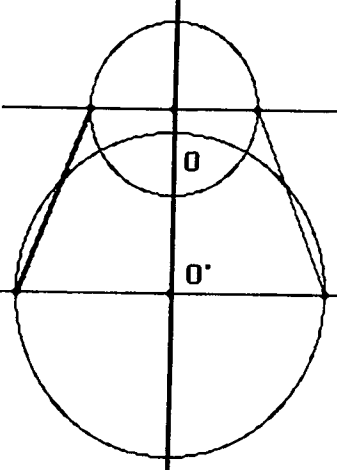
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté observateur :	Côté tuteurs humains :
 Bravo, ta construction est correcte.	Olivier : Le centre de ton cercle n'est pas bien défini... tu dois le redéfinir comme point lié à l'axe. Redéfinir... Ah oui! Regarde, le, le ... centre du cercle! Laurent : Et c'est lequel? (...) Olivier : Ben cette droite là, cette droite et... celle-là! (...) Olivier : Fin de construction Laurent : Bravo, ta construction est correcte. Ben tu continues	Oui vous cliquez sur fin ... encore une fois (...) Vous l'avez posé (...) Oui, et maintenant vous montrez des... quels objets?	Bernard : Il n'a aucune chance¹...quoi que ce soit. C'est Jana qui l'aide à voir, c'est bien note ¹(Le TH juge que l'élève n'a aucune chance pour comprendre l'aide pour l'item "redéfinir un objet" fournie par Cabri-géomètre. L'observateur aide le binôme pour redéfinir le centre du cercle comme point d'intersection. Le TH approuve cette intervention de l'observateur)

Fig.4.A, 5

I.1.2. Procédures de construction erronées

Dans les cas qui suivent, les tuteurs humains relèvent la démarche globale dans les procédures de construction : les relations pertinentes d'orthogonalité et d'isométrie restent peu explicites même si des droites perpendiculaires ont été parfois construites. L'explicitation dans Cabri-Géomètre des relations d'orthogonalité et d'isométrie n'a pas

été évidente pour ces élèves. Par exemple, Antony et Morad sont conscients de l'état approximatif de leur figure et du fait qu'un déplacement d'objet l'invalide facilement.

La stabilité des procédures et donc des conceptions sous-jacentes de la notion de symétrie et des spécificités des objets de Cabri-géomètre n'ont pas permis la production du segment symétrique (cf. par exemple : Romain et Michaël).

Antony et Morad (B3). Morad évoque une procédure de construction de l'image du segment, globale donc perceptive. Antony, quand à lui, évoque une procédure analytique de construction avec l'utilisation de droite horizontale (il dit "parallèle à cette droite" et désigne l'horizontale passant par une extrémité) et de cercle (passant par une extrémité et centré sur l'axe). Influencé par Morad qui pense que c'est compliqué, il renonce à la construction des images d'une façon analytique.

Ces élèves semblent mobiliser une procédure de construction du segment image qui tient compte de l'orthogonalité et de l'isométrie. Mais la référence à une symétrie pliage, puis le report horizontal des points images, puis l'intention d'opérer un mesurage des longueurs ont été très forts chez ces deux élèves pour provoquer plusieurs modifications de la procédure de construction du segment image.

Ecran élève :	Côté élèves :	Observations :	Côté tuteurs humains :
	Antony.: attends... je ne vois pas¹... Ah oui!...Allons-y! Je vais faire un point, point de base pour²... Ah non mais si c'est pas, ah non c'est pas comme ça, ça va rien me servir³!. Ah non ça marche pas! [...] Morad.: vas dans création... point de base Antony : Eh oui, si jamais tu mets, euh...il faut que ça soit symétrique... parce que si tu replies, ça se met parfaitement (souples) Morad : On fait un losange. (...) Ben c'est ça. Antony : Il faudrait faire un point qui soit pareil là... je vais faire un point qui soit parallèle à cette droite⁴ pour ensuite mettre le cercle, mettre le point, juste par là⁵ Morad : Tiens, c'est compliqué. (...) Ah oui, on prend mesure (...) après tu regardes de là à là, puis on fait la même chose.	¹(il déroule le menu construction) ²(il se positionne sur l'horizontale, à peu près à égale distance de l'axe que la deuxième extrémité) ³(il veut abandonner l'item "point de base") ⁴(il désigne avec le curseur une direction horizontale passant par extrémité A et trace avec le curseur un cercle passant par A et centré sur l'axe). ⁵(il désigne à peu près l'intersection du cercle et de la droite non tracés).	Philippe : Tiens, ils parlent de pliage. Jean C. : Ils parlent de losange! (...) Jean C. : Ah, ça y est, ils y arrivent! Il dit parallèle mais je crois qu'il a compris

Fig.4.A, 6

Les élèves cherchent alors à utiliser l'item quadrillage pour contourner la difficulté liée à la non disponibilité de l'item mesurer. En effet, les items "Mesurer" et "Quadrillage" n'ont pas été édités dans le menu retenu, de Cabri-géomètre. Au terme de leur recherche, un cas de figure non valide par déplacement d'objets est retenu par les élèves comme approximatif : le segment image est construit au jugé (cf. figure ci-dessous). Ces élèves n'ont pu aborder qu'un seul problème, le premier (Pb 16). Nous reviendrons à ce binôme, dans le chapitre 4, partie B (cf. § I.2.2.), pour voir comment il réagit devant l'impasse due à l'absence de l'item "mesurer" en faisant des "réparations" ou "bricolage".

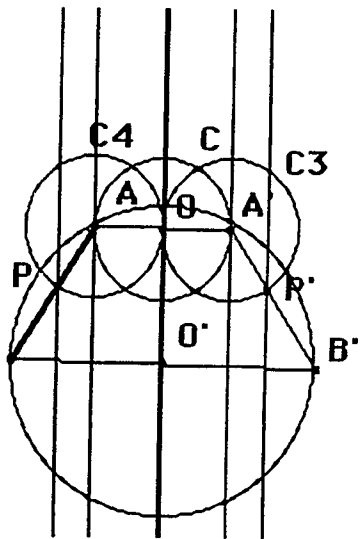
<u>Ecran élève :</u>	<u>Côté élèves :</u>	<u>Côté tuteurs humains :</u>
<u>Ecran élève :</u> 	Antony : (...) Alors il faut faire... ma droite parallèle là. Oui, oui, oui... ça fait un quadrillé. Le problème c'est que ça bouge, hein? Morad : Oui, c'est pareil d'ici à ici, c'est pareil, c'est tout pareil. On a tout au pif, mais c'est tout pareil. Le problème c'est que ça bouge.	Philippe : (...) parce que perceptivement, mais pour eux c'est une validation Philippe : Si tu veux, ils se confortent dans l'idée qu'ils ont bien réussi leur symétrique et qu'eux c'est tout au pif. Jean C. : C'est tout au pif.

Fig.4.A, 7

Romain et Michaël (B7). La stratégie de ces élèves consiste à construire les points images et à essayer de produire les droites perpendiculaires et parallèles à l'axe (ce qui correspond à réaliser un quadrillage) et ce dans le but de valider la perception. Leur préoccupation est donc de construire ces droites. On constate d'ailleurs que la construction de ces dernières va les amener à construire plusieurs droites superposées, ceci est dû au fait qu'ils ne maîtrisent pas très bien, d'une part, l'utilisation de l'item "droite parallèle" et d'autre part qu'ils font ces constructions un peu par tâtonnement : ils désignent par exemple une droite et s'il y a ambiguïté, ils désignent une autre droite qui peut être perpendiculaire à la première choisie.

Remarquons qu'ils investissent des procédures différentes pour la construction des deux extrémités. En effet la première est construite comme point de base, à l'horizontale. C'est ce qui correspond à une procédure globale, donc perceptive. Les élèves ont essayé de valider leur construction en essayant de reproduire un quadrillage. Ils ont ainsi créé des droites perpendiculaires et parallèles à l'axe passant par la première extrémité et son

image et par la deuxième extrémité. Ils ont ensuite déplacé l'image de la première extrémité de façon à l'amener à l'intersection de ces droites. Puis ils ont créé un point lié à la droite orthogonale à l'axe passant par une extrémité (comme image de cette dernière) pour pouvoir tracer la parallèle à l'axe passant par cette image. Remarquant que ces distances à l'axe ne sont pas conservées, ils déplacent l'image de la deuxième extrémité de façon à avoir une symétrie perceptive.

Leur démarche pour construire la deuxième image est donc différente de la première en ce qui concerne la procédure utilisée (l'une globale et l'autre semi-analytique). Elle ne l'est par contre pas en ce qui concerne l'intention de l'élève (qui est de créer les images perceptiblement à égales distances de l'axe que les points objets et de conforter la construction par la réalisation d'un quadrillage).

Les TH diagnostiquent, après beaucoup de difficultés une procédure semi analytique : les extrémités sont construites comme "point de base" (pour l'extrémité 1) ou "point sur objet" sur les droites perpendiculaires à l'axe passant par les extrémités.

Un déplacement d'objets opéré par le tuteur humain en prenant la main aux élèves provoque une mise en défaut du cas de figure.

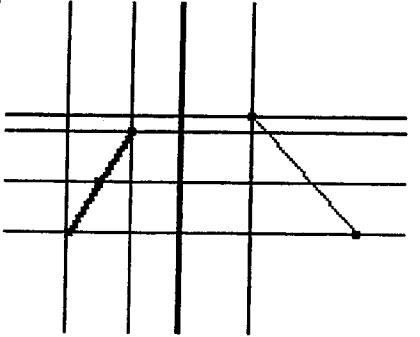
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
	Romain: Là c'est faux regarde... donc c'est pas ça. Mchaël : On peut la déplacer... Romain : Oh non, c'est pas bon, ça se voit que c'est pas bon	Bernard : Ils déplacent, tu vois, ils déplacent, voilà! Ce n'est pas...heu, ce n'était pas très prévu?

Fig.4.A, 8

Le déplacement d'objets provoque une modification du problème par les élèves : une extrémité du segment objet et son image produite au jugé sont ramenées sur l'axe de façon à les faire coïncider perceptivement (cf. figure ci-dessous). L'image de l'autre

extrémité apparaît alors erronée : l'équidistance de ces deux points à l'axe est invalidée de façon perceptive.

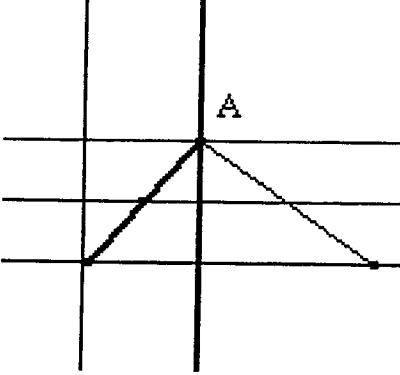
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
	Mchaël : Voilà, on les met toutes les deux collées là dessus et on essaye Romain : De quoi collées? Mchaël : On verra tout de suite que c'est pas bon (...) Mchaël : Derrière tu vois que ça fait pas pareil Romain : Là ça fait trop loin lui.	Nathalie : on pourrait peut-être leur donner un qui touche presque là. Ils ont ramené au cas où ça se touche pour savoir s'ils vont se servir de l'extrémité qui est déjà sur le segment et voir s'ils n'en construisent qu'une.

Fig.4.A, 9

Le problème suivant (Pb 14) où une extrémité du segment objet est située sur l'axe a permis d'observer que ces deux élèves ont explicité l'idée de triangle : ils ont perçu une ressemblance avec la situation précédente et n'ont produit qu'une image, au jugé, pour l'extrémité non située sur l'axe. Pour l'un des deux élèves : *c'est la symétrie*, et pour l'autre : *C'est presque pareil*. Des droites parallèles et d'autres perpendiculaires ont été construites encore. La stabilité de cette procédure, et donc de la conception de la symétrie d'une part et de Cabri du point de vue de la validation d'autre part, n'a pas permis à ce binôme de produire un segment image correct.

I.2. Les conceptions erronées de la symétrie repérées chez les élèves.

Dans les cas qui suivent les tuteurs humains ont relevé l'idée du parallélisme entre un segment et son image par symétrie comme la caractéristique d'une conception de la notion de symétrie chez les élèves.

Maryline et Sandrine (B6) mettent en oeuvre dans le premier problème (Pb. 16) une procédure de construction globale, donc perceptive. Elles construisent un segment image perceptivement parallèle et de même longueur que le segment objet. Cette procédure renvoie à une conception "parallélisme" (cf. chap.3 § II.4.3.). L'équidistance à

l'axe des extrémités des segments objet et image n'a pas été observée (cf. figure ci-dessous). Cette conception de la symétrie fonctionnera longtemps chez ces deux élèves par la suite. C'est cette stabilité qui justifie qu'on la retienne comme conception effective. Une procédure de construction analytique apparaîtra plus tard dans une situation différente (axe et segment objet horizontaux) où l'orthogonalité et l'équidistance seront finalement explicitées.

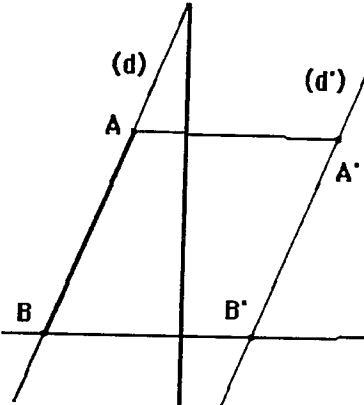
<u>Ecran élève :</u> 	<u>Côté élèves :</u> Maryline : Ben là c'est symétrique! Non? Enfin je pense, puisque là c'est parallèle, puis là. Attends, on va mettre... On efface? Sandrine : Qu'est-ce qui est écrit? Maryline : Ta figure reste symétrique quand tu déplaces une des extrémités du segment. (figure invalidée par déplacement d'objet) Sandrine : Ben efface, on recommence Maryline : On met nouveau? (...) on essaye? (...) Tout recommencer... alors ça, on met segment? On fait comme tout à l'heure sauf qu'on met point sur objet.	<u>Côté tuteurs humains :</u> Philippe : Alors t'as vu? L'idée de parallélisme. Alors la symétrie et parallélisme. Jean C. : Ah, cette fois ... c'est toujours pareil ! (...) Philippe : Comment faut-il faire alors pour les aider¹? note: ¹(Ces élèves rencontrent des problèmes pour construire les droites parallèles avec l'item "droite parallèle", les TH se demandent comment ils peuvent les aider).
--	---	--

Fig.4.A, 10

Michaël et Sébastien (B4) mettent en oeuvre une procédure globale, donc perceptive. Les extrémités du segment image sont obtenues par une procédure "report horizontal" qui se confond dans ce cas de figure avec une procédure "perceptivement orthogonale à l'axe" (cf. chap.3 § II.4.3.). Les élèves produisent un segment image perceptivement parallèle au segment objet. Les extrémités sont placées perceptivement à

l'horizontale. Cette procédure renvoie à une conception de "parallélisme" (cf. chap.3. § II.4.3.) et à une procédure "report horizontal". Ils passent ensuite à une symétrie par pliage : ils obtiennent une nouvelle figure, à partir de la précédente, par déplacement des extrémités du segment image. Il y a apparition d'une nouvelle conception correcte de la symétrie mais mettant en oeuvre une procédure erronée car globale (donc perceptive). Cette construction n'est pas valide par déplacement d'objets, dans Cabri-géomètre.

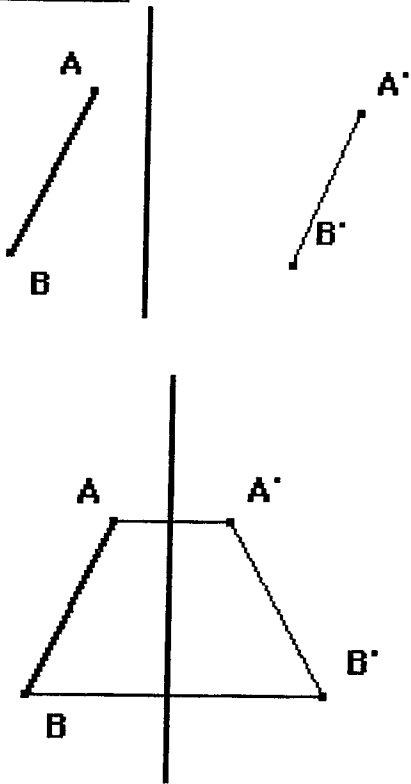
<u>Ecran élèves :</u> 	<u>Côté élèves :</u> Sébastien : On met en face? Ah oui, symétrique... Sébastien : Ah, regarde, quand tu vas replier la feuille comme ça.. ça doit... ça doit tout se... faire un seul objet. Eh bien ça, hop... et voilà. Michaël : C'est symétrique? Sébastien : oui, parce que quand tu replies la feuille, ça se ramènera sur l'autre. Et ça⁴, ça doit se déplacer un peu par là... Michaël : Oui... mais normalement ça devrait pas bouger? Séba.: Ben normal et...	<u>Côté tuteurs humains :</u> Philippe : Oh là, oh là! Ça c'est le, c'est le global ! Oui c'est parallèle.. Philippe : et là à un moment donné, pendant longtemps, maintenant ils viennent de rectifier, mais pendant longtemps, ils voulaient que le segment reste parallèle
---	--	--

Fig.4.A, 11

Une fois la figure invalidée par déplacement d'objets, l'idée de parallélisme est réinvestie avec celle d'intersection de deux objets mais pas comme symptôme d'une conception de "parallélisme" : pour les élèves, cet outil fixera alors des points et un quadrillage permettra de pallier à la mesure. L'idée du parallélisme de droite dominera chez ces élèves et ne sera pas dépassée. Cela amènera l'observateur, par la suite, à proposer directement de passer à un autre problème (cf. Figure ci-dessous). Mais, cela n'a pas empêché l'idée du parallélisme de réapparaître.

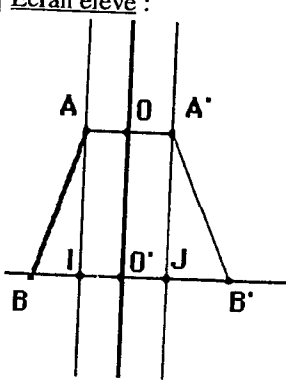
<u>Ecran élève :</u> 	<u>Côté élèves :</u> Sébastien : Ça marche pas, j'ai essayé, ça marche pas...	<u>Côté observateur :</u> Jana : Si vous n'avez plus d'idées, vous pouvez cliquer sur "Fin de construction", peut-être on va vous envoyer un autre message.	<u>Côté tuteurs humains :</u> Philippe : Ils reviennent toujours à ce segment maintenant. Ça a bien une signification, hein! Jean C. : Il a cliqué sur "Fin de construction"? Philippe : Ben oui, c'est moins le quart, il faut bien qu'ils aillent...
---	--	--	---

Fig.4.A, 12

Jessica et Hakima(B12) construisent un segment image parallèle au segment objet. Les deux élèves font référence à une symétrie par pliage qui les amène à une modification de la figure. L'idée du parallélisme pour le repérage du segment symétrique ne sera pas dépassée dans le premier problème (Pb 16). L'observateur leur suggérera de changer de problème : "Quand vous pensez que vous avez terminé, vous cliquez là." Le binôme passera à un autre problème.

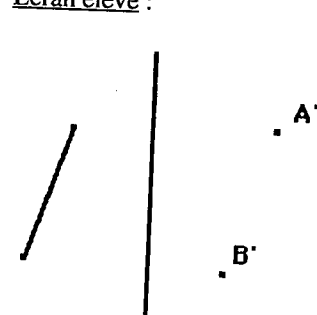
<u>Ecran élève :</u> 	<u>Côté élèves :</u> Jessica : Fais-le avec segment, fais-le toi, moi j'aime pas faire avec ça Hakima : avec segment tu peux pas, ah mais attends oui, ça y est je vois. Jessica : droite parallèle	<u>Côté tuteurs humains :</u> Philippe : Elle clique les deux mêmes points pour faire passer une droite. Je comprends pas...sinon il y a quand même l'idée d'être parallèle...
---	--	---

Fig.4.A, 13

II. La notion de symétrie lue au cours de l'action

II.1. L'anticipation de l'action par les tuteurs humains

Il a été souvent difficile de suivre et d'interpréter en temps réel ce que les élèves mettent en oeuvre comme relations entre les objets qu'ils construisent à l'écran. Cela est bien illustré par cette décision des tuteurs humains au début de leur interaction avec le binôme Céline et Sandrine :

Bernard : C'est ... c'est un ... c'est un point sur objet ?

Nathalie : En fait on est obligé d'attendre pour savoir comment ils vont faire pour construire ... avant de passer...

Bernard : Oui... Oui, faut pas trop se presser.

Mais cette prudence est aussi difficile à respecter dans la mesure où la lecture d'une action de l'élève vue par le tuteur humain n'a pas été toujours signifiante pour ce dernier. Dans l'exemple ci-dessous (cf. Fig.4.A, 14), le binôme Céline et Sandrine produit un cercle et verbalise son action ; mais cela ne rend pas intelligibles aux tuteurs humains les relations entre les objets explicités :

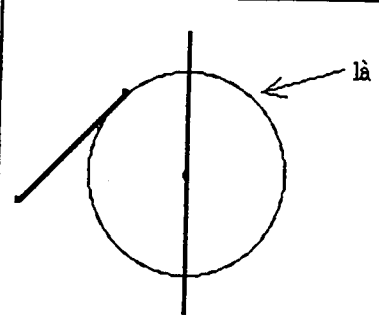
	côté élèves :	côté tuteurs humains :
	Céline : Oui ! je comprends pas bien ce que tu veux faire! Sandrine : Ben si ! Faire un point là Céline : Oui, il faut le mettre bien en face!	Bernard : Elle cherche quelle intersection, elle...elle...veut cela ? Pourquoi elle est venue là? Nathalie : Non mais elles savent pas comment faire pour placer ce point. Elles savent pas où il va être, elles mettent un point sur le cercle, mais où ?

Fig.4.A, 14

Une action de l'élève n'est donc pas suffisante pour permettre une association entre cette action, l'objet qu'elle peut induire et la propriété géométrique sous-jacente :

Bernard : Tu vois c'est marrant parce que ... elle ... elle suit la perpendiculaire mais elle ne la trace pas.

Céline et Sandrine n'expliciteront la contrainte de perpendicularité que bien plus tard.

II.2. Le diagnostic d'une action d'élève

La mise en avant d'une notion puis d'une autre au cours de l'interaction entre deux élèves fait apparaître une difficulté pour les tuteurs humains dans le repérage de la procédure de construction en cours. Le diagnostic est rendu possible lorsqu'il porte sur un ensemble structuré d'événements relatifs à une action et sur son histoire.

En effet, nous avons observé par exemple que le binôme Antony et Morad (figure ci-dessous) engage l'idée du parallélisme, en désignant avec le curseur une direction horizontale et en décrivant (toujours avec le curseur) un cercle passant par une extrémité et centré sur l'axe. On suppose qu'il y a eu confusion, chez ce binôme, entre droite horizontale et droite parallèle, d'ailleurs aucune droite parallèle n'a été tracée (figure ci-dessous). On remarque que le binôme a l'intention de résoudre la question de l'équidistance à l'axe d'un point et de son symétrique. L'idée du mesurage apparaît alors aussitôt et s'impose. L'idée de cercle est ensuite abandonnée pour être finalement explicitée comme donnant un moyen pour estimer l'égalité de deux longueurs. L'outil "Mesurer" n'ayant pas été édité dans les menus, une procédure des élèves basée sur la mesure a été bloquée.

Ecran élève :	Côté élèves :	Observations :	Côté tuteurs humains :
	Antony : Il faudrait faire un point qui soit pareil là... je vais faire un point qui soit parallèle à cette droite¹ pour ensuite mettre un cercle mettre le point, juste par là Morad : Tiens c'est compliqué. (...) Antony : Ah oui! On prend mesure (...) après tu regardes la distance là, de là à là², puis on fait la même chose. Antony : On va faire quelque chose³(...) Morad : Non il n'est pas droit Antony : Il n'est pas droit. Je me mets sur un point. On revient toujours au même point. Morad : Non mais il ne donne pas la mesure.	¹(il désigne avec le curseur une direction horizontale passant par l'extrémité du haut du segment et décrit avec le curseur un cercle passant par cette extrémité et centré sur l'axe). ²(il désigne la distance de l'extrémité A à l'axe) ³(il trace un segment liant le centre du cercle et le point sur l'axe).	<u>Côté tuteurs humains :</u> Jean C. : Ah! Ca y est, ils y arrivent.(...) Il dit parallèle mais je crois qu'il a compris. Jean C. : Il veut mesurer, il abandonne le cercle... Jean C. : Ils essayent de prendre une droite perpendiculaire. (...) Il va chercher mesurer.

Fig.4.A, 15

Les actions successives ont été plus ou moins bien perçues par les tuteurs humains. Par exemple, d'après le discours des élèves et les mouvements du curseur on remarque que Antony a une procédure analytique de construction de l'image du segment. Il décrit sa procédure à Morad et trace avec le curseur les objets dont il parle. En voulant mettre en oeuvre sa procédure de construction, il rencontre des problèmes lors de l'utilisation de l'item cercle. En effet Antony sélectionne cet item, désigne un point sur l'axe, mais le fait que le point ne clignote pas lui pose problème. Il sélectionne de nouveau cet item (après l'avoir abandonné), demande l'aide, le centre en une extrémité et le fait passer par l'axe. Morad propose de le prolonger (on suppose que c'est pour le faire arriver à un endroit à égale distance de l'axe que l'extrémité). Il construit ensuite le segment liant une extrémité (centre du cercle) et le point sur l'axe probablement dans le but de contrôler l'horizontalité des deux points.

Les tuteurs, se basant probablement sur le discours des élèves, sur le mouvement du curseur à l'écran de l'ordinateur et sur la création du segment (liant une extrémité au point sur l'axe) interprètent ce qui se passe chez les élèves comme une recherche de droite perpendiculaire (cf. figure ci dessus).

Les élèves suppriment le segment qu'ils viennent de créer, ainsi que le cercle et se posent de nouveau la problématique de la mesure. Devant l'"impasse" due à la non-disponibilité de cet item, ils créent un point de base à l'horizontale et à peu près à égale distance de l'axe que le point objet (extrémité du segment), puis un cercle identique à celui qu'ils viennent de supprimer puis un deuxième centré en le point image et passant par le point sur l'axe. Ils simulent donc un compas. Ce n'est que lorsque ce deuxième cercle a été tracé qu'une autre lecture s'est imposée aux tuteurs humains : le cercle permet une visualisation de l'égalité de deux longueurs ; c'est un palliatif à l'absence de l'outil "Mesurer" dans Cabri-géomètre.

Les élèves remarquant que les cercles n'étaient pas les mêmes, ont supprimé le deuxième cercle, puis le point image, ont recréé un autre point puis un autre cercle, et on procédé de la même manière jusqu'à ce que les cercles soient perceptivement de même dimensions. Le discours des tuteurs laisse apparaître une divergence de point de vue sur la nature des difficultés perçues chez les élèves (liées ou non à Cabri-géomètre). L'un interprète la procédure des élèves "créer le point—créer le cercle; supprimer le cercle—supprimer le point " comme étant un problème lié à Cabri-géomètre alors que l'autre l'associe à la façon dont les élèves perçoivent le cercle : le cercle est construit à l'aide de points (et en supprimant le cercle, il faut supprimer le point). (figure ci-dessous).

<u>Côté tuteurs humains:</u> Philippe : Ah, c'est pour savoir si c'est la même distance, oui comme ils ont pas "mesurer", ils se servent du cercle et ça touche, ils font le même de l'autre côté, c'est très curieux ! Jean C.: () ils peuvent pas bouger les objets Philippe.: ils savent pas les bouger les objets	<u>Côté tuteurs humains:</u> Philippe : En tout cas, ils pensent qu'on peut déplacer un point de base, que si on déplace pas un point de base, le cercle va pas être actualisé. (...) puisque eux, ils suppriment le cercle, ils déplacent le point, ils refont le cercle, regarde. Jean C. : Ça, c'est un problème lié à Cabri Philippe : non, c'est comme ils perçoivent le cercle, le cercle il est construit à l'aide de points.	<u>Côté tuteurs humains:</u> Philippe : Ils utilisent un cercle pour faire la construction du point, c'est placé perceptivement Jean C. : perceptivement oui Philippe : ça fait un moyen de renforcer la perception. (...) Moi je dis qu'ils utilisent le cercle pour contrôler la perception Jean C. : pour contrôler l'emplacement Philippe : et pas pour...perceptivement, non ?
---	--	--

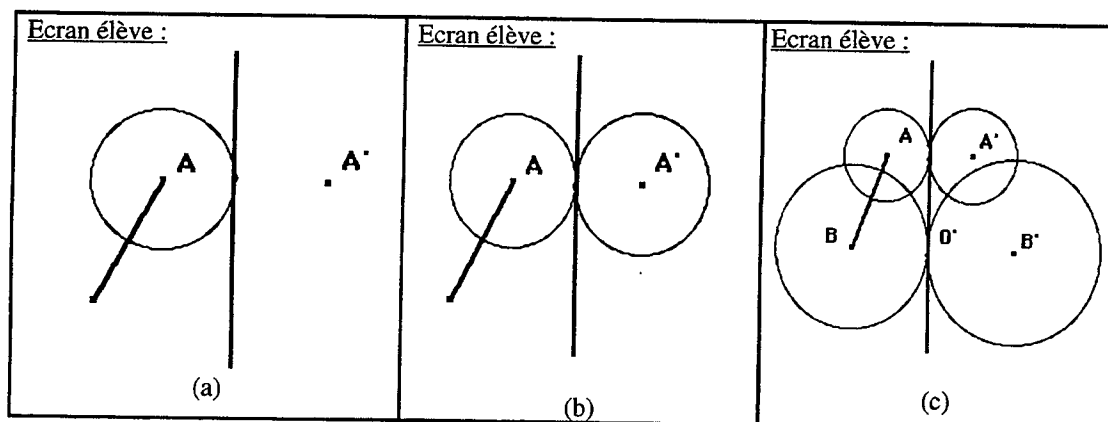


Fig.4.A, 16

En fait, par la suite on verra que les élèves ne savaient pas qu'en bougeant le centre, ils pouvaient agrandir ou rétrécir le cercle:

Ant.: eh ben, regarde je peux le bouger, je peux l'agrandir, je peux le rétrécir ()on peut toujours le refaire.

III. La notion de symétrie au travers des verbalisations et procédures des élèves

Nous abordons maintenant les relevés des procédures des élèves par les tuteurs humains. Nous étudions les diagnostics qu'ils font sur la symétrie et les procédures : correctes, altérées, et le rôle de la modalité orale dans la saisie par les tuteurs humains de ces procédures.

Les objets et les relations entre ces objets, explicités par les élèves, sont reconnus par les tuteurs humains :

- 1) comme relevant d'une procédure géométrique de référence;
- 2) comme relevant d'une "impasse".

Le discours oral du binôme a permis aux tuteurs humains de repérer des mots clés annonçant une procédure ou une action éventuelles, par exemple les termes : mesure, pliage, intersection, droite perpendiculaire, quadrillage, etc.. C'est au travers de l'observation de tels indices dans le discours oral des élèves que la notion de symétrie attribuée à l'élève a été dégagée par les tuteurs humains. L'action seule n'a pas toujours permis aux tuteurs humains un repérage suffisant de la procédure de construction.

III.1. Les relevés des procédures

Les tuteurs humains disposaient déjà d'une connaissance sur les problèmes à proposer aux élèves ainsi que sur certaines altérations des procédures de construction telles que : le rappel horizontal, le rappel vertical, les procédures semi analytiques, globales, etc. Ces connaissances ont guidé les tuteurs humains dans l'interprétation des actions des élèves. Cette interprétation a été donc orientée par l'attente des tuteurs sur les procédures favorisées a priori par chacun des problèmes proposés par eux aux élèves.

Nous abordons cela dans l'étude de cas ci-dessous. Il s'agit des deux binômes Céline et Sandrine ainsi que Olivier et Laurent

Céline et Sandrine ont traité 8 problèmes dans cet ordre : Pb 16, Pb 19, Pb 21, Pb 28, Pb 29, Pb 27, Pb 23, Pb 4. Dès le premier problème, ces deux élèves ont mis en oeuvre une procédure de construction correcte utilisant une droite orthogonale à l'axe et un cercle pour un report correct de distance à l'axe (Fig.4.A, 17). La construction observée ainsi que le discours des élèves ont permis aux tuteurs humains une reconstitution de cette procédure. Voici un extrait de l'interaction entre les tuteurs humains lors de la saisie des observables liés à la figure :

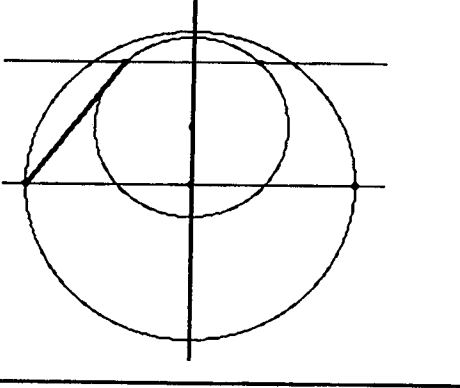
Ecran élèves:	Côté tuteurs humains :
	Nathalie: elles sont indépendantes. Bernard : elles sont indépendantes mais là, ce point là est.. est pas le même! Nathalie: droite et cercle. Bernard : droite eu... Nathalie: donc droite et toujours orthogonale... Bernard : oui c'est ça... le cercle Nathalie.: c'est l'intersection droite truc Bernard : oui celui là Nathalie.: et l'intersection, ben c'est bon! Bernard : oui

Fig.4.A, 17

Après le premier problème, les tuteurs ont fait la même lecture de la procédure des élèves. Ces derniers ont mis à nouveau en oeuvre la même procédure :

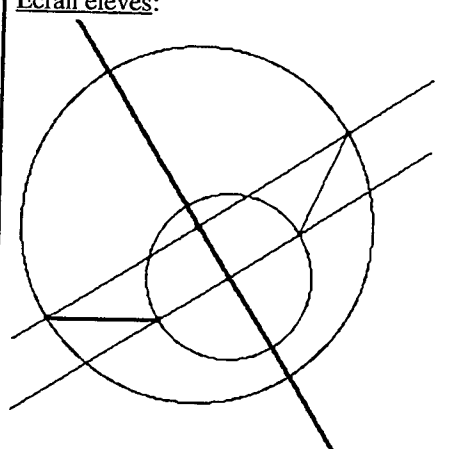
<u>Ecran élèves:</u> 	<u>Côté tuteurs humains :</u> Bernard : ça y est! voilà! cliquez! voilà (...) donc c'est... Nathalie: droite orthogonale à l'axe Bernard : à l'axe oui Nathalie: le centre c'est l'intersection de droite, axe Bernard : oui, c'est ça Nathalie: intersection.. Bernard : voilà! oui c'est ça. OK (...) Eh non ! C'est ... c'est la même méthode pour le ...l'extrémité 2. Bon, vas-y tu peux la marquer!
---	---

Fig.4.A, 18

Cette lecture des tuteurs s'est réduite au fur et à mesure que la procédure des élèves, réitérée pour les problèmes suivants, se révélait bien stable et rapide. Nous avons même observé, parfois une forte anticipation de la part des tuteurs humains dans leur prise de décision.

Cette situation a été assez remarquable dans la mesure où il n'y a plus eu de difficulté pour établir le diagnostic : la prise de décision a fonctionné sans divergence de point de vue ni entre les tuteurs humains ni entre eux et le tuteur artificiel. Nous rapportons les verbalisations liées à la procédure à propos de trois problèmes suivants donnés dans cet ordre au binôme :

<u>Pb 21 :</u> Nathalie.: elle a refait la même méthode exactement! Bernard.: oui, oui c'est.. sauf qu'elle a.. elle a pas ce point là tu vois? Nathalie.: non mais elle a ce point là Bernard.: d'accord, oui, oui excuse moi Bernard.: eh non! c'est.. c'est la même méthode pour le...l'extrémité 2. Bon vas y tu peux la marquer! Nathalie.: mais c'est bon Bernard.: tu l'as marqué? Complètement? Mais tu fais tout déjà! (rire)	<u>Pb 28:</u> Bernard: ça les gêne pas que le...que le segment puisse pas changer de direction. Elles disent très vite que c'est bon hein...En fait je crois qu'elles sont sûres de leur truc Nathalie: (...) Maintenant elles ont la procédure et elles l'utilisent Bernard: oui, elle est bien solide maintenant	<u>Pb 29 :</u> Bernard: Il y a pas de raison, si...si...s'il y a une procédure qui est stabilisée...elles ont bien stabilisé une procédure...au début elle était pas, et là ça marche dans tous les cas même quand il y a qu'un point, même quand il y a les axes...là c'est la procédure la plus quelconque et la plus difficile Nathalie: c'est pas dur, c'est toujours la même chose avec le début
---	--	--

Olivier et Laurent ont traité les 4 problèmes suivants, dans cet ordre : Pb 16, Pb 19, Pb 21, Pb 20. Les élèves commencent par mettre en oeuvre, une procédure globale donc perceptive (cf. chap.3 §, II.3.2.) et essayent de valider la construction par le mesurage. Ils veulent conforter la procédure par une construction de segment perceptivement perpendiculaire à l'axe (joignant une extrémité et son image) et par mesurage.

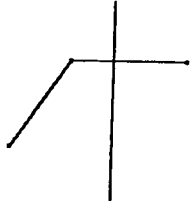
<u>Ecran élèves</u>	<u>Côté élèves</u>	<u>Observations</u>	<u>Côté tuteurs</u>
	Olivier.: point sur objet, point sur objet [...] Olivier.: il faudrait que tu calcules ce qui a de là à là ¹ ...	¹ (le curseur va de extrémité 1 à l'axe dans une direction horizontale).	Bernard: tu vois il marque, il met son... ils mettent leur trucs là ¹
	Olivier.: attends il faut mettre un point [...] Olivier.: et bien là ? par là ¹ ? heu... Laurant.: divers Olivier.: voilà ...segment... là ...là ² Laurant.: qu'est ce t'as fait? Olivier.: et ben comme ça pareil là [...] (silence) Olivier.: donc... on va calculer ⁴ ...	¹ (il crée un point de base à l'horizontale) ² (ils créent un segment joignant une extrémité et le point de base créé). ³ (les élèves pointent l'intersection segment/axe, obtiennent ambiguïté: segment, droite. Choix du segment et hésitation pour la droite. Ils créent ensuite cette intersection) ⁴ (les élèves vont dans le menu "divers" de Cabri- géomètre et sélectionnent l'item calculer qui n'est pas actif. Cela provoque une panne)	Bernard.: ah il met un point. Nathalie.: n'importe où en plus! Bernard.: (rire) (silence) Nathalie.: () Bernard.: c'est ... c'est un segment perpendiculairement eu... perceptivement perpendiculaire.(fig.3) Nathalie.: perceptivement perpendiculaire Bernard.: avec une intersection... Bernard.: il a pas... il a échoué sur ³ ... ah non! ah ça y est! voilà une vraie intersection [...] Bernard.: il peut rien calculer Nathalie.: calculer quoi? Bernard.: il voudrait mesurer là je pense... mais il l'a pas

Fig.4.A, 19

Ils évoluent ensuite d'une procédure de construction globale vers une procédure semi-analytique (cf. chap.3 §, II.3.2.) : ils font un report orthogonal à l'axe et placent des points images, sur les droites, perceptivement à égales distances de l'axe que les points objets. Ils ont recours au perceptif pour valider leur construction : ils observent la figure, sans déplacer les extrémités et concluent que les distances à l'axe ne sont pas conservées .

Ils pensent alors au mesurage pour valider leur construction, mais cet item n'est pas disponible. Pour ce binôme, à ce stade le mesurage était plus un moyen de validation qu'un moyen de construction.

La validation perceptive conduit au rejet de la procédure, ils passent alors à une procédure analytique correcte (cf. chap.3 §, II.3.3.) : ils pensent alors utiliser les cercles pour reporter les distances. Ils rencontrent des difficultés lors de la désignation des centres. Ils créent un premier cercle centré en un point de base à l'intersection de la droite perpendiculaire à l'axe et de l'axe. Par contre ils réussissent à définir le centre du deuxième cercle comme intersection de l'axe et de la 2ème droite perpendiculaire.

La difficulté due à la non-explicitation des relations entre les objets dans Cabri-géomètre n'a pas été aisément dépassée par la suite. Le travail du binôme resté au niveau perceptif assez longtemps a favorisé chez les tuteurs humains une réinterprétation des significations attribuées aux actions des élèves.

Le tuteur Artificiel diagnostique une erreur Cabri-géométrique : il renvoie le message suivant aux élèves :

"le centre de ton cercle n'est pas bien défini. Il doit être redéfini comme
- point lié à l'axe
- ou intersection"

Les élèves demandent l'aide et reçoivent le message suivant :

"Il faut utiliser l'item "redéfinir un objet" du menu "divers " et lier ce point à l'axe ou le définir comme intersection. Revois ta figure".

Les élèves avaient la possibilité d'avoir des aides visuelles en demandant "davantage d'aide" mais ils ne sont pas arrivés à ce stade. Une intervention de l'observateur a permis de les aider pour résoudre le problème de la redéfinition du centre. Les deux élèves arrivent finalement à obtenir un segment image correct. Ils font un bon report de distances à l'aide de l'item cercle et construisent les images comme intersections des cercles et des droites orthogonales à l'axe. La validation est mise en oeuvre et les conduit à l'acceptation de la procédure.

