



**HAL**  
open science

# Calcul algébrique et programmation dans un tableur : le cas de Multiplan

Bernard Capponi

► **To cite this version:**

Bernard Capponi. Calcul algébrique et programmation dans un tableur : le cas de Multiplan. Modélisation et simulation. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1990. Français. NNT: . tel-00338688

**HAL Id: tel-00338688**

**<https://theses.hal.science/tel-00338688>**

Submitted on 14 Nov 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.

# **Thèse**

Présentée à  
l'Université Joseph Fourier  
Grenoble I

Pour obtenir le titre de  
Docteur de l'Université Joseph Fourier  
Spécialité : Mathématiques Appliquées et Informatique  
Mention : Didactique des Mathématiques et de l'Informatique

**Bernard Capponi**

## **Calcul algébrique et programmation dans un tableur Le cas de Multiplan.**

Soutenu le 21 décembre 1990 devant la  
commission d'examen :

Président : .....Jean Marie Laborde

Examineurs.....N.Balacheff

M.Eberhard

R.Gras

J.Rogalski

Thèse préparée dans le cadre du Laboratoire Structures Discrètes et Didactique de l'IMAG.



Et s'il me reste un conseil à vous donner, c'est de faire très attention aux questions des enfants. Il faut toujours s'efforcer d'y répondre. Mais elles risquent de vous emmener très loin, beaucoup plus loin que vous n'imaginiez d'aller.

Georges Ifrah



Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur Nicolas Balacheff pour l'aide exemplaire et efficace qu'il m'a apporté comme directeur de recherche. C'est grâce à ses critiques toujours positives et aux encouragements qu'il m'a prodigués que j'ai pu mener à bien ce travail.

Je remercie Monsieur Jean-Marie Laborde, Directeur de recherche CNRS à l'Université Joseph Fourier de Grenoble d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de cette Thèse.

Je remercie également :

Monsieur Régis Gras Professeur à l'Université de Rennes I

Madame Janine Rogalski Directeur de Recherche CNRS URA 1297 Psychologie Cognitive Paris VIII.

Madame Madeleine Eberhard Maître de conférences à l'Université Joseph Fourier de Grenoble

qui ont bien voulu accepter de faire partie du jury de soutenance de cette thèse.

Les travaux de recherche présentés ici n'auraient pu avoir lieu sans l'aide et la participation des membres de l'équipe du laboratoire LSD2. Je remercie Madame Colette Laborde qui a su donner à cette équipe à la fois les moyens de son développement et son exceptionnelle ambiance de travail. Je remercie particulièrement Vassilios Dagdilelis, Franck Bellemain, Sidi Bekaye Sokona, Iman Osta, Annie Bessot, Colette Laborde et Madeleine Eberhard qui ont su être à la fois des observateurs efficaces dans la phase expérimentale et des interlocuteurs précieux.

Ce travail a aussi été rendu possible grâce à l'aide efficace que m'ont apporté de nombreux collègues du collège le Vergeron à Moirans en particulier les principaux Mme Chavoz et Monsieur Mothes et Monsieur Colson, documentaliste, sans oublier tous les élèves et les personnels de l'inspection académique et du rectorat de Grenoble qui ont accepté volontiers de se prêter aux expérimentations que je leur proposais.

Mes remerciements vont aussi aux animateurs de l'IREM de Grenoble qui m'ont aidé à avancer dans une réflexion sur l'enseignement qui, m'a conduit à ce travail de recherche. Parmi ceux-ci je tiens à remercier spécialement Michel Guillerault, Marc Legrand et aussi mon éternel complice Philippe Clarou.

Je remercie le service de Reprographie de l'IMAG pour son accueil toujours amical et le soin apporté à la réalisation de ce document.

Enfin, je me permets d'exprimer ici la reconnaissance que je dois à l'environnement affectueux de ma famille. Que mes enfants Benoît et Cécile et mon épouse Gilberte soient remerciés ici du soutien qu'ils m'ont prodigué pendant ce long travail qui m'a souvent rendu peu disponible.