Dans le problème suivant, le Pb.19, la procédure est reconnue assez rapidement par les tuteurs humains comme étant la précédente réitérée : cette fois, deux droites perpendiculaires à l'axe sont explicitées assez vite, chacune passant par une extrémité du segment objet. Mais la part du perceptif est encore importante chez les deux élèves. Les points d'intersections de l'axe et de la droite orthogonale sont marqués et non construits (non explicités au sens de Cabri-géomètre). Cela provoque une longue discussion chez les tuteurs humains qui reprennent cette difficulté et l'interprètent. Nous en donnons un extrait :

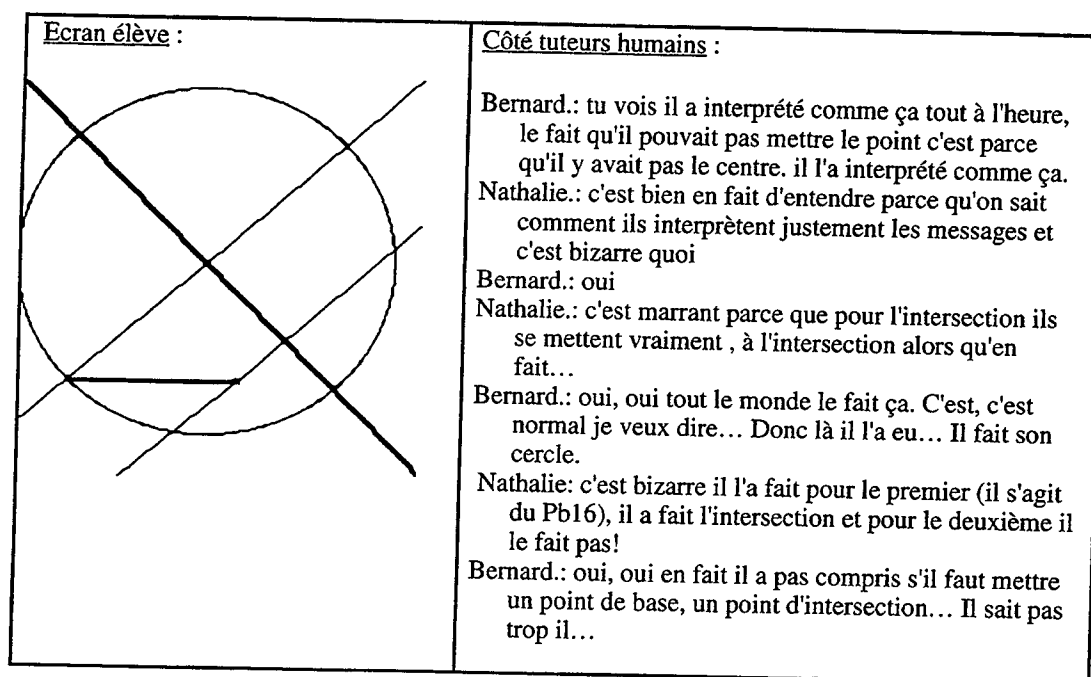


Fig.4.A, 20

Les élèves font ensuite un bon report de distance en utilisant les cercles et construisent le segment symétrique.

Au problème suivant, le Pb.21, les valeurs des variables Segment et Axe (segment vertical et axe oblique) sont choisies pour tester la stabilité de la procédure des élèves qui jusque là a donné un segment image correct. La procédure précédemment appliquée par les élèves est mise de nouveau en oeuvre et se stabilise un peu plus : construction de la perpendiculaire à l'axe, intersection de cette droite avec l'axe de symétrie, le cercle et ses intersections avec la droite perpendiculaire à l'axe puis même construction pour l'autre extrémité, dans le même ordre. Ils obtiennent alors la figure ci dessous. Les tuteurs diagnostiquent une procédure analytique correcte. La difficulté des élèves à définir l'intersection des objets construits a provoqué un débat d'idées chez les tuteurs humains² sur les relations possibles entre la stabilité de la procédure chez les élèves et l'exigence de l'explicitation dans Cabri-géomètre.

² Dans cette séance, il y a eu intervention d'un tuteur humain qui n'était pas impliqué dans la séance. Nous avons essayé de limiter au maximum ce genre d'intervention mais il est arrivé (heureusement très rarement!) que la consigne ne soit pas respectée et qu'il y est des interventions de ce genre.

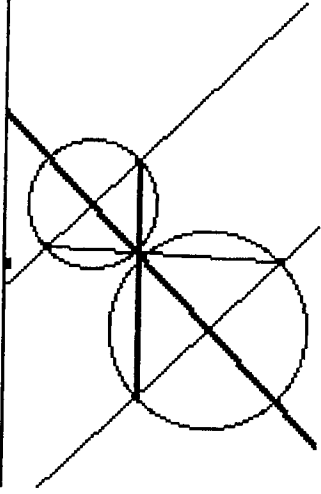
<u>Ecran élève :</u> 	<u>Côté élèves :</u> Olivier : Cette droite, intersection de deux objets!...cette droite...et cette droite, fantastique! Laurent : Cercle Olivier : cercle ...de centre...le point! Le cercle, le centre et...le point! Donc voilà. Intersection de deux objets...ce cercle...cette droite. Et...et... (un silence) Laurent : cette droite Olivier : laquelle, celle là ? (...) Oui Laurent : donc après...comme ça...création segment...ce point celui là...	<u>Côté tuteurs humains :</u> Bernard : Ah, ils sont bien stables sur leur...sur leur procédure finalement (...) oui, non pas sur... sur la procédure globale. Sur le fait... Philippe : le fait est que ces procédures sont...sont résistantes Bernard : je pense que le fait... le fait que tu sois obligé d'analyser... d'utiliser les outils de construction de Cabri, ça...ça aurait une tendance à stabiliser les procédures. Parce que tu peux absolument pas faire appel au perceptif t'es obligé de faire un travail analytique complet
---	---	--

Fig.4.A, 21

Au problème suivant, le Pb.20, les élèves réinvestissent la même procédure. Ils vont jusqu'à répéter toutes les étapes intermédiaires pour la construction de l'image de l'extrémité invariante : ils tracent la perpendiculaire passant par l'extrémité sur l'axe et essayent de créer le cercle centré sur cette extrémité, puis ils essayent de créer l'intersection de la droite avec l'axe.

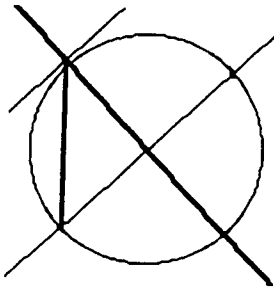
Ecran élève :	Côté élèves :	Observations :	Côté tuteurs humains:
	Olivier : Il faut construire la perpendiculaire aussi ? C'est exactement pareil quand même! C'est à chaque fois la même construction! Oliv.: ...droite perpendiculaire... ce point, cette droite. Pareil! ce point cette droite¹ [...] Laur.: ben le cercle... Oliv.: ce qui est bête c'est que là, regarde là² ... Ah non on va faire le cercle... Laur.: tiens le centre Oliv.: vas y vas y cercle! Oliv.: non, non... ah non... ah³... Laur.: abandonner... Oliv.: oui. construction... Laur.: intersection de deux objets, intersection cercle [...] Oliv.: là merci Oliv.: à ton avis on le refait? (à vérifier) Laur.: oui... intersection de deux objets Laur.: ou on fait rien, ici il va dire qu'on a déjà un point tu paries? Déjà un point⁴!(rires)	¹(ils font la perpendiculaire à l'axe passant par l'extrémité qui est sur l'axe). ²(il désigne l'extrémité du segment qui est sur l'axe) ³(Laurent désigne l'extrémité qui est sur l'axe pour faire cercle et abandonne). ⁴(il essaye de créer l'intersection de l'axe avec la droite et obtient le message un objet identique existe déjà).	Bern.: c'est marrant, il la font aussi. Bern.: c'est () le cercle Nathalie : Ils ont compris pour les droites et l'intersection n'est pas encore claire. Bernard : attends. Déjà tu vois il a anticipé!

Fig.4.A, 22

La validation par Cabri est mise en oeuvre après chaque construction. Mais les élèves sont tellement surs de leurs constructions qu'on a l'impression qu'ils valident juste pour suivre les instructions sur leur pile d'interaction avec le tuteur artificiel.

Pb.16 Laur.: bouge celui là pour voir² Oliv.: oui, il reste	Pb.20 Oliv.: point droite et celui là. Vas y bouge, c'est bon ça va...
--	---

Cécile et Marlène ont traité les 8 problèmes suivants, dans cet ordre : Pb 16, Pb 22, Pb 29, Pb 28, Pb 26, Pb 25, Pb 23, Pb 24. Ces deux élèves ont mis en oeuvre assez rapidement une procédure correcte dans le premier problème : un point image est

construit comme intersection d'une perpendiculaire à l'axe et d'un cercle centré en l'intersection de cette perpendiculaire avec l'axe et passant par le point objet. Cette procédure de construction sera réinvestie par ces deux élèves dans les problèmes suivants. Les tuteurs ont repéré une conception correcte de la symétrie chez ces deux élèves qui fonctionnait sur les problèmes choisis pour la mettre à l'épreuve. Par exemple, au niveau de l'avant dernier problème (Pb 23), les tuteurs explicitent la symétrie mise en action par les élèves comme ayant un domaine de validité assez grand; de ce fait ils décident de fixer eux mêmes des valeurs aux variables axe et segment et de ne pas choisir dans la liste des problèmes déjà disponibles dans la carte du tuteur artificiel :

Nathalie : Ben ils savent tout faire! Ça marche tout le temps ! Ça les trouble même pas ça.

Philippe : alors pas d'accord avec les choix proposés, alors il faut ouvrir une nouvelle figure ?

Grégory et Nathalie ont traité 5 problèmes, dans cet ordre : Pb 16, Pb 30, Pb.16, Pb 19, Pb 29. Les deux élèves évoquent en début du premier problème deux notions qui vont interagir longtemps après : pour Grégory les segments objet et image sont parallèles, pour Nathalie un point et son image sont sur une perpendiculaire à l'axe, en excluant l'idée du parallélisme.

Vient s'ajouter à cela l'intersection de deux objets qui est utilisée, mais souvent non construite. Ces données ont été souvent analysées par les tuteurs humains comme provoquant des difficultés de deux natures, l'une d'ordre conceptuel, et rapportée à la symétrie, l'autre concerne la connaissance qu'à l'élève des outils de Cabri-géomètre. En effet, Grégory explicite des segments objet et image parallèles ; Nathalie explicite un point et son image sur une perpendiculaire à l'axe et évoque une bonne procédure de report de distance. Deux procédures de construction resteront en compétition révélant deux conceptions contradictoires (sauf dans le cas où le segment est parallèle à l'axe) de la symétrie. Cette divergence de point de vue chez les élèves a favorisé l'activité d'analyse chez les tuteurs humains.

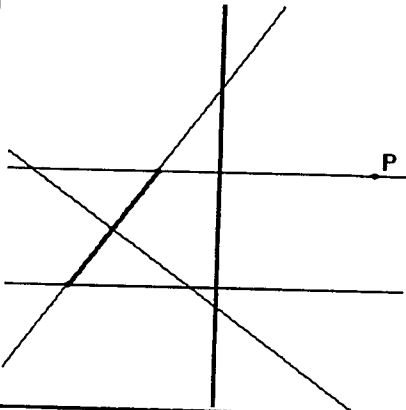
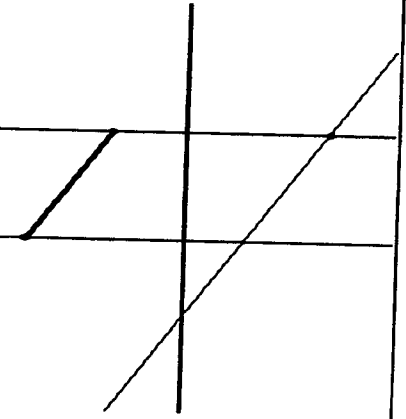
<u>Ecran élèves :</u> 	<u>Côté élèves :</u> Nathalie : (...) d'intersection de deux...eh ben non! Grégory : médiatrice. (silence) mais ça c'est pas une ...il faut la transformer.	<u>Côté tuteurs humains :</u> Bernard : qu'est-ce qu'il va faire ? Il a fait médiatrice lui ? Jean C. : oui médiatrice de deux points du segment
	Grégory : oh! oh¹! Nathalie : qu'est-ce que tu f...? (...) C'est tout le contraire. Attends enlève, enlève le machin deux minutes... Note ¹(il supprime médiatrice et trace parallèle)	Bernard : c'est extraordinaire ça... des droites parallèles (...) parallèle ne plaît pas, ben c'est quoi ? Pourquoi c'est comme celle-là ? (...) Bernard : si on la... si on la tirait un peu pour voir. Jean C. : ce qu'on pourrait faire, c'est manipuler, cliquer sur "Perpendiculaire" et cliquer sur "Aide" et voir comment ça marche. Bernard : Non, ça va ...ça va les guider quand même; on va laisser faire.

Fig.4.A, 23

Les deux élèves n'arrivent pas à dépasser leur divergence de point de vue. C'est Nathalie qui finira par suggérer à Grégory de tenter de mettre en oeuvre sa procédure en lui donnant en plus des indications par le geste de la main sur l'écran. Elle propose la construction de la droite "perpendiculaire" à l'axe (Nathalie désigne en fait une direction horizontale, donc perceptivement orthogonale à l'axe dans ce cas de figure) passant par une extrémité objet puis du cercle de centre l'intersection de cette droite avec l'axe et passant par l'extrémité, et enfin du point image comme intersection de la perpendiculaire à l'axe et du cercle.

Nath.: c'est pas tout à fait pareil hein?

Grég.: si et comment on peut savoir?

(Silence)

Nath.: et même c'est pas... c'est pas comme ça, il faut que ça soit (...) essaies de faire un cercle passant par ce point et faire comme ça, d'ici peut-être que ça fera le point que tu cherches

Grég.: oui

Mais des difficultés viennent s'ajouter à celle de la tâche. Elles concernent notamment la construction de cercle et les relations d'intersection de deux objets et d'orthogonalité à l'axe non explicitées, par les élèves, dans Cabri-géomètre.

Nathalie suggère à Grégory de construire une droite perpendiculaire à l'axe mais ils rencontrent des difficultés pour la construire. Ces difficultés sont en partie dues au fait que lors de la désignation des objets dans la version utilisée de Cabri-géomètre, ces derniers ne clignotent pas. Grégory choisit l'item "droite perpendiculaire", clique sur l'extrémité du segment et attend que le point clignote, reclique dessus et reçoit le message de cabri "ce segment", en cliquant dessus il obtient alors la droite passant par le point et perpendiculaire au segment. Comme ce n'est pas le résultat attendu par Nathalie, il supprime cette droite et refait exactement la même chose. Il supprime alors la perpendiculaire, et choisit l'item "droite def 2pts" pour construire une droite passant par l'extrémité et perceptivement orthogonale à l'axe. Il construit ensuite une droite passant par deux points dont la deuxième extrémité qu'il enlève pour la remplacer par une autre parallèle à la première et passant par la deuxième extrémité. La façon dont Grégory a construit cette droite laisse supposer qu'il voulait tracer la parallèle au segment passant par le point P (Fig.4.A, 23). En effet, cet élève, qui a rappelons le, une conception de "parallélisme" a choisit l'item parallèle, désigné l'extrémité 2 et cliqué ensuite sur le point P obtenant ainsi une droite parallèle à la première.

Les élèves finissent par faire un report de distance en utilisant des cercle centrés sur l'axe et passant chacun par une extrémité. Les centres sont définis avec l'item "point sur objet" et sont construits chacun à l'intersection des deux droites perceptivement orthogonales à l'axe et de cercle. Les tuteurs diagnostiquent un bon report de distance avec un report perceptivement orthogonal à l'axe, qu'ils interprètent comme un problème Cabri-géométrique. La validation par déplacement est mise en oeuvre et conduit au rejet de la procédure. Un arrêt de la recherche sur ce Pb.16 leur a été suggéré par l'observateur : le binôme demande une évaluation de la figure au tuteur artificiel qui l'invalidé. Les tuteurs humains pensent effectuer un déplacement d'un point pour montrer aux élèves que la figure est incorrecte mais finissent par leur envoyer un problème suivant.

<u>Côté observateur/élèves :</u>	<u>Côté tuteurs humains :</u>
Obs.: Vous savez que vous pouvez faire fin de construction si vous avez fini de construire. D'accord? Comme ça vous pouvez avoir... (Le binôme fait fin de construction) Obs.: la machine vous dira si c'est juste ou c'est faux. Obs.: ta construction n'est pas correcte, vous cliquez là (Silence) Nath.: là c'est la dedans qu'il faut appuyer. Tu prends laquelle? Grég.: autre activité. Je pense que ce serait plus facile Nath.: moi je pense pas hein (Silence) Nath.: je pense qu'elle sera plus dure celle-là hein	Bern.: alors, on va... on déplace ce point pour voir? Jean C.: oui (Silence des tuteurs, ils essayent d'envoyer le message d'aide) Jean C.: ah, ils parlent de facilité Bern.: bon, écoute, on va lui ouvrir... on va... à mon avis, ils n'ont pas de problème de, de... Jean C.: de compréhension... Bern.: ...ils ont des problèmes cabri-géométriques; alors... comme ils ont un problème cabri-géométrique, il faut essayer de choisir quelque chose qui soit... Jean C.: parce que ce serait au niveau de la perpendiculaire; c'est ça leur problème Bern.: perceptivement orthogonal à l'axe, heu, heu, écoute si... si on leur envoyait sur... moi je leur enverrai bien là dessus; là dessus Jean C.: oui Bern.: ah non, non, non. Jean C.: non, celui-là, ils vont faire pareil hein, ils vont prendre la droite... Bern.: je leur enverrai... là ils ont un... je leur enverrai sur un truc comme le 19 par exemple Jean C.: oui; heu, est ce on va pas faire comme le groupe tout à l'heure... perpendiculaire Bern.: oui, c'est peut-être trop complexe oui. Il faut quelque chose de pas horizontale, ça par exemple, le 30 alors Jean C.: oui le 30

Ce binôme produira un segment image au niveau du deuxième problème (Pb 30), aidé pour cela par les tuteurs humains.

Maryline et Sandrine ont traité les problèmes suivants dans cet ordre : Pb 16, Pb 18, Pb 2, Pb 16, Pb 19. Ce binôme construit le segment image de l'autre côté de l'axe, parallèle et de même mesure que le segment objet. Il met en oeuvre une procédure de construction globale donc perceptive qui renvoie à une conception de "parallélisme" (cf. chap.3 § II.4.3.). Les TH identifient une difficulté géométrique (construction globale et parallélisme) et un problème Cabri-géométrique (lié à l'utilisation de l'item droite parallèle) . Ils souhaitent traiter en priorité les difficultés des élèves à utiliser cet item. Ils ont essayé d'intervenir, en affichant l'aide pour droites parallèles, dès qu'ils ont vu la difficulté qu'avait le binôme pour construire les parallèles.

Le protocole de ce binôme nous amène à interpréter la procédure de construction du binôme de la façon suivante: ayant comme conception le "parallélisme" le binôme veut construire des droites parallèles et arriver par là à un parallélogramme pour conforter sa construction.

La validation par déplacement est mise en oeuvre et conduit au rejet de cette solution.

Les élèves revoient leur construction mais la recherche du segment image est arrêtée par les tuteurs humains qui ont décidé d'envoyer une nouvelle activité aux élèves jugeant qu'il y avait blocage³. Dès la nouvelle situation proposée (le pb.18), c'est encore l'idée du parallélisme qui fonctionne, ce qui relance l'analyse de la situation chez les tuteurs humains (cf. figure ci-dessous). Nous reviendrons à ce binôme dans l'enchaînement des situations proposé par les tuteurs.

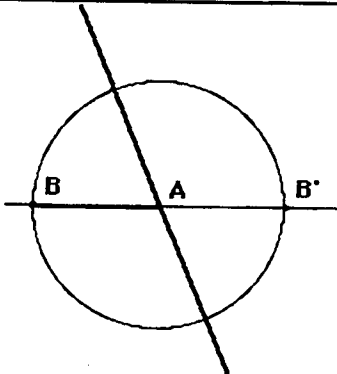
	<u>Côté élèves :</u> Maryline : ah oui, oui, j'ai trouvé comment faire! Tu vas mettre droite parallèle, avec.. Ah mais... génial, attends, qu'est ce que j'ai fait? (...) mais non, tu peux pas, il faut faire intersection. Non, mais.. après! Tu fais d'abord ta droite. Parce que t'auras une droite qui sera longue, t'auras pas deux moitiés , tu prends un cercle , tu fais passer par ces deux points Sandrine: ah oui! Maryline : alors, on va faire Sandrine: droite parallèle Maryline : oui parce qu'elle sera...	<u>Côté tuteurs humains :</u> Philippe : Ah! Ah! Salima on a obtenu un cercle déjà. Jean C. : je crois qu'on a avancé. (...) Jean C.: est-ce qu'elles vont faire perceptivement orthogonal ? (...) Philippe : alors c'est marrant pour tracer droite elle prend parallèle. Jean C: oui Philippe : c'est que... La procédure parallèle c'est dur hen! C'est installé hen! C'est très curieux ça persiste.. On va faire des parallèles! Il y a pas cercle, elle le voit pas cercle? Jean C.: il est pas là. Philippe : différent.. Ouf! Intersection de deux points!
--	--	--

Fig.4.A, 24

Le diagnostic de la procédure produit une divergence de point de vue chez les tuteurs humains qui restera difficile à trancher : finalement les élèves ont-ils opéré un report horizontal ou un prolongement ?

³ Nous consacrerons dans la suite un paragraphe au diagnostic (par les tuteurs humains) des blocages chez les élèves.

Phil.: bon moi je mettrai maintenant segment perpendiculaire à l'axe. Parce que là, ils font un report horizontal.

JC.: ou dans le prolongement? On n'en sait rien là. C'est horizontal ou dans le prolongement?

Sonia et Christelle ont traité 4 problèmes dans cet ordre : Pb 16, Pb 8, Pb 30, Pb 26. Les deux élèves ont recherché au départ l'item "Symétrique", mais cet outil n'a pas été édité dans les menus. Les élèves ont alors mis en oeuvre une procédure globale donc perceptive. Elles ont créé des points de base puis le segment les joignant et modifié par déplacement le segment de façon à ce qu'il y ait symétrie perceptive. Cette procédure a persisté longtemps et a donné lieu à une analyse des actions dans les termes prévus dans la carte "globale" de diagnostic du tuteur artificiel (figure ci-dessous).

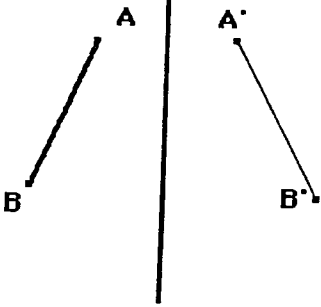
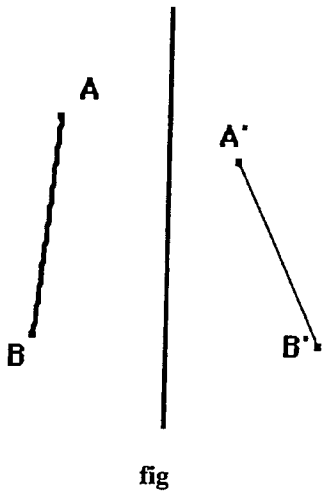
	<u>Côté élèves :</u> Sonia: le symétrique... bon	<u>Côté tuteurs humains :</u> Bernard : Voilà, point de base hein? Nathalie: ils font globale. Bernard : ça c'est quoi? C'est quoi là? Nathalie: l'extrémité, c'est, elle est perceptivement... sur l'horizontale.. Bernard : c'est au jugé non? Perceptivement sur quoi? Nathalie: sur l'horizontale.. et, puis après heu ..au jugé? Bernard : perceptivement sur... Nathalie: C'est bon perceptivement sur l'horizontale et à égale de l'axe Bernard : au jugé? (...) Tu penses que c'est ça? L'horizontale? Nathalie: Ben oui.. Ils ont fait à peu près à l'horizontale et puis ..
--	--	---

Fig.4.A, 25

Cette procédure est restée stable chez ces élèves. L'observateur leur a suggéré de valider la figure par déplacement. Ces derniers ont se sont exécutés. Les tuteurs humains n'ont pas été d'accord avec une telle intervention. Ils ont jugé alors que l'observateur devrait moins intervenir dans le travail des élèves.

Ils diagnostiquent une procédure globale donc erronée. Le retour son a aussi joué un rôle important dans les diagnostics des tuteurs pour ce binôme Sonia-Christelle et dans le choix d'une situation suivante comme nous le montre la figure ci-dessous. L'objectif des tuteurs humains a été d'amener les élèves à invalider la construction par déplacement. En effet ces élèves suivaient les messages de validation par déplacement mais ne savaient pas juger si le segment restait symétrique ou non et ne comprenaient pas la finalité de ces déplacements. C'est seulement grâce au retour son (les élèves ont exprimé à haute voix leur incompréhension de la consigne de validation) que les tuteurs ont pu réaliser que la difficulté était au niveau du sens que donnaient ces élèves à la symétrie.

Ecran élèves	Côté élèves	Côté tuteurs
	Chri.: fin de .. Obs1.: une 2ème fois.. voilà Soni.: déplace l'une des extrémités du segment de départ pour voir si ta figure reste symétrique dans tous les cas. [...] Soni.: je prends.. ça reste symétrique.. celui là je prends² ? Obs2.: oui Soni.: je sais pas³ si ça reste symétrique⁴! Soni.: reste symétrique dans tous les cas⁵ Chri.: ben oui chais pas moi Soni.: je refais fin de construction là?	Bern.: Attends, avant de faire la... la fin de saisie, il faut regarder si ça¹ c'est actif? Nath.: il n'y en a qu'une qui parle. ----- Note: ¹(il désigne la consigne de validation par déplacement) ²(il s'agit de l'extrémité A) ³(elle déplace le point A puis le remet à sa position initiale) ⁴(puis déplace l'extrémité B ⁵(elle redéplace A' et le remet perceptivement à égale distance de l'axe que A)

Chri.: qu'est ce que je fais là?	¹ (elle déplace le point A, dans son voisinage, vers le haut, et le remet à une position proche de la position initiale)	Bern.: (rire)
Soni.: il faut essayer de <u>remuer</u> l'autre!		
Soni.: je sais pas si je vais à revoir la construction	(Sonia fait fin de construction, obtient le message de validation)	
Chri.: si comme ca, on verra ce qui va pas		
Soni.: j'ai pas compris pourquoi ¹	² (elle déplace l'extrémité A pour valider sa construction)	Nath.: (rire)
Chri.: inaudible		
Chri.: il va pas être symétrique	(apparemment ce binôme suit les consignes lit les messages et valide à chaque fois sa construction)	Nath.: ils ont rien changé hen ? Il faudra refaire
		Bern.: Non.
		Bern.: là c'est sur la nature du problème là, on est cuit là!
		Nath.: T'es sur qu'elles savent ce que veut dire la symétrique parce qu'en fait quand elles bougent..
Soni.: j'ai pas compris ça pourquoi il faut ² ...		Nath.: ah..
	³ (Avec le curseur, Nathalie trace sur la l'écran de l'élève un segment oblique qui coupe l'axe et pendant ce temps là Sonia passe à fin de construction)	Bern.: Non je pense que c'est plutôt sur le fait que qu'est ce que ça signifie ah.. de rester symétrique dans tout les cas. Elle a pas compris ça.
		Nath.: Heu, ben justement, il faudrait mettre le segment par exemple... donc comme ça ³ .

Fig.4.A, 25 bis

Jessica et Hakima (B12) ont traité les 5 problèmes suivants dans cet ordre : Pb 16, Pb 7, Pb 19, Pb 24, Pb 7. Ces élèves mettent en oeuvre, dès le départ une procédure de construction globale avec une conception erronée de la symétrie qui renvoie à une conception "parallélisme". Cette conception est dépassée quand les élèves pensent au pliage. En effet ce moyen leur permet d'invalidier leur procédure. Elles déplacent les extrémités du segment image et obtiennent ainsi une figure perceptivement symétrique.

Ces élèves perçoivent une utilisation des outils de Cabri-géomètre où les relations entre objets sont surtout perceptives.

Ces deux aspects ont été suffisamment stables empêchant ainsi la production du segment symétrique au travers des problèmes abordés. Le relevé des procédures n'a pas toujours été évident dans la mesure où l'interprétation des relations visées entre les objets manipulés à l'écran reste assez importante (cf. figure ci-dessous). La formulation du diagnostic a provoqué un élargissement du débat à l'expérimentateur : découverte d'une coexistence des sens différents entre lui et l'un des tuteurs humains. Ce débat concernait le terme "au jugé" : dans la carte de diagnostic correspondant à la procédure globale, les extrémités sont créés perceptivement à l'horizontale, la verticale, quelconque, etc. (cf. Annexe chap.3; "pile de diagnostic") et, perceptivement à égale distance de l'axe ou au jugé. Le terme "au jugé" était pris chez nous au sens de "au hasard" alors que pour le tuteur humain cela correspondait à une construction " perceptivement à égale distance de l'axe....".

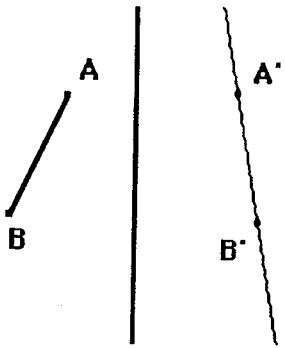
	<u>Côté élèves :</u> Hakima: tu vas où? Jessica: je veux voir si c'est droit Hakima: c'est toi qui bouge tes trucs Jessica: c'est bon là non? Non? parce que celui là alors là il faut déplacer la droite et la mettre plus proche non? ... attends celui là il faut encore l'approcher, tiens, tiens	<u>Côté tuteurs humains :</u> Experimentatrice: tu as perceptivement... alors perceptivement sur l'horizontal et perceptivement à égale distance ça veut dire... Philippe. : mais ... et perceptivement au jugé ça veut dire quoi ça veut dire que c'est pas... Experimentatrice. : au jugé ça veut dire comme ça (à vérifier) Philippe. : non mais... parce que... en fait il y a juste un... eu... au jugé c'est tu juges si son endroit est , est là... alors c'est... Experimentatrice: pour moi au jugé c'est au pif. Philippe. : ah non c'est au hasard! Experimentatrice : oui Philippe. : non c'est rien mais je... je te le signale. Experimentatrice: OK!
--	--	---

Fig.4.A, 26

L'observateur a suggéré ensuite aux élèves de demander une évaluation de la figure : "*Quand vous pensez que vous avez terminé vous cliquez là.*" La figure a été alors invalidée après un diagnostic prononcé par les tuteurs humains, mais avec une certaine difficulté sur la précision des termes à retenir :

Phil.: oui, oui, oui...qu'est ce qu'on va faire alors? Qu'est ce qu'on...?.Oui, oui c'est au jugé c'est comme tu l'as rempli... Ca effectivement ils ont hésité beaucoup....

Nath.: c'est pas au hasard

Phil.: si, si, si, enfin à égale distance... voilà c'est pas au hasard... voilà!

Nath.: c'est pas du tout ça (elle avait choisi la carte "droite et cercle" pour saisir les données de la deuxième extrémité).

Phil.: non, non, non, non reviens, c'est aucun, aucun. Voilà c'est ça. non, non², eu... non, non, non ...oui, oui c'est ça.

Nath.: (rires) décide toi Philippe

Phil.: pardon, non, non c'est ça!

Romain et Michaël (B7) ont traité les 2 problèmes suivants : Pb 16, puis Pb 14. L'intention explicitée par ces deux élèves a été de produire un quadrillage et de travailler avec des carreaux (cf. § I.1.2.). Le déplacement d'objets a permis des réajustements où les relations entre les objets sont envisagées de manière perceptive. Les tuteurs ont du mal à comprendre la procédure des élèves (cf. figure ci-dessous). Par conséquent il ont eu certaines difficultés à faire un diagnostic. Les protocoles relatifs à ce binôme (entre autres⁴) nous montrent une difficulté et une nécessité de prendre en compte, pour le diagnostic, un ensemble structuré d'événements relatifs à une action et à son histoire, en particulier à le remplacer dans l'histoire de l'interaction, et de tenir compte et de "se souvenir" de l'histoire de l'élève.

⁴ Voir à ce sujet par exemple le binôme 4: Michael, Sébastien

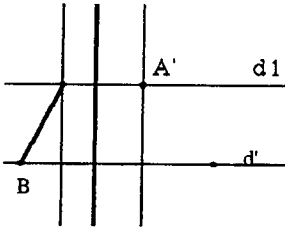
	<u>Côté élèves :</u> Michaël.: t'as refait une parallèle par dessus¹ Romain.: ah je sais ce qu'il faut que je fasse! C'est bon, c'est bon³. Romain.: () ça marche pas⁴. Michaël.: bon... Michaël.: on va refaire une parallèle avec celle là... avec ce point⁵ Romain.: vas y. Où je le mes, là? Michaël.: oui parallèle à celle là⁶. [...] Romain.: mets milieu de cette droite, oui comme ça...milieu du segment	<u>Observations :</u> 1(Romain a fait une parallèle à d1 passant par A') 2(il s'agit de A') 3(il sélectionne l'item "droite perpendiculaire" désigne A' puis (d1) obtient ambiguïté) 4(il abandonne l'item perpendiculaire) 5(il désigne l'extrémité B et la droite d') 6(il désigne la parallèle à l'axe passant par 1ère extrémité et obtient de nouveau ambiguïté).	<u>Côté tuteurs humains :</u> TH1.: il y a deux droites en fait, l'une à côté de l'autre. [...] TH1.: oui, c'est pour ça que fait épais et c'est pour ça que ça fait ambiguïté aussi. TH1.: Ils veulent faire quoi? C'est ça ce que je ne comprends pas... une droite parallèle? Oui, ils sont pas... TH2.: en fait là, pour mesurer la distance entre les deux, c'est avec... avec l'écart des deux droites... à l'axe. Là, ils veulent peut-être faire la même chose avec... ce point... placer celui-là à peu près à égale distance de l'axe.. Ils essayent de faire perceptivement? TH1.: un écart comme ça... TH2.: oui, ils veulent peut-être une espèce de quadrillage. TH1.: oui, oui... Tu penses à une espèce de quadrillage, c'est pas une mauvaise idée en fait. [...] TH1.: milieu... c'est complètement fou, ils font un quadrillage; c'est toi qui avais raison.
---	--	---	--

Fig.4.A, 27

Les TH finissent par diagnostiquer une procédure semi analytique : les extrémités sont construites comme "point de base" (pour l'extrémité 1) ou "point sur objet" sur les droites perpendiculaires à l'axe passant par les extrémités.

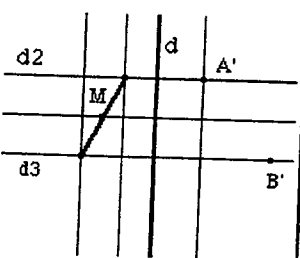
	Romain.: qu'est ce qu'on fait? Mickaël.: avance un peu ce point⁸ une seconde ... stop...;un peu plus...là... Romain.: où? Là? Mickaël.: un peu plus...un peu plus... Romain.: qu'est ce que tu vas faire? Mickaël.: un peu loin maintenant vas y. (...) si on y arrive pas il faut bien... Romain.: on fait la droite, on essaye	⁷(il montre le point B')	TH1 : je ne comprends pas bien le fond de leur stratégie. En fait, ils ont deux droites perpendiculaires, d'accord? Ils ont... On va commencer à marquer un peu... les choses. Ils ont utilisé deux objets, c'est ça, non? pour l'instant... c'est vague. TH2.: pour l'instant, la première extrémité est un point de base... sur une droite perpendiculaire à l'axe. [...] TH1.: non, elle n'est pas sur la droite. Celui-là, il est n'importe où, le deuxième. TH2.: oui, comme le premier. TH1.: comme le deuxième. elle est indépendante. T'es d'accord? Indépendante? TH2.: oui. Point de base sur la droite. TH1.: non, c'est un point sur objet là. Oui, heu, d'accord? Qu'est ce qu'ils vont vérifier?
---	--	--	---

Fig.4.A, 27bis

Cette procédure de construction du symétrique du segment a duré suffisamment pour provoquer une décision : finalement les tuteurs humains ont décidé d'envoyer le message de blocage aux élèves. Ces derniers ont alors choisi de passer à un problème suivant.

Michaël et Sébastien (B4) ont traité la suite de problèmes suivante : Pb 16, Pb 13, Pb 11, Pb 19. Ces élèves mettent en oeuvre une procédure de construction globale qui renvoie à une conception de parallélisme. Dans cette conception de la symétrie, le binôme envisage des relations entre les objets de façon perceptive. Les élèves évoquent alors le pliage et déplacent les extrémités du segment objet de façon à avoir une symétrie perceptive. Un relevé verbalisé des relations n'a pas été évident chez les tuteurs humains. Le travail au niveau des relations perceptives n'a pas permis d'aboutir à la production du symétrique du segment par ce binôme.

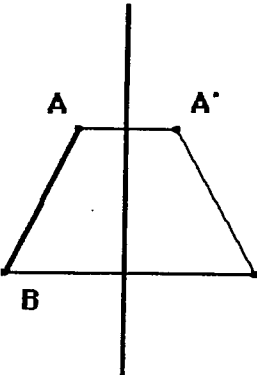
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
	Sébastien : si, c'est la même chose celui-là. Et en plus, faut le rapprocher, là. Michaël : ben rapproche! Sébastien : T'as qu'à le déplacer. On le met où? ... Hop, hop! Michaël : C'est bon, c'est bon. Sébastien : Qu'est-ce que je fais? Michaël : C'est bon. Sébastien : Ah, c'est bon, hein? [...] Voilà, c'est ... c'est bon. Michaël : Faut pas que ça bouge. Sébastien : Ah, regarde, quand tu vas replier la feuille comme ça, ça doit ... ça doit tout se .. faire un seul objet. Eh bien ça, hop, ... et voilà.	Philippe : alors ils veulent bien parallèle hen? Tu fais OK et après tu passes. Alors... Globale. Pourquoi t'as fait OK, ça c'est les extrémités et on peut pas dire qu'ils cherchent à le faire ...? Jean C.: globale, ils ont que ça! Philippe : tu vois, on n'a pas... Quand il fait OK, il fait ça.

Fig.4.A, 28

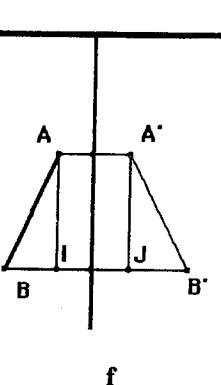
Ecran élèves	Côté élèves Michael, Sébastien	Côté tuteurs
	Sébastien : on va tout faire ... on va faire toutes les intersections des objets et des segments et ça bougera pas. Mickaël.: Bien fais, on verra. Sébastien : Faut pas que ça bouge, faut pas que ça bouge. Attends. Qu'est-ce qu'on va tracer? Mickaël.: faut que toujours... ça², ça doit rester sans bouger ... Note : ²(il désigne [AA'] et [BB'])	JeanC.: en fait ce qui est très fort chez eux, c'est ça le fait que ça soit bien droit. Philippe : en plus ceux là, ils se sont aidés perceptivement d'une verticale. Visiblement! JeanC.: oui, c'est ça... Là ça va pas, parce qu'il y a les traits, les traits coupés... là.

Fig.4.A, 29

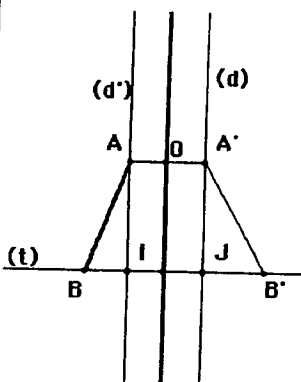
Ecran élève	Côté élèves	Côté tuteurs
	Sébastien : Attends, je comprends pas. Je comprends pas. On verra bien. Ben voilà¹. Mickaël : ben maintenant fais que quand ça bouge, ça reste tout le temps symétrique. Sébastien : Ca marche même si ça a pas de jambes. [...] Merci². ... Mickaël : [...] mais arrête, tu fais la même chose. Sébastien : Ben oui, il faut trouver, je sais pas, moi, j'essaye. Mickaël : mais on a appris la dernière fois quelque chose qui bouge ça, ça, et que ça bouge et ça reste tout le temps symétrique³. Essaye de bloquer ce point⁴. Note: ¹(Sébastien vient de construire(t) $\perp$ Ax passant par B', fig.13) ²(il crée ensuite Ax $\cap$ (t), fig.13, il essaye ensuite de tracer (t) $\cap$ [A'B'] mais obtient le message comme quoi un objet identique..., il fait pareil pour (t) $\cap$ [AB] et obtient le même message. Il déplace ensuite le point B') ³(Mich. désigne les points B', B, A et A') ⁴(pointO)	Philippe : wah! C'est ça, il parle... Tu vois, ils font la construction et après, ils cherchent à le lier. Nathalie : () tous les machins et après ils les lient. Philippe : non, c'est parce qu'ils travaillent sur les images. Tu comprends? Ils sont satisfaits de l'image, ils l'ont construit perceptivement et maintenant ils veulent le bloquer par rapport aux () et ils font la construction à l'envers, en remontant, parce que là, il a fait une perpendiculaire. JeanC. : est ce qu'ils vont faire la même chose? A ce moment là c'est plus perceptivement alors, il faut voir! Philippe : si attends, mais c'est plus une perception....

Fig.4.A, 30

Antony et Morad (B3) ont traité un seul problème, le Pb 16 sans succès (cf. §I.1.2.). Devant la non-disponibilité de l'item "mesure" ces élèves ont inventé des palliatifs à la mesure ou des "aides à la perception". Ils ont créé les points images au jugé et essayé d'utiliser et d'organiser (surtout perceptivement) diverses relations entre les objets⁵ Le déplacement d'objets a été utilisé pour réajuster des cas de figures. Le diagnostic des

⁵ Nous reprendrons le cas de ce binôme dans un autre paragraphe pour montrer comment ce binôme devant l'impasse liée à l'absence de l'item "mesure" et ne sachant pas reproduire une longueur à l'aide des outils de Cabri-géomètre, devient inventif et crée des outils palliatifs à la mesure (quadrillage, cercles ajustés perceptivement...).

procédures mises en oeuvre n'a pas toujours été facile pour les tuteurs humains. Remarquons que ces derniers sont restés observateurs (nous montrerons par la suite la raison éventuelle d'une telle attitude, cf. cas du binôme Antony-Morad).

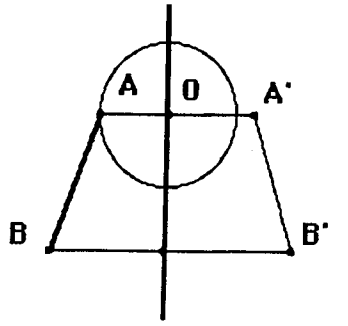
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
	Antony : tire-le à gauche! Morad: oh là là! Je me mets où il faut pas (...) là stop! Antony : attends. Morad voilà, ça devrait être bon cette fois. Je ne sais pas... Antony : eh... Alors ça c'est incompréhensible	Côté tuteurs humains : Philippe : je pense que... Jean C : je pense quand même que son point image, là il l'a mis quand même perceptivement eu...orthogonal à l'axe, je pense quand même que là on l'a mis horizontal, je pense que... Philippe : non, non, il est trop haut ou trop bas, on l'a mis horizontal mais tout à l'heure il a parlé de trop haut ou trop bas, c'est bien horizontal Jean C : donc c'est bien horizontal Philippe : voilà Jean C : qu'est ce qu'il fait là?

Fig.4.A, 31

Rémi et Stéphane (B11) ont traité 4 problèmes dans cet ordre : Pb 16, Pb 14, Pb 9, Pb 2.

Au problème 16, les élèves commencent par transformer la figure, de façon à ce que le segment objet soit parallèle à l'axe. Les tuteurs humains voient dans cette transformation un symptôme d'une conception de parallélisme.

Philippe: et là, il y a quand même une idée de parallélisme parce qu'il s'est débrouillé pour rendre le segment parallèle à l'axe. Hen, c'est ce qu'il a fait, il a tiré pour qu'il devienne parallèle.

Ce binôme considère la symétrie comme une translation. Il commence par mettre en oeuvre une procédure de construction de l'image analytique erronée : image de l'autre côté de l'axe, parallèle et de même mesure mais sans que la conservation de la distance à l'axe des extrémités et de leurs images ne soit respectée. Les extrémités du segment image sont définies comme intersections de deux objets (droite orthogonale au segment et droite orthogonale à la médiatrice du segment, donc parallèle à ce dernier). Cette procédure renvoie à une conception "parallélisme".

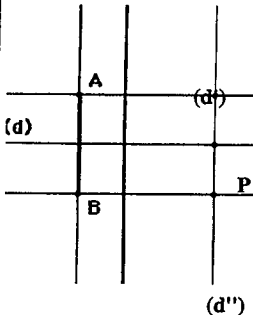
Ecran élève	Côté élève	Observations	Côté tuteurs humains
 fig.7		¹(Nathalie est passée au diagnostic, elle est au niveau de la carte extrémité 1, de la pile de diagnostic) ²(il s'agit respectivement de la droite (d), du point P et de la droite (d''), fig.7)	Nathalie.: c'est quoi comme construction Philippe? Philippe.: ben c'est une... Il est perceptivement... il est parallèle Nathalie.: il a utilisé deux droites pour le construire ce point, celle là et celle là, mais, il y a pas deux droites là¹. Philippe.: comment? Là, il a utilisé² cette perpendiculaire, puis après il a pris un point, il a utilisé une perpendiculaire et après... Nathalie.: pour construire l'extrémité 1, il a utilisé, cette perpendiculaire au segment et cette perpendiculaire à la perpendiculaire au segment. Philippe.: oui, donc c'est une parallèle. Nathalie.: d'accord, c'est une droite parallèle Philippe.: moi je l'interpréteraï comme une parallèle. Alors... Nathalie.: alors sur une droite...

Fig.4.A, 32

Une analyse plus fine de cette procédure nous permet de l'interpréter de la manière suivante: les élèves veulent tracer le segment image parallèle au segment objet. Ils essayent de définir la direction de l'image puis construire à partir de là les extrémités du segment image. Ils rencontrent des difficultés pour tracer cette droite vu que l'item "droite parallèle" de Cabri-géomètre impose de désigner un point puis une direction et donc vue l'absence de ce point image. Pour définir alors ce support, ils utilisent les points existants A et B (qui sont seuls candidats) et désignent le segment objet. Ils obtiennent la parallèle au segment confondue avec le support de ce dernier (figure ci dessus).

Ils continuent ensuite de chercher à définir le support de l'image, de l'autre côté de l'axe en utilisant des droites perpendiculaires, qu'ils finiront par supprimer. Ils construisent alors, après un parcours du menu "constructions" de Cabri-géomètre, la médiatrice du segment objet. Pour contourner les difficultés de construction (dues aux raisons évoquées ci-dessus) ils placent au hasard, sur la médiatrice du segment objet, un point⁶ P intermédiaire (figure ci-dessus). Ils tracent ensuite la perpendiculaire à la médiatrice du segment, passant par P (donc la parallèle au segment) et définissent les deux extrémités images comme intersections⁷ de cette droite avec des droites perpendiculaires au segment, passant par les extrémités.

On remarque que les outils de Cabri-géomètre ont été utilisés en début de recherche par les élèves, dans ces cas, parfois avant même une anticipation mathématique de relations entre les objets explicites. Cette démarche nous semble rejoindre celles déjà évoquées par d'autres travaux en situation de type papier-crayon ou informatisée : les démarches empiriques, assez fréquentes en géométrie chez les élèves de lycée. Les stratégies empiriques des élèves sont renforcées par le fait que les commandes de construction sont disponibles. Les élèves ont parfois choisi de construire l'image par essais successifs de diverses combinaisons de menus. Dans ces cas, ce n'est pas l'usage des connaissances mathématiques qui a contrôlé le processus de tracé mais la recherche d'une suite de menus conduisant à une figure qui sera validée par le déplacement.

Les tuteurs ont du mal à interpréter cette procédure pour deux raisons :

- elle est trop compliquée

Nathalie: c'est bien compliqué cette construction!

Côté tuteurs humains :

Nath.: et là il a fait la médiatrice non?

Phil.: est-ce qu'il n'a pas l'idée que, il veut une parallèle, ici, en désignant ce segment, mais qu'il la veut là? Parce que perpendiculaire, ça l'intéresse pas.

Nath.: la droite perpendiculaire qu'il a là, c'est la médiatrice qu'il a fait?

Phil.: il s'est débrouillé par l'intermédiaire de cette perpendiculaire d'avoir une parallèle à ça. Parce que son idée s'était que le segment était parallèle, enfin, il me semble que mon interprétation... Parce qu'il était tout content d'avoir une parallèle, parce qu'il n'a pas pu obtenir une parallèle à cet endroit là en désignant ce segment. Oui.

⁶ Le point P est créé (voir le protocole B11, page 4, dans l'annexe Protocoles) à la suite d'une demande d'aide pour l'item droite perpendiculaire. On suppose que s'agissant dans cette aide d'une perpendiculaire passant par un point, et voulant tracer un segment de l'autre côté de l'axe, l'élève a décidé de créer un point P et de tracer une parallèle à l'axe passant par P.

⁷ En fait les élèves définissent une extrémité comme intersection des deux droites et l'autre comme point (sur objet) à l'intersection des deux droites.

- n'ayant pas été analysée a priori, elle ne figure pas comme procédure dans la pile de diagnostic. Les tuteurs contournent cette difficulté en choisissant la carte "autre" de la pile de diagnostic qui leur permet d'évaluer la figure.

<u>Côté tuteurs humains :</u> Philippe.: sur deux droites hen? C'est deux droites en principe! Nathalie.: là¹, il n'y a pas deux droites Philippe.: droite et cercle, autre cas c'est là . On l'a pas, il faut noter, on a pas de diagnostic. Alors... Nathalie.: cette procédure n'a pas été envisagée. Philippe.: alors, procédure, intersection d'une droite perpendiculaire au segment, passant par une extrémité, avec une parallèle au segment..	Note : Nathalie est en train de saisir les données pour la première extrémité sur la carte de la pile de diagnostic qui concerne la construction d'une extrémité.
---	---

Notons que la validation par déplacement de la construction n'a pas été mise en oeuvre par les élèves.

Le problème suivant (axe vertical, segment oblique, extrémité comme intersection) (pb.14) a été envoyé aux élèves pour bloquer un éventuel déplacement du segment.

On remarque une stabilité de la procédure de construction chez ces élèves. Ils veulent construire le segment image parallèle au segment objet. Le point qui servira cette fois-ci à construire le support du segment image n'est pas sur la médiatrice du segment mais c'est l'image d'une extrémité construite sur la perpendiculaire à l'axe passant par cette extrémité. On remarque donc que la construction de l'image de l'extrémité A précède celle du support du segment image. En effet ils mettent cette image comme point sur la droite et rencontrent beaucoup de difficultés avec l'utilisation de l'item "droite parallèle" pour définir la parallèle au segment objet. Les tuteurs humains jugeant que c'est une difficulté liée à l'utilisation de Cabri, décident de leur afficher l'aide pour cet item mais l'observateur intervient en même temps pour le montrer aux élèves. Ils réussissent alors à tracer l'image du segment parallèle et de l'autre côté de l'axe. Les tuteurs humains diagnostiquent 1ère extrémité: (point sur une droite perpendiculaire à l'axe) et 2ème extrémité: dépendante, utilisant une droite parallèle au segment et une droite perpendiculaire au segment.

Au problème pb.2, les élèves investissent une procédure analytique perceptivement correcte. On suppose que l'utilisation des droites perpendiculaires au segment et à l'axe a été favorisée par le fait que le segment et l'axe étaient horizontaux.

Les tuteurs passent au diagnostic, les élèves quant à eux, essayent de valider la construction par déplacements successifs du point B (figure ci dessous) .

Les tuteurs diagnostiquent pour une extrémité : construction comme intersection de droite orthogonale au segment et de cercle (de centre intersection de la droite et axe, et

passant par extrémité). Pour la deuxième extrémité : construction comme intersection de droite orthogonale à l'axe et de cercle (de centre intersection de la droite et axe, et passant par extrémité).

Cette procédure en situation papier crayon serait correcte puisque le segment et l'axe seraient parallèles, donc la perpendiculaire au segment est aussi perpendiculaire à l'axe. Mais ce cas de figure, ils sont perceptivement parallèles et la procédure ne sera donc pas validée par déplacement.

Par exemple, dans le cas de figure ci-dessous un conflit semble se dégager dans la décision à prendre chez l'un des tuteurs humains : dans quelle mesure peut-on rejeter une figure pour le fait seulement que certaines relations n'aient pas été explicitées au sens de Cabri-géomètre ?

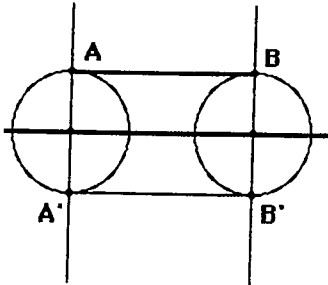
Ecran élève :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
	Rémi.: ben si tu dis que c'est bon, on devrait attendre le machin! Stéphane: fais fin de construction, Safw.: encore une fois, encore une fois Rémi. il va dire que c'est faux! (...) voilà!	<u>Côté tuteurs humains :</u> Philippe: mais non c'est faux là, parce qu'il est pas perpendiculaire à l'axe. Nathalie: la droite, elle est pas perpendiculaire? Philippe: j'étais persuadé qu'elle était perpendiculaire! Non, non, c'est pas une droite... Nathalie: bon, l'extrémité 2, la droite elle est pas perpendiculaire à l'axe, elle est perceptivement orthogonale à l'axe et le premier elle est comment? Philippe : elle est perpendiculaire. Nathalie: et c'est dommage parce qu'on va dire que c'est faux et c'est presque juste

Fig.4.A, 33

Remarquons que les messages envoyés aux élèves soit par Cabri, soit par le tuteur artificiel leur ont parfois posé problèmes. En effet

- du côté de Cabri-géomètre, ils ont été parfois mal compris.

Rémi.: ça veut dire quoi ce qu'il dit?() (il vient d'obtenir le message "un objet identique est déjà construit" en essayant de construire un segment)

- du côté du tuteur artificiel, ils ont été mal adaptés dans certains cas. En effet, dans des cas de figures, où le segment est perceptivement parallèle, ou perpendiculaire à l'axe, il est arrivé que les élèves fassent un bon report de distance et tracent des droites

perceptivement orthogonales à l'axe. Le message d'évaluation envoyé par le tuteur artificiel n'était pas adapté, il ne tenait pas compte de la spécificité du cas de figure : il était le même quelle que soit la procédure erronée. Il aurait fallu envoyer aux élèves des messages de type "ta construction est correcte dans ce cas de figure mais pas dans le cas général" et faire, éventuellement, suivre par un déplacement pertinent pour l'invalider. La remarque d'un des tuteurs (figure ci dessus) va dans ce sens.

Le tuteur humain veut effectuer un déplacement du point B (figure ci dessus) pour montrer aux élèves que l'une des droites qu'ils ont construites n'est pas orthogonale à l'axe. Rémi a effectué un déplacement du point B et a décidé de supprimer ce point mais il supprime l'axe de symétrie et le segment image. L'observateur intervient pour annuler cette suppression et une discussion s'engage entre les observateurs et l'élève pour inciter ce dernier à cacher les objets plutôt que de les supprimer. L'élève le fait mais en déplaçant B il se rend compte que ce n'est pas symétrique et il s'énerve.

L'intervention de l'observateur dans le travail de l'élève a eu pour effet de perturber l'élève. Ce dernier persistait à dire que "ça donnait pas la même symétrie", qu'il "voulait supprimer les objets" alors que l'observateur lui conseillait de les cacher etc... L'expérimentatrice a alors intervenu pour lui demander de continuer son travail et de supprimer les objets qu'il voulait. L'élève a répondu en disant que l'observateur lui avait dit que cela ne marchait pas. L'expérimentateur a alors essayé de négocier avec l'élève en lui demandant s'il trouvait que c'était correct et ce qu'il fallait faire. Le deuxième observateur a répondu qu'il fallait recommencer mais l'élève ne voulait pas et a tout rejeté.

On suppose que l'élève voulait supprimer le point qui le mettait en difficulté, c'est à dire le point B. Mais l'intervention des observateurs l'a complètement bloqué. En effet, en lui disant que ça risquait d'enlever toute la figure, l'élève l'a interprété comme si ça allait pas marcher. Comme il était aussi en situation d'échec, il l'a exprimé en reportant toute sa colère sur l'ordinateur puis sur l'observateur en le rendant responsable de cet échec. Devant l'échec, cet élève a une réaction violente, n'arrivant pas à résoudre le problème, il s'est mis automatiquement en situation de conflit et de rejet. Il a commencé à chahuter et à empêcher son partenaire de travailler. Le tuteur à ce niveau là pense que normalement il faudrait changer de registre, négocier avec l'élève... Dans toute la suite, l'élève continuera à se sentir rejeté et mal à l'aise et le tuteur responsable et impuissant devant l'échec de ce dernier.

Phil.: c'est complètement caractéristique là. Là il faudrait négocier avec lui pour savoir s'il y a des conditions... Il donne l'exemple même de l'élève de CPPM qui refuse, qui en condition d'échec...

III.2. Le diagnostic des implicites

La question des implicites qui nous concerne ici aborde trois aspects :

- un premier aspect concerne les implicites qui relèvent de la géométrie : par exemple, une parallèle à une droite peut aussi être une perpendiculaire à une autre droite.
- un deuxième aspect porte sur les spécificités des objets de Cabri-géomètre : par exemple, une intersection de deux objets mobilisée mais non explicitée au sens de Cabri-géomètre influe sur la validité de la figure.
- et enfin, un troisième aspect est lié au dispositif expérimental : par exemple, l'élève est sensé être face à une machine "intelligente" et ignorer l'existence des tuteurs humains.

Pour analyser les aspects des diagnostics qui nous intéressent nous envisageons ici les problèmes qui ont été proposés aux élèves plus d'une fois par les tuteurs humains. Ce choix est guidé par l'idée que cela rend possible la prise en compte de faits comparables chez des binômes différents ou éventuellement chez un même binôme. Il s'agit d'un ensemble de 12 problèmes ; nous les indiquons dans le bilan ci-dessous où * signifie que le problème a été proposé à l'un des binômes 2 fois dans une même séquence.

Pb 16* : à 12 binômes	Pb 29 : à 2 binômes	Pb 23 : à 2 binômes	Pb 2 : à 2 binômes
Pb 19 : à 6 binômes	Pb 26 : à 2 binômes	Pb 24 : à 2 binômes	Pb 30 : à 2 binômes
Pb 21 : à 2 binômes	Pb 28 : à 2 binômes	Pb 14 : à 2 binômes	Pb 7 * : à 1 binôme

III.2. 1. Le diagnostic des implicites de la géométrie : les rappels horizontal et vertical

Nous envisageons ici plus particulièrement les rappels horizontal et vertical. La raison en est que dans les choix effectués par les tuteurs humains l'une au moins des variables Axe et Segment a pris la valeur "horizontal" ou "vertical"? Ces choix ont été faits dans 7 problèmes sur les 12 proposés plus d'une fois aux élèves. Par ces choix de valeurs des variables et le problème proposé, l'objectif des tuteurs humains était :

- de savoir si les valeurs des variables fixées allaient provoquer l'apparition des implicites géométriques qui leur sont associés : l'élève opère un rappel horizontal ou vertical tous les deux étant, bien sur, perceptifs.

- et ainsi provoquer une modification dans les choix effectués par les élèves,
- et agir sur leur procédure.

Le diagnostic des implicites géométriques dans l'action n'a en général pas posé beaucoup de problèmes aux tuteurs. La décision concernant les choix à effectuer sur les valeurs des variables, était par contre, parfois difficile à prendre. Dans ce cas, l'issue a souvent été de proposer le problème et d'envisager la modification, éventuellement par la suite, des choix effectués.

Michaël et Sébastien (B4) ont mis en oeuvre une procédure assez vite interprétée par les tuteurs humains comme globale et où le rôle de la perception est assez fort . Le rappel horizontal est implicite chez ces élèves. Ils construisent le point image perceptivement à l'horizontal et essayent de le lier au point objet pour valider la perception. Ces deux élèves étant stables sur une résolution erronée, les tuteurs humains décident qu'il y a blocage. Ils les interrompent, fixent d'autres valeurs aux variables Axe et Segment et proposent un nouveau problème (Pb.13). Mais les tuteurs humains remarquent encore une forte stabilité de la procédure perceptive globale chez les deux élèves. Ils décident de nouveau que les élèves bloquent, effectuent un autre choix des valeurs des variables et envoient un nouveau problème (Pb.11). Mais encore une fois les tuteurs humains diagnostiquent chez les élèves une même procédure globale, donc perceptive. A ce propos un débat s'instaure entre les quatre tuteurs présents⁸ dans la salle. D'autres choix seront encore effectués par la suite, mais toujours sans succès quant à la production du symétrique du segment.

⁸ Il est arrivé très rarement, que les tuteurs soient nombreux dans la salle et des fois ils ne pouvaient s'empêcher de réagir par rapport à des procédures de constructions des élèves.

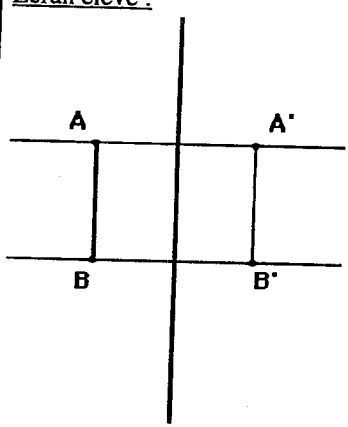
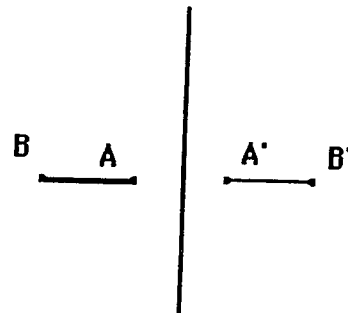
<u>Ecran élève :</u> 	<u>Côté élèves : (le Pb 13)</u> Sébastien : Clique sur la fenêtre. (...) Fais point de base. Segment (...) si tu veux faire un segment, faudra d'abord deux points là.	<u>Côté tuteurs humains :</u> Jean C. : Ceux là ils font toujours la même chose là...Alors, ça fait la même chose, mais à la verticale. (...) orthogonal, pour l'instant ils sont au jugé. Philippe : Mais horizontalement Jean C. : Oui c'est ça, oui j'ai mis verticalement, maintenant c'est plus ça, oui...sur horizontale, oui. C'est... c'est bon... Philippe : (...) Il y a rien qu'il met en oeuvre (...) tiens alors il y a rien qui les amène à faire des droites perpendiculaires. Attends on va leur mettre un segment perpendiculaire.
	<u>Côté élèves : (le Pb 11)</u> Sébastien : Clique sur la fenêtre. (...) Fais point de base. Segment (...) si tu veux faire un segment, faudra d'abord deux points là.	<u>Côté tuteurs humains :</u> Jean C. : Ceux là ils font toujours la même chose là...Alors, ça fait la même chose, mais à la verticale. (...) orthogonal, pour l'instant ils sont au jugé. Philippe : (...) Moi l'idée c'était de...de...d'inciter à la perpendiculaire. Tu vois Nathalie : Ça fait toujours la même chose Bernard : (...) Oui, il a une procédure bien installée Philippe : (...) Oui, non mais, non mais ce que je voulais, c'est en choisissant ça je voulais l'inciter à construire une perpendiculaire....

Fig.4.A, 34

Céline et Sandrine (B1) ont mis en oeuvre une procédure de construction du segment image qui restera assez stable par la suite : le symétrique du segment a été obtenu au premier problème (Pb 16) ainsi qu'au deuxième (Pb 19). Un point image est à l'intersection d'une perpendiculaire à l'axe et d'un cercle passant par le point objet et centré en l'intersection de cette perpendiculaire avec l'axe. Une mise à l'épreuve de la stabilité de cette procédure, par les tuteurs humains, a été réalisée au moyen de divers choix sur les valeurs des variables Axe et Segment. L'idée d'un choix décisif des valeurs des variables pour "détruire" la procédure a été explicitée (cf. figure ci-dessous). Les tuteurs ont voulu tester la stabilité de la procédure en proposant des problèmes où les élèves risquaient de produire des reports horizontaux ou verticaux. La procédure des

élèves a encore résisté produisant ainsi le segment symétrique. Cela laisse penser, qu'au niveau cognitif, ces deux élèves ont stabilisé une procédure qui n'est pas conditionnée par les relations perceptives que peuvent engendrer les choix des valeurs des variables Axe et Segment effectués jusqu'ici par les tuteurs humains. Un effet d'apprentissage a pu être observé dans la mesure où une économie dans l'action a été remarquée par les tuteurs humains chez ces deux élèves : tracé des deux perpendiculaires à l'axe, puis des cercles; et enfin du segment symétrique (cf. Pb 21 ci-dessous).

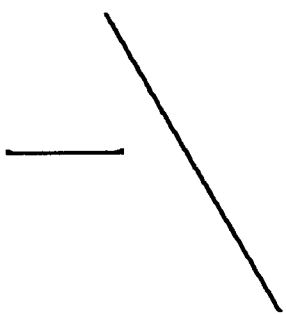
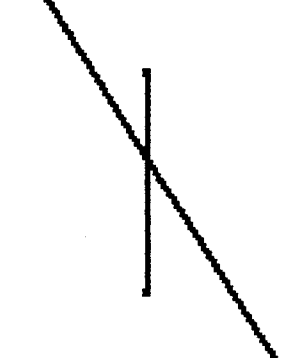
Le Pb 19 	<u>Côté tuteurs humains :</u> (un segment image a été obtenu au problème précédent, le Pb 16) Bernard : ben qu'est ce... qu'est ce que tu proposes de choisir Nathalie : elles ont fait droite perpendiculaire donc c'est pas...pas... Bernard : qu'est ce tu... tu proposes? (...) alors soit on change une direction de l'axe et on reste à l'extérieur puis après éventuellement on pourrait travailler sur l'intersection... Tu choisirais lequel toi, en premier? Nathalie: hein le 19. Bernard : le 19 tu proposes ? Oui , on pourrait essayer ça hein?. Bien je suis bien d'accord avec toi ! (rire)
Le Pb 21 	<u>Côté tuteurs humains :</u> (un segment image a été obtenu au problème précédent, le Pb 19 , et ici au 21 aussi et assez rapidement) Bernard : Oh là là ! (...) Oui elle a déjà fini (...) T'as vu, il y a une économie de moyens là... elles font les...deux, les deux perpendiculaires d'un coup... (...) Philippe : Tu fais le segment perpendiculaire à l'axe Bernard : Ah oui, oui, oui... Philippe : Il faut détruire la procédure, Bernard : oui, oui, ça détruit la procédure, oui, oui, ça c'est une bonne idée ça

Fig.4.A, 35

Maryline et Sandrine (B6) ont mis en oeuvre, au début de la séance une procédure où les relations sont restées surtout au niveau global et perceptif (cf. partie A, §I.2.). Les tuteurs ont diagnostiqué une procédure globale qui renvoie à la conception "parallélisme".

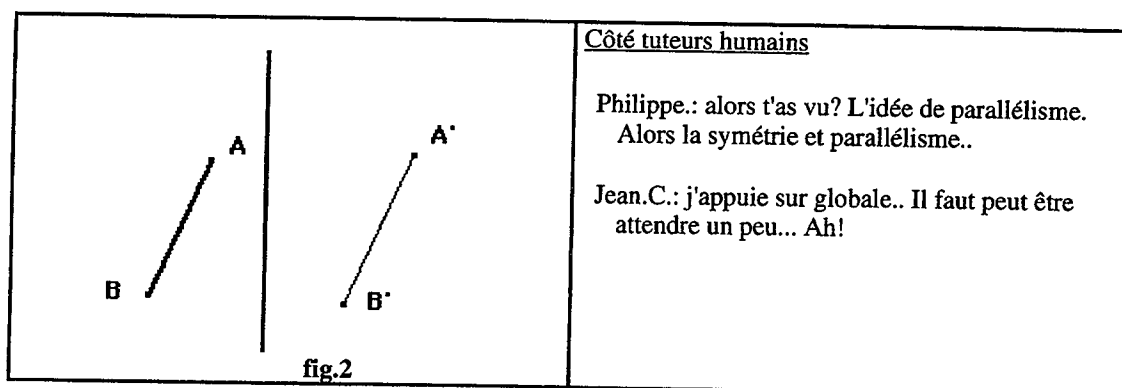


Fig.4.A, 36

Les tuteurs humains ont alors agi sur les valeurs des variables Axe, Segment et Intersection, ce qui a provoqué une modification dans la procédure des élèves.

TH2.: on va changer de problème. TH1.: alors il y a l'hypothèse de Nathalie¹.. TH2.: parce que là le problème, ce qu'ils ont c'est déjà un problème de parallélisme.. TH1.: moi je propose axe oblique, segment horizontal qui touche. TH2.: oui, pour... TH1.: hen? Avec ton idée que... c'est qu'on y voit le mieux, quand l'axe est oblique. Attends, attends, attends, droites parallèles, qu'est ce qu'ils en font?	¹(Nathalie proposait lors d'une séance précédente de choisir une extrémité du segment sur l'axe, elle suppose que c'est plus facile quand il s'agit de construire seulement une extrémité)
---	--

Elles sont passées d'une procédure globale à une procédure analytique. Au problème Pb.2 elles ont construit les perpendiculaires à l'axe passant par les extrémités du segment objet puis les cercles. Mais des difficultés liées à une non-explicitation des relations entre objet dans Cabri (notamment celle du centre du cercle créé comme point de base à l'intersection de la droite orthogonale à l'axe et de ce dernier) ont amené le binôme à changer de procédure. En effet, en créant le centre du cercle, les élèves reçoivent le message de Cabri " le point ainsi créé est un point de base et ne sera pas lié aux objets...". Ce message n'est pas compris. En voulant supprimer le centre, elles suppriment la droite perpendiculaire et la remplacent par une droite verticale passant par une extrémité et le point de base sur l'axe.

Une action des tuteurs humains sur la procédure des élèves a pu être observée. Mais cette action n'a pas assuré la réussite au problème : si une perpendiculaire à l'axe a bien été obtenue, d'autres relations n'ont pas été construites et le cas de figure a été facilement invalidé par déplacement d'objets.

III.2. 2. Le diagnostic des implicites des objets de Cabri-géomètre

L'une des questions les plus suscitées par le tuteur artificiel, pour les tuteurs humains, a été celle des relations entre les objets explicités, perçues par les élèves mais non construites par eux (au sens de Cabri). Le cas de l'intersection de deux objets a été assez souvent posé, de même que celui de la droite, exprimée verbalement comme une perpendiculaire ou une parallèle mais non construite comme telle : ces questions ont déjà été relevées dans d'autres recherches (Bellemain & Capponi 1991, Bellemain 1992, Keskessa 1992).

Il a été en général assez aisé de diagnostiquer les implicites liés à Cabri-géomètre et d'invalider aux yeux des élèves une relation entre deux objets ou un cas de figure produit par eux au moyen d'un déplacement d'objets. Mais il a été aussi difficile d'amener les élèves à saisir l'implicite sous-jacent et à le traiter : s'ils peuvent admettre facilement que leur cas de figure a été invalidé par déplacement d'objet, ils arrivent plus difficilement à appréhender ce qui le rend invalide. Le cas du binôme qui est présenté ci dessous montre une difficulté pour les tuteurs à invalider une figure (par rapport à un implicite liée à la géométrie) et la facilité en ce qui concerne l'invalidation par rapport à l'implicite lié à Cabri (en ce qui concerne le centre du cercle).

Maryline et Sandrine ont fini par mettre en oeuvre comme nous avons vu précédemment (cf. § III.2.1.) une procédure analytique suite à un jeu sur les valeurs des variables par les tuteurs humains. Ils ont construit une droite perpendiculaire à l'axe et une autre perceptivement orthogonale à l'axe et passant par une extrémité. Ils ont ensuite construit des cercles centrés en les intersections. L'une de ces intersections a été explicitée au sens de cabri et l'autre non. Enfin ils ont construit les extrémités du segment image comme points d'intersection des droites et cercles. Les élèves ont ensuite déplacé l'extrémité (intersection de la perpendiculaire à l'axe et du cercle), mais un tel déplacement n'a évidemment pas conduit au rejet de la procédure de construction des élèves. Les tuteurs ont alors essayé d'invalider la figure par déplacement d'une extrémité du segment objet (produisant ainsi un déplacement de la droite perceptivement perpendiculaire à l'axe) mais les élèves n'ont pas remis en question la construction de la droite qui était perceptivement orthogonale à l'axe. On remarque un décalage par rapport à l'objectif des TH et le résultat obtenu. Nous renvoyons le lecteur au chapitre 4B, (§ I.2.2.1; a) pour les décisions didactiques relatives à ce cas.

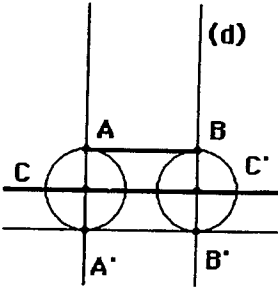
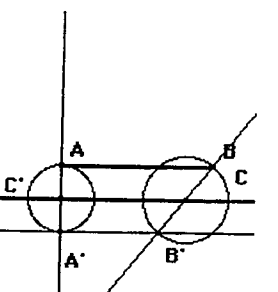
	<u>Côté élèves :</u>	<u>Observations :</u>	<u>Côté des tuteurs humains :</u>
(d)  	Sandrine : Essaie de bouger Maryline : Ah attends! Tu crois que ça marche? Mary.: [...] Regarde quand je fais ça², ça... Regarde, ça bouge! Sand.: c'est ce cercle qui bouge. T'as vu comme il est gros! Mary.: oui, attends³! Ah non, c'est les deux! Ah, non, celui là... celui là, il reste! Sand.: c'est celui là! Mary.: Oui, mais comment j'ai fait celui là, pour celui là. Je me souviens plus! [...] Mary.: ce point, ce cercle... C'est ce point là qui reste pas, puis ce cercle il bouge?	(Maryline veut créer un point d'intersection confondu avec B', mais ce point existe déjà, puis essaye de créer un point sur la droite comme "point sur objet" confondu avec B' mais reçoit le message "on ne peut créer un point trop près d'un point existant") 2(elle déplace le point B) 3(le tuteur vient de nouveau d'envoyer le message d'aide. Il déplace le point A)	Jean. C.: elle a construit son point. Philippe.: [...] elle a perdu le lien qu'elle avait avant. La perpendiculaire elles avaient pris l'intersection et sont devenues point de base et ils avaient la perpendiculaire c'est devenu une droite passant par deux points. C'est une régression terrible. [...] Philippe.: on peut pas leur saisir le point pour leur montrer que c'est pas valable? Celui là, parce qu'ils ont validé que par celui là qui était correcte alors que c'est celui là qui est pas correcte. Il faudrait aller leur déplacer ce point. Philippe : Ah! Ah! Attends, est-ce que je peux leur montrer que l'autre il tient ? (...)

Fig.4.A, 37

III.2. 3. Le fonctionnement du dispositif expérimental

D'une manière générale, les élèves ont interagi avec le tuteur artificiel sans avoir de connaissance sur la partie tuteur humain, ni sur son fonctionnement. Mais cela ne nous a pas permis de savoir jusqu'à quel point les élèves observés avaient appréhendé les éléments du milieu avec lequel ils interagissaient ainsi que son fonctionnement. Certains éléments d'observation laissent penser que cela n'est pas évident. En effet, on peut supposer que la nature des feedback reçus par le binôme peut l'amener à se poser la question de savoir avec quelle "intelligence" le tuteur artificiel a été capable de piloter sa

recherche par des messages écrits mais assez "parlants" tels que : "je vois que tu bloques...". Pratiquement tous les binômes jusqu'à l'avant dernier n'ont pas abordé la question de savoir s'il y a un être humain qui interagit avec la machine et qui est à la base des messages et des problèmes qu'ils reçoivent.

Cependant, un cas caractéristique a été celui du binôme Rémi et Stéphane, qui a fini par expliciter un tel doute sur cette "intelligence" du tuteur artificiel. Si on sait par ailleurs que les binômes étaient observés l'un à la suite de l'autre, en deux jours, et que ce binôme a été l'avant dernier à être observé, on peut se poser la question de savoir si, finalement, les élèves n'étaient pas arrivés aussi à une certaine idée du dispositif expérimental.

Cela est illustré par un débat qui a eu lieu sur cette question entre l'observateur et ce binôme dont nous rapportons un extrait :

Rémi: comment je fais pour.... c'est bon, c'est bon! Voilà
 Jana (observateur) : tu cliques sur la fenêtre
 Rémi.: oui, c'est bon, je vais faire. Eh , ils vont encore dire que c'est faux! Il y a pas de disquette? Ça marche comme ça dans la tête? Ah il y a un trou dans le mur! Ah comme ça les ordinateurs, ils se parlent!
 Stéphane : tu vas te dépêcher ou quoi? Ah ils entendent les autres à côté?
 Safw.(observateur) : qui les autres?
 Stéphane: ceux d'à côté là bas!
 Rémi.: il y a personne!
 Safw.(observateur) : non! Là on enregistre, il y a les caméras...
 Stéphane : là bas à côté, il y a Sec..., il regarde nos..
 Safw(observateur) : qui?
 Stéphane : Sec..., notre prof de maths
 Rémi.: mais non en fait c'est Cap...!
 Safw (observateur) : non

III.3. Le diagnostic des blocages

Dans une situation de blocage de l'élève, le tuteur TA n'a pas les moyens d'agir. Les TH décident alors d'intervenir pour débloquer l'élève.

Un blocage des élèves a été diagnostiqué par TH dans les cas suivants :

- il n'y a pas d'évolution des connaissances des élèves en ce sens qu'il n'y a pas d'apparition de nouvelles connaissances pertinentes par rapport à la symétrie. Il y a donc stabilité de la procédure, donc des connaissances initialement investies dans la situation. Dans ce cas il a supposé qu'il y a blocage car l'activité de recherche est "arrivée à terme" (dans le sens où elle n'évolue pas) vu que l'élève, à

chaque fois qu'il recommence sa construction, réinvestit la même procédure. C'est le cas par exemple du binôme Jessica-Hakima (cf. partie A, § III.1.).

TH1.: ils placent tout le temps au hasard. Ils ont.. ils ne voient pas en quoi là les points ils peuvent être liés alors il faudrait pouvoir disposer d'une figure toute faite où les points sont liés. On n'a pas ça. Alors moi je peux leur construire dans un cas particulier et... puis voir si... s'ils peuvent le.. transférer..

- les élèves bloquent au niveau du logiciel (par rapport à l'utilisation de certains items de Cabri-géomètre, par exemple pour les droites parallèles ou perpendiculaires etc. C'est le cas par exemple du binôme Maryline-Sandrine (cf. partie A, § III.1.).

TH2.: elle ne sait pas se servir de droites parallèles.

TH1.: alors, est ce qu'on peut lui envoyer un message d'aide? Parce que c'est pour une erreur cabri géométrie là.

Des cas où il n'y a pas d'activité de recherche et où le tuteur aurait pu envoyer le message de blocage n'ont pas été observés. Il y a eu des situations où les élèves ont changé de procédures mais où les nouvelles connaissances mises en oeuvre dans la situation n'ont pas été pertinentes par rapport à la symétrie ou n'ont pas amené au résultat escompté. Les tuteurs n'ont pas jugé qu'il y avait blocage chez les élèves puisque l'activité de recherche continuait et qu'ils espéraient probablement une évolution des connaissances lorsque les élèves auraient invalidé, par déplacement, les procédures mises en oeuvre.

IV. L'objectif du tuteur humain

Nous abordons ici l'objectif du tuteur humain à propos d'une situation donnée sans nous poser la question de la situation qui pourrait suivre. A partir de la lecture que fait le tuteur humain d'une situation, une action a été menée par lui pour modifier un état donné de cette situation. Nous avons observé que cette action du tuteur peut être :

- provoquer une modification radicale dans une procédure du binôme,
- produire ou suggérer une aide pour la poursuite du déroulement d'une procédure,
- arrêter le déroulement d'une procédure ou la déstabiliser,
- valider ou invalider une construction.

Dans son action, le tuteur humain a engagé une action qui va soit dans le sens du binôme d'élèves, soit qui va à l'encontre des élèves. L'adhésion ou la non-adhésion du tuteur à une procédure de construction mise en oeuvre par le binôme n'a pas toujours été la conséquence d'un choix maîtrisé. En effet, il apparaît difficile de toujours trouver une coïncidence entre une lecture du tuteur humain et celle du binôme d'élèves au sujet d'une

même action. Par exemple, si la production d'une droite perpendiculaire peut être recherchée par le tuteur humain et le binôme d'élèves, une divergence peut aussi apparaître en ce qui concerne la manière de la produire et/ou la manière d'en faire usage. De même que le binôme d'élèves et les tuteurs humains peuvent s'accorder ou non quant à la poursuite d'une action (par exemple arrêter une recherche).

Dans le déroulement d'une action, ce qui est recherché par le binôme et ce qui l'est par les tuteurs humains va agir sur l'état des connaissances du moment explicitées par les élèves et les tuteurs humains sur la situation en cours.

Rémi et Stéphane ont évolué vers un état de la situation estimé conflictuel par les tuteurs humains. Après une succession de recherches qui n'ont pas abouti à la construction du segment symétrique, Rémi a adopté une position qui a consisté à ne plus chercher et à rejeter souvent les essais de son partenaire. Les tuteurs ayant suivi l'évolution de la situation ont exprimé l'idée d'une négociation avec Rémi. Mais du point de vue des tuteurs humains, le tuteur artificiel ne permet pas une telle négociation, cette dernière nécessitant forcément une présence humaine. La question de la dimension affective et sociale dans une telle situation est posée. Tout laisse penser ici que les points de vue des tuteurs humains et du binôme sont loin de coïncider en ce qui concerne le traitement de la situation proposée.