# Calcul algébrique et programmation dans un tableur Le cas de Multiplan

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1. LE TABLEUR : UN OUTIL NOUVEAU.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ENSEIGNEMENT DE L'INFORMATIQUE, L'ORDINATEUR AU COLLEGE.....</b>	<b>2</b>
2.1. LA SITUATION DANS L'ENSEIGNEMENT.....	2
2.2. OBJECTIF D'ALPHABETISATION INFORMATIQUE.....	3
<b>3. LE CADRE THEORIQUE DE LA DIDACTIQUE DES MATHEMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE.....</b>	<b>3</b>
<b>4. LES QUESTIONS ETUDIEES.....</b>	<b>5</b>
<b>5. ORGANISATION GENERALE DU TRAVAIL DE RECHERCHE.....</b>	<b>6</b>
5.1. PRE-EXPERIMENTATION (1986).....	7
5.2. LA SEQUENCE OBSERVEE (1987).....	7
5.3. LA SEQUENCE AVANT INTERVIEW (1988).....	8
5.4. LA SITUATION INTERVIEW (1988).....	9
<b>6. ORGANISATION DE LA THESE.....</b>	<b>9</b>
<b>CHAPITRE 1. LE CADRE THEORIQUE DE L'ALGEBRE ET DES TABLEURS ....</b>	<b>11</b>
<b>1. ARITHMETIQUE ET ALGEBRE.....</b>	<b>11</b>
1.1. SURVOL DES DIFFERENTS TRAVAUX SUR L'ALGEBRE EN DIDACTIQUE.....	11
1.1.1. -Le rôle du signe égal.....	11
1.1.2. -Le statut et la signification des lettres dans le calcul algébrique.....	12
1.1.3. -Les aspects syntaxiques.....	12
1.1.4. -L'interprétation des équations et leur résolution.....	12



1.1.5. -Les aspects dynamiques et statiques dans l'écriture d'expressions arithmétiques et algébriques.....	13
1.1.6. -Approches informatiques de la notion de variable.....	13
1.1.7. -Les fonctions et les graphes.....	13
1.2. LA RUPTURE ARITHMETIQUE -ALGEBRE.....	14
1.2.1. -L'arithmétique.....	14
1.2.2. -L'algèbre.....	15
<b>2. ANALYSE CONCEPTUELLE DE MULTIPLAN.....</b>	<b>16</b>
2.1. DESCRIPTION DU LOGICIEL.....	17
2.1.1.-La cellule élément de base du tableau.....	18
2.1.2.-La formule : aspect dynamique du tableur.....	18
2.1.3.-Les systèmes de références.....	19
2.1.4. Les fonctions dans multiplan.....	24
2.1.5. Contenus apparents et cachés des cellules.....	25
2.2. ARITHMETIQUE ET ALGEBRE : LE POINT DE VUE DES TABLEURS.....	28
2.2.1. Niveau de description des calculs : la construction d'une formule.....	29
2.2.2. Niveau d' analyse d'une formule.....	31
2.2.3. La structuration en tableau.....	32
2.2.4. Caractéristiques algébriques.....	35
2.2.5. La réplication.....	39
2.2.6. L'itération.....	42
2.2.7. Etude comparée de la réplication et de l'itération dans Multiplan.....	45
2.2.8. Complexité d'une formule.....	46
2.2.9. Extension de l'utilisation du tableur.....	47
<b>CHAPITRE 2. ALGEBRE ET MULTIPLAN : LES REFERENCES.....</b>	<b>49</b>
<b>1. REFERENCES RELATIVES :.....</b>	<b>50</b>
1.1. UNE APPROPRIATION DELICATE.....	51
1.2. LA COMPLEXITE DE LA FORMULE : ORGANISATION DU CALCUL.....	55
1.3. LE ROLE DE LA CELLULE ACTIVE COMME ORIGINE DU REPERE.....	58
1.4. LE ROLE DE L ET C DANS LES REFERENCES.....	64
1.5. LE FRACTIONNEMENT D'UNE REFERENCE.....	64
1.6. LES PARENTHESES ET CROCHETS.....	68

2. DESIGNATION AVEC DES REFERENCES ABSOLUES .....	73
2.1. UNE LECTURE AISEE.....	73
2.2. CARACTERISATION.....	74
<b>CHAPITRE 3 : LA FORMULE .....</b>	<b>77</b>
<b>1.LE ROLE DE LA FORMULE .....</b>	<b>79</b>
1.1.    EDITION D'UNE FORMULE.....	79
1.2.    EXISTENCE DE LA FORMULE .....	80
1.3.    FEUILLE DE CALCUL : UN GENERATEUR DE TABLEAUX .....	84
1.4.    DESCRIPTION , LANGAGE ET VARIABLE .....	90
1.4.1.    De la description à la formule .....	90
1.4.2.    De la formule à la description .....	92
<b>2.CODAGE ET DECODAGE.....</b>	<b>96</b>
2.1.    UNE FORMULE EN REFERENCES RELATIVES.....	96
2.1.1.    Absence de représentation .....	96
2.1.2.    Représentation langagière.....	97
2.1.3.    Représentation géographique.....	97
2.1.4.    Représentation algébrique .....	97
2.2.    UNE FORMULE EN REFERENCES ABSOLUES .....	100
2.2.1.    Absence de représentation .....	101
2.2.2.    Représentation langagière.....	102
2.2.3.    Représentation de type "numérique" et "numérique marqué" .....	104
2.2.4.    Représentation géographique.....	107
2.2.5.    Représentation algébrique .....	110
2.3.    IMPLANTATION D'UN MODELE ALGEBRIQUE.....	111
<b>CHAPITRE 4. CARACTERES INFORMATIQUES.....</b>	<b>117</b>
<b>1.REPLICATION.....</b>	<b>117</b>
1.1.LA SITUATION "TABLES NUMERIQUES" .....	118
1.2.ANALYSE A PRIORI.....	118