Côté observateur :	Côté élèves :	Côté tuteurs humains :
Expérim: alors vous allez revenir... et vous refaites (...) vous essayez de travailler ensemble, vous avez un exercice... vous vous calmez, vous discutez tous les deux et vous essayez de le résoudre Safw.: où vous en êtes?	Rémi.: ben t'y vas tout seul! (...)ben tu refais tout seul maintenant. Ca prend la tête (...) et ben j'y arrive pas c'est bon! Stéphane: allez cherche Rémi.: ça me prend la tête... Tarata..... Stéphane: perpendiculaire, ca se coupe en .. Rémi.: où ça? Stéphane: on va essayer Rémi.: je crois que ça sert pas à quelque chose si t'as pas d'autre point (...) mais non (...) Y a pas la réponse là que ça me soûle? Donne moi l'autre, il m'énerve celui là! Stéphane: le micro? Rémi.: oui (...) en tout cas, il faut pas faire les cercles, ça marche pas Stéphane: on a bientôt fini Rémi.: t'as fait quelque chose là t'es sur? Step.: ah t'as vu je suis arrivé! Rémi.: ah c'est pas trop bon. (...)il fallait que ca soit à la même longueur hen!	Philippe : lui c'est un élève qui devant l'échec a une réaction violente. [...] Philippe : c'est complètement caractéristique là. Là il faudrait négocier avec lui pour savoir s'il y a des conditions... [...]

Fig.4.A, 38

Maryline et Sandrine : Maryline tente de construire une droite parallèle au segment image produit d'une façon globale, perceptivement parallèle au segment objet, mais n'y arrive pas (cf. partie A, § I.2.). Les tuteurs humains diagnostiquent deux problèmes : un lié à l'utilisation de l'item "droite parallèle" et l'autre d'ordre géométrique (procédure de construction globale et qui renvoie à une conception parallélisme) . Ils proposent alors d'afficher l'aide pour l'item "droite parallèle", le segment image étant par ailleurs déjà reconnu comme invalide par les tuteurs humains vu la procédure de construction globale. Leur objectif est de résoudre d'abord le problème lié à l'utilisation de l'item de Cabri pour ensuite tenter de résoudre celui lié à la procédure de construction et la conception sous-jacente.

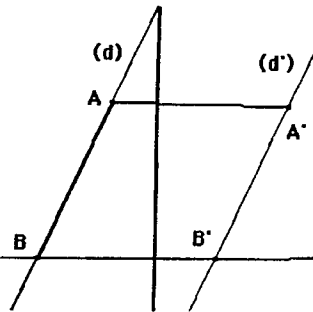
<u>Côté élèves :</u> Mary.: attends, on va réessayer mais pas sur celui là. Seg... Ah, comment j'ai fait¹? Attends! Heu... Je comprends rien! Sand.: tu te rappelles plus comment t'as fait? Mary.: si j'ai pris segment. Sand.: eh ben? Mary.: Ah! Ou droite passant par deux points on peut faire(...)! hen? Ben non, tant pis c'est pas grave! ben là c'est symétrique! Non? Enfin je pense. Puisque là c'est parallèle, puis là. Attends, on va mettre... On efface?	<u>Ecran élève :</u> 	<u>Côté tuteurs humains :</u> Phil.: alors, est ce qu'on peut lui envoyer un message d'aide? Parce que c'est pour une erreur cabri géométrique là. JC.: ça oui, donc à ce moment là si blocage. Phil.: attends, je vais essayer de lui cliquer là². JC.: ça va pas là, on la laisse faire..	<u>Commentaires :</u> ¹(elle sélectionne l'item droites parallèles, désigne le point B et reclique dessus, puis a des problèmes et abandonne cet item qu'elle a repris pour tracer la parallèle à [AB] passant par B) ²(Philippe essaye d'afficher l'aide de l'item droites parallèles mais n'y arrive pas)
<u>Côté élèves :</u> Maryline : Tout recommencer... Alors ça, on met segment? On fait comme tout à l'heure sauf qu'on met point sur objet? Sandrine : je sais pas Maryline : calculer c'est quoi? C'est pas mesurer... Sandrine : (...) c'est où? Maryline : ça y est pas. Ca m'énerve... Sandrine : droite parallèle Maryline : qu'est ce que tu veux qu'on fasse avec Sandrine : essaye!	<u>Côté tuteurs humains :</u> Jean C.: ah! Cette fois... c'est toujours pareil! Philippe : qu'est ce qu'elles ont fait, segment? Jean C.: oui segment. Elles viennent chercher mesurer.. Alors Philippe : comment il faut faire alors pour les aider. Jean C.: je regarde dans si blocage? Philippe : moi je ferai un truc qui touche. Jean C.: on va changer de problème. Philippe : alors il y a l'hypothèse de Nathalie.. Jean C.: parce que là le problème, ce qu'ils ont, c'est déjà un problème de parallélisme.. Philippe : moi je propose axe oblique, segment horizontal qui touche.		

Fig.4.A, 39

Du côté tuteurs il y a eu parfois des problèmes de gestion et de coordination, en temps réel, des modalités multiples offertes par la communication (problème de coordination par TH des informations sur l'activité de l'élève (écran, retour son)). Le

tuteur devait suivre les messages envoyés par la machine, le discours des élèves, les interpréter, prendre en compte l'historique de l'activité de l'élève et réagir⁹

Ces contraintes de communication apportées par le système ont eu des impacts sur les décisions du TH. Elles ont provoqué une non prise en compte, par le TH, de certaines informations venant de l'élève. En effet dans cette situation TH a été conduit à ignorer certaines informations venant du poste élève.

L'extrait suivant, du binôme précédent Maryline et Sandrine, nous montre certains problèmes de coordination par TH des informations sur l'activité de l'élève (écran, retour son).

Côté élèves	Remarques	Côté Tuteurs
-------------	-----------	--------------

⁹ Rappelons que le tuteur humain devait réagir:

- en saisissant sur une grille des descripteurs élémentaires qu'il a associé à cette activité.
- en choisissant le feed back le plus approprié vers l'élève (messages d'aides, démonstration d'exemples, déplacement, nouveau problème..).

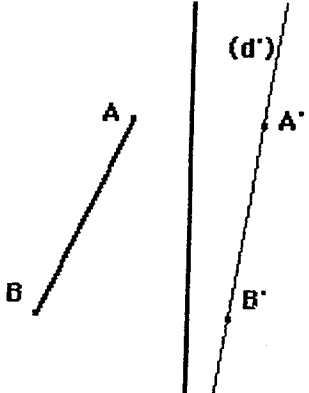
Sand.: reviens dans création s'il te plaît. Mary.: tracer peut être un cercle. Sand.: ca va servir à quoi? Mary.: chais pas moi, on sait jamais, on va peut être trouver un point... Ca c'est énervant! Mary.: qu'est ce que¹? Qu'est ce que j'ai fait? Attends, [...] On va essayer là? Sand.: regarde cette droite, tu fais des trucs². [...] Sand.: oh, là, là! Mary.: En fait si tu fais les parallèles, ça fera un parallélogramme. Mais comment tu le fais⁴? Attends si tu fais ça⁵ pour avoir l'angle. [...]	 ¹(les points A, B, A' et B' se mettent à clignoter (le tuteur a essayé de sélectionner l'item droites parallèles, en même temps que Maryline essayait de dérouler le menu construction.) ²(elle désigne des directions horizontales passant par A et B) ³(le tuteur essaye de nouveau de sélectionner l'item droites parallèles mais ne réussit pas. Les élèves manipulent Cabri en même temps que lui.) ⁴(Le tuteur vient d'envoyer le message d'aide "je vais te montrer comment faire", aidé par l'expérimentateur. Mais les élèves n'ont pas vu ce message) ⁵(elle désigne une direction horizontale passant par A)	TH2.: elle ne sait pas faire des droites parallèles. TH1.: si mais elle sait mais elle a pas compris qu'elle fait parallèle passant par un point.... [...] TH1.: Et elle demande jamais l'aide des deux parallèles. On peut pas lui envoyer l'aide des deux parallèles? Attends si je clique quand elle demande parallèle... TH1.: je peux pas.. TH2.: je pense qu'il faut attendre qu'elle ait fait droite parallèle, et au moment où ils l'appellent, à ce moment là on clique sur aide. Tout de suite. TH1.: j'y vais là³? TH2.: attends, il vaut mieux attendre je pense. TH1.: j'y vais dans constructions? [...] elle me prend la main!
---	---	--

Fig.4.A, 40

On remarque que le discours des élèves tourne autour de cercle, droites parallèles, droites horizontales et puis angle. On remarque que le binôme est en train de réfuter sa construction utilisant les parallèles. Il évoque les cercle (sans toutefois savoir à quoi ça va lui servir) ainsi que les angles, on peut faire deux suppositions à ce niveau là:

- il y a évolution de l'intention de mesurage vers une procédure de mesurage avec l'utilisation de cercle qui pourrait correspondre à une idée implicite de report de distance.

- les élèves veulent valider l'isométrie et confronter leur procédure, le mesurage ici devient alors un moyen de contrôle.

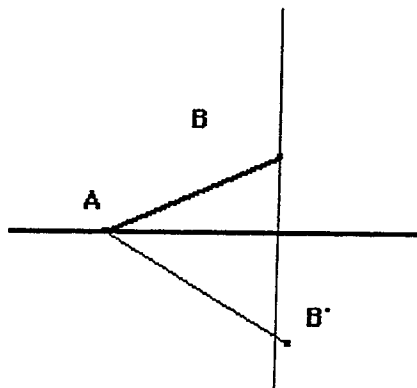
Les TH quand à eux sont en train de chercher un moyen d'envoyer l'aide pour droites parallèles, il ne suivent pas la conversation du binôme évoquant le cercle, ils se focalisent sur le problème de parallélisme que rencontre le binôme. Ils affichent l'aide pour l'item "droite parallèle". Ensuite, dans un double objectif, déstabiliser le parallélisme et amener les élèves à investir des outils droite et cercle pour la construction du symétrique, vont jouer sur les variables didactiques Axe et Segment. Il y a là un décalage entre l'évolution du travail des élèves et le suivi des TH. En effet les TH ne remarquent pas si les élèves veulent valider l'isométrie ou changer de procédure en investissant de nouveaux outils.

Au problème Pb.2, les élèves mettent en oeuvre une procédure analytique de construction de l'image utilisant des droites et des cercles. Une des droites n'est définie que perceptivement à l'axe (cf. chap. 4, partie A, § I.2.). Le centre de l'un des cercles est défini comme point de base sur l'axe (ce point appartient à la droite précédente). Les tuteurs décident d'intervenir sur la figure des élèves. Ils déplacent un point objet de façon à ce que l'orthogonalité perceptive ne soit pas respectée. Leur objectif au départ est d'amener les élèves à reconstruire la droite en question de façon à ce qu'elle soit orthogonale à l'axe. Mais n'obtenant pas le résultat escompté, ils cherchent ensuite à montrer aux élèves que le centre du cercle est mal défini au sens de cabri. Ils déplacent alors ce centre à l'extérieur de l'axe. Les élèves rentrent dans une phase de recherche pour redéfinir des points... Décidant que les élèves bloquent les tuteurs suppriment le centre du cercle enlevant par la même la droite qui en dépendait.

Cette démarche du tuteur pourrait s'interpréter comme une décomposition de l'objectif principal en des sous objectifs. L'objectif principal est d'amener les élèves à construire la droite (ou à la redéfinir) orthogonale à l'axe et à redéfinir le centre du cercle du cercle comme point lié à l'axe. Les tuteurs supprimant le centre du cercle amènent les élèves à réaliser les deux sous objectifs.

Jessica et Hakima ont mis en oeuvre une procédure de construction globale qui fait fortement appel à la perception. Les choix des problèmes par les tuteurs, dont l'objectif était de les amener à investir des outils droite et cercle, n'a pas permis à ces deux élèves d'arriver à une explicitation des relations envisagées. Cette situation, qui a beaucoup duré sans qu'il y ait une issue en vue, a amené les tuteurs humains à intervenir de la manière suivante : construire une perpendiculaire à l'axe passant par une extrémité et déplacer des objets de la figure pour montrer aux élèves la nécessité d'une explicitation (au sens de

Cabri-géomètre) des relations. Mais face à cet état de la situation, les attentes des tuteurs humains et des deux élèves se sont séparées : des contraintes de temps ont amené les élèves à aller au plus vite. L'aide décidée par les tuteurs humains n'a pas été perçue par le binôme.



<u>Côté élèves & observateurs :</u>	<u>Côté tuteurs humains :</u>	<u>Commentaires :</u>
Obs1.: c'est toujours la machine qui fait.. Jess.: non c'est moi³. Haki.: tu fais quoi⁴? T'as rien fait, fais construction! Haki.: droites parallèles. Haki.: excusez-nous, nous on va devoir aller puisqu'il y a le car qui arrive là Obs1.: vous devez partir? Haki.: oui, parce qu'il y a le car Obs1.: il faudrait juste une minute à terminer parce que la machine voudrait vous monter quelque chose là Obs2.: vous êtes vraiment obligés d'arrêter? Haki.: c'est parce qu'il y a le car là, on doit partir	Phil.: bon moi je vais lui construire une perpendiculaire (...) et puis voir que la perpendiculaire bouge. Qu'est ce que tu veux...mais bon là...est-ce qu'on a le temps? ou est ce que...est-ce que... experim.: ça c'est le dernier binôme Phil.: oui...non mais s'ils peuvent rester parce que moi éventuellement là j'interviens pour leur montrer qu'une perpendiculaire reste perpendiculaire quelle que soit la position. (...) non mais je vais leur montrer¹. Nath.: normalement() Phil.: attends². Nath.: c'est quoi ce segment? Phil.: pourquoi elle l'a pas fait perpendiculaire? Nath.: si c'est perpendiculaire! Phil.: c'est perpendiculaire? Nath.: en fait ça sert à rien de leur montrer⁵ parce qu'ils vont partir	¹(le message d'aide tuteur est de nouveau envoyé aux élèves) ²(le tuteur vient de construire la perpendiculaire à l'axe et passant par B.) Le tuteur essaye de saisir le point B mais n'y arrive pas car Jessica déplace en même temps le point B' et le pose sur la perpendiculaire à l'axe puis sélectionne l'item intersection de deux objets) Philippe envoie le message "à toi de faire" à l'élève au lieu de lui envoyer "je vais te montrer..." Note: ³(elle veut construire l'intersection, elle clique plusieurs fois sur le point A et obtient le message comme quoi un objet identique est déjà construit) (souples)) ⁴(Jessica clique ensuite plusieurs fois sur les points B' et A) Le tuteur vient d'envoyer encore une fois le message d'aide) ⁵(le tuteur effectue des déplacements du point B un peu partout et envoie le message de blocage (...) e tuteur vient de cliquer sur le bouton "arrêter")

Fig.4.A, 41

B - Les décisions didactiques

I. Décisions didactiques des tuteurs humains et feedback

Dans ce paragraphe nous analysons les différentes décisions prises par les tuteurs humains avec l'intention de faire évoluer les connaissances des élèves. Nous essayerons d'identifier la nature de ces décisions et les effets qu'elles ont produit sur l'apprentissage. Pour ce faire, nous pointerons les événements suivants qui nous semblent importants relativement aux prises de décisions didactiques :

- aides apportées à l'élève en cas d'échec ;
- le traitement des implicites et des constructions perceptives.
- proposition d'une nouvelle situation ;

Nous essayerons de confronter ces décisions didactiques avec notre schéma d'apprentissage qui est résumé de la façon suivante :

- faire redécouvrir la symétrie à partir de ses propriétés d'orthogonalité et d'équidistance des points de la droite de symétrie de toute paire de points symétriques.
- et étendre ensuite la connaissance des élèves à la propriété relative à l'invariance des points de l'axe de symétrie.

Pour cela nous avons choisi de jouer sur les variables de la situation et sur les contraintes du dispositif expérimental conduisant l'élève à construire le symétrique d'un point à l'aide d'une procédure analytique fondée sur ces propriétés.

Les solutions proposées par les tuteurs humains, pour répondre à un problème donné qui se pose à l'élève, vont dépendre de l'analyse qu'ils font de la tâche courante et de leur interprétation de la procédure de construction proposée par l'élève. Autrement dit, à partir de ces analyses et interprétations, ils attribuent une certaine conception de la symétrie à l'élève (cf. chap.4, partie A § I). C'est en fonction de cette conception qu'ils vont faire des choix. Pour aborder l'étude de ces décisions didactiques nous nous servirons des résultats établis dans le paragraphe relatif à l'état des conceptions du point de vue des tuteurs humains (cf. chap.4, partie A § I).

Mais avant de faire cette étude, nous essayerons d'étudier la logique des enchaînements de situations proposés par les tuteurs humains et de la confrontation à celle que nous avons adoptée. Nous distinguerons pour cela les cas de réussite des cas d'échec et nous étudierons dans chacun des cas les décisions didactiques et les feedback du milieu.

I.1. La logique des enchaînements des situations proposées par les tuteurs humains

Nous abordons à présent l'étude des décisions chez le tuteur humain en ce qui concerne le choix d'une situation comme feedback à une situation donnée.

D'une manière générale les binômes d'élèves se répartissent en trois catégories :

— Trois binômes donnent une solution correcte au premier problème. Ils réussissent à résoudre la plupart des problèmes qui leur sont proposés par la suite.

— Deux binômes échouent à la première situation mais évoluent vers la réussite pour d'autres problèmes .

— Six binômes échouent à tous les problèmes qui leur ont été proposés.

Pour un binôme, l'enregistrement obtenu perturbé n'a pas permis une exploitation de ses productions.

Voici le tableau récapitulatif des problèmes proposés à chaque binôme d'élèves et l'ordre dans lequel ils ont été choisis :

Réussite partout			Echec au premier puis réussite		Échec					
B1	B2	B5	B10	B6	B8	B12	B7	B4	B3	B11
Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /	Pb16 /
Pb19 /—	Pb19 /—	Pb22 /	Pb30 /—	Pb18 /—	Pb8 —	Pb7 —	Pb14 /	Pb13 		Pb14 /
Pb21 /—	Pb21 /—	Pb29 /—	Pb16 /	Pb2 —	Pb30 /—	Pb19 /—		Pb11 —		Pb9 —
Pb28 /—	Pb20 /—	Pb28 /—	Pb19 /—	Pb16 /	Pb26 /—	Pb24 /—		Pb19 /—		Pb2 —
Pb29 /—		Pb26 /—	Pb29 /—	Pb19 /—		Pb7 /—				
Pb27 /—		Pb25 /—				Exp. /—				
Pb23 /—		Pb23 /—				Pb7 /—				
Pb4 +—		Pb24 /—								

B1 : Céline et Sandrine
 B2 : Olivier et Laurent
 B3 : Antony et Morad
 B4 : Michaël et Sébastien

B5 : Cécile et Marlène
 B6 : Maryline et Sandrine
 B7 : Romain et Michaël
 B8 : Sonia et Christelle

B9 : (protocole défectueux)
 B10 : Grégory et Nathalie
 B11 : Rémi et Stéphane
 B12 : Jessica et Hakima

Fig.4.B, 1

L'enchaînement dans la séquence proposée présente des caractéristiques propres à chacune de ces trois catégories. Nous les abordons dans ce qui suit.

I.1.1. L'enchaînement des situations dans les séquences réussies

Trois binômes ont réussi dès le premier problème (Le problème Pb.16) . Il s'agit de Céline -Sandrine; Olivier -Laurent et Cécile-Marlène.

Ces élèves ont presque tous suivi la même trajectoire. En effet tous les trois ont commencé par chercher au moins l'un des items "mesurer", "quadrillage" ou "calculer" pour reporter les distances des extrémités du segment objet à l'axe de symétrie. Le binôme Cécile-Marlène a dépassé assez vite le problème lié à la non-disponibilité de ces items en faisant un report de distance à l'aide de l'item "cercle" . Remarquons au passage que l'outil cercle n'est pas souvent considéré par les élèves comme moyen de report de distance. Pour le binôme (Celine-Sandrine) cet outil est investi dans la construction de l'image de l'extrémité 1 mais est difficilement reconduit pour la construction de l'image de l'extrémité 2. Les élèves se reposent le problème de la mesure et évoquent l'outil rapporteur puis finalement investissent l'outil cercle pour le report de distance de la deuxième extrémité à l'axe. Olivier et Laurent se posent le problème de la mesure, ils cherchent à "calculer". Devant la non-disponibilité de cet item, ils mettent en oeuvre une procédure de construction globale, puis évoluent vers une procédure semi analytique de construction, des images (points sur objets sur des droites perpendiculaires à l'axe). De nouveau ils se posent la problématique de la mesure puis évoluent vers l'utilisation du cercle pour le report de distance.

La procédure de construction (correcte) restera stable chez tous les binômes, pour tous les problèmes proposés.

La réussite n'a pas nécessité l'aide du tuteur humain. La verticalité de l'axe de symétrie dans ce problème a été explicitée par le tuteur humain comme élément facilitateur de cette réussite. Cela a conduit au choix d'une valeur différente de la variable "axe de symétrie" pour un problème suivant, l'intention étant une mise à l'épreuve de la procédure mise en oeuvre : tester le rappel horizontal. En effet les élèves ayant investi des outils appropriés pour construire l'objet symétrique (orthogonalité à l'axe et report des distances corrects) le rappel horizontal n'a pas été observé. Par exemple dans le cas du binôme Céline et Sandrine, la décision des tuteurs humains a porté sur une succession de deux problèmes dans un ordre donné. Ces derniers estiment permettre de tester le report horizontal (ce choix a été effectué dans la classe de problèmes proposée par le tuteur Artificiel).

Bernard : soit on change une direction de l'axe et on reste à l'extérieur puis après éventuellement on pourrait travailler sur l'intersection. Tu choisirais lequel toi, en premier ?

Nathalie : le 19

Bernard : le 19 tu proposes ? Oui on pourrait essayer ça, hein ? Bien je suis bien d'accord avec toi ! (rire)

Le choix du deuxième problème, le Pb 19 pour 2 binômes (Céline-Sandrine et Olivier-Laurent) et le Pb 22 pour un binôme (Céline-Marlène) (cf. Fig.4.B, 1) avait ainsi une double fonction : tester le rappel horizontal et stabiliser la procédure de construction du symétrique. Un axe oblique et un segment vertical ou horizontal favoriseraient l'explicitation du report horizontal comme le laisse apparaître, par exemple, la justification des tuteurs dans le cas du binôme Olivier et Laurent :

Bernard : Oui... moi je suis assez d'accord parce que ... on peut voir si ... si le fait que il soit horizontal ça

Nathalie : Si ça va faire un report horizontal

Bernard : ça va permettre de ... la procédure de report horizontal est-ce qu'elle va apparaître ou pas ? Les autres elles ont bien passé le cap tandis que eux on va voir. *[ici, il est fait allusion à un binôme précédent qui a réussi aussi le premier problème].*

La réussite au deuxième problème amène les tuteurs à fixer différentes valeurs de la variable "intersection avec l'axe" pour mettre la procédure de construction du binôme à rude épreuve : un axe oblique, un segment non orthogonal à l'axe, qui coupe l'axe ou avec une extrémité sur l'axe (cf. Fig.4.B, 1).

Philippe : "il faut détruire la procédure..."

Bernard : "oui, oui, ça détruit la procédure, oui, oui, ça c'est une bonne idée"

Mais la persistance dans la réussite a provoqué un choix crucial de valeurs de variables dans cette mise à l'épreuve de la procédure : un axe horizontal ou oblique et un segment porté par l'axe ou bien un axe perceptivement médiatrice du segment (cf. Fig.4.B, 1).

Les problèmes où le segment est globalement invariant sont considérés par les tuteurs humains comme des tâches d'une grande complexité. La stabilité de l'algorithme de construction du symétrique chez l'élève, ne permettait pas aux tuteurs humains d'attester de l'opérationnalité de la connaissance de l'élève dans les cas d'invariance globale.

La démarche spontanément appliquée par les tuteurs humains consiste à faire évoluer l'élève tout en lui donnant la possibilité de contrôler la procédure qu'il met en oeuvre pour résoudre les premiers problèmes. En effet, l'élève utilise une procédure de base ; le tuteur l'envoie à des problèmes dans lesquels il peut investir la même procédure. Ainsi le tuteur provoque t-il une stabilisation de la procédure qui pourrait aboutir, chez certains, à une algorithmisation de celle-ci (cf. Binôme Olivier-Laurent; Fig.4.A, 22). Le

tuteur cherche ensuite à aller à l'encontre de cette algorithmisation en proposant des problèmes où l'application systématique de l'algorithme risque de poser des problèmes. Cela conduirait l'élève à faire un retour sur sa procédure et à s'interroger sur la signification de l'invariance globale du segment en particulier et sur la notion de symétrie en général.

Ce passage de l'algorithmisation de la procédure à une interrogation de l'élève sur la signification de la notion de symétrie que devrait favoriser cette invariance globale justifie les choix effectués sur les valeurs des variables.

Bernard : (...) Ça marchait très bien, on était même arrivés à la fin et ça commençait à devenir très intéressant parce que, ils avaient une procédure très très bien installée et puis on leur a donné un segment perpendiculaire à l'axe, axe oblique mais qui était pas symétrique, alors ils savaient pas trop si c'étaient invariant ou au contraire s'il fallait faire une construction. (...) Elle est vachement bien installée.

Nathalie : (...) Ben ils savent tout faire ! Ça marche tout le temps ! Ça les trouble même pas ça.

L'évolution de la séquence obéit donc à une organisation des situations qui s'effectue selon trois étapes explicitées dans le choix fait sur des valeurs des variables. Dans un premier temps, ne faisant pas intervenir d'extrémité invariante puis une extrémité invariante puis deux extrémités invariantes ou globalement invariantes. Cela montre que les tuteurs humains ont à l'esprit une hiérarchie de complexité des problèmes.

Dans cette démarche, une maîtrise de la notion de symétrie dans l'ensemble de ces trois étapes apparaît comme permettant d'attester de l'acquisition de cette notion de symétrie par l'élève.

I.1.2. L'enchaînement des situations produites face à l'échec

Face à l'échec des élèves, nous avons observé deux comportements chez les tuteurs humains :

- ils ont opéré des choix sur les valeurs des variables avec l'intention de guider les élèves vers une explicitation des outils pertinents pour produire l'objet symétrique, puis d'en découvrir l'usage dans la production de cet objet. Dans les cas où les outils sont investis, ils cherchent à les faire utiliser correctement. Par contre dans le cas où les outils sont absents, ils cherchent à les faire émerger en priorité puis éventuellement, dans un deuxième temps, à les faire utiliser correctement par les élèves.

- ils sont restés en observation devant des binômes qui investissaient des procédures globales; et qui devant l'absence de l'item "mesurer" procédaient à des "bricolages" en construisant des objets (ou des outils) pour pallier à cet item.

Par exemple, pour le binôme Maryline et Sandrine, l'apparition d'un cercle puis celle d'une droite orthogonale à l'axe, peuvent être vues comme une avancée dans la modification de la connaissance mobilisée par les élèves sur la symétrie (cf. figure ci-dessous).

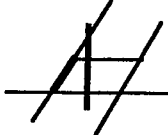
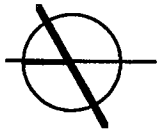
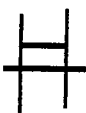
	1	2	3
Problème	Pb 16 	Pb 18 	Pb 2 
Solution			
Discours des TH	TH1.: alors t'as vu ? L'idée de parallélisme. Alors là, symétrie et parallélisme...	TH2.: droite parallèle persiste [...] TH1.: ah ! ah ! Salima on a obtenu un cercle déjà TH2.: je crois qu'on a avancé	TH1.: droite perpendiculaire, on l'a obtenue... et tout à l'heure, on avait favorisé cercle TH2.: et là, on favorise... TH1.: et là, on favorise droite perpendiculaire TH2.: oui (rire) TH1.: Salima on a l'a obtenue droite perpendiculaire
Évolution constatée par les TH	Parallélisme	Émergence de l'outil cercle	Émergence de l'outil droite orthogonale

Fig.4.B, 2

L'évolution, constatée par le tuteur humain, du parallélisme à l'émergence des outils cercle puis droite orthogonale à l'axe, correspond à un passage des conceptions des élèves, du parallélisme à la symétrie axiale, passant par une symétrie centrale.

Mais le fait de faire expliciter par les élèves des outils, pertinents du point de vue des tuteurs humains, n'a pas toujours conduit au succès dans la mesure où les élèves ne percevaient pas toujours une telle pertinence : 6 binômes sur les 8 concernés ici n'ont produit aucune solution valide. Plus particulièrement, dans le cas du binôme Jessica et Hakima par exemple, le choix a été de prendre la main à l'élève, de lui montrer comme exemple l'image construite (avec l'outil "Symétrie") d'une extrémité du segment objet correspondant, l'autre extrémité du segment étant par ailleurs un point de l'axe. Cela n'a

pas permis à ce binôme de produire une solution valide. Nous reviendrons sur ce cas dans l'interprétation par les tuteurs humains des stratégies d'aide à l'élève (cf. chapitre 4B; §.I.2.2.)

Nous abordons à présent l'autre issue de cette démarche : le cas des deux binômes où un dépassement de l'échec a été observé.

I.1.3. L'enchaînement des situations produites dans le dépassement de l'échec

Nous avons observé deux cas où il y a eu dépassement de l'échec. L'un concerne le binôme Sandrine et Maryline. Ces élèves ont mis en oeuvre dans un premier temps une procédure de construction globale; avec une conception erronée de la symétrie. Les tuteurs ont cherché dans un premier temps à faire émerger les outils droite et cercle (cf. Fig.4.B, 2) puis dans un premier temps à amener les élèves à expliciter la relation d'orthogonalité. En effet dans la conception de la symétrie repérée chez le binôme Maryline et Sandrine, si la conservation des longueurs est présente, celle de l'orthogonalité ne l'est pas (cf. Pb.18, Fig.4.B, 1). Les tuteurs modifient les valeurs des variables dans une situation suivante : axe et segment horizontaux. Au moyen de ces valeurs des variables l'orthogonalité a pu être observée et le problème a été résolu.

Philippe : Droite perpendiculaire, on l'a obtenue... et tout à l'heure on avait favorisé cercle

Jean C. : et là, on favorise...

Philippe : et là on favorise droite perpendiculaire. (...) Ah ! Salima, on l'a obtenue droite perpendiculaire!

Nous analyserons ce binôme et les décisions prises par les Tuteurs, plus en détail dans les paragraphes suivants .

Le deuxième cas, où l'échec a pu être dépassé concerne le binôme Grégory et Nathalie. Pour ces élèves, l'échec ne se situe pas au niveau géométrique (verbalisation correcte des relations entre les objets); mais à celui de la non-explicitation dans Cabri-géomètre de relations telles que l'orthogonalité à l'axe par exemple. Le problème (Pb.30; axe et segment obliques), proposé après le problème 16 a eu pour effet cette explicitation des propriétés dans Cabri-géomètre et la réussite de la procédure de l'élève.

I.2. Décisions didactiques relatives à une difficulté identifiée

I.2.1. Décisions didactiques et feedback dans les cas de succès

Nous avons abordé dans l'analyse précédente la logique de l'enchaînement des situations dans les cas de réussite à tous les problèmes. Nous avons par ailleurs souligné le fait que les tuteurs humains n'avaient pas besoin de fournir de l'aide à ces élèves pour les orienter vers une résolution correcte des problèmes qu'ils leur proposaient.

L'activité des tuteurs humains; pendant les séances de travail avec ces élèves se rapportait essentiellement aux choix d'un "successeur" à un problème qui vient d'être résolu. Les tuteurs jouant essentiellement sur les variables de la figure, amènent les élèves à élaborer et à maîtriser une procédure de construction et à découvrir d'autres propriétés de la symétrie.

Nous essayerons de caractériser les décisions didactiques des tuteurs humains sans rentrer dans les détails. Pour cela on pourra se rapporter au paragraphe II.2 qui étudie l'enchaînement des situations en cas de succès.

Comme nous l'avons déjà expliqué, les tuteurs humains ont évolué dans la même direction que le tuteur artificiel. Ils ont en effet choisi, pour proposer un nouveau problème, à l'intérieur de la classe de problèmes définie par le tuteur artificiel pour les réussites. Ils ont cherché à faire émerger une procédure de base chez l'élève pour ensuite la stabiliser. Cette dernière phase se rapporte au traitement des points d'invariance de l'axe qui doivent être découverts par l'élève (cf. § I.1.1.).

Le tableau récapitulatif suivant correspondant à la session de travail du binôme Céline Sandrine nous permet d'illustrer la démarche des tuteurs :

BINOME 1									
Réactions diverses	Conception	Procédure	Validation	Planification Intention	Tâche Problème	TUTEURS			
						Diagnostic	Décision	Action	Planification Intention
	Segment image de l'autre côté de l'axe et à égale distance de ce dernier	Procédure analytique correcte utilisant cercle pour le report de distance et droite orthogonale (construction des extrémités une après l'autre)	Par déplacement	Construire le symétrique de l'autre côté de l'axe et à égale distance (il y a conception correcte)	Pb 16 	Procédure analytique correcte	Observe et interprète les actions des élèves (désignées par le curseur sur l'écran) puis choix du problème suivant	envoi du pb 19	
	idem	idem : procédure correcte mais avec un économie (construction d'un seul outil pour les 2 extrémités ensuite le second : orthogonale puis cercle)	idem	Idem	Pb 19 	Procédure analytique correcte	choix du problème suivant		Complexification à 1 niveau "Piéger" ou tester par l'horizontalité Tâche de réinvestissement
	idem	idem	idem	Idem	Pb 21 	Procédure analytique correcte	choix du problème suivant	envoi du pb 21	Complexification à 1 niveau "Piéger" par la position du segment par rapport à l'axe
					Pb 28 	Stabilité de la procédure analytique correcte	idem	envoi du pb 29	Complexification à 1 niveau "Piéger" par extrémité sur axe
		Idem. Essai de mettre en oeuvre pour l'extrémité invariante, la même procédure que pour l'autre. Tracé de la perpendiculaire à l'axe puis essai du tracé du cercle		Idem					

BINÔME 1(suite)				TUTEURS			
Idem	Idem	Idem	Tâche	Stabilité de la procédure analytique correcte (pour une élève mais peut être pas pour l'autre)	idem	envoi du pb 27	Vérification de la stabilité de la procédure Retourner à la construction quelconque (page 22 TH)
Idem	Idem			Procédure analytique correcte	idem	envoi du pb 23	Complexification à 1 niveau
				Procédure analytique correcte			
Segment invariant	Construction d'un segment confondu avec le segment objet			Procédure correcte (TH: là elles ont rien à faire c'est là le problème!)	idem	envoi du pb 4	Complexification à 2 niveaux "Piéger" par segment sur axe (chaque extrémité)
Segment invariant	idem	Déplacement d'une extrémité du segment vers le haut, de l'autre côté de l'axe (ce qui fait qu'elle n'obtient qu'un segment d'un côté) et conclue que c'est bon)		Procédure erronée	Déplacement d'une extrémité du segment objet après envoi du message d'évaluation (procédure incorrecte)		
"là"						Déplacement	
normalement ça devrait rester symétrique... mais là ça s'allonge pas là"							
Segment invariant						Arrêter	

I.2.2. Décisions didactiques dans les cas d'échec

Le rapport entre les tuteurs humains et les élèves en échec est de tout autre nature que celui avec les élèves qui ont réussi. Tout se passe comme s'ils avaient une certaine responsabilité à assumer vis à vis des élèves qui sont en échec. Les tuteurs diagnostiquent les difficultés des élèves ; ils agissent en conséquence en leur apportant une aide ou, en jouant sur des variables didactiques pour leur proposer un nouveau problème susceptible de les "corriger" (même partiellement).

En cherchant à débloquer la situation d'échec les décisions des tuteurs humains ont provoqué quelques fois des dysfonctionnements. La stratégie¹⁰ adoptée dans certains échecs (par exemple ceux liés aux procédures de construction globales) a été de décomposer l'objectif visé par la tâche. En effet les tuteurs humains ont transformé la tâche de construction du symétrique, à celle de la production de l'outil cercle ou droite par les élèves pour ensuite les amener à en faire un bon usage. Les problèmes proposés dans ce but induisaient très fortement l'utilisation d'un des deux outils puis l'autre.

Exemple; Binôme Maryline et Sandrine : ces élèves ont mis initialement en oeuvre une procédure de construction globale qui renvoie à une conception de parallélisme. Les tuteurs ont proposé le problème pb.18 (axe oblique, segment horizontal ayant une extrémité sur l'axe) qui induisait fortement l'utilisation des outils cercle et/ou droite pour construire l'image du segment d'une façon analytique. Les élèves répondent favorablement aux attentes des tuteurs en mettant en oeuvre une procédure analytique qui renvoie à une conception de "symétrie centrale". Les tuteurs proposent ensuite le problème Pb.2 qui favorise fortement l'utilisation de droites orthogonales (même de façon implicite). Là aussi le comportement attendu a été observé chez les élèves (cf. Fig.4.B, 2).

Dans d'autres échecs les décisions des tuteurs humains sont allées à l'encontre de la démarche "découverte guidée" qu'on pouvait remarquer dans des situations de réussite.

Exemple; pour le Binôme Maryline et Sandrine, le tuteur est allé jusqu'à supprimer un objet afin d'inciter les élèves à construire la droite perpendiculaire à l'axe. Pour le binôme Jessica et Hakima, devant la stabilité de leur procédure globale, il a carrément construit une droite perpendiculaire à l'axe.

¹⁰ Nous entendons par stratégie des tuteurs, ou décision stratégique, la façon d'utiliser des moyens et de coordonner et d'organiser des actions pour atteindre un but ou un objectif visé. Ce but est déterminé par les intentions des tuteurs vis à vis de l'apprentissage visé.

En nous intéressant à ces décisions, nous essayerons de repérer et d'analyser les choix didactiques qui les ont motivées.

Les décisions didactiques des tuteurs humains ont porté sur deux types de problèmes : les problèmes d'ordre géométrique et ceux relevant de Cabri-géomètre. Pour ce qui va suivre, nous ferons des analyses séparées des décisions par rapport à ces différents types de problèmes.

Décisions didactiques relatives aux problèmes géométriques et Cabri-géométriques

Les difficultés rencontrées concernent spécialement les procédures de construction analytiques et globales. (cf. chap. 3; partie A, II)

Ce qui ressort de l'observation globale des décisions est le fait que toutes les tentatives des tuteurs ont échoué dans la majorité des cas de procédures de construction globale même lorsque les élèves avaient une conception globalement correcte de la symétrie. Ces procédures semblent résister à tous les choix didactiques faits par les tuteurs humains et aux divers feedback provoqués par le milieu.

Les choix didactiques et les feedback du milieu ont en général conduit certains élèves à chercher à conforter leur procédure dans les cas d'une procédure globale au lieu de faire évoluer la procédure vers une procédure analytique conforme à nos objectifs (cf. chap.3, partie A, II). Nous citons par exemple le cas du binôme (B4 : Michaël et Sébastien) qui a essayé de conforter sa procédure de construction globale en construisant un parallélogramme pour lier les objets.

Par contre, dans le cas d'une procédure analytique, la situation arrive à se débloquer parfois grâce aux actions combinées des choix didactiques et des feedback.

La diversité des réactions des élèves face aux choix didactiques des tuteurs humains et aux feedback nous amène à présenter un ensemble de quatre cas concernant quatre binômes.

— **Le cas du binôme Maryline-Sandrine** : dans la résolution du problème (Pb.16), le binôme manifeste deux types de difficultés; une d'ordre géométrique liée à une conception "parallélisme" de la symétrie (avec une procédure globale), coexistant avec une autre liée à la construction des droites parallèles dans Cabri-géomètre. Les tuteurs humains décèlent les deux types de difficultés, leur choix est de traiter la

première, c'est à dire celle se rapportant à l'utilisation de la droite parallèle dans Cabri. Ce choix nous semble guidé d'une part, par une interprétation des formes d'aide qui peuvent être apportées aux élèves, et d'autre part, par un choix tactique¹¹ qui consisterait à résoudre le problème de construction de la parallèle pour permettre aux élèves de mener à terme leur procédure (afin qu'elle soit invalidée dans la phase de validation).

Mais la prise d'une telle décision nous semble difficile dans la mesure où il s'agit en plus, d'une procédure erronée (parallélisme). Le tuteur humain se trouve devant deux situations :

- afficher des aides pour des items de Cabri (alors que les élèves sont en train de mettre en oeuvre une procédure erronée) tout en risquant d'influencer les élèves pour continuer dans une mauvaise direction. En effet, recevant, par exemple une aide pour l'item "droite parallèle", les élèves pourraient penser que cette aide (venant de la machine) est pertinente, et par conséquent être confortés dans leur stratégie. Autrement dit, ils risqueraient d'interpréter cette intervention du tuteur artificiel comme une approbation et persister dans cette voie.