1.2.1.	Le calcul horizontal .....	120
1.2.2.	La réplication .....	121
1.3.	COMPTE RENDU DES OBSERVATIONS.....	122
1.3.1.	Stratégies des élèves .....	122
1.3.2.	Appel à des compétences de la machine .....	122
1.3.3.	Utilisation de la recopie.....	126
1.3.4.	La construction de la réplication .....	126
1.3.5.	Conclusion .....	134
2.	CONSTRUCTION D'UN PROCESSUS ITERATIF .....	135
2.1.	TRAVAUX EXISTANTS.....	135
2.1.1.	Influence du langage de programmation .....	136
2.1.2.	L'itération .....	136
2.2.	CARACTERISTIQUES DE L'ITERATION DANS MULTIPLAN.....	137
2.3.	LA SITUATION SOMME DES 300 ENTIERS.....	138
2.3.1.	description .....	138
2.3.2.	Analyse a priori des stratégies .....	140
2.3.3.	Compte rendu des observations .....	142
3.	CONCLUSION .....	152
<b>CHAPITRE 5. MULTIPLAN OUTIL.....</b>		<b>155</b>
1.	CONCEPTIONS INITIALES D'UN UTILISATEUR.....	155
1.1.	LA PRIORITE AUX RESULTATS : .....	155
1.1.1.	Une cellule vide .....	155
1.1.2.	Feuille de calcul versus tableau.....	156
1.1.3.	Les formats .....	164
1.1.4.	La recopie .....	166
1.2.	REVERSIBILITE .....	167
1.2.1.	Reversibilité effective.....	168
1.2.2.	Reversibilité non effective.....	171
2.	NIVEAUX D'UTILISATION.....	173
2.1.	ACTION VERSUS ANALYSE .....	173
2.1.1.	Niveau de l'ostention .....	173

2.1.2.	Niveau de manipulation Formelle.....	179
2.2.	DISPONIBILITE DE L'OUTIL.....	179
2.2.1.	La course de carrés .....	180
2.2.2.	La situation cible.....	182
<b>CHAPITRE 6 -MULTIPLAN OUTIL : FEUILLES DE CALCULS LIEES ET</b>		
<b>RECOPIABILITE .....</b>		<b>185</b>
<b>1.DANS L'ENSEIGNEMENT : LA SITUATION "EQUATION".....</b>		<b>185</b>
1.1.	ANALYSE A PRIORI.....	186
1.2.	ANALYSE DE OBSERVATIONS.....	186
1.2.1.	Le cas exemplaire de Mylène et Nadia .....	187
1.2.2.	Le cas de Christophe : initialisation et recopiabilité.....	191
1.2.3.	Le cas de Sylvie : une formule recopiable .....	196
<b>2.SITUATION EXPERIMENTALE : GAZ-ELEC.....</b>		<b>198</b>
2.1.	DESCRIPTION DE LA SITUATION.....	198
2.2.	OBJECTIFS.....	199
2.3.	VARIABLES DE COMMANDE DE LA SITUATION.....	200
2.4.	ANALYSE A PRIORI DES STRATEGIES .....	201
2.5.	ANALYSE DES OBSERVATIONS .....	202
2.5.1.	Difficultés liées à la présence du zero .....	202
2.5.2.	Difficultés liées à la recopie.....	206
2.5.3.	L'analyse de l'erreur et la disqualification des références relatives	
	210	
2.5.4.	différentes solutions proposées .....	215
<b>3.CONCLUSION .....</b>		<b>224</b>
<b>C O N C L U S I O N.....</b>		<b>227</b>
<b>1.RAPPEL DES QUESTIONS INITIALES .....</b>		<b>227</b>
1.1.	construction d'une feuille de calcul.....	227
1.2.	De l'arithmétique à l'algèbre.....	228
1.3.	concepts informatiques : itération et réplication .....	228

1.4.	Le dispositif expérimental.....	228
<b>2.</b>	<b>LES RESULTATS DE L'ETUDE.....</b>	<b>229</b>
2.1.	CONSTRUCTION D'UNE FEUILLE DE CALCUL.....	229
2.1.2.	Obstacles liés à l'édition d'une formule et des références relatives. 229	
2.2.	DE L'ARITHMETIQUE A L'ALGEBRE.....	230
2.2.1.	Priorité accordée aux résultats.....	231
2.2.2.	Formules mixtes dans des feuilles de calcul liées.....	232
2.3.	CARACTERES INFORMATIQUES.....	233
<b>3.</b>	<b>LES AUTRES TABLEURS.....</b>	<b>234</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>237</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>243</b>

# INTRODUCTION

## 1. LE TABLEUR : UN OUTIL NOUVEAU

C'est au début des années 80 que sont apparus les premiers tableurs. Ces progiciels ont tout de suite séduit un grand nombre d'utilisateurs. En effet, le traitement de données à l'aide de tableaux est une activité fréquente dans un très grand nombre de secteurs d'activités. Le tableau qui permet une classification des données suivant des critères déterminés existait bien avant le tableur, mais celui-ci en permet une exploitation dynamique. C'est un outil performant qui simplifie la tâche des gestionnaires et des financiers mais qui permet aussi des développements dans d'autres domaines comme les mathématiques, les statistiques ou l'économie. Bien entendu le domaine de l'enseignement, qui nous intéresse particulièrement, se trouve concerné par ce type d'outil.

L'utilisation des tableurs nécessite la contextualisation de savoirs mathématiques, en particulier algébriques dans cet environnement spécifique. L'objet du travail réalisé et présenté ici est d'étudier la contextualisation de ces savoirs avec des élèves de collège âgés de 15 ans (Classe de troisième). Nous mènerons aussi une comparaison avec des adultes en situation de travail.

### **Le choix du tableur.**

Pour cette étude, nous avons réalisé plusieurs séquences d'enseignement pour ces élèves sur une durée de trois ans. Le choix de Multiplan s'est fait naturellement à ce moment là, en raison de sa prédominance sur le marché. Depuis, de nombreux tableurs sont venus contester sa suprématie, tant sur Macintosh que dans les environnements de Compatibles IBM. Bien que beaucoup de problèmes de syntaxes soient spécifiques de Multiplan, il demeure pourtant qu'une grande partie des conclusions que nous tirons de cette étude reste pertinente pour d'autres tableurs comme Excel ou Lotus 1,2,3, quelque soit l'environnement de travail utilisé.

## **2. ENSEIGNEMENT DE L'INFORMATIQUE, L'ORDINATEUR AU COLLEGE.**

### **2.1. LA SITUATION DANS L'ENSEIGNEMENT**

Dans les collèges français il n'existait pas, encore récemment, d'enseignement de l'informatique du moins dans les programmes officiels. Mais la mise en place progressive d'un tel enseignement correspond à un projet qui se donnait dès 1984 pour objectifs :

- de" donner à l'informatique sa place dans la formation générale, c'est-à-dire permettre à chaque jeune d'acquérir au cours de sa scolarité les moyens de connaître des outils informatiques et d'en maîtriser les conséquences sociales et culturelles,
- de [permettre] d'utiliser les ressources offertes par l'informatique, et plus généralement par les nouvelles technologies, pour améliorer l'efficacité de l'enseignement".

(Circulaire inspection académique de l'Isère SCOL 4-84.122)

Dans le travail avec des ordinateurs au collège on dégage habituellement trois directions de travail :

-l'utilisation d'ordinateurs pour la mise en œuvre de "didacticiels". Ceci concerne l'ensemble des disciplines enseignées au collège.

-l'apprentissage de la programmation avec divers langages comme LOGO, BASIC ou PASCAL.

-la familiarisation à l'utilisation de logiciels utilisés au niveau professionnel comme les traitements de texte, les tableurs, les bases de données ou les outils de création graphique.

Les décideurs au niveau de l'Education Nationale ont tendance à l'heure actuelle à privilégier la troisième direction. Cet enseignement utilise le cadre de l'EMT<sup>1</sup>. La situation reste cependant très diverse suivant les collèges en raison essentiellement de problèmes de formation car l'équipement en matériel se poursuit régulièrement avec de plus une nette amélioration de la qualité fournie.

Pour notre part, les expérimentations ayant débuté en 1985, aucune structure déjà installée, ne permettait d'assurer un enseignement autour des tableurs. C'est la

---

<sup>1</sup> Enseignement Manuel et Technique.

raison pour laquelle nous avons dû organiser un enseignement optionnel en informatique dans une classe de troisième pendant trois années consécutives. Il comprenait des séquences d'un trimestre, c'est-à-dire dix semaines environ à raison de séances d'une heure et demie par semaine. Cet enseignement utilisait une structure particulière au collège<sup>1</sup> qui permettait à des élèves de troisième de choisir chaque trimestre une option différente dans des disciplines techniques ou artistiques. Il s'agit donc d'un enseignement prenant sa place dans le temps de travail officiel des élèves, mais dans une structure propre au collège où nous avons mené les expérimentations.