- ou au contraire amener les élèves à abandonner une procédure qui, de toute façon ne va pas les conduire au bon résultat. Donc les empêcher de construire une parallèle (par exemple, en évitant de leur fournir une aide pour l'utilisation de l'item correspondant dans Cabri-géomètre) même si c'est de cette façon qu'ils veulent construire le symétrique.

¹¹ Par tactique nous entendons l'ensemble des moyens utilisés et des choix faits, par le tuteur humain en fonction du diagnostic, pour obtenir le résultat visé par l'apprentissage. Par décision tactique nous référons aux actions "locales" et décisions que le tuteurs favorise, en fonction de l'objectif du moment ou d'un sous-but à atteindre afin de réaliser le but visé. Le choix tactique ici consiste à afficher l'aide de Cabri (action locale) pour amener les élèves à réussir à construire une droite parallèle et par conséquent à se centrer sur la tâche proprement dite (but du moment ou sous but) afin d'arriver à une procédure qui pourrait être invalidée par la suite et éventuellement à la procédure correcte (objectif des tuteurs)

Voici la description des circonstances où la décision a été prise :

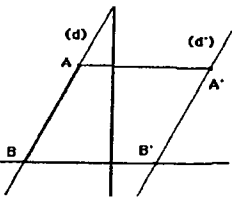
Écran élève	Côté élèves :	Observations	Côté tuteurs humains
 fig.3	Mary.: qu'est ce que j'ai fait? Attends, attends! Droites parallèles! Ah je sais pas! Ben donne moi des idées! Sand.: hen! Écoute! Mary.: on va essayer de faire segment⁵. Attends, j'arrive pas... Attends⁶! Je comprend pas...	⁵ Elle trace le segment [AA'], sélectionne l'item droites parallèles, désigne B', reclique sur B', obtient ambiguïté et choisit segment. Ce qui fait qu'elle trace une droite confondue avec (d'), elle clique ensuite, plusieurs fois sur le point B... ⁶ Elle resélectionne l'item droites parallèles, désigne B' (car elle avait déjà choisi A'), obtient ambiguïté et choisit droite, elle crée une troisième parallèle à [A'B']	Phil.: elle voudrait deux droites parallèles comme ça. Phil.: maintenant segment⁵ parallèle. Voilà! Alors JC.: ce point. Et elle va désigner le point Phil.: elle commence par désigner.. JC.: elle ne sait pas se servir de droites parallèles.
	Mary.: attends, on va réessayer mais pas sur celui là. Seg... Ah, comment j'ai fait¹? Attends! Heu... Je comprends rien! Sand.: tu te rappelles plus comment t'as fait? Mary.: si j'ai pris segment. Sand.: eh ben? Mary.: Ah ... ou droite passant par deux points on peut faire. Sand.: essaye! Après il faut que tu fasses la même chose Mary.: hen? Ben non, tant pis c'est pas grave! ben là c'est symétrique! Non? Enfin je pense. Puisque là c'est parallèle, puis là. Attends, on va mettre...	¹ Elle a sélectionné l'item droites parallèles, désigné le point B et a recliqué dessus, puis a eu des problèmes et a abandonné cet item qu'elle a repris pour tracer la parallèle à [AB] passant par B ² Philippe essaye d'afficher l'aide de l'item droites parallèles mais n'y arrive pas	Phil.: alors, est ce qu'on peut lui envoyer un message d'aide? Parce que c'est pour une erreur cabri géométrique là. JC.: ça oui, donc à ce moment là si blocage.

Fig.4.B, 3

Avant de nous intéresser au traitement de l'erreur géométrique, nous allons essayer d'étudier deux sortes de difficultés d'ordre Cabri-géométriques qui se posaient aux élèves : l'une est en rapport avec la construction d'une parallèle et l'autre concerne les implicites dans Cabri-géomètre.

a. Décisions didactiques relatives aux problèmes Cabri-géométriques

• Décisions relatives aux difficultés liées à l'utilisation d'un item

On pourrait expliquer¹² les difficultés du binôme Céline-Sandrine de la façon suivante : ces élèves ne maîtrisent pas l'utilisation de l'item "droites parallèles" de Cabri-géomètre. Elles rencontrent des difficultés pour tracer ces droites mais ce qui, probablement, les contraint est le fait que Cabri leur envoie des messages sur l'écran, messages du genre "ce point", "cette droite". Les effets de ces messages sont probablement que les élèves dès qu'elles en aperçoivent un, lui donnent une signification de type "puisque la machine nous donne un message, c'est qu'on peut cliquer et elle va prendre quelque chose". Les élèves s'exécutent, même si cela ne correspond pas à leur objectif. Voulant créer une droite parallèle à une autre et n'ayant pas créé le point, elles se déplacent sur l'écran et dès qu'elles trouvent un point cliquent, ensuite elles voient le message "cette droite" et cliquent et obtiennent ainsi plusieurs droites confondues. Ils pourraient donc avoir construit plusieurs fois la même chose (droites parallèles confondues) simplement parce que la machine leur a envoyé un message.

Ces élèves avaient une idée de la direction de la droite parallèle mais ignoraient que pour la construire il faut désigner un point puis une direction. L'interface de Cabri a été réalisée avec des critères géométriques bien définis : une droite parallèle à une direction donnée est définie par un point et cette direction. On doit donc construire la droite avec les éléments de la définition alors que les élèves n'ont pas toujours ces éléments.

En fait la difficulté réside dans le fait qu'on peut savoir des choses, être aussi capable de faire un raisonnement assez complexe, mais être incapable de le communiquer, et surtout en utilisant une interface machine. Dans le cas qui nous intéresse, le fait de faire une construction analytique (de la droite parallèle) est différent de celui de reconnaître la parallèle à une droite étant donnée cette dernière. Ce sont des connaissances de niveaux différents.

Le choix opéré par les tuteurs humains de traiter le problème de l'utilisation de droite parallèle nous semble judicieux du point de vue de l'évolution de l'activité de recherche des élèves. En effet, choisir de traiter le problème géométrique en premier lieu aurait pu provoquer un blocage au niveau de l'activité de recherche. On suppose que les TH souhaitent supprimer des problèmes non géométriques¹³ (ie. centrés sur l'environnement informatique) qui apparaissent comme des "bruits" et qui peuvent

¹²Cette explication nous paraît plausible en se référant à la façon dont ces élèves se sont déplacés dans l'écran et cliqué sur les objets présents.

¹³ Quoi que les difficultés liées à la construction de la parallèle peuvent aussi être considérées comme difficultés d'ordre géométriques.

empêcher une interaction de l'élève, centrée sur la tâche (c'est à dire ce qui est pertinent dans la situation du point de vue de la symétrie orthogonale). Cette décision pourrait aussi être prise dans l'intention de renforcer la procédure erronée (parallélisme) afin de mieux la déstabiliser.

Cependant, nous remarquons que la décision a été prise alors que le binôme était entrain de réfuter sa construction utilisant les parallèles. Il évoquait des cercles, des angles et désignait des droites horizontales comme nous le montre cet extrait :

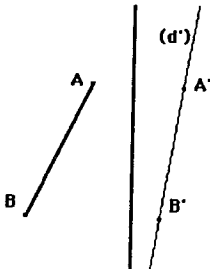
Figure élèves	Côté élèves	Observations	Côté tuteurs
	Sand.: reviens dans création s'il te plaît. Mary.: tracer peut être un cercle. Sand.: ca va servir à quoi? Mary.: chais pas moi, on sait jamais, on va peut être trouver un point... Ca c'est énervant! [...] Sand.: regarde cette droite, tu fais des trucs². Mary.: C'est des parallèles! Enfin, non en fait... Sand.: oh, là, là! Mary.: En fait si tu fais les parallèles, ça fera un parallélogramme. Mais comment tu le fais⁴ ? Attends si tu fais ça⁵ pour avoir l'angle.	2(elle désigne des directions horizontales passant par A et B) 3(Le tuteur essaye de nouveau de sélectionner l'item droites parallèles mais ne réussit pas. Les élevés manipulent en même temps.) 4(Le tuteur vient d'envoyer le message d'aide "je vais te montrer comment faire", aidé par l'expérimentateur. Mais les élèves n'ont pas vu ce message) 5(elle désigne une direction horizontale passant par A)	TH2.: elle ne sait pas faire des droites parallèles. TH1.: si ... mais... elle sait mais elle a pas compris qu'elle fait parallèle passant par un point.... [...] TH1.: Et elle demande jamais l'aide des deux parallèles. On peut pas lui envoyer l'aide des deux parallèles? Attends si je clique quand elle demande parallèle... TH1.: je peux pas.. TH2.: je pense qu'il faut attendre qu'elle ait fait droite parallèle, et au moment où ils l'appellent, à ce moment là on clique sur aide. Tout de suite. TH1.: j'y vais là³? TH2.: attends, il vaut mieux attendre je pense.

Fig.4.B, 4

On peut faire deux suppositions à ce niveau là :

- il y a passage, chez les élèves, de l'intention de mesurage vers une procédure de mesurage avec l'utilisation de cercle qui pourrait correspondre à une idée implicite de report de distance (cf. figure ci dessus).
- les élèves veulent valider l'isométrie et confronter leur procédure, le mesurage ici devient alors un moyen de contrôle.

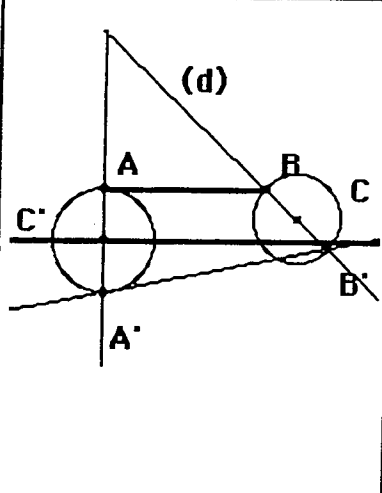
Le discours des élèves tourne autour de cercle, droites parallèles, droites horizontales (caractéristique du report horizontal qui se confond dans le problème 16 avec un report perceptivement orthogonal à l'axe) et puis angle. Les TH quand à eux cherchent un moyen d'envoyer l'aide pour droites parallèles, ils ne suivent pas la conversation du binôme, ils se focalisent sur la difficulté liée à l'utilisation de l'item "droite parallèle". Il y a là un décalage entre l'évolution du travail des élèves et le suivi des TH. En effet en se basant sur le discours de ces derniers et la décision qu'ils prennent par la suite, nous remarquons que la concertation a empêché l'écoute : ils ne font pas attention au fait que les élèves veulent valider l'isométrie ou changer de procédure en investissant de nouveaux outils.

• Décisions relatives aux difficultés liées aux implicites de Cabri-géomètre

Nous verrons dans la suite que les tuteurs humains ont alors agi sur les valeurs des variables "Axe" et "Segment", ce qui a provoqué une modification dans la procédure des élèves. Elles sont passées d'une procédure globale à une procédure analytique. Au problème Pb.2 elles ont construit les perpendiculaires à l'axe passant par les extrémités du segment objet puis les cercles. Mais une non-explicitation du centre du cercle comme intersection de la droite perpendiculaire à l'axe et de l'axe a amené le binôme à changer de procédure. En effet, en créant le centre du cercle, les élèves reçoivent le message de Cabri " le point ainsi créé est un point de base et ne sera pas lié aux objets...". Ce message n'est pas compris. Les élèves décident alors de supprimer le point mais au lieu de désigner ce dernier, elles désignent la droite perpendiculaire, la suppriment et la remplacent par une droite verticale passant par une extrémité et le point de base sur l'axe. Les tuteurs humains ont invalidé la figure par déplacement d'une extrémité du segment objet (et donc de la droite perceptivement perpendiculaire à l'axe). Ils avaient comme objectif de sensibiliser les élèves sur le fait que la droite n'est pas orthogonale à l'axe. Mais ces derniers n'ont pas pu expliquer tout ce qui rend leur cas de figure invalide. En effet si le fait que le centre du cercle "ne reste pas" sur l'axe a été observé, celui de la non-orthogonalité de la droite à l'axe ne l'a pas été. Les tuteurs humains, devant cette difficulté, ont fini par intervenir sur ce cas de figure. Ils ont effectué quelques déplacements des points et fini par supprimer le centre du cercle. Ainsi ils ont supprimé la droite qui en dépendait c'est à dire celle créée perceptivement perpendiculaire à l'axe. La droite perpendiculaire à l'axe a été préservée. Cela a eu pour effet une reconstruction significative de l'action du tuteur artificiel (pour les élèves) par les élèves : si l'une des deux droites a été supprimée et l'autre pas, cela veut dire qu'il faut refaire celle qui a été

supprimée à la manière de celle qui a ne l'a pas été (cf. figure ci-dessous). Les élèves ont réussi ainsi à produire le symétrique.

La décision des tuteurs de supprimer le centre du cercle et la droite a été un peu rapide car le binôme était dans une phase de recherche : en effet Maryline croyant que l'erreur vient du fait que l'image B' (figure ci dessous) n'est pas définie comme point d'intersection essaye de le redéfinir ainsi. On remarque qu'à ce stade les élèves ne font aucune allusion à la droite ni au fait qu'elle doit être orthogonale à l'axe. En déplaçant , de nouveau, le point B elles remarquent que "ça bouge". Les tuteurs déplacent le point A "pour montrer qu'il tient". Les élèves réalisent ce que les tuteurs veulent leur faire voir (qu'un point reste alors que l'autre bouge) mais à cet instant, les tuteurs décident de déplacer le centre du cercle. Cela permet aux élèves de se rendre compte que le centre n'est pas bien défini. Elles reviennent alors sur la construction : déplacent le centre sur l'axe, essayent de ramener le point B de façon à ce que la droite soit verticale. Elles essayent ensuite de créer un point (sur objet) confondu avec le centre du cercle C. Les tuteurs décident alors de supprimer le point jugeant que "ça les gêne".

	<u>Côté élèves :</u> Maryline : C'est ce point! Oh là là! C'est ce point qui reste pas sur... c'est peut être point sur objet qu'il fallait mettre, Sandrine : Je pense Maryline : Oh là là! Ah... il bouge plus celui-là. Je n'arrive même plus à y faire. Je ne comprends plus rien.	<u>Côté des tuteurs humains :</u> (le tuteur vient, à nouveau , d'envoyer le message d'aide. Il déplace le centre du cercle C, et laisse la figure en l'état et passe la main à l'élève) [...] Philippe : Ah! Ah! Attends, est-ce que je peux leur montrer que l'autre il tient ? (...) Jean C.: attends! Philippe : lâche moi la main là. (...) il faudrait peut être leur supprimer parce que ça les gêne.
---	--	--

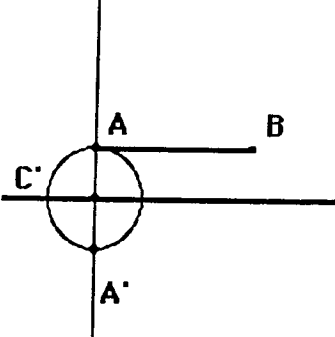
	<u>Côté élèves :</u> Maryline: alors on a déjà fait celui là. Celui là en fait, c'est bon, mais en fait comment on a fait? J'avais fait intersection. je crois, enfin! Attends!.. Là c'est une droite perpendiculaire. On a fait une droite perpendiculaire? Alors là, ce point avec cette droite. c'est ça? Après on fait point sur objet ou intersection de deux objets. Attends, on va voir. Je te mets point sur objet. Ah oui, en fait c'est faux! C'est intersection, je pense hen! Après je te prends cercle. Moi je vois ça hein!	<u>Côté des tuteurs humains :</u> Philippe : parce que là, il y a blocage à cause de la présence ce point, alors, on va leur supprimer! Allez intervention!
---	---	---

Fig.4.B, 5

b. Décisions didactiques relatives aux erreurs géométriques

Dans l'analyse qui va suivre, on pourra se rapporter à la figure Fig.4.B, 2 relative à la succession des problèmes, aux solutions du binôme et aux déclarations verbales des tuteurs humains. Le binôme Maryline-Sandrine échoue au problème initial (Pb 16) en investissant l'item "droite parallèle". Les tuteurs diagnostiquent une conception de "*parallélisme*" chez le binôme ; ils décident de déstabiliser cette conception. Pour cela, ils proposent le problème Pb 18. Les caractéristiques de ce problème sont telles qu'il favorise la procédure prolongement (cf. § II.4.3) et une conception de symétrie centrale. La réaction des élèves a été de tracer une droite parallèle au segment (confondue avec le support de celui-ci) et de trouver l'image du segment par la symétrie centrale (dont le centre est à l'intersection de l'axe et du support du segment). Il y a apparition d'une nouvelle conception chez les élèves ; la conception de "*symétrie centrale*", éventuellement locale, utilisant cercle pour le report de distance à un point. L'apparition du cercle est notée de façon positive par les tuteurs humains. Ces derniers diagnostiquent une procédure de prolongement alors que la procédure pouvait renvoyer, comme nous l'avons souligné, à une conception "*symétrie centrale*".

Les élèves déclarent valide leur construction en déplaçant un point du segment (symétrie centrale respectée) et marquent fin de construction. Ils reçoivent le message leur rappelant la consigne de validation (cf. annexe "Pile messages"); ils réagissent au message et cherchent à revoir leur construction. Le retour à la construction amène les élèves à penser au pliage et à chercher dans cette direction ; donc à chercher à anticiper la

position du point image (le seul qui est à construire) par pliage autour de l'axe de symétrie. Voici un extrait de leur protocole qui nous permet d'illustrer ce passage :

Maryline : oh non ! On la revoie hein ! Parce que si ça se trouve on a fait une be... Rappelle toi ta figure doit rester symétrique.

Sandrine : oui, mais si on met point

Maryline : ben ça sera pareil. Enfin, je pense ! Je ne comprends pas là ce qu'ils veulent nous dire ! Rappelle toi ta figure doit rester symétrique quand tu déplaces l'une des extrémités du segment...

Sandrine : c'est bon la !

Maryline : ah mais non ! L'axe, regarde quand tu plies en fait ? Ça, quand tu plies, c'est ça..., donc en fait ça doit être ici et comme ça quand tu plies, ça c'est bien la dessus et ça se replie là.

Les élèves, pendant leur recherche de solution sur le problème Pb 18, évoluent d'une conception de "symétrie centrale" qui se confond ici avec la conception "prolongement" (induite par la figure) à une conception de "symétrie axiale" (réroaction provoquée par le message de validation). Mais la nouveauté notée qui est retenue par les tuteurs humains est le report de distance (dans la symétrie centrale) et non pas l'évolution de conception vers celle de la symétrie axiale (voir le protocole qui suit). Les tuteurs humains choisissent d'envoyer un nouveau problème. Le problème "successeur" proposé Pb.2 (axe et segment horizontaux, donc parallèles), est tel que le report vertical se confond avec un report perceptivement orthogonal à l'axe et la conception de parallélisme se confond avec celle de la symétrie axiale. Et par ailleurs, les élèves avaient démarré la séance avec une conception de parallélisme.

Les élèves réalisent la figure ci-contre. Elles tracent les perpendiculaires à l'axe passant par A et B, ensuite elles créent un point de base à l'intersection de la perpendiculaire à l'axe passant par B. Voici ce que les tuteurs déclarent quand les élèves réalisent une perpendiculaire :

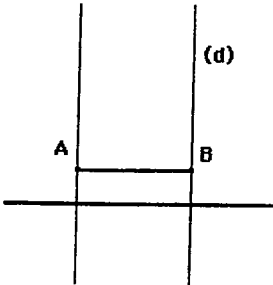
	Phil.: droite perpendiculaire, on l'a obtenue... et tout à l'heure, on avait favorisé cercle. JC.: et là, on favorise.. Phil.: et là on favorise droite perpendiculaire. JC.: oui. (rires) Phil.: ils sont...! (rires) Phil.: ah Salima on l'a obtenue droite perpendiculaire!
---	--

Fig.4.B, 6

Essayons d'analyser plus en détail les décisions des tuteurs humains en ce qui concerne ce binôme.

L'attente des tuteurs est que les élèves, pour résoudre les problèmes qu'ils leur proposent, investissent des outils "droite orthogonale à l'axe" et "cercle centré sur l'axe pour reporter une distance". Observant que les élèves n'investissent pas ces outils, ils proposent un nouveau problème où ils espèrent que les élèves produisent l'un des deux outils même d'une façon qui n'est pas appropriée à la solution du problème.

Les tuteurs humains, en faisant ces choix, amènent les élèves à construire le cercle pour le report de distance et ensuite la droite perpendiculaire à l'axe. L'apparition de chaque outil est accueillie d'une façon positive (cf. Fig.4.B, 1). On constate que cette démarche, a eu pour conséquence l'investissement de l'outil cercle, de la part des élèves, dans une procédure "symétrie centrale" ou "prolongement", que les tuteurs vont essayer de déstabiliser ensuite. En effet ils leur aménagent une situation qui induit fortement l'utilisation des outils cercle et/ou droite (le problème Pb 18). Cette démarche ressemble à une espèce "d'effet Topaze" identifié par Brousseau [1986]. Tout se passe comme si l'apprentissage des élèves passait par la production de "*l'effet Topaze*" et de son "*dépassement*". L'effet Topaze est produit dans le problème Pb 18. Il est reproduit dans le problème suivant Pb 2 qui favorise fortement l'utilisation de droites perpendiculaire. Le dépassement est réalisé à l'aide de celui-ci où les élèves investissent la bonne procédure (cf. Fig.4.B, 1).

Remarque : le problème Pb 18 (axe oblique, segment horizontal et une extrémité du segment sur l'axe) a été choisi par les tuteurs humains comme successeur susceptible de déstabiliser la procédure du binôme. En jouant sur trois variables, Axe, Segment et Intersection, ils optent pour une situation qui cherche en même temps à déstabiliser le parallélisme et à permettre l'émergence d'outils comme la droite et le cercle. Par un tel choix, ils ont complètement changé le problème de l'élève. On se demande si la proposition d'un axe vertical, avec un segment oblique (même angle que le précédent) qui s'appuie sur l'axe, n'aurait pas été plus judicieuse. En jouant donc sur la seule variable Intersection ils auraient provoqué l'émergence de l'outil cercle pour le report de distance mais aurait favorisé un report horizontal. Une situation suivante pour déstabiliser l'horizontalité aurait été proposée en jouant sur la direction de l'axe (axe oblique, segment oblique qui touche l'axe) qui aurait obligé les élèves à expliciter l'orthogonalité.

On suppose que la stratégie de l'enseignant a consisté en la décomposition de la tâche de construction en sous tâches, ou étapes élémentaires : investir les outils droite et cercle et proposer ensuite des problèmes où ils seront bien investis.

Le tableau récapitulatif correspondant à la session du travail du binôme nous permet d'illustrer la démarche des tuteurs (cf annexe chap.4, Grille analyse B6)

— **le cas du binôme Jessica-Hakima** : nous avons noté dans les interventions des tuteurs humains pendant les recherches de solution du binôme précédent, ce que nous avons nommé "effet Topaze et dépassement de l'effet Topaze". Dans le travail de ce binôme, il y a une présence permanente des tuteurs humains. Le recours répété à l'effet Topaze semble être leur idée directrice. Cet effet apparaît de façon beaucoup plus nette pendant l'activité du binôme (Jessica-Hakima). L'intérêt de ce binôme est qu'il résiste à tous les choix didactiques des tuteurs humains et aux feedback provoqués par le dispositif.

Le binôme met en œuvre une procédure de construction globale tout en ayant une conception globalement correcte de la symétrie axiale. Il place le point image au jugé et le déplace (éventuellement) de façon à obtenir une symétrie apparente. Les élèves fonctionnent beaucoup par rapport à la forme globale de la figure et n'investissent pas les outils "droite perpendiculaire" de Cabri pour définir le support des couples de points symétriques et cercle pour reporter les distances. Elles se représentent la symétrie comme un pliage et évoquent le mesurage comme moyen de construction. Elles contournent l'absence de cet outil dans le logiciel par des constructions au jugé.

Le choix initial effectué par les tuteurs humains est de proposer des problèmes qui amènent les élèves à investir les outils "droite" et "cercle" pour construire le symétrique du segment ou pour lier les objets construits, c'est à dire les extrémités de l'image. Ce choix évolue très fortement au cours de la session. Nous catégorisons les formes d'intervention répertoriées chez les tuteurs humains de la manière suivante : proposer un nouveau problème, déplacer un objet de la figure des élèves, dérouler un menu et pointer l'item approprié à l'outil attendu, exhiber un exemple et faire une démonstration par déplacement et construire l'objet attendu. Nous allons essayer d'analyser et d'interpréter les réactions des élèves par rapport à chacune de ces formes d'intervention.

- proposition d'un nouveau problème ; le travail du binôme se décompose en 7 phases dont une phase de démonstration d'un exemple, par les tuteurs humains. Pendant ces phases il y a eu des propositions de problèmes pour amener le binôme à produire une

procédure correcte. Mais nous allons nous intéresser plus spécialement au passage du problème initial à un second problème où les tuteurs sont confrontés pour la première fois à la production des élèves. Ils prennent donc connaissance d'une procédure de base qu'ils chercheront à faire évoluer. Nous allons essayer d'étudier cette phase dans le but d'identifier des modes d'intervention des tuteurs humains et de les interpréter.

Cette phase qui correspond à la phase initiale de recherche (pendant laquelle le binôme produit une construction initiale) conduit les tuteurs à prendre une décision en fonction d'une interprétation qu'ils font de la production des élèves. Voici un extrait de la chronique se rapportant à cette première étape :

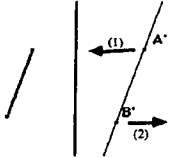
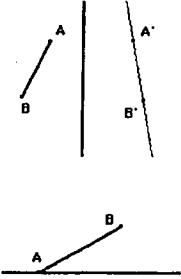
Côté élèves :	Observations :	Côté tuteurs :
 Safw.: vous avez construit votre eu...votre segment symétrique Jess.: il est pas symétrique, il faut le déplacer¹ un peu tu vois? ... Jess.: non celui là plus vers là³ et celui là vers là bas⁴ Haki.: non mais il faut faire quelque chose ça c'est sur! Attends⁵ ... 	1 Jessica désigne une direction voir (2) 2 Hakima déplace B' vers la gauche en direction de l'axe de symétrie, et ajuste A'. Perceptivement les droites (A'B') et l'axe sont parallèles 3 Voir flèche (1) 4 Voir flèche (2) 5 Elle ajuste la droite en déplaçant le point A' vers l'axe 6 Nathalie choisit le problème 7 (Pb.7) et l'envoie aux élèves	Phil.: oui, oui, oui...qu'est ce qu'on va faire alors? Qu'est ce qu'on...?.Oui, oui c'est au jugé c'est comme tu l'as rempli... Ça effectivement ils ont hésité beaucoup.... Nath.: c'est pas au hasard Phil.: si, si, si, enfin à égale distance... voilà c'est pas au hasard... voilà!... Nath.: mais celui là c'est un peu le même que celui là mais dans l'autre sens. ... Nath.: segment oblique, angle quelconque, intersection qui touche⁶

Fig.4.B, 7

Le choix du problème Pb 7 nous semble guidé par le fait que les tuteurs humains pensent simplifier l'activité de construction des élèves : proposer un axe horizontal apparaît comme un élément facilitateur. Les droites orthogonales à l'axe sont dans ce cas des droites verticales. L'implicite des tuteurs est qu'il est plus facile pour les élèves de

construire des perpendiculaires quand l'axe est horizontal que quand il est vertical. Ce raisonnement a été explicité par les tuteurs dans une séance précédant celle-ci. Il s'agit du binôme Maryline-Sandrine qui réussit le problème Pb.2 (Axe et segment horizontaux) et l'un des tuteurs humains justifie cette réussite de la façon suivante :

Phil.: et oui mais parce qu'il y avait la verticalité et c'est plus simple que l'horizontalité. Faire une perpendiculaire comme ça c'est plus simple que la faire comme ça. Alors ce qu'on pourrait faire c'est leur mettre l'axe horizontal et le truc incliné. Ça les aiderait, on essaye ?

Pour la variable "Intersection" (de l'axe et du segment), les tuteurs humains choisissent le cas où une extrémité du segment est sur l'axe, qui pourtant implique une conception des points de l'axe comme invariants. Il est utilisé avec l'idée d'amener les élèves à construire une seule extrémité ; ce qui est considéré comme une simplification du problème. Soulignons que cette valeur de la variable, une extrémité du segment sur l'axe, est utilisée par les tuteurs humains avec des objectifs contradictoires. Elle est en effet utilisée, pour des binômes qui réussissent, pour complexifier la tâche, à cause du point d'invariance. Et elle apparaît dans des situations d'échec (comme le cas de ce binôme) comme élément facilitateur en raison du point d'invariance (on pourrait se rapporter à la figure Fig.4.B, 1).

L'effet recherché par les tuteurs humains ne se produit pas, car les élèves réagissent de la même façon que dans le problème précédent. Cela nous semble se justifier par le fait que les problèmes (le précédent et celui-ci) ont une certaine similarité. Cette similarité repose sur les orientations des axes (l'horizontalité pour l'une et la verticalité pour l'autre) et les angles formés par les axes et les segments (quelconques). La différence dans les deux problèmes est le nombre de point à construire. Le nouveau problème contenant un point invariant, la construction de l'image exige de construire un seul point. Le nouveau problème pourrait ainsi être considéré comme une "décomposition" du problème précédent en éléments plus simples, la construction d'une seule extrémité. Le comportement des élèves serait sous la commande de ces variables qui sont similaires à celles du problème précédent. Les élèves investissent d'ailleurs la même procédure en faisant référence à la façon de construire dans la situation précédente.

- déplacement d'un objet de la figure des élèves ; les tuteurs humains interviennent pour déplacer une extrémité du segment image ou objet, dans la construction des élèves. Ces genres d'intervention apparaissent généralement lorsque les élèves ne respectent pas la consigne de validation. Il s'agit d'une "renégociation" du contrat de validation avec les élèves. Mais tous les déplacements des tuteurs humains ne visent pas systématiquement à renégocier le contrat de validation. Il y en a certains qui

prennent une forme "évaluative" et d'autres plutôt une forme "dirigistes". Nous avons observé ces trois formes de déplacement chez les tuteurs humains ; nous allons essayer de décrire les circonstances d'apparition de chacune de ces formes de déplacement et d'interpréter les réactions des élèves par rapport à ces déplacements.

- le cas de renégociation du contrat de validation : la nature du déplacement consiste à appliquer la consigne de validation pour valider ou invalider la procédure des élèves. Il s'agit de faire respecter la règle du jeu. A ce moment les déclarations des tuteurs humains ne portent pas sur la validité de la procédure, mais plutôt sur le non respect du contrat de validation. Cela apparaît en général, indifféremment à la réussite et à l'échec, sous la forme déclarative du genre "ils n'ont pas déplacé".

- le cas d'une évaluation : l'action des tuteurs humains vise essentiellement à attirer l'attention des élèves sur la validité de leur construction. Pour cela, ils effectuent, si cela s'avère nécessaire, des déplacements successifs et attendent chaque fois la réaction des élèves. En effet pendant l'activité du binôme, les tuteurs humains sont intervenus pour déplacer des objets de leur figure avec l'intention de leur montrer que la construction est fausse. Mais à chaque fois que les tuteurs déplacent un point, la symétrie est rompue et les élèves interviennent pour la rétablir en déplaçant le point image ou le point objet qui n'est pas sur l'axe. La chronique suivante nous permet d'illustrer ce mode d'intervention des tuteurs :

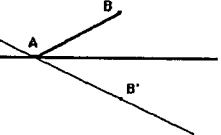
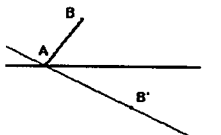
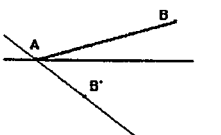
État initial	Côté élèves	Observations	Côté tuteurs humains
	Jessica : ben voilà ! mais il faut pousser¹ Hakima : on le recule un peu Jessica : c'est bon là encore ? Hakima : avance le un peu Jessica : non c'est juste, là! Hakima : attends² là ça va ? (inaudible) comme ça par rapport à celui là³	¹ Elle déplace le point B' et continue d'ajuster de façon à avoir une symétrie perceptive ² Elle déplace encore B' ³ Il s'agit de B et B'	Philippe : bon alors il faudrait que...on peut pas leur montrer ou intervenir ou faire... [...] Philippe : Voilà parce que avant de leur faire une évaluation on peut pas leur montrer que c'est faux.
	Jessica : encore¹, pas vers là, vers là bas! Hakima : attends! Jessica : c'est plus vers là bas Hakima : oh mais attends une minute, je ne suis pas adroite!	Les tuteurs passent la main à l'élève en lâchant le point B comme l'indique ¹ Hakima déplace le point B' de façon à ce que ça soit perceptivement symétrique	Philippe : elle veut¹ ... elle le (inaudible) Nathalie : elle le rend symétrique
	Jessica : fais..., on déplace la droite. Hakima : encore¹! Jessica : attends c'est pas Hakima : non c'est bon Jessica : fais (inaudible) voilà ! Non Hakima : non, il faut le déplacer comme tout à l'heure Les tuteurs passent la main à l'élève en lâchant le point B comme l'indique ¹ Hakima déplace le point B' de façon à ce que ça soit perceptivement symétrique	¹ Philippe désigne le point A ² les tuteurs humains viennent d'envoyer de nouveau le message "je vais te montrer comment faire" ³ Nathalie déplace le point A vers la droite, mais la figure est restée perceptiblement symétrique ; elle déplace le point B. Les points B et B' sont à droite de A. Elle déplace le point A (voir figure ci-dessus).	Philippe : Déplace lui celui là² pour lui montrer que ça suit... oui tu cliques...voilà Nathalie : je remets³ ? Philippe : alors oui...redéplace là.. voilà laisse le comme ça ou écarte le un peu peut être...

Fig.4.B, 8

L'action de déplacement ne modifie pas la logique de construction des élèves. Les élèves l'adaptent parfaitement à leur logique qui consiste à construire (au jugé) le point image et à le déplacer jusqu'à l'obtention d'une symétrie "apparente". En considérant leur figure "statique" (comme en papier-crayon) ils effectuent de petits déplacements de façon à garder une symétrie perceptive de la figure. Les effets des déplacements apparaissent comme plus liés à la construction (la figure) qu'à la procédure qui l'a réalisée. Ils sont ressentis du côté des élèves comme pour rompre la symétrie de leur figure et l'action réparatrice est dans le déplacement pour reconstituer cette symétrie. Ainsi pour les élèves il n'y a pas réfutation. Ils ont mis le point là où il doit être. La réfutation porte sur l'objet figure Cabri. Ce qui n'est pas lu par eux. Cette attitude des élèves conduit les tuteurs à changer de stratégie de déplacement en cherchant à les

amener à relier les objets de leur figure. C'est ce que nous aborderons dans le paragraphe qui suit.

- l'attitude dirigiste ; elle consiste à chercher à attirer l'attention des élèves sur la nécessité de construire un outil pour le tracé du support des couples de points symétriques ou pour le report de distance. En effet dans le cas de ce binôme, devant la résistance de la procédure globale et devant l'absence des outils droites et cercles, et jugeant que les difficultés de ces élèves se ramènent au fait qu'ils ne savent pas comment lier les objets géométriques dans Cabri, un des tuteurs humains décide de leur tracer une droite perpendiculaire. Il devient très directif. Il agit alors sur l'écran des élèves. Il déroule le menu constructions, s'y arrête un moment, sélectionne l'item droite perpendiculaire, s'y attarde quelques secondes, tout en consultant le deuxième TH. Mais ce dernier (le stagiaire) n'est pas d'accord pour construire la droite perpendiculaire. En effet, il pense qu'en le faisant, ils donnent la solution aux élèves. Le premier TH renonce alors à construire la droite, puis effectue des déplacements d'un point du segment objet. Suivant les recommandations de son partenaire, il effectue des déplacements du segment objet de telle façon à obtenir une symétrie perceptive. L'objectif des tuteurs humains est d'amener les élèves à utiliser la droite perpendiculaire. Ils ne cherchent plus à leur montrer que leur construction est fausse, mais qu'il faut qu'ils établissent des liens entre les points construits et d'autres objets ("droite" et "cercle"). La chronique suivante nous permet d'illustrer le type d'intervention des tuteurs :

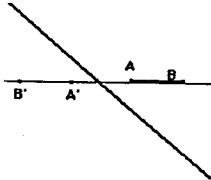
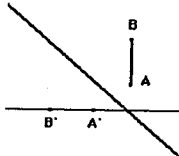
État 1	Côté tuteurs humains	Observations
	Philippe : est ce que je leur donne droite perpendiculaire¹. Nathalie: non, non! Philippe : non, bon alors² ? Nathalie: (rires) mets le là haut, comme ça, ça fait presque symétrique... comme si c'était symétrique, mets le... Philippe comment ? Nathalie mets le c'était là, mets le comme si c'était symétrique à celui là. Philippe : Celui là³ ? ... Nathalie: mets le comme si c'était symétrique, déplace le point... l'autre, l'autre⁴. Philippe : oui mais bon c'est pas ce que... je cherchais à faire. Nathalie: tu voulais faire quoi ? Philippe : oui Nath.: ...ça sert à rien Philippe : non parce que là c'est très difficile. Là je voulais ramener à un cas particulier...	¹ Philippe déroule le menu constructions, s'y arrête un moment, sélectionne l'item droite perpendiculaire, s'y attarde quelques secondes. il repasse très vite au menu divers et constructions sans les faire dérouler puis redéplace le point B vers le haut, le bas ² Philippe continue de déplacer le point B' vers le bas ³ il s'agit du point B ⁴ il s'agit du point A
État 2 	Philippe: mais c'est moi, mon idée c'était de leur mettre et de leur tracer une perpendiculaire. Nathalie: oui mais si tu leur donnes une droite perpendiculaire en fait tu leur donnes la construction. Philippe : oui mais je leur ai donné une perpendiculaire dans un cas particulier... Visiblement ils voient pas comment lier hen... de toute façon	

Fig.4.B, 9

On pourrait s'attendre à ce que l'affichage de l'item "droite perpendiculaire" montre à l'élève qu'il a à sa disposition des outils qu'il peut investir pour réaliser sa construction et l'incite à les utiliser. Ainsi pourrait-il produire l'action correspondant à l'idée exprimée dans le geste du tuteur humain. On pourrait aussi penser que la figure obtenue (État 2) amène les élèves à construire une perpendiculaire, ou à penser au pliage comme moyen de validation. Mais cela reste sans effet sur le comportement des élèves. Les différents déplacements effectués par les tuteurs humains suivent une fois de plus la logique de construction des élèves. En effet les tuteurs, sans se rendre compte, font le jeu des élèves en déplaçant des objets de la figure présentant une position non symétrique pour ensuite se ramener à une symétrie. Les élèves ne comprennent pas ce qu'il faut faire. Elles se demandent s'il faut faire la même chose que le tuteur. L'observateur leur explique que les déplacements effectués par TH avaient pour but simplement de leur montrer que ce n'était pas correct alors que l'objectif des tuteurs était autre.

Le dialogue suivant qui s'est déroulé entre les élèves et l'observateur illustre cette situation :

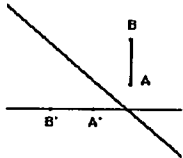
Écran élève	Côté binôme	Observations
	Observateur : vous voyez quand le segment bouge alors son symétrique ne suit pas. Hakima : maintenant il faut qu'on fasse la même chose que ce qu'il a fait ? Observateur : maintenant il faut que vous fassiez quelque chose que vous avez, si vous avez compris quelque chose de ce qu'il vous a montré Hakima : il ne faut pas faire quelque chose comme il a fait lui ? Observateur : ben il a juste bougé pour vous montrer que c'était pas correcte Jessica: t'as qu'à le bouger lui¹, comme lui² Hakima : ah non pas on peut pas le mettre comme lui Jessica: mais si Hakima : ah non, mais l'autre ça bouge tout³ Jessica: tu peux essayer un point... Hakima : mais lui ça bouge tout, ah c'est toi qui le fait Hakima : t'as vu⁴ ça bouge tout Jessica: chais pas Observateur : si vous pensez que c'est bon vous cliquez.. Hakima : non c'est pas bon Observateur : alors essayez de trouver un autre moyen de construire le segment	¹ Elle désigne le point A ² Elle désigne le point A' ³ Elle déplace le point A' ce qui fait déplacer la droite A'B', elle revient ensuite à l'état 2 ⁴ Elle vient de déplacer le point B'

Fig.4.B, 10

Pour résoudre un nouveau problème proposé à la suite de cette intervention, les élèves réagissent de la même façon que dans les cas précédents. C'est même la variable figure qui provoque un changement de construction chez les élèves. L'axe étant oblique et parallèle au segment, les élèves construisent le segment image parallèle à l'axe et déplacent les points de façon à avoir des couples de points objet et image sur une même horizontale.