## **2.2. OBJECTIF D'ALPHABÉTISATION INFORMATIQUE**

Il s'agissait pour nous d'assurer pour les élèves une "alphabétisation informatique<sup>2</sup>". L'enseignement visait la construction par les élèves d'une conception du dispositif -matériel et logiciel- pour la maîtrise du progiciel Multiplan<sup>TM3</sup>. Dans ce contexte, la question se pose de savoir quel rôle jouent les représentations que l'utilisateur se constitue d'un tel outil dans son appropriation. La réponse que l'on apporterait à cette question garantirait une utilisation optimale en évitant une sous-utilisation ou un abandon des outils concernés. (Rapport de recherche 1984).

Une alphabétisation informatique pour des non-informaticiens recouvre alors, au delà d'éventuelles activités de programmation, un ensemble d'actions visant à la construction, chez l'apprenant, des représentations nécessaires à l'utilisation d'un ordinateur et de logiciels pour optimiser leur utilisation.

## **3. LE CADRE THÉORIQUE DE LA DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE**

Le présent travail se situe dans le cadre de la théorie des situations didactiques développée par Brousseau (1986). Depuis plusieurs années de nombreux textes ont

---

<sup>1</sup>Il s'agit du Collège de Moirans dans l'Isère.

<sup>2</sup>Nous empruntons le terme "d'Alphabétisation informatique" à Janine Rogalski (Rogalski 1985)

<sup>3</sup>Multiplan est un logiciel créé par Microsoft.



présenté les fondements de cette approche théorique des problèmes d'apprentissage des mathématiques prenant en compte la construction des connaissances par les élèves confrontés à des situations construites en vue de l'appropriation d'un savoir déterminé (Brousseau 1988). Nous ne développerons pas ici ces éléments théoriques.

Nous noterons cependant que le travail que nous présentons a la particularité d'étudier la contextualisation de concepts mathématiques dans un environnement informatique. L'une des difficultés que nous avons rencontrées a été de trouver des points d'appui dans des travaux déjà publiés pour une partie de notre travail. En effet si l'apprentissage de l'Algèbre élémentaire a été largement étudié, en revanche il n'existe pas de travaux concernant les savoirs investis dans les tableurs. Notre revue bibliographique nous a conduit à recenser essentiellement des articles pour les enseignants présentant des activités à réaliser avec un tableur ou des documents de formation décrivant un ensemble de fonctionnalités du tableur traitées sur des exemples de comptabilité ou de gestion ou encore des manuels décrivant l'une après l'autre les différentes commandes du tableur. Les recherches menées en didactique de l'informatique, en particulier en programmation avec des élèves débutants ont servi de base à la construction des parties plus spécialement liées à des concepts informatiques comme l'itération.

Bien que ce ne soit pas l'objet de notre travail, nous avons pris connaissance d'un ensemble de travaux abordant l'ergonomie des logiciels et la communication Homme-Machine ainsi que l'apprentissage de la programmation dans le mesure où une partie des concepts que nous étudions relèvent de ce domaine. Les travaux spécifiques concernant les tableurs sont peu nombreux et traitent essentiellement des aspects liés à l'ergonomie du logiciel. Les travaux de Olson et Nilsen (1988), à propos des tableurs, comparent les performances d'utilisateurs expérimentés pour deux types de tâches et sont les seuls qui traitent des systèmes de références utilisés (dans Lotus et Multiplan). Mais cette recherche vise plutôt à aborder le problème posé aux utilisateurs par le choix d'un type de référence dans Lotus 123 et ses conséquences sur la performance pour une tâche donnée. leur étude ne fait pas rentrer en ligne de compte les problèmes de l'interaction avec les connaissances algébriques.

## 4. LES QUESTIONS ETUDIÉES

Les tableurs étant des outils récents, nous n'avons pas pu disposer d'études didactiques prenant en compte les connaissances, mathématiques en particulier, en jeu dans cet environnement. Aussi ce sont principalement les travaux que nous avons déjà menés depuis 1985 dans le cadre de l'équipe de didactique des mathématiques de Grenoble qui nous ont permis de poser les questions que nous étudions dans cette thèse (Capponi & Balacheff 1989).

Dans le cadre de nos premières recherches, nous avons pu noter que la construction d'une feuille de calcul nécessite la prise en compte de la différence qui existe entre un simple tableau de nombres et une feuille de calcul construite dans un tableur. Cette construction passe par l'élément-clé de celle-ci que constitue la formule.

Notre travail porte donc tout d'abord sur l'étude des obstacles liés à la construction d'une feuille de calcul. En particulier :

-les obstacles liés à l'édition d'une formule qui utilise des références relatives, les problèmes de syntaxe de l'algèbre et du tableur qui se mêlent. Nous accordons une place importante à la signification que les débutants accordent aux références relatives et par conséquent aux difficultés qu'ils rencontrent pour décoder des formules saisies automatiquement, par exemple avec une souris.