• exhiber un exemple et faire une démonstration par déplacement . Il s'agit d'exhiber un exemple de figure symétrique et faire une démonstration par déplacement pour montrer aux élèves que les objets ne bougent ensemble que lorsqu'ils sont liés. Devant les multiples échecs des élèves, les tuteurs humains deviennent de plus en plus dirigistes. Ils reprennent un problème où les élèves ont échoué, le problème Pb7 et le

proposent aux élèves. Ils leur proposent ensuite (après envoi d'un message de blocage) un exemple représentant le même problème (Pb7) dont l'image de l'extrémité, qui n'est pas un point d'invariance, a été construite à l'aide de l'item symétrique (cf. la figure exemple de la figure - dessous). Ils font ensuite une démonstration en déplaçant le point B. Les élèves comprennent le message mais ne changent pas de procédure. Voici un extrait de protocole illustrant cette situation :

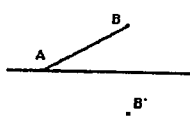
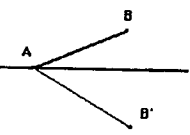
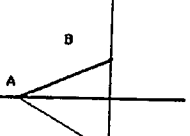
 exemple	<u>Côté élèves:</u> Obs1 : ah voilà, il montre l'exemple est partiellement fait¹. Jess.: là tu vois qu'il est juste, parce que il y a celui d'en bas qui bouge. Obs 2 : c'est la machine qui vous montre une solution correcte¹... Obs2 : voilà maintenant c'est vous qui continuez²	<u>Observations</u> 1 (L'exemple correspond au Pb.7 avec la construction correcte du point B'. Les tuteurs déplacent les points A et B, ce qui fait déplacer le symétrique B' de B) 2 (le tuteur ferme l'exemple, envoie le problème Pb 7 et passe la main à l'élève)	<u>Côté tuteurs :</u>
	Jan.: vous avez vu qu'est ce qui se passait quand il.. quand la machine bougeait le segment Jess.: celui là, il bougeait Haki.: essaye de voir celui d'en haut s'il est juste¹. Haki.: il n'est pas juste, il n'est pas juste²! Jess.: oui³	1 Jessica déplace le point B 2 Jessica réajuste le point B' de façon à ce qu'il soit perceptiblement à la même distance de l'axe que B, puis redéplace le point B. 3 Elle continue ses déplacements successifs de B' puis B tout en ajustant à chaque fois de façon à garder B et B' perceptivement à égale distance de l'axe, et de part et d'autre	Phil.: bon le problème est situé là mais.... Alors est ce que... à partir de là est ce que je pourrais mettre une perpendiculaire? Parce que bon... Nath.: il faut les lier parce qu'en fait ce point pour qu'il bouge en même temps il faut qu'il soit lié.
		2 le tuteur construit la perpendiculaire à l'axe passant par B	Phil.: bon moi je vais lui construire une perpendiculaire... Nath.: hein Phil.: ... et puis voir que la perpendiculaire bouge. Qu'est ce que tu veux...mais bon là...est-ce qu'on a le temps? ou est ce que...est-ce que... [...] Attends².

Fig.4.B, 11

• Construire l'objet attendu ; il s'agit de construire soit-même l'objet pertinent que l'on cherchait à faire construire par les élèves. Vu l'échec de la démonstration, les tuteurs construisent eux-mêmes la perpendiculaire à l'axe passant par l'extrémité qui n'est

pas un point d'invariance. Cela correspond à une décomposition de l'objectif visé par le problème. En effet, la construction de l'image du segment demande le tracé d'une droite perpendiculaire à l'axe passant par le point non invariant et le report de la distance de ce point d'un point de l'axe. Puisque l'image du point non invariant est créée au jugé par les élèves, les tuteurs tracent la perpendiculaire et s'attendent à ce que les élèves déplacent le point image et le lient à cette droite (voir figure ci-dessus). Une partie de l'objectif est ainsi réalisée par les tuteurs et le reste est laissé au compte des élèves.

Le processus est arrêté pour des contraintes de temps. On peut imaginer qu'en cas d'échec les tuteurs pourraient être amenés à fournir la réponse complète aux élèves. C'est-à-dire, créer eux-mêmes les objets et les relier ensuite. Et un problème d'application (de la même procédure que les tuteurs humains) aurait certainement conclu le processus.

Lorsqu'on récapitule l'activité de travail de ces élèves, on s'aperçoit que le problème qui se pose à eux pendant tout le long de la session est particulièrement celui du report de distance. Les élèves ont cherché à reporter la distance d'une extrémité et de l'axe. L'outil approprié pour eux était le mesurage ; ils n'ont pas pu dépasser le problème posé par l'absence de cet outil dans les menus de cabri-géomètre mis à leur disposition. La seule solution mise en œuvre par les élèves pour résoudre l'absence du mesurage est de construire au jugé, on retrouve ici un résultat de recherche chez Grenier en situation papier crayon(1988).

Dans la démarche des tuteurs on pouvait observer un désir très fort de faire investir l'outil "droite" par les élèves. Cet outil, d'une façon générale sert à régler le support du couple de points symétriques. Ces élèves n'avaient pas exprimé (ou défini) un support particulier pour les points symétriques. Par contre, le besoin de reporter une distance était clairement exprimé. On pourrait penser que la stratégie des tuteurs pouvait être d'adhérer à l'objectif du moment des élèves qui consiste à reporter une distance ; donc à aider les élèves à se procurer d'un outil de substitution au mesurage. Ils pensent qu'avec le mesurage ils auraient résolu les problèmes qu'on leur proposait :

Observateur : vous avez jamais travaillé sur la symétrie?
 Hakima : non
 Jessica : c'est pas ça, on a ... pour mesurer, alors ça va être mieux
 Observateur : et avec mesurer vous arrivez à le faire?
 Jessica et Hakima : oui

Le tableau récapitulatif suivant correspondant à la session de travail du binôme nous permet de résumer la démarche mise en œuvre par les tuteurs humains par rapport au comportement des élèves :

BINOME 12					TUTEURS				
Réactions diverses	Conception	Procédure	Validation	Planification Intention	Tâche Problème	Diagnostic	Décision	Action	Planification Intention
	Segments de part et d'autres de l'axe et parallèles	procédure globale avec report horizontal et parallélisme des deux segments	par déplacement	Construire le symétrique de l'autre côté de l'axe et parallèle	Pb 16 	Procédure globale donc perceptive avec parallélisme	Diagnosticque - Observe - Diagnostique		Répondre la difficulté liée à l'utilisation de l'item droites parallèles
	Segment image de l'autre côté de l'axe et perceptivement à égale distance de ce dernier et de même longueur (symétrie perceptive)	procédure globale avec report horizontal et symétrie perceptive		Après référence au pliage construire l'image de l'autre côté et perceptivement à égale distance et de même longueur		Changement de Procédure proc. globale , et symétrie perceptive		envoi du pb 7	Déstabiliser la procédure "globale" et favoriser l'émergence de l'outil droite orthogonale (en utilisant un axe horizontal)
	Idem avec invariance du point sur l'axe	Idem avec invariance du point sur l'axe		construire l'image de l'autre côté et perceptivement à égale distance et de même longueur avec invariance le point sur l'axe	Pb 7 	Procédure globale donc perceptive	idem Afficher la consigne de validation	Déplacement (pour invalider la construction)	Amener l'élève à lier les points objet et image par des relations Présenter un exemple Montrer une partie de la solution " Donner une perpendiculaire"
							affiche pb	envoi du pb	

BINÔME 12				Tâche	TUTEURS			
Réaction au déplacement effectué par TH: "maintenant il faut qu'on fasse la même chose que ce qu'il a fait?"	Segments de part et d'autres de l'axe et dans le prolongement (ou à l'horizontale)	procédure globale avec report horizontal		Construire le symétrique de l'autre côté de l'axe et sur l'horizontale	Pb 19 	Procédure erronée stable. Les élèves ne savent pas que les objets doivent être liés.	Déplacement (pour invalider)	Favoriser droite ou cercle
déplacement d'un point du segment et retour à une position de symétrie perceptive	Segments de part et d'autres de l'axe, parallèles (avec report horizontal) et de même longueurs	procédure globale avec report horizontal et parallélisme		Construire le symétrique de l'autre côté de l'axe parallèle (avec report horizontal)	Pb 24 	Procédure erronée Globale report horizontal et parallélisme	Débloquer en changeant de problème	Nouveau pb
	Segment image de l'autre côté de l'axe et perceptivement à égale distance de ce dernier et de même longueur (symétrie perceptive), avec invariance du point sur l'axe.	procédure globale avec report vertical et invariance du point sur l'axe (symétrie perceptive)		construire l'image avec report vertical et invariance du point sur l'axe (symétrie perceptive)	Pb 7 	Procédure erronée Globale report vertical	affiche l'exemple	retour à pb7
							affiche l'exemple	Montrer l'exemple
								Donner un exemple et en attendant retour au pb7
								Simplifier et Amener les élèves à lier les points par des relations

BINOME 12					Tâche	TUTEURS			
								Déplacement pour monter que l'image est liée à l'objet	Vérifier les réactions des élèves par rapport à une figure dont les éléments sont liés par des relations
						Procédure erronée Globale report vertical	Construire la perpendiculaire	Construire la perpendiculaire	Motter aux élèves que la propriété de perpendiculaire est conservée par déplacement

Ils ont ensuite effectué des déplacements mais remarquant que ces segments "bougeaient " et donc que l'horizontalité n'était pas conservée, ils sont passés d'une problématique de mesure à celle de "fixer pour pas que ça bouge". En effet ils ont voulu fixer les objets pour éviter que la figure "bouge" et ce en utilisant les items "intersection de deux objets" ou "point sur objet".

	Mich.: Il faut quelque chose pour repasser le trait, pour que ça bouge plus. Séba.: Mais si tu repasses le trait, ça bouge quand même. Mich.: Eh ben voilà! Attends, j'ai trouvé.		Phil.: c'est une validation ça, ils se servent de la droite pour voir si c'est à la bonne hauteur Phil.: et là à un moment donné, pendant longtemps, maintenant ils viennent de rectifier, mais pendant longtemps, ils voulaient que le segment reste parallèle. Phil.: Ils veulent quelque chose... Ils veulent fixer, ils veulent lier. Ils font la construction et après ils veulent lier.
--	--	--	---

Fig.4.B, 13

Toujours, dans la même problématique, ils ont reproduit un quadrillage. Ce quadrillage n'est pas perçu comme relevant d'une problématique de mesure mais comme de celle de "rendre invariante" la figure par déplacement.

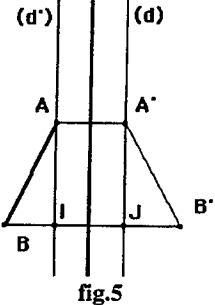
 fig.5	Séba.: alors on va faire¹ (compliqué?) Mich.: Si tu bouges un point, il faut que la figure, elle se déplace.... [...] Mich.: ... toujours symétrique. Séba.: ce point, ce segment ... c'est ça². Tu verras, tu verras. Mich.: Essaye. Séba : regarde, le spécialiste³.	¹ (il sélectionne l'item "droites perpendiculaires") ² (il vient de tracer la perpendiculaire (d) à [BB'] passant par A' fig.5) ³ (il trace ensuite la perpendiculaire (d') à [BB'] passant par A, et crée les points I (resp J) comme intersections de la droites (d') (resp (d)) avec le segment [BB'] fig.5)	Phil.: là ils cherchent des validations et ils cherchent à lier des choses et il y a de nouveau cette idée de quadrillage. [...] Phil.: en fait, il semble qu'ils perçoivent pas la mesure, enfin, ça, se sont des palliatifs à la mesure et en même temps... JeanC.: Segment... Parce que tout à l'heure, ils ont utilisé les cercles pour les ajuster.
--	--	---	--

Fig.4.B, 14

— **Le cas du binôme Antony et Morad (B3) :** ce binôme se pose une problématique de mesure. Il met en oeuvre une procédure globale donc perceptive pour la construction des extrémités du segment image. Antony a une idée de la façon de reporter une distance mais les problèmes qu'il rencontre au cours de la construction du cercle lui font changer de stratégie. En effet Antoine sélectionne l'item "cercle" désigne un point sur l'axe, mais le fait que le point ne clignote pas lui pose problème. Il abandonne alors cet item. Il interprète cela comme s'il n'y avait pas la possibilité d'utiliser l'item "cercle". Il sélectionne de nouveau cet item, demande l'aide, le centre en une extrémité et le fait passer par l'axe. Il reçoit alors le message suivant "ce point est un point de base et ne sera pas lié aux objets présents sous le curseur". Le cercle est tracé. Morad propose de le prolonger (on suppose que c'est pour le faire arriver à un endroit à égale distance de l'axe que l'extrémité (centre du cercle)). Pour contourner le problème de report de distance, ils vont essayer de créer des points et de simuler un compas en traçant et comparant deux cercles centrés chacun en une extrémité et passant par l'axe.

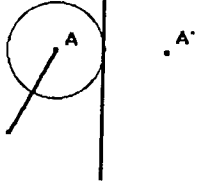
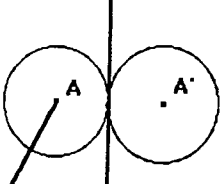
 fig.8	Ant.: je vais faire le cercle? Tu veux que je le fasse où? Mor.: de là à là, à la ligne¹ Ant.: là mince Mor.: voilà, clique Ant.: ouais! C'est bon et maintenant? Mor.: après tu fais la même chose de l'autre côté.	¹(il désigne A comme centre et l'axe, fig.8)	Phy.: ah c'est pour savoir si c'est la même distance, oui comme ils ont pas "mesurer", ils se servent du cercle et ça touche ils font le même de l'autre côté, c'est très curieux! JC () ils peuvent pas bouger les objets. Phy.: ils savent pas les bouger, les objets.
 fig.9	Ant.: ouais, ouais attends! Si tu veux faire ça, je pense qu'il devrait être plus loin... par là... un peu plus loin... voilà... ouais², ce centre³... Oh là, là! Mor.: non c'est pas là! Ant.: non il est trop loin Mor.: oui, oui c'est comme ça qu'on pourra le trouver Ant.: voilà t'es là demain hen⁴	²(il éloigne le point A') ³(il trace un cercle centré en A' et passant par un point sur l'axe, le cercle est trop gros fig.9) ⁴(il supprime le cercle centré en A')	Phy.: ils le suppriment⁵, ils l'ajustent pas, ils l'ajustent pas. JCl.: oui ils le suppriment à chaque fois Phy.: c'est une aide à la perception, c'est une aide à la perception ce cercle.

Fig.4.B, 15

Une fois les cercles construits pour les premières extrémités, les élèves procèdent de la même manière pour valider la construction de la deuxième extrémité. Restant toujours dans la même problématique de validation, les élèves construisent des segments joignant les points et leurs images pour vérifier l'alignement de chacun des points (image et objet) avec le centre d'un cercle.

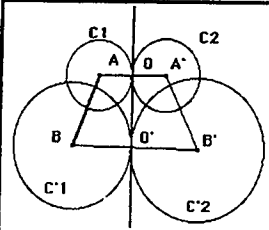
 fig.16	Mor.: essaies de faire... hen... un segment qui va de là à là¹, et si ça passe par les trois points² donc ça sera bon. Mor.: c'est ça hen? T'as que ça à faire. Ant.: oui attends on va voir... clique dans la fenêtre de message... Pour voir si ta figure reste symétrique [...] Ant.: segment, ce point, ce point³... pour l'instant, c'est bon il passe⁴ Mor.: oui, s'il passe par tous les deux en bas c'est que c'est bon. Ant.: ah mais il passe plus!	¹(de A à A' fig.15) ²(ie. par A, A' et le point O fig.16), ³(il joint A et A' fig.16) ⁴(il s'agit du segment qui passe par O fig.16). ⁵(les élèves sont entrain de tracer [AA'] et [BB'] fig.16)	
--	--	---	--

Fig.4.B, 16

Ils ont ensuite créé des droites parallèles aux segments. Le critère de validité de leur construction étant le fait que ces droites doivent se couper sur l'axe. Les droites passant par B et B' (cf. figure ci dessous) se coupant en un point non visible à l'écran, les élèves ne pensent pas à déplacer la figure ou à utiliser l'item "montrer la feuille" de Cabri-géomètre, pour montrer toute la feuille. Leur procédure est alors bloquée.

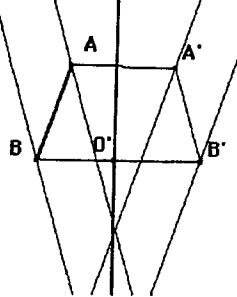
	Ant.: oui, non et ensuite je vais faire ce point¹ et cette droite. Donc ça se coupe. Mor.: ouais mais regarde! Ant.: ces deux machins, ils sont parallèles, pour l'instant, c'est juste. Mor.: là ça se coupe là [...] Ant.: normalement je devrais faire ce point², ce segment³. Oui mais on ne voit pas où ça se coupe après⁴, regarde... Mor.: eh non tu ne vois pas! Ant.: c'est trop bas⁵! Mor.: si on faisait un quadrillé comme euh...	¹ (il crée ensuite la parallèle au segment [A'B'] passant par A,) (long silence, il va de B à B') ² (il s'agit de B') ³ (il s'agit de [AB]) ⁴ (la parallèle d est tracée) ⁵ (il trace la parallèle (d') à [A'B'] passant par B)	Phy.: on dirait que... ils valident maintenant à l'aide de droite parallèle, pour savoir si c'est bien symétriques. Tout à l'heure, ils se sont servis de cercle pour voir s'ils étaient bien disposés et on dirait qu'il valide la disposition à l'aide de ces fameuses parallèles parce qu'il veut que ça se coupent sur l'axe (fig.21).. Cl.: il veut que ça se coupe sur l'axe Phy.: et si ça se coupe sur l'axe, elles sont bien placées. Moi je l'interprète comme ça.
---	--	---	---

Fig.4.B, 17

Les élèves reviennent à une problématique "il ne faut pas que ça bouge" et investissent l'outil cercle (centré sur l'axe et passant par une extrémité) apparemment pour fixer les objets. Ils procèdent par des essais successifs (construction de l'image puis cercle, puis suppression du point et du cercle, quand le cercle ne passe pas par l'image, puis construction du point du cercle...). Ils finissent par construire un cercle qui passe perceptivement par le point image. Puis, ils procèdent de la même manière pour la deuxième extrémité.

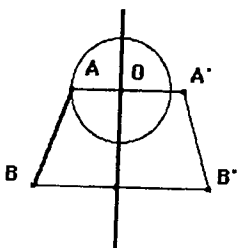
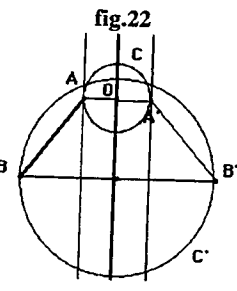
 fig.22  fig.24	Ant.: non mais ça¹, ça bouge! Tu... Si jamais tu prends un point, ça bouge. (souples) comment on pourrait faire pour pas que ça bouge?(silence). Ah attends! Si on met un cercle, de ce centre² et là³, si on veut voir si c'est bon, il faudrait que ça se coupe! Alors il faut d'abord... il faut que je regarde... si c'est bon... Déjà. Alors ce centre, ce point⁴! Non regarde, c'est pas bon⁵! Hé oui ça bouge en plus. ça bouge tout! Non... Un tout petit peu plus en arrière, le cercle⁶, voilà⁷... Ce point... il le refait! Ant.: tire-le à gauche⁸! Mor.: oh là là! Je me mets où il faut pas Mor.: là stop! Ant.: attends⁹.	¹(il désigne le segment [A'B']) ²(il désigne le point O) ³(le point A) ⁴ (il trace le cercle de centre O et passant par A fig.22) ⁵ (A' n'est pas sur le cercle, il est un peu à l'extérieur, il déplace A') ⁶ (il supprime le cercle et déplace le point A') ⁷(il refait le cercle de centre O et passant par A et tombe sur le même problème: A' est à l'extérieur du cercle) ⁸(il supprime le cercle, déplace A' vers la gauche) ⁹(il retrace le cercle)
--	--	--

Fig.4.B, 18

ou en reproduisant un quadrillage pour conforter le perceptif, en essayant de construire un triangle isocèle, ou carrément en combinant quadrillages et cercles etc.).

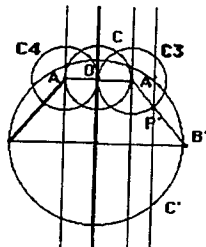
 fig.28	Mor.: tu fais des parallèles, des parallèles jusqu'à ce qu'il y en ait une qui touche le point¹. En fait après, tu comptes les cases. On les compte et on se servira des cases pour faire la, le, le point.	¹(le point B)	Phy.: en fait ils cherchent toujours à obtenir les () parce qu'ils n'ont pas la mesure JCl.: oui Phy.: oh oui ils veulent se servir des cases!
---	---	---------------------------------	--

Fig.4.B, 19

Les tuteurs humains ont eu une réaction d'observateur par rapport à ce binôme. La raison d'une telle attitude réside probablement dans le fait que

- la procédure était nouvelle pour les tuteurs. En effet ce genre de procédure n'a pas été analysé a priori et que par conséquent le tuteur artificiel ne prévoyait pas de cartes de diagnostic spécifiques à ces procédures¹⁴ (cf. figure ci-dessous).

- les tuteurs ne pouvaient pas inciter les élèves à investir des outils droite et cercle (comme ils l'ont fait pour d'autres binômes qui mettaient en oeuvre des procédures globales) puisque les cercles étaient mis en oeuvre par ces derniers (même si c'était dans une problématique différente).

Les tuteurs ont eu là aussi¹⁵ des difficultés pour réaliser un diagnostic. Les protocoles relatifs à ce binôme nous montrent une fois de plus que la complexité particulière des problèmes de diagnostic, lors des activités de résolution de problèmes, et des problèmes de la signification de ces activités relativement à un apprentissage dans le contexte de Cabri-géomètre, est liée :

- au caractère d'ouverture du micro-monde dans lequel prend place la résolution de problèmes et la possibilité offerte à l'apprenant de manipulation directe des représentations d'objets géométriques, ceci rejoint certains travaux de didactique (Laborde C, & Capponi B; 1994)

¹⁴ Lorsqu'une procédure n'a pas été analysée a priori le tuteur humain devait choisir la carte "autre cas" du tuteur artificiel et renvoyer lui même le résultat de la construction à l'élève en choisissant parmi "correcte", "incorrecte" ou "incertain"

¹⁵ Voir à ce sujet par exemple le binôme 7: Michael, Romain

- à la nécessité de prendre en compte, pour le diagnostic, un ensemble structuré d'événements relatifs à une action et à son histoire.

- au problème de l'existence du mécanisme "impasse-Réparation" et la difficulté (voire même l'impossibilité) d'une analyse a priori de certaines de ces procédures de "reparation" face à certaines "impasses".

I.3. Gestion des blocages par le tuteur humain

Dans des cas de blocage, le tuteur TI n'avait pas les moyens d'agir. Le TH a alors décidé d'intervenir pour débloquer l'élève.

Ce déblocage a pris deux formes : proposition d'un nouveau problème ou manipulation directe sur l'écran de l'élève. Rappelons que les TH disposaient de l'image temps réel de l'écran des élèves . Ils pouvaient agir directement sur cet écran et ce en affichant des aides pour un certain item, en déplaçant un élément de base, en construisant certains objets etc....

I.3.1. Proposition d'une nouvelle activité

Dans certains cas où ils ont diagnostiqué un blocage chez les élèves, les tuteurs humains ont fait un choix d'un successeur possible de la situation en cours. Ce choix a été fait dans plusieurs objectifs : amener les élèves à investir des objets comme le cercle ou la droite ou à dépasser certaines difficultés liées à l'utilisation de Cabri-géomètre ou à l'absence de l'item "mesurer", etc... Cela a été le cas par exemple de beaucoup de binômes qui ont investi des procédures de construction globales (voir par exemple le binôme Jessica et Hakima).

I.3.2. Manipulation directe sur l'écran de l'élève.

Les tuteurs humains ont agi directement sur l'écran de l'élève pour les raisons suivantes :

- déplacer un élément de base de la figure des élèves. Ces genres d'intervention apparaissent généralement au moment de validation où les élèves ne respectent pas la consigne de validation en considérant leur figure "statique" (comme sur papier-crayon) ou en effectuant de petits déplacements gardant une symétrie apparente. Il s'agit ici d'une "renégociation" du contrat de validation avec les élèves.

- supprimer un objet dans la construction des élèves. Il est arrivé (cas du binôme Sandrine et Maryline) que les tuteurs suppriment un objet défini dans Cabri-géomètre d'une façon implicite. C'est le cas de la droite perceptivement orthogonale à l'axe et du centre du cercle (défini comme point de base au lieu d'intersection de l'axe et de la droite en question).

- afficher un menu (voire positionner le curseur sur l'item visé par l'intention) pour montrer aux élèves le contenu de ce menu. Il s'agit ici de leur montrer qu'ils ont à leur disposition des outils qu'ils peuvent investir pour réaliser leur construction. Les TH ont ainsi affiché aux élèves l'item "droite perpendiculaire" pour les inciter à son utilisation. On peut supposer que certaines interventions de ce genre ont été motivées par le fait que les tuteurs, percevaient¹⁶ certains gestes des élèves (par le mouvement du curseur décrivant une droite, un cercle, etc.). Ils entendaient aussi leurs voix (lorsque ces derniers parlaient de droite, de cercle, etc.). Les TH pouvaient alors se dire que l'idée (pertinente) était exprimée par les élèves et qu'il ne leur restait que d'agir. Leur décision peut être comprise comme un moyen de les inciter à produire l'action correspondant à l'idée exprimée.

- Afficher une aide pour le traitement des problèmes lié à l'utilisation des items de Cabri-géomètre.

¹⁶ Rappelons que les tuteurs avaient sur leur écran de l'ordinateur, l'image de l'écran des élèves.

Conclusions

L'étude que nous avons entreprise porte sur la modélisation de l'interaction didactique et plus particulièrement sur l'étude des décisions didactiques des tuteurs humains. Nous nous sommes intéressés à deux types de décisions, l'un concerne l'état courant des conceptions de l'élève mis en situation (diagnostic), l'autre porte sur le choix d'une situation suivante dans une séquence didactique ou plus généralement le feedback approprié.

Nous allons reprendre quelques résultats importants qui se rapportent notamment :

- aux procédures observées chez les élèves;
- au diagnostic effectué par les tuteurs humains;
- à l'enchaînement des situations par les tuteurs humains;

l'expérimentation étant faite avec un dispositif expérimental mettant en collaboration un tuteur artificiel et un tuteur humain (principe du "Magicien d'Oz"), nous nous intéresserons également aux résultats concernant les fonctionnements et dysfonctionnements de ce dispositif. Enfin nous évoquerons les difficultés d'une telle modélisation.

I. Procédures observées chez les élèves du point de vue du chercheur

Nos travaux ont permis de confirmer certaines conceptions des élèves déjà repérées dans des travaux antérieurs en situation papier crayon (Grenier 1988).

Les productions des élèves observés relèvent en général :

- 1- d'une procédure géométrique de référence
- 2- de la spécificité de Cabri-géomètre. Il ressort de l'analyse des protocoles que les outils de Cabri-géomètre ont été utilisés en début de recherche par les élèves, dans ces cas, parfois avant même une anticipation mathématique des relations entre les objets explicités.
- 3- d'une impasse (ou situation que les connaissances courantes de l'élève ne permettent pas de résoudre).. Les impasses observées sont en général dues à :

- des difficultés liées à l'utilisation de Cabri-géomètre : devant des difficultés d'utilisation de certains items, les élèves ont changé de stratégie.
- des réactions aux messages de Cabri-géomètre : il est arrivé que les élèves reçoivent des messages de Cabri. Ces derniers ne sont pas toujours lus et parfois ils ne sont pas compris. Dans certains cas, cela a amené les élèves à changer de procédures de construction .
- une intervention de l'observateur : ce dernier n'a pas toujours été neutre dans la séance de travail. Sa présence même a incité les élèves à demander de l'aide d'une façon détournée. Il a parfois intervenu dans leur travail pour plusieurs raisons : les inciter à demander l'évaluation de la figure ou leur suggérer de déplacer des éléments de la figure pour valider ou invalider une construction. Il les a parfois empêchés de supprimer un objet qu'ils avaient construit auparavant et qui devenait non pertinent pour la construction. Ces interventions ont parfois amené les élèves à changer de procédures ou à arrêter le processus de recherche.
- une absence de certains items : la non-disponibilité des items "mesurer", "quadrillage" et "symétrique" a amené certains élèves à inventer des outils palliatifs à la mesure. En effet, devant les difficultés liées à la non-présence de ces items dans la version d'expérimentation, ils ont essayé des "bricolages" ou "réparations" en simulant un compas (sans l'explicitier ainsi) ou en tentant de reproduire un quadrillage. De la problématique "construire le symétrique", ils sont passés à d'autres problématiques (cf chap.4, § III) Pour d'autres élèves, le problème est resté insoluble.

Nous avons pu ainsi retrouver un résultat énoncé par Grenier (1988) en situation papier crayon lié au fait que les élèves considèrent que la construction précise passe par des mesures.

Les procédures observées chez les élèves sont surtout de type :

- globale avec des conceptions erronées ou globalement correctes (dans le sens où ils construisent le segment image perceptivement symétrique, c'est à dire avec une conservation perceptive de la distance à l'axe, et un segment image perceptivement de même longueur).
- et analytique (avec conception correcte ou erronée).

Les procédures semi analytiques n'ont presque pas apparus. En effet un seul binôme a mis en oeuvre cette procédure et l'a ensuite abandonnée.

Les binômes qui ont commencé à mettre en oeuvre des procédures analytiques n'ont pas changé de procédure. Parmi ceux qui ont produit des procédures globales, il y en a qui ont continué à investir le même type de procédures, les autres ont évolué vers des procédures de type analytique. Trois explications sont possibles à cette évolution des procédures :

- 1) un recours au pliage, par les élèves, comme moyen de contrôle;
- 2) un enchaînement de problèmes par les tuteurs humains;
- 3) l'existence du mécanisme "impasse-réparation". Devant des impasses (voir ci dessus) certains élèves ont fait des "bricolages" pour les dépasser opérant ainsi sur leurs procédures globales. Ces bricolages ont été faits dans des problématiques différentes : "validation de la construction", "aide à la perception" ou "contrôle perceptif ", "réajustement", et enfin pour "conforter la solution" (cf. chap.4, § III).

II. Le diagnostic par les tuteurs humains.

II. 1. Le diagnostic de l'action et de l'intention

Le diagnostic d'une action de l'élève a nécessité la prise en compte par les tuteurs humains d'un ensemble structuré d'événements relatifs à cette action et à son histoire. Les connaissances sur les procédures favorisées a priori par les problèmes proposés aux élèves ont guidé le diagnostic des actions. Cela est apparu notamment dans les relations perçues par les tuteurs humains entre les choix des valeurs des variables Axe et Segment et certaines altérations de procédures de construction. Nous avons observé que les procédures de rappel horizontal et vertical ont apparu dans 7 problèmes parmi les 12 proposés au moins deux fois par les tuteurs humains (cf. chap. 4, §. A - III.2.1).

L'objectif des tuteurs humains en opérant un choix des valeurs des variables est le suivant : savoir si le binôme d'élèves opère un rappel horizontal ou vertical, ou encore admettant cela, savoir si une modification dans les choix effectués par le binôme peut être provoquée relativement à une procédure de construction diagnostiquée déjà chez lui. Dans les deux cas le but était d'agir sur les procédures des élèves et au-delà favoriser une évolution au niveau des conceptions des élèves sur la symétrie.

Le diagnostic de l'action a posé la question difficile de la gestion de l'intention du binôme d'élèves suscitée pour les tuteurs humains par le tuteur artificiel. Les relations

mises en acte entre les objets explicités par le binôme n'ont pas toujours été construites au sens de Cabri-géomètre. On sait par ailleurs que la mise en acte seule de relations entre les objets dans Cabri-géomètre ne reste pas sans effet sur la validité d'une action réalisée, un déplacement d'objets peut rapidement invalider l'action réalisée. Ainsi nous avons retrouvé des situations déjà évoquées dans d'autres travaux comme, par exemple, le cas de l'intersection de deux objets construite/non construite (Bellemain et Capponi 1991, Bellemain 1992). Il a été souvent assez aisé aux tuteurs humains d'invalider, aux yeux du binôme d'élèves, la construction géométrique. Mais si ce dernier arrive à admettre facilement que sa construction est invalidée par déplacements d'objets, il arrive plus difficilement à comprendre ce qui la rend invalide.

La prise en compte de l'intention du binôme dans le diagnostic d'une action a été l'aspect le moins évident pour les tuteurs humains .

Le diagnostic de l'action est resté largement lié à celui de l'intention qui lui est sous-jacente. La modalité orale a été un élément important du dispositif expérimental dans le diagnostic de la relation action-intention. Grâce à cette modalité la coopération entre les tuteurs humains et le tuteur artificiel a permis la gestion de cette relation action-intention dans la mesure où un choix approprié des valeurs des variables axe et segment a été recherché et effectué par les tuteurs humains (cf. Chap.4, §.B - I.1.). Mais cette gestion reste limitée aussi dans la mesure où la question de l'intention soulève celle des implicites manipulés par les élèves et qui se sont avérés difficiles à faire expliciter aux élèves. Par exemple, dans le cas des binômes où l'action diagnostiquée persistait au niveau des procédures de construction globale, la seule issue pour les tuteurs humains a été le recours à la fonctionnalité "si blocage" du dispositif artificiel (cf. chap.4, A - III.2.1, par exemple le binôme Michaël et Sébastien).

Cela laisse le champ ouvert encore pour une recherche sur cet aspect à la fois important et difficile à gérer dans le diagnostic d'une action qu'est l'intention sous-jacente.

II.2. Diagnostic des difficultés liées au report de distance.

Comme nous l'avons souligné plus haut, le report de distance a posé beaucoup de problèmes aux élèves que ce soit chez ceux qui avaient des procédures analytiques ou ceux qui avaient au contraire des procédures globales.

Pour ces derniers, les tuteurs ont interprété les procédures globales comme relevant d'une part d'une absence de liens entre les points construits globalement et des objets

géométriques (comme les outils droite orthogonale à l'axe et cercle dans cabri) et d'autre part, d'un non-investissement des outils de Cabri-géomètre.

Ils sont alors entrés dans des problématiques "comment leur faire lier les objets" et "comment leur faire investir les outils appropriés". Ils ont parfois proposé une situation qui induit fortement l'utilisation des outils cercle et/ou droite (le problème Pb 18 pour le binôme Sandrine et Maryline cf. §I.2.2.b). Cette démarche ressemble à une espèce "d'effet Topaze" identifié par Brousseau [1986]. Tout se passe comme si l'apprentissage des élèves passait par la production de "*l'effet Topaze*" et de son "*dépassement*". L'effet Topaze est produit dans le problème Pb 18 (pour le même binôme). Il est reproduit dans le problème suivant Pb 2 qui favorise fortement l'utilisation de droites perpendiculaire. Le dépassement est réalisé à l'aide de celui-ci où les élèves investissent la bonne procédure (cf. chap.4, partie B, Fig.4.B, 1).

III. Les stratégies de guidage par les tuteurs humains

La stratégie initiale des tuteurs humains a été d'essayer d'amener les élèves à construire l'image d'un segment par symétrie par eux mêmes. Des segments images ont été obtenus (cf. chap. 4, §.A - I.1.). Les réussites ont été obtenues dans un contexte bien défini d'aide et de guidage par des moyens tels que : afficher un message d'aide, intervenir sur l'écran de l'élève, choisir une situation successeur par un jeu sur les valeurs des variables "Axe" et "Segment".

Nous avons pu observer que les tuteurs TH ont été amenés à tester l'efficacité des réussites en cherchant une mise à l'épreuve de la procédure de construction de l'élève. Et en cas de réussite encore, cette mise à l'épreuve a été explicitée par les TH comme nécessitant la complexification d'une situation suivante.

Le guidage des TH a été plus important dans les cas où les binômes d'élèves étaient en situation d'échec. Deux issues ont été observées. Dans l'une, un passage du binôme d'une situation d'échec à une situation de réussite a été observé (2 binômes sont dans ce cas). Dans l'autre, les binômes d'élèves n'ont pas pu dépasser la situation d'échec à laquelle ils étaient confrontés (6 binômes ont relevé de ce cas) (cf. chap. 4, §.B- I.1.). Dans ce dernier cas, les tuteurs humains ont été amenés à décomposer la tâche proposée aux élèves afin d'aider à sa réalisation. Par exemple, ils ont cherché à faire construire l'image de seulement une extrémité du segment objet ou à simplement faire investir les outils droite, cercle, même si la procédure de construction de l'élève est reconnue par ailleurs erronée (cf. par exemple : chap. 4, §. B-I.2.2.1.: le binôme Jessica et Hakima).

Les choix stratégiques adoptés par les tuteurs humains dans leur démarche pourraient être interprétés comme un paradoxe : "aider pour réussir en cas d'échec et essayer de faire échouer en cas de réussite" (cf. chap.4, partie B).

Dans cette stratégie des TH, 5 binômes sur les 11 observés ont produit un segment image, dont 2 binômes sont passés d'une situation d'échec à une situation de réussite

IV. Complexification de la situation et choix des valeurs des variables

Dans leur démarche, les tuteurs humains ont explicité une gestion de la séquence didactique qui s'est caractérisée par une progression dans le choix des valeurs des variables "Axe" et "Segment" de la manière suivante :

Dans une première étape, un segment objet ayant une intersection vide avec l'axe de symétrie a été perçu par les tuteurs humains comme pouvant assurer un bon démarrage de la séquence didactique. L'explicitation des procédures de constructions des élèves a été ainsi favorisée. Un choix sur les valeurs des variables a été opéré par les tuteurs pour agir sur ces procédures. En effet, avec le choix d'un axe vertical par exemple, nous avons pu observer l'explicitation de droite perpendiculaire à l'axe ou encore un report horizontal. Mais, dans tous les cas la séquence didactique n'a pas été bloquée à son début.

Deux issues ont été observées : dans l'une le binôme d'élèves a pu produire un segment symétrique, dans l'autre la procédure de construction du binôme n'a pas permis d'obtenir un segment symétrique.

Les situations où le segment objet a une extrémité sur l'axe ont eu un double statut pour les tuteurs humains. Pour les binômes ayant réussi à produire un segment symétrique, de telles situations ont été perçues par les tuteurs humains comme ayant un caractère de complexité pertinent pour une mise à l'épreuve de la procédure de construction du binôme. Un binôme qui montre une aptitude à réadapter sa procédure à de telles situations et qui produit un segment symétrique a été estimé comme possédant une certaine maîtrise de la notion de symétrie (cf. chap.4, partie B § I.2.1). Par contre pour les binômes n'ayant pas obtenu un segment symétrique, ces situations ont été considérées par les tuteurs humains comme "facilitatrices" de réussite dans la production du segment symétrique pour deux raisons (cf. chap.4, partie B § I.2.2.1) :

- seule une extrémité image est à construire, l'autre extrémité étant invariante par symétrie car située sur l'axe (décomposition de la tâche),
- ces situations favorisent l'émergence des outils droite comme support du segment objet et cercle centré en l'extrémité invariante et de rayon ce segment.

Nous avons pu observer que ces situations ont permis à seulement deux binômes de dépasser l'échec parmi les 8 binômes en échec au début de la séquence didactique.

En ce qui concerne les binômes qui ont réussi à de telles situations, une autre étape a été abordée par les tuteurs humains dans la mise à l'épreuve des procédures des élèves : choix de deux extrémités invariantes ou globalement invariantes. Ces choix des valeurs des variables ont été perçus comme ayant un caractère de complexité encore plus important (cf. chap 4. partie B§- I.1.1) . Dans cette démarche, une maîtrise de la notion de symétrie dans l'ensemble de ces trois étapes apparaît pour les tuteurs humains comme permettant d'attester de l'acquisition de cette notion de symétrie par l'élève.

V. Stratégies des tuteurs liées à la difficulté de report de distance

Les tuteurs ont essayé, pour certains élèves, de leur proposer des situations pour les amener à investir les objets cercle ou droite. Mais pour d'autres, ceux qui comme les binômes Sébastien-Michael et Morad-Antoine, essayaient de pallier à la mesure en créant des objets et en ajustant leurs points images créés globalement, donc d'une façon perceptive, les tuteurs n'ont pas eu la même démarche. Ils ont eu surtout une attitude d'observateurs devant la nouveauté et l'originalité de la procédure des élèves. Les tuteurs n'ont pas proposé des situations qui amèneraient les élèves à investir les cercles (puisque ces cercles étaient présents et utilisés par les élèves). Nous nous attendions à ce qu'ils manifestent par exemple le souhait de donner une sous tâche concernant le report de distance mais ils ne l'ont pas fait.

Dans une situation de classe, l'enseignant a toujours la possibilité de familiariser les élèves avec l'utilisation du compas pour reporter une distance. Nous avons alors prévu dans notre dispositif une sous tâche de report de distance qui peut aller (en demandant une aide) jusqu'à montrer à l'élève comment utiliser le cercle pour reporter une distance. Cette sous tâche a été inspirée du travail sur Hypercarré (Laborde. C et al 1991).

Dans une discussion avec les tuteurs, nous avons compris qu'ils ne savaient pas qu'il y avait une sous tâche pareille malgré la phase de familiarisation des tuteurs avec le dispositif expérimental.