-les obstacles présentés par la priorité que le tableur accorde aux résultats par rapport aux formules. A ce sujet, comment ce type de fonctionnement du tableur interfère-t-il avec la construction d'une conception algébrique de la feuille de calcul par le débutant ?

-les obstacles liés à la construction de formules nécessitant simultanément plusieurs systèmes de références pour être recopiables dans certaines feuilles de calcul.

Nous nous sommes aussi intéressés à la construction d'une conception dynamique du tableur par les débutants. Comment les débutants passent-ils de la construction de simples tableaux de valeurs à la construction de modèles de feuilles de calcul dans le sens le plus général du terme.

Enfin, nous avons aussi cherché à savoir comment les élèves construisent des connaissances à propos de concepts informatiques présents dans d'autres environnements. Notamment nous avons voulu savoir si les difficultés rencontrées dans la construction d'une itération étaient de même nature que celles déjà relevées

dans d'autres environnements de programmation comme Pascal (Rouchier et al 1987). En particulier nous avons voulu étudier les rapports qu'entretiennent l'itération et la construction particulière que constitue l'utilisation simultanée d'une formule récurrente et de la recopie dans le tableur, et que nous avons appelée réplique.

## **5. ORGANISATION GENERALE DU TRAVAIL DE RECHERCHE**

Le travail de recherche a nécessité, au delà d'une étude du champ de l'algèbre et de l'arithmétique et d'une étude conceptuelle du tableur, la mise en place d'enseignements pour des élèves de collèges et d'expérimentations spécifiques pour l'étude des questions relatives aux concepts algébriques en jeu dans le tableur Multiplan.

La construction du processus d'enseignement n'est pas le résultat que nous souhaitons exposer, ni un modèle que nous proposons. Il a plutôt été plutôt un moyen de recueillir des données sur l'évolution des connaissances des élèves et un outil pour construire une situation didactique que nous avons expérimentée avec des élèves et des adultes à la fin de la phase expérimentale. Il s'agit ici, du point de vue de la recherche, d'étudier la connaissance algébrique contextualisée dans le tableur et sa reconstruction pour devenir opératoire. En effet " les processus d'adaptation et d'évolution des stratégies des élèves, dans le contexte de leur confrontation aux logiciels utilisés, [sont] basés sur des systèmes de connaissances et de traitement de l'information qui ne suivent pas nécessairement la même logique de fonctionnement que celle de l'élève." (Osta 1988). Cette adaptation des système de connaissances, dans le cadre de tâches élémentaires, à l'environnement du tableur est le principal objet de notre recherche.

L'enseignement réalisé a permis de recueillir des données sur lesquelles s'appuient nos analyses. Chaque binôme ( de 3 à 6 suivant les séances) disposait d'un ordinateur Macintosh . Les informations étaient recueillies de plusieurs façons :

- notes des observateurs (un par binôme)
- enregistrement de chaque binôme sur magnétophone
- enregistrement de fichiers informatiques correspondant au travail des élèves.
- productions écrites des élèves : notes, questionnaires et brouillons.

La séquence d'enseignement comporte des situations didactiques qui devaient permettre l'apprentissage des élèves. Cependant la construction des premières situations n'a pas toujours pu être menée avec la rigueur que nous aurions souhaitée. Il y a cela plusieurs raisons.

-Les tableurs sont des objets récents dont l'enseignement, dans les diverses formations que nous avons pu analyser, reste très largement empirique. Il n'existe pas, dans la revue bibliographique que nous avons menée, d'étude épistémologique de ce type de savoirs. Il en est de même, d'une manière générale, pour tout ce qui touche à l'enseignement de l'informatique. L'absence d'une telle étude rend très incertaine l'analyse a priori qui doit permettre d'étudier les conceptions initiales des élèves et envisager les conditions de leur évolution dans le déroulement de la situation. Nous avons donc organisé, pendant trois ans, notre recherche autour de plusieurs séquences d'enseignement successives qui nous ont permis de dégager des éléments d'une étude conceptuelle du tableur.

La figure 1 indique l'organisation générale de ce travail sur trois années consécutives. Le détail des séances est fourni en annexe.

Dans le développement de notre étude, nous indiquerons chaque fois s'il s'agit d'une séance d'enseignement (toujours avec des élèves) ou d'une situation d'interview (avec des élèves et des adultes).

Nous présentons ici l'articulation entre les trois séquences d'enseignement.

## **5.1. PRE-EXPERIMENTATION (1986)**

Le premier enseignement sur Multiplan a été mené en 1986 avec des élèves qui venait de suivre un enseignement de 5 semaines de la programmation en Pascal. La séquence sur Multiplan a duré 5 semaines à raison de deux heures par semaine.