VI. Le dispositif expérimental

VI. I. La modalité orale

Les échanges d'information entre les tuteurs humains et les binômes d'élèves se faisaient de façon dissymétrique dans la mesure où les tuteurs avaient la possibilité de voir l'écran des élèves et de capter leur discours oral alors que les élèves n'avaient pas ses possibilités ni même une connaissance de leur existence. Dans cette dissymétrie le rôle de la modalité orale dans le diagnostic et dans les décisions didactiques a été important dans la mesure où la part d'incertitude concernant l'intention sous-jacente aux actions des élèves a été réduite. Par exemple le binôme Romain-Mikael (B7), qui a mis en oeuvre une procédure de construction globale, introduit la notion de triangle isocèle pour pallier aux difficultés liées à la mesure. Il ramène une extrémité et son image sur l'axe. Sans la modalité orale, cette situation aurait pu induire différentes lectures de l'action des élèves (par exemple que les élèves s'intéressent aux points d'invariance de l'axe).

Le retour son a aussi joué un rôle important dans les diagnostics des tuteurs pour le binôme Sonia-Christelle et dans le choix d'une situation suivante (cf., chap.A, partie A §III.1).

Cela laisse donc la possibilité pour une étude certainement très enrichissante sur le diagnostic et les décisions des tuteurs humains sans la modalité orale.

VI. I. Le fonctionnement

a. Les tuteurs humains et artificiel

La spécificité des objets du dispositif artificiel a permis de générer un aspect important dans l'action réalisée par les élèves : l'intention qui lui est sous-jacente et les implicites qu'elle peut soulever. De ce point de vue nous avons pu observer la complexité exprimée par les tuteurs humains dans la réalisation du diagnostic d'une action et la prise d'une décision à son sujet (cf. chap.4, Fig.30, §. A - III.1 et B - §.I.2.2.1). En effet, la suite des choix effectués par les tuteurs humains sur la base d'un diagnostic réalisé n'a pas toujours été exprimée par eux comme satisfaisante. Cette position des tuteurs humains face à leurs choix leur a parfois été confirmée dans sa relativité par ce que les

élèves leur renvoient : une persistance dans une démarche empirique et l'explicitation encore d'une procédure globale où la dimension du perceptif reste dominante.

Les tuteurs, au début de leur travail ont eu parfois quelques difficultés :

- à réaliser un diagnostic surtout pour les procédures globales avec conception "parallélisme". Ces difficultés n'ont pas gêné le travail des tuteurs dans la mesure où quelle que soit la procédure erronée, le tuteur artificiel leur renvoyait la même carte correspondant à une construction globale où ils devaient choisir les valeurs des variables Axe, Segment, Angle et Intersection.
- à envoyer une aide aux élèves. En effet, ils devaient passer par un bouton "blocage" pour pouvoir afficher un item aux élèves, effectuer un déplacement ou faire une autre intervention. Ils leur arrivaient parfois de "se disputer la main" avec les élèves.
- à comprendre un message dans l'une des piles du tuteur artificiel. En effet deux interprétations différentes ont été données au mot "au jugé" dans la carte globale. Cette difficulté, là non plus n'a pas eu de conséquence sur le diagnostic pour les raisons citées ci dessus (concernant la carte de la pile de diagnostic liée à la procédure "globale").
- il y a eu parfois des problèmes de gestion et de coordination, en temps réel, des modalités multiples offertes par la communication (problème de coordination par TH des informations sur l'activité de l'élève (écran, retour son)). Le tuteur devait suivre les messages envoyés par la machine, le discours des élèves, les interpréter, prendre en compte l'historique de l'activité de l'élève et réagir et ce :
 - en saisissant sur une grille des descripteurs élémentaires qu'il a associé à cette activité. Cette description devait permettre de rejouer la construction de l'élève sur un problème de la même classe. C'est la tâche de diagnostic comportemental. Cette grille a été traitée par le tuteur artificiel.
 - en choisissant le feed back le plus approprié vers l'élève (messages d'aides, démonstration d'exemples, déplacement, nouveau problème..). Dans ce dernier cas, le problème était soit choisi parmi l'ensemble des problèmes proposés par TA soit défini par TH dans le cas où il n'était pas d'accord avec les choix proposés.

Ces contraintes de communication apportées par le système ont eu des impacts sur les décisions du TH. Elles ont provoqué une non prise en compte, par le TH, de certaines

informations venant de l'élève. En effet dans cette situation TH a été conduit à ignorer certaines informations venant du poste élève (cf . Chap4, Fig.4.A, 40)

b. Les élèves et les feedback

Réactions des élèves aux messages de validation par déplacement :

Les élèves réagissent aux messages de validation par déplacement (messages textuels envoyés par le tuteur artificiel ou messages en acte, c'est à dire les déplacements effectués par le tuteur humain) de différentes façons :

- ils ne comprennent pas le message textuel (cas des binômes qui n'ont pas compris le message de validation par déplacement (TA), l'observateur les a aidés en expliquant ce qu'il fallait déplacer comme éléments pour valider ou invalider la construction). C'est le cas du binôme Sonia-Christelle.

- ils ne comprennent pas le déplacement effectué par le tuteur humain ou en font des lectures différentes de celles attendues par ce dernier En effet Certaines actions du TH (simulations) visant à apporter une explication sophistiquée, n'ont pas eu l'impact escompté car mal interprétées ou mal comprises par les élèves. Des explications orales, dans une communication directe entre le TH et les élèves auraient seules permis de lever les implicites ou les ambiguïtés. Une telle communication permettant de négocier la signification de l'action engagée. En effet dans notre dispositif, le TH peut agir sur l'écran de l'élève. Cette intervention peut revêtir une forme d'aide (comme afficher des messages d'aides pour l'utilisation de certains items, montrer un exemple...), mais son intervention n'est pas commentée par TA ce qui fait que le sens donné par TH à ses interventions n'est pas toujours compris par l'élève. Certaines actions du TH (comme le déplacement d'un élément d'une figure, l'affichage d'un exemple) n'ont pas eu l'impact escompté par ce dernier car mal interprétées ou mal comprises par les élèves. Les démonstrations ou déplacements de figures devraient être parfois appuyés par des explications verbalisées ou écrites qui établiraient une communication directe entre le TH et l'élève.

Le binôme Hakima-Jessica n'exprime rien à propos du déplacement mais l'observateur interprète le déplacement du tuteur. Par la suite le binôme réagit au déplacement effectué par TH en se posant des questions sur le but d'un tel déplacement, sur l'attente de TH. Pour le même binôme, le TH arrive à lui faire voir, à partir d'un exemple qu'un point symétrique "bouge" (quand le point objet "bouge"). L'intention du

tuteur est de leur faire comprendre que les objets doivent être liés, mais le fait que les élèves réalisent que le point objet et son symétrique se déplacent "pareil" ne veut pas dire que les élèves associent à cela un problème de liaison par des relations géométriques et par des objets. D'ailleurs dans la figure les seuls objets présents étaient l'axe et les deux points et faire comprendre aux élèves une telle chose paraissait être très difficile.

Réactions des élèves aux messages du tuteur artificiel

Du côté du tuteur artificiel, les messages ont été mal adaptés dans certains cas. En effet,

- dans des cas de figures, où le segment est perceptivement parallèle, ou perpendiculaire à l'axe, il est arrivé que les élèves fassent un bon report de distance et tracent des droites perceptivement orthogonales à l'axe. Le message d'évaluation envoyé par le tuteur artificiel n'était pas adapté, il ne tenait pas compte de la spécificité du cas de figure : il était le même quelle que soit la procédure erronée. Il aurait fallu envoyer aux élèves des messages de type "ta construction est correcte dans ce cas de figure mais pas dans le cas général" et faire, éventuellement, suivre par un déplacement pertinent pour l'invalidier;

- dans des cas de blocage, le message envoyé par le tuteur artificiel ne prévoyait pas la possibilité du retour de l'élève à sa construction. Il prévoyait un arrêt ou un passage à une nouvelle situation. Il est arrivé que la décision du tuteur humain aille à l'encontre de celle de l'élève qui voulait continuer à travailler sur la même figure.

Réactions des élèves aux messages de Cabri-géomètre

Les messages de Cabri ont parfois posé des problèmes aux élèves. Ils ne sont parfois pas compris. Pour contourner ces difficultés il est arrivé que les élèves réagissent en abandonnant la procédure mise en oeuvre et en changeant de stratégie.

Rémi.: ça veut dire quoi ce qu'il dit?() (il vient d'obtenir le message "un objet identique est déjà construit" en essayant de construire un segment)

Spécificité des objets de Cabri-géomètre

La spécificité des objets de Cabri-géomètre, notamment le déplacement d'objets, a permis l'explicitation chez les élèves de procédures de construction globale où l'aspect perceptif a été un élément dominant : le repérage de points symétriques dans le plan matérialisé par l'écran de l'ordinateur a été produit par création et modification par déplacement d'objets (points et segments) (cf. chap.4, §.III.1. par exemple le binôme

Sonia et Christelle). Les outils de Cabri-géomètre ont été utilisés comme nous l'avons souligné plus haut, en début de recherche par les élèves, dans ces cas, parfois avant même une anticipation mathématique de relations entre les objets explicités. Cette démarche dans la production du segment image nous semble rejoindre celles déjà évoquées par d'autres travaux en situation de type papier-crayon ou informatisée : les démarches empiriques, assez fréquentes en géométrie chez les élèves de lycée (Audibert 1982, Keskessa 1992). Les stratégies empiriques des élèves sont renforcées par le fait que les commandes de construction sont disponibles. Les élèves ont parfois choisi de construire l'image par essais successifs de diverses combinaisons de menus. Dans ces cas, ce n'est pas l'usage des connaissances mathématiques qui a contrôlé le processus de tracé mais la recherche d'une suite de menus conduisant à une figure qui sera validée par le déplacement.

IV Les difficultés d'une modélisation de l'interaction didactique

Certains résultats obtenus par notre étude nous amènent à formuler quelques remarques quant aux difficultés qui peuvent être rencontrées lors d'un projet de modélisation de l'interaction didactique .

— Difficulté de repérer les intentions et les objectifs de l'apprenant en cours de son action.

Le dispositif permet de voir certains messages comportementaux comme des déplacements d'éléments de figures, monstrations de certains éléments à l'aide de la souris mais ne permet pas de voir d'autres actions de l'élève (par exemple les gestes de désignation et/ou de dessin d'un objet avec la main sur l'écran de l'ordinateur).

Les voies de communication de l'ordinateur sont très restreintes. Le dispositif permet de voir certains messages comportementaux comme des déplacements d'éléments de figures, monstrations de certains éléments à l'aide de la souris..mais ne permet pas de voir d'autres actions de l'élève (par exemple les gestes de désignation et/ou de dessin d'un objet avec la main sur l'écran de l'ordinateur) Les données utilisées par les tuteurs humains sont donc pour l'essentiel celles saisies à l'interface de la machine, à l'aide du clavier ou de la souris (ainsi que le discours des élèves dans notre cas). . Une interprétation par les tuteurs humains est effectuée à partir de ces éléments pour avoir des données jugées pertinentes en rapport avec la problématique en question. Ces données serviront pour la prise des décisions didactiques et pour le diagnostic. L'interprétation en

temps réel des données saisies à l'interface du système, la difficulté de distinguer entre ce qui relève du "bruit" (par exemple, ce qui n'est pas pertinent pour la tâche concernée, dans le sens où il n'est pas lié à une conception sur la notion) et de l'information pertinente font que la réalisation d'un "bon diagnostic" et par conséquent la détermination d'un modèle de l'élève soit très difficile.

En effet le fait qu'il existe des informations des élèves non accessibles aux tuteurs humains rend difficile l'interprétation et le diagnostic des procédures et conceptions des élèves. En effet dans leurs activités ces derniers communiquaient par la parole, et les gestes. Dans les protocoles des élèves, ces gestes apparaissent sous deux formes : gestes de la main ou par un déplacement du curseur montrant une direction, un endroit, ou traçant un cercle etc. Seul le geste engendrant un déplacement du curseur a pu être perçu par les tuteurs humains sans pour autant que l'intention sous-jacente leur ait été toujours accessible.

De plus il a été difficile de suivre/interpréter en temps réel ce que les élèves mettent en oeuvre comme relations entre les objets qu'ils construisent à l'écran et de prendre des décisions en temps réel. Le diagnostic est à réaliser à terme, mais certains faits ne prennent du sens qu'a posteriori, avec d'autres événements. Il est nécessaire de prendre en compte pour le diagnostic un ensemble structuré d'événements relatifs à une action de l'élève, en particulier à le remplacer dans l'histoire de l'interaction.

—Caractère d'ouverture du micro-monde Cabri.

La complexité particulière des problèmes de diagnostic, lors des activités de résolution de problèmes, est liée au caractère d'ouverture du micro-monde dans lequel prend place la résolution de problèmes et la possibilité offerte à l'apprenant de manipulation directe des représentations d'objets géométriques.

— Spécificité des objets de Cabri-géomètre

La disponibilité des outils de Cabri-géomètre peut inciter les élèves à les utiliser, en début de recherche, parfois avant même une anticipation mathématique de relations entre les objets explicités. Dans ces cas, ce n'est pas l'usage des connaissances mathématiques qui contrôle le processus de tracé mais la recherche d'une suite de menus conduisant à une figure qui sera validée par le déplacement. Ces stratégies sont en général difficile à prévoir ainsi que les décisions didactiques les concernant.

L'existence des implicites dans Cabri-géomètre et chez l'élève peut elle aussi présenter des difficultés au niveau du diagnostic (cf annexe chap.2, modèle comportemental).

—L'existence du mécanisme Impasse-Réparation

Le diagnostic a été difficile à réaliser pour des élèves qui devant l'impasse mesure ont essayé des palliatifs à cet item. Si on s'intéresse à une modélisation à la BUGGY, générer des procédures tenant compte entre des intentions, des implicites et de tous les bricolages et réparations peut être très coûteux et même utopique! Cette difficulté est d'autant plus grande dans un micro monde aussi riche que Cabri-géomètre et avec des élèves qui nous étonneront toujours par leurs ingéniosité. Il y aura toujours des procédures non analysées a priori et donc non diagnosticables. Mais la difficulté ne réside pas seulement dans le fait de générer des procédures altérées mais de traiter, par des moyens appropriés, le problème de l'existence de ces mécanismes chez les élèves.

— Difficulté d'envoyer à l'élève le feed back approprié

Une des difficulté de choix du feed back approprié réside dans le fait qu'un bon diagnostic ne garantit pas toujours la bonne décision.

Ceci nous amène à un système de partenariat entre le tuteur informatique et le tuteur humain. Le tuteur informatique prend en charge tout ce qui est analysable de façon algorithmique. Le tuteur humain quant à lui peut intervenir sur les problèmes de diagnostic complexe (diagnostic incertain, irréalisable car procédure non analysée a priori, existence de bruit...) . Ce dernier peut éventuellement communiquer avec l'élève en lui posant des questions pour essayer de lui faire expliciter ses intentions etc...

Bibliographie

- Almouloud (1993) Alimouloud S. et Giorgiutti I. (1991) : EIAO et Diadactique : le cas de DEFI; outil didactique et aide à la recherche. *Deuxièmes journées EIAO de Cachan. 1993*. Collection Colloques Scientifiques ; Les Editions de l'ENS de Cachan.
- Arsac G., Develay M., Tiberghien A. (1989) : La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie. IREM et LIRDIS, Lyon.
- Arsac G., Balacheff N., Mante M. (1992) : Teacher's role and reproducibility of didactical situations. *Educational Studies in Mathematics* 23 ; 5-29, 1992, pp. 5-29.
- Audibert G. (1982) : *Démarche de pensée et concepts utilisés par les élèves de l'enseignement secondaire en géométrie euclidienne plane*. Thèse d'état, Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
- Balacheff N., Laborde C. (1985) Interaction sociale, *Psychologie sociale du développement cognitif*, Peter Lang, Bern.
- Balacheff N. (1991) : Contribution de la didactique et de l'épistémologie aux recherches en EIAO. in : C. Bellissant (Ed.), *Actes des XIII^e journées Francophones de l'informatique, Grenoble, IMAG - CNRS*.
- Balacheff N. (1992) : Exigences épistémologiques des recherches en EIAO; *Génie Educatif*, n°4&n°5, septembre et decembre 1992, pp.4-14.
- Baulac Y. (1990) : *Un micromonde de géométrie Cabri-géomètre*. Thèse d'Université, LSD2-IMAG, Université Joseph Fourier.
- Bellemain F., Capponi B. (1991) : (article sur une séquence d'enseignement paru dans *Educational Studies in mathematics* *** A compléter).
- Bellemain F. (1992) : *Conception, réalisation et expérimentation d'un logiciel d'aide à l'enseignement de la géométrie : Cabri-géomètre*. Thèse d'Université, LSD2-IMAG, Université Joseph Fourier.

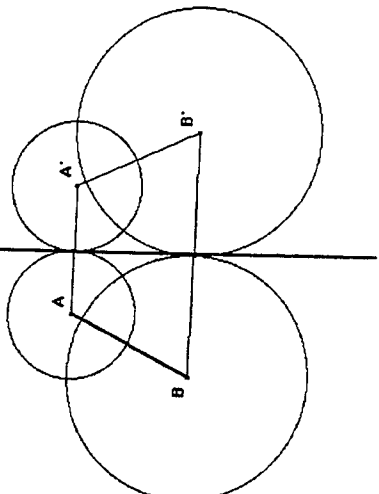
- Briggs B. (1986) : Intégration et conflit dans la classe. Nouvelles technologies et anciens savoir-faire. *Recherche en sciences de l'éducation et formation des enseignants*. Association for Teacher Education in Europe. 11^{ème} congrès de Toulouse-France 1-5.9. 1986, pp.208-209.
- Brousseau G. (1986) : Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*. Edition La Pensée Sauvage, vol.7/2, pp. 33-115.
- Brousseau G. (1990) : Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*. Edition La Pensée Sauvage, vol.9/3, pp. 309-336.
- Brousseau G. (1991-1992) : Modélisation informatique dans la gestion des processus didactiques. *Didactique et technologies cognitives en mathématiques. Séminaires 1991-1992*. DidaTech, LSD2-IMAG, Université Joseph Fourier.
- Brown et al (1973) Brown J.S; Burton R.R; and Zdydel F. (1973) A model-driven question-answering system for mixed-initiative computer-assisted instruction. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol.3, pp.
- Brown et al (1976) Brown J.S; Rubinstein R. ; and Burton R.R (1976) Reactive learning environment for computer-assisted electronics instruction.BBN report 3341.Bolt Beranec and Newman Inc, Cambridge, Massachusetts.
- Brown et al (1982) Brown J.S; and VanLehn K. Repair theory : a generative theory of bugs in procedural skills. *Cognitive science*, vol.4, pp.379-426.
- Burton R.R. (1982) : Diagnosing bugs in a simple procedural skill. In Sleeman, D.H.; and Brown J.S. (Eds) *Intelligent Tutoring Systems*. Academic Press, London.
- Chevallard Y. (1989) : Le concept de rapport au savoir. Rapport personnel, rapport institutionnel, rapport officiel. *Actes du Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique*, Université de Grenoble I.
- Chevallier R. (1992) : *STUDIA : mise en oeuvre d'un modèle dynamique de dialogue dans un Tuteur Intelligent..* Thèse de doctorat de l'Université du Maine,
- Elsom-Cook M. (1990) : Generative Student Models : The Limits of Diagnosis and Remediation. pp. *Guided Discovery Tutoring . A Framework for ICAI Research*, Paul Chapman Publishing, London, 1990.

- Elsom-Cook M. (1991) : Dialogue and teaching styles, pp. 61-83, in Peter Goodyear, *Teaching knowledge And Intelligent Tutoring*. Ablex publishing corporation, Norwood, New Jersey.
- Giorgiutti et al. (1991) : Interaction micromonde/tuteur en géométrie : le cas de Cabri-géomètre et de DEFI. *Deuxièmes journées EIAO de Cachan*. Collection Colloques Scientifiques ; Les Editions de l'ENS de Cachan ; pp.11-31.
- Guin D. (1991) : Nécessité d'une spécification didactique des environnements informatiques d'apprentissage. *Deuxièmes journées EIAO de Cachan*. Collection Colloques Scientifiques ; Les Editions de l'ENS de Cachan ; pp.253-260.
- Grenier D. (1988) : *Construction et étude du fonctionnement d'un processus d'enseignement sur la symétrie orthogonale en sixième*. Thèse d'Université, LSD2-IMAG, Université Joseph Fourier.
- Laborde J.M. & Straësser R. (1990) : A microworld of geometry for guided discovery learning. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 5, pp. 171-190.
- Laborde C. (1990) : L'enseignement de la géométrie en tant que terrain d'exploration de phénomènes didactiques. *Recherches en didactique des mathématiques*. Edition La Pensée Sauvage, vol.9/3, pp. 337-363.
- Laborde Colette, & Capponi Bernard (1994). Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 14 (1) (sous presse).
- Luengo V. (1993) : *Contraintes infomatiques et apprentissage de la démonstration à propos de trois logiciels*. Mémoire de DEA; LSD2-IMAG, Université Joseph Fourier.
- Margolinas C. (1989) : *Le point de vue de la validation : essai d'analyse et de synthèse en didactique des mathématiques*. Thèse d'Université, LSD2-IMAG, Université Joseph Fourier.
- Nicaud J.F. (1988) : Nicaud J.F et Vivet M. :les tuteurs intelligents :réalisation et tendances de recherches; *Technique et Sciences Informatiques*, vol.7, n°1, pp 22-45.

- Nicaud J.F. (1989) : APLUSIX :un système expert pédagogique et un environnement d'apprentissage dans le domaine du raisonnement algébrique; Technique et Sciences Informatiques, vol.8, n°2, pp 145-155.
- VanLehn K.(1987) Learning one subprocedure per lesson. Artificial Intelligent, vol.31, n°1, pp.1-40.
- Vergnaud G. (1984) : Interaction sujet-situation; Actes de la 3ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques, Grenoble, pp.22-42.
- Vergnaud G. (1990) : La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*. Edition La Pensée Sauvage, vol.10/2.3, pp. 133-170.
- Vivet M. (1991) : Usage des tuteurs intelligents : prise en compte du contexte, rôle du maître. *Deuxièmes journées EIAO de Cachan*. Collection Colloques Scientifiques ; Les Editions de l'ENS de Cachan ; pp. 239-246.
- Wenger E. (1987) : *Artificial Intelligence and Tutoring Systems. Computational and Cognitive Approches to the Communication of Knowledge*. Ed. Morgan Kaufman.

ANNEXES

Solution de l'élève

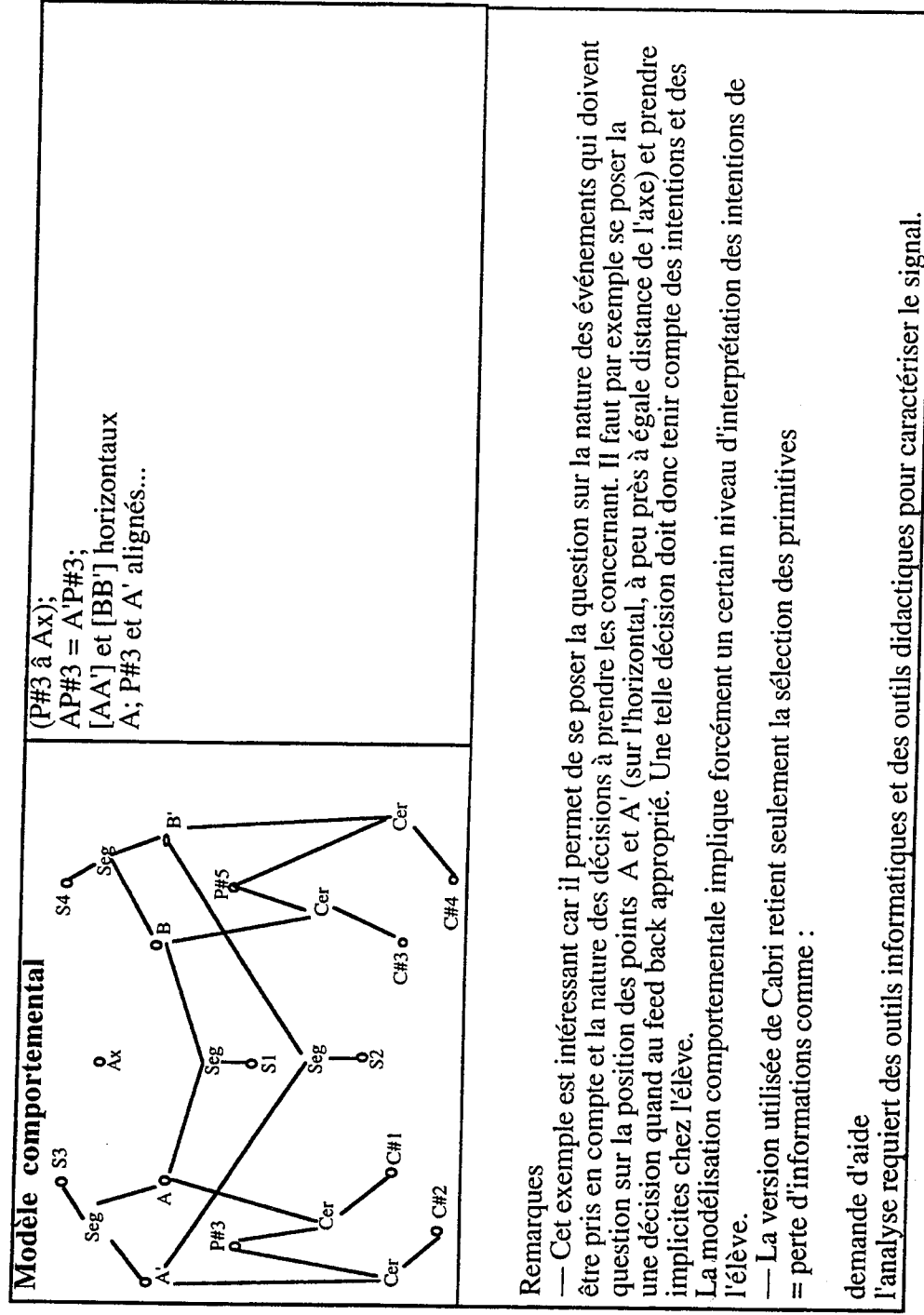


Représentation de la solution dans un langage proche de la langue naturelle

Enoncé de "Figure n° 1"

La figure comporte 15 objets.

Ax : droite quelconque
 A : point quelconque
 B : point quelconque
 segment [A B]
 P#3 : point quelconque
 C#1 : cercle de centre A passant par P#3
 C#2 : cercle de centre A' passant par P#3
 P#5 : point quelconque
 C#3 : cercle de centre B passant par P#5
 B' : point quelconque
 C#4 : cercle de centre B' passant par P#5
 segment [A' B']
 segment [A B']



A la buggy avec les altérations (modification de certaines règles en substituant un objet à un autre)

B0 (Image segment (point A, point B, droite Axe) (segment S))
OU

(Image_analytique_segment (point A, point B) (segment S)) **B1**

B1 (Image analytique segment (point A, point B) (segment S))
ET

r11 (Image_de_point (point A) (point A') et (Image_de_point (point B) (point B'))
B11

r12 (segment S) = (C_Segment, point A', point B')

B11 (Image_de_point (point A) (point A') et
(Image_de_point (point B) (point B')) OU

r111 si construction indépendante alors **B111**

r112 si construction dépendante alors **B112**

B111 Construction indépendante ET

r1111 (Image_de_point (point A) (point A')) **B5**

r1112 (Image_de_point (point B) (point B')) **B5**

B112 Construction dépendante ET

r1121 (Image_de_point (point A) (point A')) **B5**

r1122 (Puis_image_de_point (point B) (point B')) **B1121**

B1121 (Puis_image_de_point (point B) (point B')) ET

r11211 (droite D1) = (C_droite, point A, point B)

r11212 (point I) = (C_intersection, droite D1, droite Axe)

r11213 (droite D2) = (C_droite, point Image A', point I)

(droite D2) = (C_droite-parallèle, (C-droite, point
A, point B), point Image A')

(droite D2) = (droite quelconque)

r11214 (objet_intermédiaire () (objet O)) **B4**

r11215 (point B') = (C_intersection, droite D2, objet O)

(point B') = (C_point sur objet, droite D2)&si O

non tracé&

(point B') = (C_point sur objet, objet O)&si D2 non

tracé&

(point B') = (point qqe) &si D2 et O non tracés&

B4 (objet intermédiaire () (objet O)) OU

r41 (droite_orthogonale (droite Axe, point B) (objet O)) **B41**

r42 (objet O) = (C_cercle, (C_point sur objet, droite Axe), point B)

(objet O) = (C_cercle, (C_intersection, droite Axe, (C-droite, point
A, point image A'), point B)

(objet O) = (C_cercle, (C_point sur objet, droite Axe), point B)

(objet O) = (C_cercle, point B, point A)

(objet O) = (C_cercle, point B, point qqe)&point qqe, de l'autre côté de
l'axe et à peu près à égale distance de l'axe que B, cette procédure est non
validée par cabri, pb de report de distance : l'élève a la notion de report de
distance avec l'outil de Cabri(cercle) mais ne sait pas faire&

B41 (droite_orthogonale (droite Axe, point B) (objet O)) OU
(objet O) = (C_droite orthogonale, segment, point B)

(objet O) = (C_droite "de rappel horizontal", point B)&cette droite est perceptivement orthogonale à l'axe t dans le cas de l'axe vertical et elle est horizontale dans le cas où l'axe est oblique &
 (objet O) = (C_droite "de rappel vertical", point B)&cette droite est perceptivement orthogonale à l'axe dans le cas de l'axe horizontal &
 (objet O) = (C_droite "de prolongement", point B) &cette droite est dans le prolongement de la droite (AB) si l'axe est oblique et le segment vertical (prolongement vertical) ou horizontal (prolongement horizontal)&

(objet O) = (C_droite parallèle, (C_droite, point A, point A'), point B)
 (objet O) = (C_droite perceptivement parallèle, (C_droite, point A, point A'), point B) & si segment parallèle à axe alors, cette droite perceptivement parallèle à (C_droite, point A, point A') est verticale dans le cas de l'axe horizontal et elle est horizontale dans le cas où l'axe est vertical (donc perceptivement orthogonale à l'axe) ou oblique &

B5 (Image de point (point A) (point A')) OU

si Point n'est pas sur l'axe alors transport de Point B51

si VRAI alors FAIT

B51 Transport de Point OU

(Image_ par intersection de cercle et de droite _de_point (point A) (point A')) B511

(Image_ par intersection de cercles _de_point (point A) (point A')) B512

B511 (Image_ par intersection de cercle et de droite _de_point (point A) (point A')) ET

(droite D) = (C_droite orthogonale, droite Axe, Point A)

(droite D) = (C_droite orthogonale, segment, point A)

(droite D) = (droite "de rappel horizontal", point

B)&cette droite est perceptivement orthogonale à l'axe t dans le cas de l'axe vertical et elle est horizontale dans le cas où l'axe est oblique &

(droite D) = (droite "de rappel vertical", point A) &cette droite est perceptivement orthogonale à l'axe dans le cas de l'axe horizontal &

(droite D) = (droite "de prolongement", point A) &cette droite est dans le prolongement de la droite (AB) si l'axe est oblique et le segment est vertical (prolongement vertical) ou horizontal (prolongement horizontal)&

(centre_ du_cercle() (point I)) B5111

(cercle C) = (C_cercle, point I, point A)

(cercle C) = (C_cercle, point I , point A) & construction correcte si le cercle est créée avec "cercle2pts "et si I est l'intersection du cercle et de la droite ou si I est un point sur Axe mais si le cercle est créée avec "cercle "alors A ne lui appartient pas et la construction sera incorrecte au sens de Cabri &

(cercle C) = (C_cercle, point I, point B) &le centre du cercle ici est le point A&

(cercle C) = (C_cercle, point I, point qqe) &I peut être en A ou I est un point sur l'axe (ou le point d'intersection de l'axe avec la droite D) et dans ce cas le point qqe sera un point à peu près à égale distance de l'axe que A &

(point A') = (C_intersection, cercle C, droite D)
 (point A') = (C_point sur objet, droite D) & si C non tracé &
 (point A') = (C_point sur objet, cercle C) & si D non tracé &
 (point A') = (point qqe) & si D et C non tracés &

B5111 (centre du cercle() (point I)) OU
 (point I) = (C_intersection, droite D, droite Axe)
 (point I) = (C_point sur objet, droite Axe)
 (point I) = (point A)

B512 (Image _par intersection de cercles _de_point (point A) (point A')) ET
 (point M1) = (C_point sur objet, droite Axe)
 (point M1) = (Point A)

(point M2) = (C_point sur objet, droite Axe)

(cercle C1) = (C_cercle, point M1, Point A)
 (cercle C1) = (C_cercle, point M1, Point A) &le centre du cercle ici est un point sur axe &
 (cercle C1) = (C_cercle, point M1, Point B) &le centre du cercle ici est le point A &
 (cercle C1) = (C_cercle, point M1, Point qqe) & si M1 en A alors le point qqe sera un point à peu près à égale distance de l'axe que A &

(cercle C2) = (C_cercle, point M2, Point A)
 (cercle C2) = (C_cercle, point M2, Point A) &le centre du cercle ici est un point sur axe &
 (cercle C2) = (C_cercle, point M2, Point B) &le centre du cercle ici est le point A &
 (cercle C2) = (C_cercle, point M2, Point qqe) & si M2 en A alors le point qqe sera un point à peu près à égale distance de l'axe que A &
 &cette altération, sur le cercle C2, est du même genre que celle qui précède, elle est donc redondante &

(point A') = (C_intersection, cercle C1, cercle C2)
 (point A') = (C_point sur objet, cercle C1) & si C2 non tracé &
 (point A') = (C_point sur objet, cercle C2) & si C1 non tracé &
 (point A') = (point qqe) & si C2 et C1 non tracés &

Descriptions des procédures correctes de construction du symétrique d'un segment (avec des altérations possibles-en gras-au niveau des règles) .Cette description contient les procédures qui renvoie à des sous procédures nécessaires à la construction du symétrique

Annexes du chapitre 3

Annexe : consigne aux observateurs

CONSIGNE AUX OBSERVATEURS

Dispositif expérimental :

Deux postes de travail, un pour le "binôme Élèves" et un pour le "binôme Tuteurs" sont connectés et distants. Sur le poste Élève sont disponibles Cabri-géomètre et une fenêtre d'interaction.

L'Élève a pour tâche la résolution d'un problème de géométrie dans le micromonde Cabri-géomètre et reçoit les messages qui permettent de le guider, dans la fenêtre d'interaction.

Sur le poste Maître, un enseignant dispose d'une image en temps réel de l'écran de l'élève lui permettant d'observer ses comportements à l'interface de Cabri-géomètre et d'une fenêtre de communication avec le tuteur artificiel, le guidant d'une part dans un diagnostic de l'activité de l'élève et d'autre part dans la prise de décision pour la conduite de la session. Ces décisions sont pour partie prises de façon automatique par le tuteur artificiel, pour partie par le tuteur humain.

Les élèves travailleront par groupes de deux. Sept binômes seront observés dans la journée, en raison d'une heure par binôme. Ils travailleront dans l'environnement Cabri-géomètre.

Chaque binôme Élève dispose :

- d'un magnétophone avec deux micros;
- d'une fiche de travail servant en même temps de brouillon;
- d'un seul stylo;
- d'un poste de travail macintosh

Chaque binôme Tuteur dispose :

- d'un magnétophone avec deux micros;
- de fiches de travail.

- d'un seul stylo;
- d'un poste de travail macintosh
- d'un haut parleur qui lui transmet les échanges verbaux des élèves.

Pour un bon déroulement de chaque activité il est important que :

- **la séance soit enregistrée automatiquement dans Cabri-géomètre.** Un dossier Cabri est mis par défaut avec la date. On ne touchera pas à ce nom.
- toute la séance soit enregistrée sur bande magnétique du début jusqu'à la fin. **Il est important que le magnétophone soit mis en marche dès que les élèves sont installés;**
- chaque élève dise distinctement son prénom dès le début de l'enregistrement (préciser si possible le micro droite ou gauche pour chaque élève, ainsi que l'heure du début de séance pour chaque binôme);
- les élèves ne doivent pas échanger leur micro.

Observation

Coté Élève:

Un observateur s'occupe d'un binôme (d'élèves ou de tuteurs). Il n'intervient pas dans le travail des élèves. S'il est sollicité par l'un d'entre eux (ce qui peut arriver), il le renvoie à la consigne ou à son partenaire de travail (Un 2ème observateur aura comme tâche de veiller au matériel, magnéto, changement de cassettes, vérification de la Caméra..)

Par contre les interventions qui ont pour but de pousser l'élève à aller au bout de sa pensée ou de relancer la recherche ne sont pas interdites. Elles doivent être formulées de façon interrogative en reprenant simplement un bout de phrase prononcée par l'élève.

Exemple :

Élève : *"je sais que si un segment est d'un coté alors son symétrique est..."*

Observateur : *" tu dis : je sais que si un segment est d'un côté..."*

L'observateur **veillera à ce que l'élève clique sur le bouton "fin de construction"** chaque fois qu'il a fini sa construction. L'interaction se fait entre autre

par l'intermédiaire de la pile "messages". Il est donc très important que l'élève passe par cette pile pour exprimer un besoin d'aide, dire qu'il a fini, qu'il veut passer à une autre activité etc...

Il se pourrait qu'une erreur système arrive en cours de séance. L'observateur aura la charge de redémarrer le macintosh. Ce dernier redémarre automatiquement avec l'application Cabri-géomètre et la pile messages. **L'observateur doit relancer le menu "géomètre" en utilisant "configurer" du menu Divers et cliquer sur l'item "charger des macro ou bibliothèques". Il veillera surtout à bien relancer l'enregistrement automatique.**

Il se pourrait aussi que l'élève perde la figure ou une partie en voulant faire une quelconque manipulation. Ce problème risque d'arriver à l'ouverture (par la machine du tuteur humain) de figures (le segment qui est dans tous les cas en gras risque de paraître pas gras et ses extrémités risquent d'être insaisissables). Dans ces cas l'observateur peut intervenir en essayant de cliquer à l'extérieur ou **d'activer "revenir à la version enregistrée"** du menu "fichier". Bien sur dans ce cas on perd la construction de l'élève. On lui dira alors de recommencer sa construction.

L'observateur notera les gestes des élèves (ou des tuteurs) lorsqu'ils montrent quelque chose en disant *"ceci, cela ou ça etc... en désignant une droite, un segment, un point, ou un axe,..."* de façon à savoir à quoi renvoient ces démonstratifs. Il notera également toute action qui n'est ni écrite ni enregistrée. Il précisera les différentes étapes d'un dessin, d'une figure, ou d'un schéma réalisé en veillant à bien noter l'heure.

Coté Tuteur

L'observateur veillera à ce que toute la séance soit enregistrée sur bande magnétique du début jusqu'à la fin. **Il est important que le magnétophone soit mis en marche dès que les Tuteurs sont installés;**

Il n'intervient pas dans le travail des Tuteurs. S'il y a des problèmes d'utilisation des piles (ce qui peut arriver), il le renvoie à l'expérimentatrice.

Il se pourrait qu'une erreur système arrive en cours de séance. L'observateur ou le Tuteur auront la charge de redémarrer le macintosh. Ce dernier redémarre automatiquement avec la pile "Départ".

(Un 2ème observateur aura comme tâche de veiller au matériel, magnéto, changement de cassettes, vérification de la Caméra..).

Lieu de l'expérimentation : Collège Le VERGERON à MOIRANS

Début de l'expérimentation : 8h (Etre sur place, de préférence 15 mn avant).

DEPART

Cette pile permet de démarrer une nouvelle session de travail. Pour le faire cliquer sur le bouton "commencer une nouvelle session".

commencer une nouvelle session

Retour à la session précédente (mac étève)

Retour à la session précédente (mac tuteur)

C'est le problème choisi qui doit maintenant être affiché pour l'élève, c'est à dire le problème n° 16

Cliquer sur le bouton "ouvrir pb 16" pour afficher ce problème aux élèves

ouvrir pb 16

PUIS

cliquer sur le bouton "Suite" pour passer au diagnostic.

SUITE

Il vous reste à ouvrir la figure choisie :

n°

Cliquer sur le bouton "ouvrir figure "

Ouvrir figure

ensuite

sur le bouton "OK " pour passer au diagnostic

OK



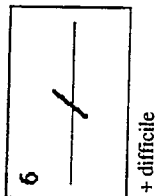
revenir au diagnostic

Historique

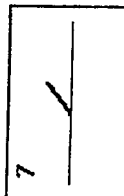
Procédure Correcte

Les problèmes suivants permettent de renforcer cette procédure correcte

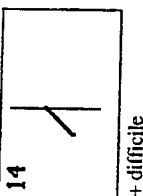
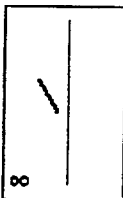
Pour bloquer une procédure



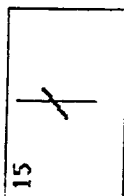
+ difficile



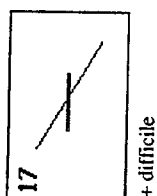
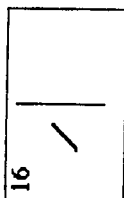
+ difficile



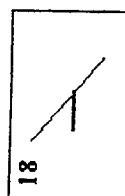
+ difficile



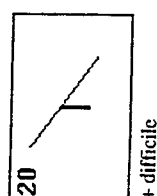
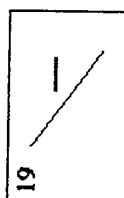
+ difficile



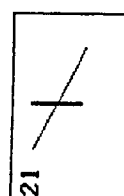
+ difficile



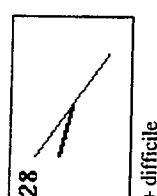
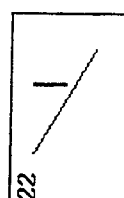
+ difficile



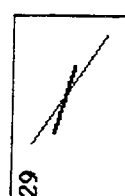
+ difficile



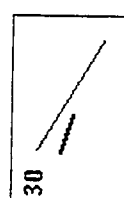
+ difficile



+ difficile



+ difficile



problème choisi :



revenir au diagnostic

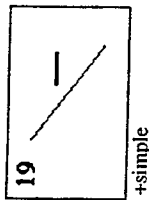
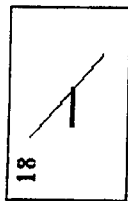
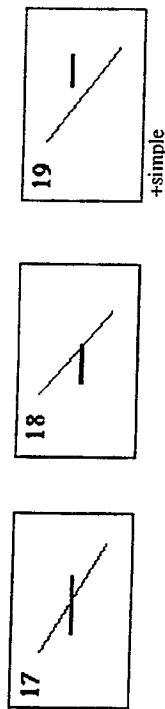
Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

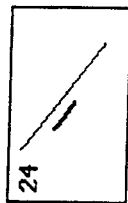
OK

Rappel Horizontal

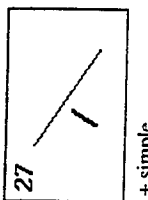
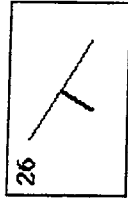
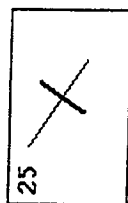
Les problèmes suivants permettent de déstabiliser cette procédure erronée, sans toutefois la rendre improbable



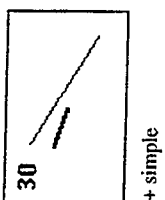
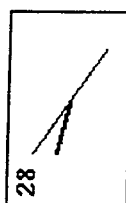
+simple



+ simple, permet de discerner RH de PR



+ simple



+ simple



revenir au diagnostic

Problème choisi :

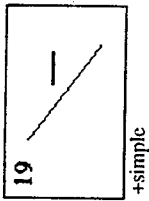
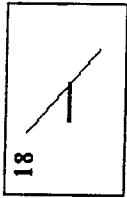
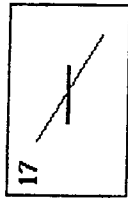
Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

Rappel Vertical

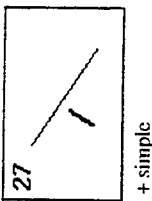
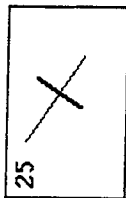
Les problèmes suivants permettent de déstabiliser cette procédure erronée, sans toutefois la rendre improbable



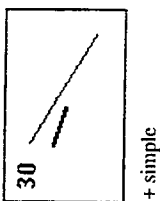
+simple



+ simple, permet de discerner RH de PR



+ simple



+ simple



revenir au diagnostic

Problème choisi :

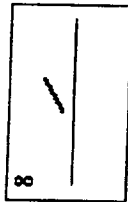
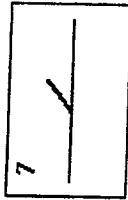
Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

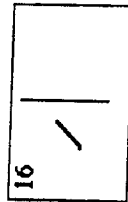
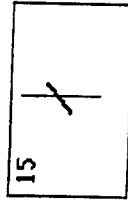
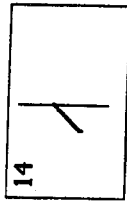
OK

Parallélisme

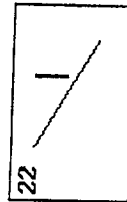
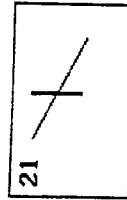
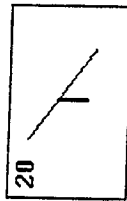
Les problèmes suivants permettent de déstabiliser cette procédure erronée, sans toutefois la rendre improbable



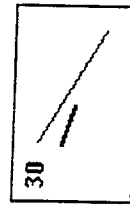
+ simple



+ simple



+ simple



+ simple



revenir au diagnostic

Problème choisi :

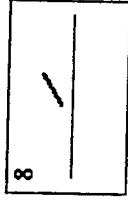
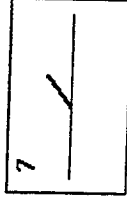
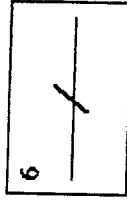
Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

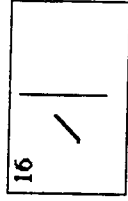
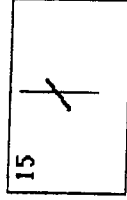
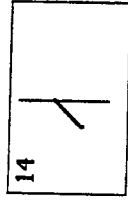
OK

Parallélisme Perceptif

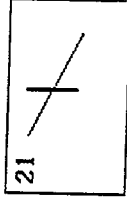
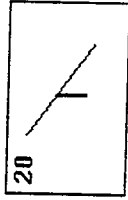
Les problèmes suivants permettent de déstabiliser cette procédure erronée, sans toutefois la rendre improbable



+ simple



+ simple



+ simple



+ simple



revenir au diagnostic

Problème choisi :

Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

Prolongement

Invalidation difficile

1		2		+ simple
12		13		+ simple
23		24		+ simple

Problème choisi :

revenir au diagnostic

Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

report de distance erroné

activité de RD

2		5		8	
11		13		16	
19		22		24	
		27		30	

Problème choisi :

revenir au diagnostic

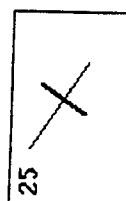
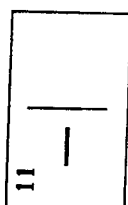
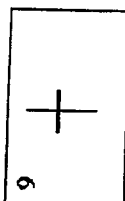
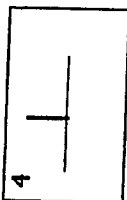
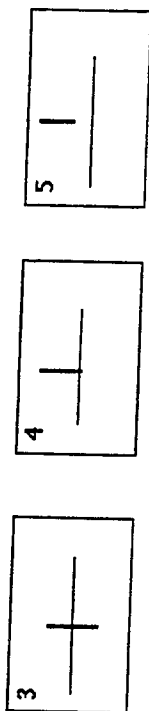
Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

report orthogonal au segment

Les problèmes suivants doivent permettre de déstabiliser cette procédure erronée (l'axe et le segment sont orthogonaux)



Problème choisi :



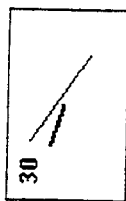
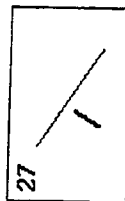
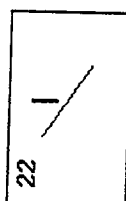
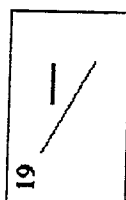
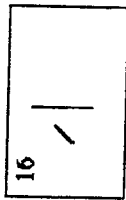
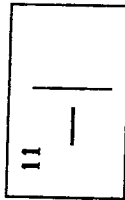
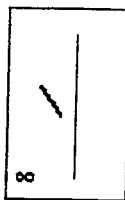
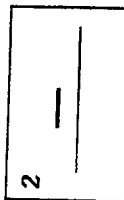
revenir au diagnostic

Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

perceptivement orthogonal au segment



Problème choisi :



revenir au diagnostic

Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

nouvelle

Perceptivement orthogonal à l'axe

invalidation difficile

2	5	8
11	13	16
19	22	24
27	30	

Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

Problème choisi :

revenir au diagnostic

**Vous n'êtes pas d'accord...
A vous de choisir...**

diagnostic : percektivement orthog. à l'axe

Axe :

	☐ axe horizontal		☒ axe vertical
--	---	--	--

Segment :

	☐ segm. horizontal		☐ segm. vertical
--	---	--	---

Angle :

	☐ angle nul		☐ angle droit
--	------------------------------------	--	--------------------------------------

Intersection :

	☐ inter. vide		☐ inter. touche
--	--------------------------------------	--	--

Traiter extrémité 2

	☐ axe oblique		☒ segm. oblique
--	--------------------------------------	--	---

Inter. coupe

	☒ angle qcq		☒ inter. coupe
--	---	--	--

revenir au diagnostic

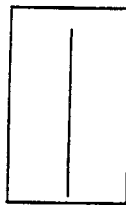
retour à carte procédure

OK

Historique

Droite quelconque au lieu de droite orthogonale

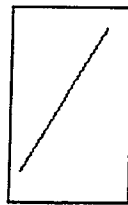
Axe :



☐ axe horizontal

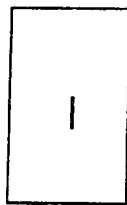


☐ axe vertical



☒ axe oblique

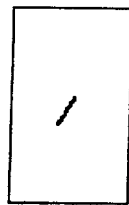
Segment :



☒ segm. horizontal

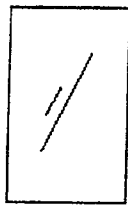


☐ segm. vertical



☐ segm. oblique

Angle :



☐ angle nul

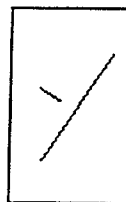


☐ angle droit



☒ angle qcq

Intersection :



☐ inter. vide



☒ inter. touche



☐ inter. coupe

revenir au diagnostic

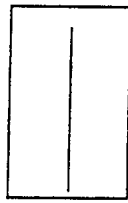
Historique

OK

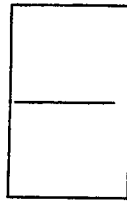
Construction globale

construction globale de l'image

Axe :



☐ axe horizontal

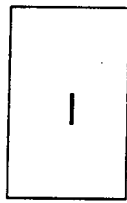


☐ axe vertical



☒ axe oblique

Segment :



☐ segm. horizontal



☒ segm. vertical



☐ segm. oblique

Angle :



☐ angle nul



☐ angle droit



☒ angle qcq

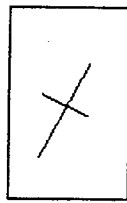
Intersection :



☒ inter. vide



☐ inter. touche



☐ inter. coupe

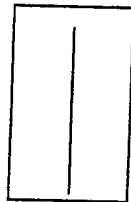
revenir au diagnostic

Historique

OK

Construction semi analytique

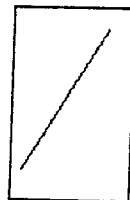
construction semi analytique en utilisant seulement une droite :
semianal, droiteq, droiteq,



☒ axe horizontal

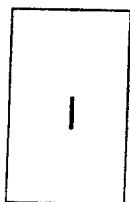


☐ axe vertical

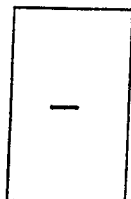


☐ axe oblique

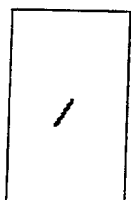
Segment :



☒ segm. horizontal

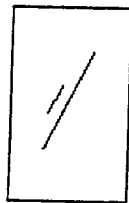


☐ segm. vertical



☐ segm. oblique

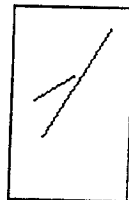
Angle :



☐ angle nul

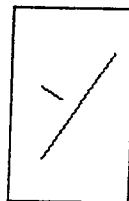


☒ angle droit



☐ angle qq

Intersection :



☒ inter. vide



☐ inter. touche



☐ inter. coupe

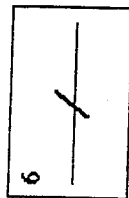
Historique

revenir au diagnostic

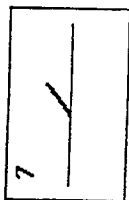
OK

Demi symétrie

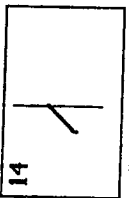
Les problèmes suivants permettent de destabiliser cette procédure



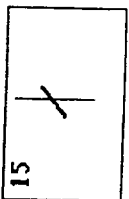
+ difficile



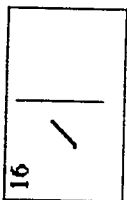
+ difficile



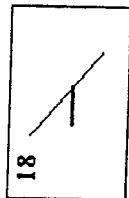
+ difficile



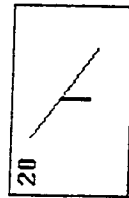
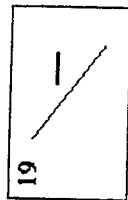
+ difficile



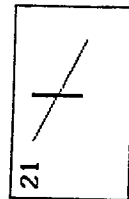
+ difficile



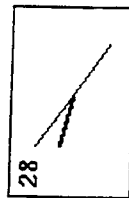
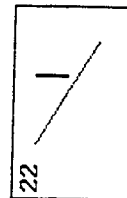
+ difficile



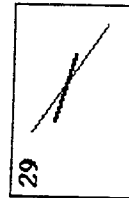
+ difficile



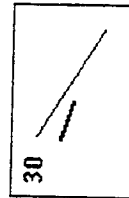
+ difficile



+ difficile



+ difficile



problème choisi :



revenir au diagnostic

Historique

Pas d'accord avec les choix proposés

OK

Point lié à autre objet

Problème au niveau de la définition d'une extrémité.
 construite à partir de
 - droite orthogonale et du cercle passant par la
 deuxième extrémité..
 - ou d'autres objets

Le tuteur choisit parmi les possibilités ci-dessus

Message à l'élève concernant l'extrémité

extrémité mal définie

l'élève n'arrive pas à trouver l'erreur

aide tuteur Humain

On lui passe la main

main à l'élève

Il bloque

bloque

Le tuteur décide de passer à une autre situation

choisir pb

Historique



revenir au diagnostic

pbcour
 pbsvt
 procedure:
 Rh

Pour définir un nouveau menu

Vous voulez bloquer une procédure en éliminant un item du menu Cabri exp?

oui

Vous devez ouvrir le menu special "géomètre2" en agissant sur le mac de l'élève.

-> Divers
 ---> configurer
 -----> constituer une bibliothèque
 -----> Menus standards
 -----> Divers
 -----> configurer
 -----> Charger des macros ou une bibliothèque
 -----> le géomètre2

puis cliquez sur le bouton OK

OK



retour à PC

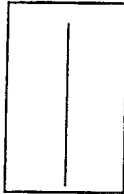


revenir au diagnostic

Historique

Choix d'un problème

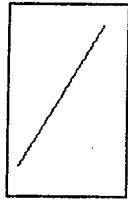
Axe :



☐ axe horizontal



☒ axe vertical



☐ axe oblique

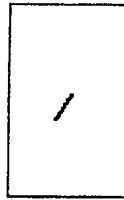
Segment :



☐ segm. horizontal

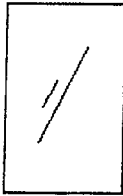


☐ segm. vertical



☒ segm. oblique

Angle :



☐ angle nul



☐ angle droit



☒ angle qqc

Intersection :



☒ inter. vide



☐ inter. touche



☐ inter. coupe

revenir au diagnostic

Historique

OK

Attention ce cas de figure est difficile à invalider!
 Veillez à ce que l'élève déplace l'une des extrémités du
 segment de départ jusqu'à ce que le segment soit
 parallèle à l'axe.
 Pour cela cliquez sur le bouton "message".

message

élève

n'arrive pas à comprendre

aide tuteur Humain

On lui passe la main

main à l'élève



revenir au diagnostic

Historique

Construction de l'image de l'extrémité 1

en utilisant :

deux objets

droite et cercle

2 cercles

un seul objet

cercle

droite

aucun objet

Aucun

autres cas

Autre cas



Construction globale de l'image du segment

Image au jugé

Extrémités :

perceptivement sur

☐ l'horizontale

☐ la verticale

l'orthogonale

☐ à l'axe

☐ au segment

☐ le support

☐ autre

et

☐ à égale distance de l'axe

☐ au jugé



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

*indépendamment de l'image de la 1ère extrémité
en utilisant l'image du support et une droite*

image du support du segment

Construction du support du segment à partir
* ☐ extrémités
☐ points voisins

intersection (I) du support du segment et de l'axe
☐ point de base à l'intersection
☐ non définie
* ☐ intersection

image du support du segment passant par
* ☐ (I) et image de ext 1
☐ points voisins

2ème droite

☐ horizontale
☐ verticale
perceptivement orthogonale
☐ à l'axe
☐ au segment
orthogonale
☐ au segment
* ☐ à l'axe
☐ quelconque

Marquage du point image

☐ sur droite
* ☐ intersection des 2 droites
☐ non défini
☐ sur d'autres objets



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

*dépendante de l'image de la 1ère extrémité
en utilisant l'image du support du segment et un cercle*

Image du support du segment

construction du support du segment à partir de
* ☐ extrémités
☐ points voisins

intersection (I) support du segment avec l'axe
☐ point de base à l'intersection
☐ non définie
* ☐ intersection

image du support du segment passant par
* ☐ (I) et image de ext 1
☐ points voisins

Cercle

de centre
☐ extrémité
* ☐ point sur axe
* ☐ intersection support et axe
☐ point de base sur axe
☐ point qqe
passant par
☐ point qqe
* ☐ extrémité
☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image :

☐ sur cercle ou droite
* ☐ intersection du support et du cercle
☐ non défini
☐ sur d'autres objets



OK

Construction de l'image du segment

Construction des images des extrémités du segment :

extrémité 1

extrémité 2

Construction globale du segment :

globale

Accès direct à la dernière carte parcourue pour

extrémité 1

extrémité 2

SI blocage

Fin de saisie

Construction de l'image de l'extrémité 2

Construction dépendante de l'image de l'extrémité 1

sur une droite passant par l'image de l'extrémité 1 du segment
et :

- ☐ parallèle
- ☐ perceptivement parallèle
- ☐ quelconque
- ☐ concourante avec axe/segment

au segment

Marquage du point image :

sur cette droite perceptivement sur

- ☐ la verticale
- ☐ l'horizontale
- ☐ direction que
- ☐ non défini
- ☐ point de concours axe/segment



OK

Cette carte permet de poursuivre l'activité chaque fois que le tuteur juge qu'il lui manque des éléments d'analyse...

Cliquez sur l'un des boutons selon que la procédure de l'élève est correcte ou erronée

correcte

erronée

incertain

OK

Evaluation de l'activité report de distance

Cette carte permet de poursuivre l'activité quand l'élève a fini de reporter une distance

Cliquez sur l'un des boutons selon que la procédure de l'élève est correcte ou erronée

correcte

erronée

OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

dépendante de l'image de l'extrémité 1

utilisant :

image du support & droite

image du support & cercle

image du support

2 droites

droite et cercle

droite

Autre cas



Construction de l'image de l'extrémité 2

Construction dépendante de l'image de la 1ère extrémité
Utilisant l'image du support du segment

image du support du segment

Construction du support à partir des

- * ☐ extrémités
- ☐ points voisins

intersection (I) support du segment avec l'axe

- ☐ point de base à l'intersection
- ☐ non définie
- * ☐ intersection

image du support du segment passant par

- * ☐ (I) et image de ext1
- ☐ points voisins

marquage du point

perceptivement sur

- ☐ la verticale
- ☐ l'horizontale
- ☐ direction qqe
- ☐ non défini
- ☐ point concours seg/axe



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

Construction

indépendante

dépendante

de l'image de la 1ère extrémité



Construction de l'image de l'extrémité 2

Construction indépendante de l'extrémité 1

utilisant :

2 objets :

droite et cercle

2 cercles

un seul objet :

droite

cercle

aucun objet

Aucun

autres cas

Autre cas



Construction de l'image de l'extrémité 2

*Construction dépendante de l'image de l'extrémité 1
Utilisant deux droites.*

1ère droite (passant par l'image de l'extrémité 1)

- ☐ parallèle
☐ percept parallèle
☐ quelconque

au segment

2ème droite

- ☐ horizontale
☐ verticale
 perceptivement orthogonale
 ☐ à l'axe
 ☐ au segment
☐ quelconque

orthogonale

- ☐ au segment
 * ☐ à l'axe

marquage du point image

- ☐ point de base à l'intersection de 2 droites
☐ sur une droite
☐ non défini
 * ☐ intersection de 2 droites



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

*Construction dépendante de l'image de l'extrémité 1
utilisant une droite et un cercle*

droite

- ☐ percept parallèle
☐ parallèle
☐ quelconque

au segment

cercle

- de centre
☐ extrémité
 * ☐ point lié à axe
☐ point de base sur axe
☐ point qqe
 passant par
☐ point qqe
 * ☐ extrémité
☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image

- ☐ point de base à l'intersection droite/cercle
☐ sur le cercle ou la droite
☐ non défini
 * ☐ intersection de droite et cercle



OK

Construction de l'image de l'extrémité 1

utilisation de droite et cercle

droite

- ☐ horizontale
- ☐ verticale
- support du segment passant par
 - ☐ extrémités
 - ☐ points voisins
- perceptivement orthogonale
 - ☐ au segment
 - ☐ à l'axe
- orthogonale
 - ☐ au segment
 - * ☐ à l'axe
- ☐ quelconque

cercle

- de centre
 - ☐ extrémité
 - * ☐ point lié à axe
 - * ☐ intersection droite/axe
 - ☐ point de base à l'intersection
 - ☐ point de base sur axe
 - ☐ point que
- passant par
 - ☐ point que
 - * ☐ extrémité
 - ☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image

- ☐ point de base à l'intersection de droite et cercle
- ☐ sur le cercle
- * ☐ intersection de droite et cercle
- ☐ non défini



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

*Construction indépendante de l'extrémité 1
utilisation de droite et cercle*

droite

- ☐ horizontale
- ☐ verticale
- support du segment passant par
 - ☐ extrémités
 - ☐ points voisins
- perceptivement orthogonale
 - ☐ au segment
 - ☐ à l'axe
- orthogonale
 - ☐ au segment
 - * ☐ à l'axe
- ☐ quelconque

cercle

- de centre
 - ☐ extrémité
 - * ☐ point lié à axe
 - * ☐ intersection droite/axe
 - ☐ point de base à l'intersection
 - ☐ point de base sur axe
 - ☐ point que
- passant par
 - ☐ point que
 - * ☐ extrémité
 - ☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image

- ☐ point de base à l'intersection droite/cercle
- ☐ sur le cercle
- * ☐ intersection de droite et cercle
- ☐ non défini
- ☐ sur d'autres objets



OK

Construction de l'image de l'extrémité 1

Image par intersection de deux cercles

1er cercle

de centre

- ☐ extrémité
- * ☒ point lié à axe
- ☐ point de base sur axe
- ☐ point qqe
- passant par
- ☐ point qqe
- * ☒ extrémité
- ☐ voisin de l'extrémité

2ème cercle

de centre

- ☐ extrémité
- * ☒ point lié à axe
- ☐ point de base sur axe
- ☐ point qqe
- passant par
- ☐ point qqe
- * ☒ extrémité
- ☐ voisin de l'extrémité

marquage du point

- ☐ point de base à l'intersection des 2 cercles
- * ☒ intersection des 2 cercles
- ☐ non défini



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

Image par intersection de deux cercles

1er cercle

de centre

- ☐ extrémité
- * ☒ point sur axe
- ☐ point de base sur axe
- ☐ point qqe
- passant par
- ☐ point qqe
- * ☒ extrémité
- ☐ voisin de l'extrémité

2ème cercle

de centre

- ☐ extrémité
- * ☒ point lié à axe
- ☐ point de base sur axe
- ☐ point qqe
- passant par
- ☐ point qqe
- * ☒ extrémité
- ☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image

- ☐ point de base à l'intersection des 2 cercles
- * ☒ intersection des 2 cercles
- ☐ non défini
- ☐ sur d'autres objets



OK

Construction de l'image de l'extrémité 1

sur un cercle...

- de centre
- ☐ extrémité
 - * ☐ point lié à axe
 - ☐ point de base sur axe
 - ☐ point qqe passant par
 - ☐ point qqe
 - * ☐ extrémité
 - ☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image

- sur le cercle perceptivement sur
- ☐ l'horizontale
 - ☐ la verticale
 - ☐ le support du segment l'orthogonale
 - ☐ au segment
 - ☐ à l'axe
 - ☐ droite qqe
 - ☐ non défini



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

sur un cercle...

- de centre
- ☐ extrémité
 - * ☐ point lié à axe
 - ☐ point de base sur axe
 - ☐ point qqe passant par
 - ☐ point qqe
 - * ☐ extrémité
 - ☐ voisin de l'extrémité

marquage du point image

- sur le cercle perceptivement sur
- ☐ l'horizontale
 - ☐ la verticale
 - ☐ le support du segment l'orthogonale
 - ☐ au segment
 - ☐ à l'axe
 - ☐ droite qqe
 - ☐ non défini



OK

Construction de l'image de l'extrémité 1

sur une droite...

- ☐ horizontale
- ☐ verticale
- support du segment passant
 - ☐ extrémités
 - ☐ points voisins

perceptivement orthogonale

- ☐ à l'axe
- ☐ au segment

orthogonale

- ☐ au segment
- * ☐ à l'axe
- ☐ quelconque

marquage du point image

- ☐ lié à la droite
- ☐ point de base sur la droite
- ☐ non défini



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

*Construction indépendante de l'image de la 1ère extrémité.
Utilisant une droite*

sur une droite...

- ☐ horizontale
- ☐ verticale
- Support du segment passant par
 - ☐ extrémités
 - ☐ points voisins

perceptivement orthogonale

- ☐ à l'axe
- ☐ au segment

orthogonale

- ☐ au segment
- * ☐ à l'axe

☐ quelconque

marquage du point image

- ☐ lié à la droite
- ☐ point de base sur la droite
- ☐ non défini



OK

ext 1

16 ok, oa, bonrd, boninter,

19 ok, oa, bonrd, boninter,

17 ok, oa, bonrd, boninter,

16 poa?, bonrd, boninter,

16 poa?, bonrd, boninter,

15 ok, bonrd, bonrd, boninter,

17 ok, bonrd, bonrd, boninter,

ext 2

16 ok, oa, bonrd, boninter,

19 ok, oa, bonrd, boninter,

17 ok, oa, bonrd, boninter,

16 poa?, bonrd, boninter, on n'en tient pas compte à ce niveau car les erreurs au niveau de l'extrémité 1 sont géométriques.

16 poa?, bonrd, boninter, on n'en tient pas compte à ce niveau car les erreurs au niveau de l'extrémité 1 sont géométriques.

15 ok, bonrd, bonrd, boninter,

17 ok, bonrd, bonrd, boninter,

globale

retour

Nous traitons à ce niveau les erreurs cabri-géométriques.

Dans ce cas, il s'agit :

de l'utilisation du cercle (problème au niveau de son centre)

l'élève

n'arrive pas à comprendre l'aide

On lui passe la main

Il bloque

aide tuteur Humain

main à l'élève

bloque

saisie

Construction de l'image de l'extrémité 1

En utilisant aucun objet explicite

Point image :

* perceptivement sur

☐ l'horizontale

☐ la verticale

l'orthogonale

☐ à l'axe

☐ au segment

☐ le support du segment

☐ autre

et

☐ à égale distance de l'axe

☐ au jugé

OU

* confondu avec un point du segment objet

☐ extrémité

☐ intersection axe/seg

☐ point que sur segment



OK

Construction de l'image de l'extrémité 2

En utilisant aucun objet explicite

Point image :

- au jugé perceptivement sur

☐ l'horizontale

☐ la verticale

l'orthogonale

☐ à l'axe

☐ au segment

☐ le support

☐ autre

et

☐ à égale distance de l'axe

☐ au jugé

- confondu avec un point du segment objet

☐ extrémité

☐ intersection axe/seg

☐ point que sur segment



OK

On renvoie à cette carte chaque fois que les cartes de saisie de données ne nous fournissent pas les éléments du diagnostic.

Le tuteur dans ce cas là doit envoyer à l'élève une situation qui permet de renforcer ou destabliser sa procédure.

Cliquez sur le bouton "fin de saisie" pour continuer

Fin de saisie

BLOCAGE

On veut donner une aide à l'élève

aide tuteur Humain

On lui passe la main

main à l'élève

En cas de blocage, on envoie à l'élève un message lui demandant s'il veut passer à une autre activité ou arrêter.

Pour cela appuyer sur le bouton "en cas de blocage"

en cas de blocage

choisir pb

Si l'élève décide de continuer, on choisit un problème...

carte saisie

**Bonjour, nous allons faire quelques
exercices ensemble. Patientez un instant...**

**Nous allons te proposer une activité de construction avec
Cabri-géomètre.
Nous allons donc ouvrir une feuille de dessin..Patience...**

**Voici une droite et un segment. Construis le
symétrique de ce segment par rapport à cette
droite.**

je veux construire

fin de construction

**Déplace l'une des extrémités du segment de départ pour
voir si ta figure reste symétrique dans tous les cas.**

**Clique sur ce bouton dès que tu as fini ta
construction**

fin de construction

Bravo, ta construction est correcte!

Veux tu continuer

continuer

ou arrêter?

Arrêter

Ta construction est trop complexe!

Je vais te proposer un autre problème

clicquer sur continuer

continuer

Veux tu

- revoir ta construction

revoir

- passer à une autre activité

autre activité

- ou arrêter?"

Arrêter

Patiente un instant...Nous allons ouvrir une nouvelle figure.

ta construction n'est pas correcte.

Cliquez sur suite pour continuer

Suite

Si tu veux que ces points soient sur la droite, tu dois utiliser l'item "redéfinir un objet" du menu Divers et les lier à la droite.



autre activité

Aide

retour à la construction

Tu dois utiliser l'item 'redéfinir un objet' du menu 'Divers' et redéfinir les points par où elle passe.



autre activité

Aide

Attention la droite construite ne passe pas par les extrémités du segment, pour le voir déplace l'un des points.

Cliquer sur 'suite' pour continuer

Suite

Attention l'image du support du segment n'est pas bien définie, pour le voir déplace les points .

Cliquer sur suite pour continuer

Suite

Attention l'intersection n'est pas définie. Pour la définir utilise l'item "intersection de 2 objets" du menu "construction".

fin de construction

davantage d'aide

autre activité

Attention l'intersection du support du segment et de l'axe n'est pas définie. Pour la définir utilise l'item "intersection de 2 objets" du menu "construction".

[autre activité](#)[fin de construction](#)[davantage d'aide](#)

l'item "effacer tout" efface toute la figure, pour supprimer un objet, tu dois aller au menu "divers" et utiliser l'item "supprimer un objet".

Cliquez sur 'ok' pour revenir à la consigne.

[OK](#)

Attention ta figure doit rester symétrique quand tu déplaces l'une des extrémités du segment.



consigne

[fin de construction](#)

Tu peux revenir à ta figure en choisissant l'item "annuler" du menu "edition"

Cliquez sur 'ok' pour revenir à la consigne.

[OK](#)

Nous évaluons ta construction.

Patiente un peu...

Rappelle toi, ta figure doit rester symétrique quand tu déplaces l'une des extrémités du segment!

[fin de construction](#)

Tu n'as pas défini l'image....

[je veux une aide](#)

Pour définir l'image, utilise l'item
"intersection de 2 objets " du menu "constructions".

[fin de construction](#)[davantage d'aide](#)[autre activité](#)

Attention tu n'as pas défini l'intersection du
support du segment et de l'axe....

[je veux une aide](#)

Pour définir l'intersection du support du segment
et de l'axe, utilise l'item "intersection de 2 objets
" du menu "constructions".

[autre activité](#)[fin de construction](#)[retour à la construction](#)[davantage d'aide](#)

Ton cercle n'est pas bien construit. Déplace son
centre ou l'un des points par où il passe pour le
constater.

[fin de construction](#)[davantage d'aide](#)[autre activité](#)

Le centre de ton cercle n'est pas bien défini. Il doit
être redéfini comme - point lié à l'axe
- ou intersection.

Revois ta figure

[fin de construction](#)[je veux une aide](#)

Ton cercle n'est pas bien défini. le point par où il
passe ne lui est pas lié. Revois ta figure.

[fin de construction](#)[je veux une aide](#)

Il faut utiliser l'item "redéfinir un objet" du menu
"Divers " et lier ce point au cercle. Revois ta figure.

[fin de construction](#)[davantage d'aide](#)

Il faut utiliser l'item "redéfinir un objet" du menu "divers " et lier ce point à l'axe ou le définir comme intersection. Revois ta figure.

autre activité



fin de construction

davantage d'aide

Je voudrais l'historique de la construction. Active l'item "historique" du menu divers.

Vous pouvez partir. merci.

A bientôt!

Je remarque que tu bloques. Veux tu passer à une autre activité? **autre activité** ou arrêter **Arrêter**

**Je vais te montrer comment faire.
Patiente un peu et observe la figure.**

A toi de faire maintenant!

Clique sur ce bouton dès que tu as fini ta construction

fin de construction

Je vois que tu as des problèmes pour reporter une distance. Je vais te proposer une activité de report de distance. Pour cela je vais ouvrir une figure. Patiente un instant...

Voici deux demi droites (OA) et (OB) sécantes en O. Place un point C sur (OB) tel que la distance de O à C soit égale à celle de O à A ($OC=OA$).

fin de construction

je veux une aide

Tu peux utiliser le "cercledef2pts" du menu création pour reporter la distance.



fin de construction

D'avantage d'aide

Ton cercle doit avoir pour centre le point O et passer par le point A. Le point C est l'intersection de ce cercle avec la demi droite (OB)



fin de construction

**Bravo. Tu sais reporter une distance.
Tu peux maintenant continuer ta construction.**

je veux construire

Es tu sûr de vouloir arrêter?

non

oui

**Essaye de résoudre le même problème d'une autre manière..
Patiente un instant nous allons ouvrir un autre géomètre...
Patience....**

déplace l'une des extrémités de ton segment de départ de telle façon qu'il soit parallèle à l'axe et observe ce qui se passe.

Clique sur OK pour continuer

ok

Veux tu

- revoir ta construction **revoir**
- passer à une autre activité **autre activité**
- ou arrêter?" **Arrêter**

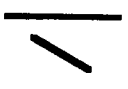
**L'une des extrémités de ton segment image est mal
définie. Revois ta figure...**

fin de construction

davantage d'aide

autre activité

Binôme B6

Binôme B6				TH			
Réaction aux messages	Conception	Procédure	Validation	Planification	Pb	Tâche	
	Transport ds l'autre demi plan	globale	Vérification de la direction par parallélisme	Construire A'B' équipolent à AB de l'autre côté à la même hauteur.	Pb 16 	Parallélisme et globale. Bug dans la mise en oeuvre de Cabri (Pb de construction de droite parallèles)	Traiter d'abord le pb cabri
		drague point de base	identification de la validation Cabri	Tâche de validation			Laisser faire les élèves, car ils ne peuvent intervenir
		Globale	Idem. Verification de la direction par parallélisme			Confirmation du diagnostic précédent	Choix=aide ou chang de problème?
		Parallélisme					Observer les élèves et attendre
Non compris		Globale. "Confirmation" de parallélisme par construction de parallélogramme.				Répétition de la procédure globale et parallélisme	Blocage et choix d'un problème
Choix d'un nouveau problème							Message de blocage
							Envoie de Pb18
							Envoie du message d'aide. Page5
							Déstabiliser le parallélisme. En germe Pb 18. Simplifier par extrémité sur axe (hypothèse Nathalie) Page8

Binôme B6

Binôme B6				TH			
Réaction aux messages	Conception	Procédure	Validation	Planification	Pb	Tâche	Planification/Intention
				Symétrie par isométrie. Image="autre moitié". objet U image = segment global, séparé par Axe	Pb 18 		
	- Objet et image sur même support - Symétrie par isométrie. - Rappel horizontal	analytique (cercle+droite de prolongement) (droite // segment passant par une extrémité)					[Favoriser l'émergence de "cercle" pour le report de distance] évolution d'une proc globale vers une analytique ou semi analytique
Prise en compte du message validation/déplacement		Drague un point de base	par déplacement ds Cabri			Report horizontal ou prolongement? Prolongement + bon report de distance	
		"				Hésitation:Rh ou Pr?	Déstabiliser le Rh. Choix de (O,O.nc,90°)
Reprise du Pb en cours Pb18		Drague un pt de base		Comprendre ce qui ne va pas. (absence d'orthogonalité)			Faire "sortir les élèves des procédures erronées". Choix de Pb13
			par pliage				

Binôme B6					TH					
Réaction aux messages	Conception	Procédure	Validation	Planification	Pb	Tâche	Diagnostic	Décision	Action	Planification/Intention
	Correcte symétrie orthogonale mais difficulté de mise en oeuvre de la proc correcte à cause de la spécificité du Pb	analytique (cercle + droite) droite orthogonale au segment		Construire B' sur la droite (en considérant Axe comme bissectrice de (B'ÂB))						
			Par égalité des angles	Vérifier que Axe partage le cadran en deux angles égaux			Procédure incorrecte car Axe différent de bissectrice	(Changement de problème) Option possible évoquée : Pb2		Proposer Pb2 en cas de blocage
								Blocage	Envoi du message de blocage	
Nouvelle activité car ne peut revenir au problème en cours				Continuer sur même activité				Choix du Pb2	Envoi de Pb2	

Binôme B6				Tâche		TH			
Réaction aux messages	Conception	Procédure	Validation	Planification	Pb	Diagnostic	Décision	Action	Planification/Intention
		droite orthogonale à axe et point de base à l'intersection de la droite et axe		- Droite orthogonale - report de mesure	Pb 2 				[Favoriser, faire émerger droite orthogonale]
A la suite du message de Cabri "attention point de base..." suppression de la droite (au lieu du point de base)	Symétrie orthogonale (globalement)? Rappel vertical?	droite verticale (à la place de droite orthogonale à l'axe)							
	idem	analytique non valide au sens de Cabri : - droite verticale et cercle centré en un point de base sur axe (≠ point intersection)	Par déplacement dans Cabri (d'une extrémité dont l'image est correctement construite)	Tâche de vérification. Validation		Une image correcte. L'autre invalide au sens de Cabri. (Droite perçep. orthogonale à l'axe au lieu de droite orthogonale.	Invalidé a construction par déplacement de l'extrémité dont l'image est incorrecte.	Impossible pour le moment	Invalidé par déplacement
Revoir la figure				[Rendre la figure plus esthétique: nommer, effacer?..]			Envoyer aide	Déplacer le point B	Invalidé par déplacement; [Montrer que (d) non perpendiculaire à Axe]
message actif: "cercle plus gros"						[Réaction des élèves par rapport au cercle et non la droite]	Envoyer aide	Déplacer le point A (dont l'image est correct)	Valider A', invalider B'

Binôme B6				TH					
Réaction aux messages	Conception	Procédure	Validation	Planification	Tâche Pb	Diagnostic	Décision	Action	Planification/Intention
reconnaissance de Pb16	[globalement correcte. Pas de parallélisme]	Désignation de la bonne direction du symétrique du segment			Pb 16 				
		Désignation (avec la main) et évocation de cercles C1 et C2				même utilisation des cercles que pour Pb2			
	Symétrique d'un point de l'autre côté de l'axe [sur l'horizontale ou la perpendiculaire à l'axe?] et conservation de la distance à l'axe.	Cercle de centre A et passant par un point de base sur l'axe.	par pliage	Construire le symétrique d'une extrémité sur l'horizontale et à même distance de l'axe...		- Echec pour la perpendicularité é du à la verticalité de l'axe - Blocage	Envoyer un nouveau problème Pb8 (H, O, a, nc),	Envoie du message de blocage	aider les élèves avec un problème plus simple (orthogonalité plus simple à réaliser qd l'axe est horizontal que qd il est vertical)
continuer mais message de TA non adapté. Nouveau pb							laisser les élèves travailler sur Pb16	Renvoyer Pb16	Adhérer à l'objectif des élèves.

Binôme B6				Tâche		TH			
Réaction aux messages	Conception	Procédure	Validation	Planification	Pb	Diagnostic	Décision	Action	Planification/Intention
	idem	procédure analytique utilisant droite orthogonale à l'axe et cercle	Par déplacement ds Cabri	construire le symétrique [horizontale n'existe pas et pour droite def 2pts, il faut deux points d'ou orthogonalité]	Pb 16 	Confusion chez ces élèves entre droite verticale et droite perpendiculaire à l'axe.	Envoyer un nouveau pb		Validation de la construction

Binôme B6					Tâche		TH		
Réaction aux messages	Conception	Procédure	Validation	Planification	Pb	Diagnostic	Décision	Action	Planification/Intention
	correcte [globalement]	analytique [globalement] correcte utilisant droite orthogonale à l'axe et cercle	par pliage par déplacement dans Cabri	construire le symétrique en procédant par économie : les deux droites orthogonales puis les deux cercles	Pb 19 	analytique correcte validation par déplacement (par les élèves) en restant d'un même côté de l'axe	Envoyer un nouveau Pb avec une intersection non vide		Tester la résistance de la procédure par complexification du problème (avec une extrémité sur l'axe)