Nous considérons ce premier enseignement comme une pré-expérimentation qui nous a permis après analyse des observations (Capponi, Balacheff 1989), de construire une analyse a priori pour certaines situations que nous construirons par la suite.

## **5.2. LA SEQUENCE OBSERVEE (1987)**

En 1987 de janvier à avril, sur 10 semaines, nous avons construit le processus d'enseignement observé sur lequel nous appuierons l'essentiel de nos analyses. Ces séances duraient une heure et demie. L'abandon de la séquence

Pascal et l'extension de l'étude de Multiplan à l'ensemble des 10 semaines est une conséquence des observations que nous avons pu faire en 1986.

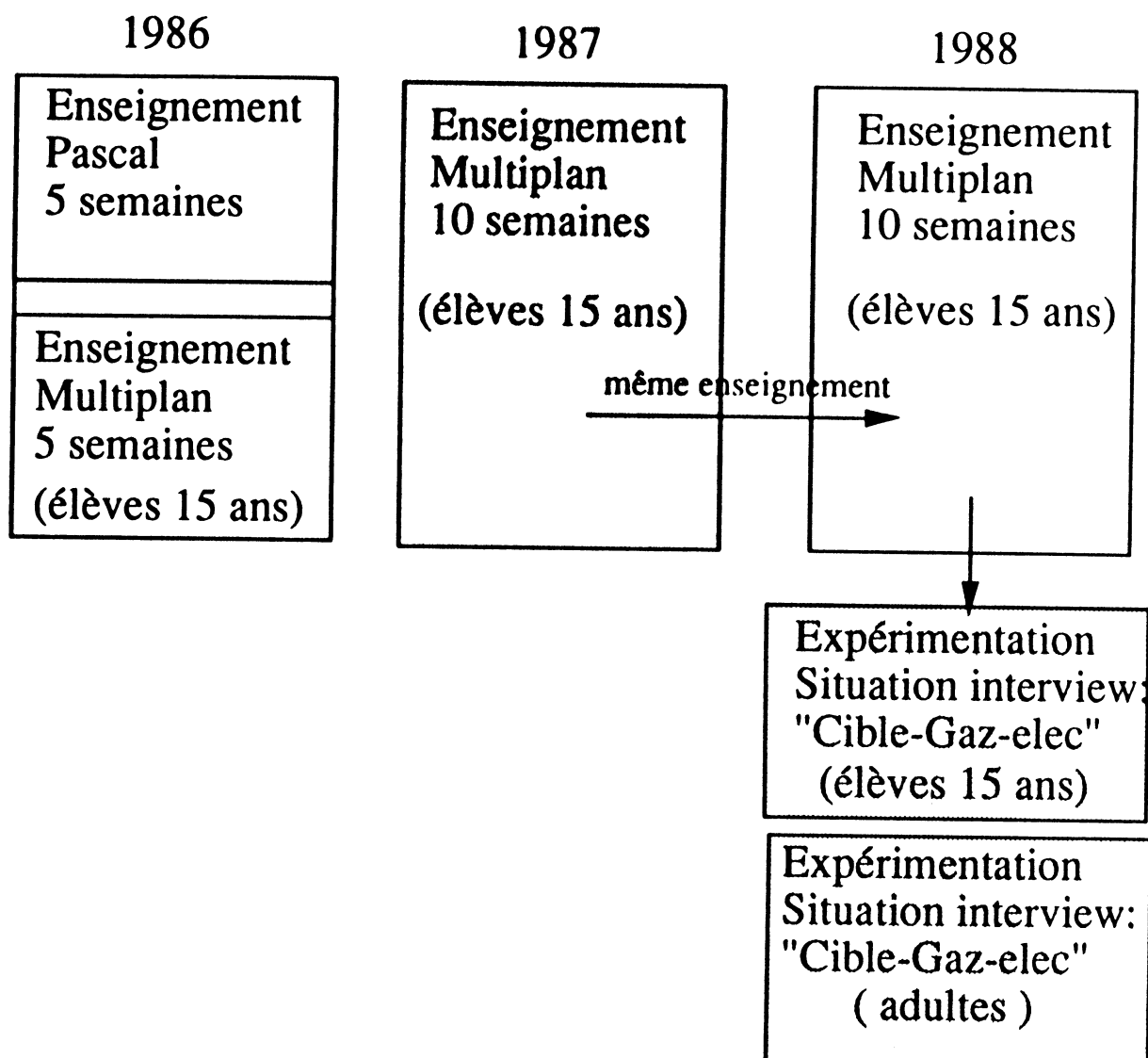


Figure 1

### 5.3. LA SEQUENCE AVANT INTERVIEW (1988)

Pour pouvoir mener une expérimentation post-enseignement avec des élèves de troisième, nous avons réalisé en 1988 le même enseignement qu'en 1987. Cette séquence n'a pas été observée comme la précédente, mais nous avons cependant recueilli les notes, les brouillons, les feuilles de calcul et les questionnaires remplis par les élèves. Les séances, cette année là, duraient une heure trois quarts.

## 5.4. LA SITUATION INTERVIEW (1988)

Cette situation a été expérimentée avec des élèves et des adultes ayant reçu une formation. Il s'agit d'une situation didactique réalisée par deux sujets (élèves ou adultes) avec un micro-ordinateur (Macintosh pour les élèves et PC-XT pour les adultes). Cette situation s'articule en trois temps (Cible1-cible2-Gaz-elec) qui sont détaillés dans l'annexe où nous fournissons aussi l'analyse a priori. L'observateur conduit une interview pendant la réalisation de la tâche par chaque binôme. L'ensemble des échanges est enregistré sur magnétophone et les feuilles de calcul sont enregistrées. Une grande partie de nos analyses s'appuieront aussi sur cette situation.

Dans tout le travail qui suit nous ferons référence :

-soit à la situation d'enseignement à travers l'une des séances par exemple "Vêtements : séance 3". Il s'agira alors, sauf précision supplémentaire, de la séance d'enseignement de 1987 avec des élèves de troisième.

-soit à la situation interview de 1988, en précisant de quelle partie il s'agit : par exemple **interview : cible 1**. Nous précisons aussi dans ce cas si les protocoles proviennent **d'adultes ou d'élèves** de troisième, puisque les deux populations ont participé à la même situation.

En résumé, nos analyses s'appuient principalement sur les séquences indiquées en grisé sur la figure 1.

Les situations sont décrites en Annexe, à l'exception de "interview : gaz-elec" qui est particulièrement étudiée au chapitre 6

## 6. ORGANISATION DE LA THESE

Nous avons organisé l'ensemble de ce travail en six chapitres :

Le premier traite des aspects théoriques concernant l'arithmétique et l'algèbre. Il développe aussi une analyse conceptuelle du tableur qui permet de préciser les concepts qui seront à la base de l'étude.

Le second traite, à travers des analyses de cas dans les situations décrites, des références relatives.

Le troisième aborde les questions liées à la formule et à son rôle dans le tableur.

**Le quatrième permet de décrire la partie du travail concernant les caractères informatiques, objets de notre étude : itération et réplication**

**Le cinquième envisage le tableur comme un outil, il étudie notamment les conceptions initiales d'un utilisateur concernant la priorité aux résultats et la "reversibilité". Il donne aussi quelques indications sur les niveaux d'utilisation que nous avons définis dans le cadre de notre étude avec des utilisateurs débutants.**

**Le sixième traite aussi de Multiplan comme outil mais du seul point de vue de la recopiabilité d'une formule dans le cas de feuilles de calculs "liées" , c'est-à-dire où apparaît la nécessité d'un double système de références.**

# Chapitre 1. Le cadre théorique de l'algèbre et des tableurs

Le travail que nous avons mené sur l'algèbre et les tableurs a nécessité une étude des travaux existant en didactique de l'algèbre ainsi qu'une analyse conceptuelle du tableur Multiplan que nous avons utilisé. Ce sont les éléments de ces analyses que nous présentons dans ce chapitre théorique.

## 1. ARITHMETIQUE ET ALGÈBRE

### 1.1. SURVOL DES DIFFÉRENTS TRAVAUX SUR L'ALGÈBRE EN DIDACTIQUE

De nombreuses recherches de didactique des mathématiques ont été entreprises à propos de l'algèbre élémentaire tant en France qu'à l'étranger. Un survol rapide de ces différents travaux permet de distinguer plusieurs orientations différentes dans l'étude de l'apprentissage de ces connaissances de l'école élémentaire jusqu'au collège.

#### 1.1.1. -LE RÔLE DU SIGNE ÉGAL.

L'utilisation du signe égal par les élèves a été étudiée dans les deux contextes arithmétique et algébrique. La conception du signe égal dans le cadre de l'arithmétique est celle d'un "do something signal" (Kieran 1989). Par exemple dans le problème "je pars cette semaine avec 75 Francs, je gagne encore 24 F et ensuite je dépense 37F. Combien j'ai à la fin de la semaine ? " les élèves écrivent l'égalité  $75+24 = 99-37=62$ , l'exécution étant prioritaire par rapport à l'équilibre que doit assurer l'égalité (Vergnaud 1984). Cette conception de l'égalité persiste longtemps après les débuts de l'Algèbre (Mevarech et Yitschak, 1983).



### 1.1.2. -LE STATUT ET LA SIGNIFICATION DES LETTRES DANS LE CALCUL ALGEBRIQUE

Le statut des lettres est différent suivant les types de problèmes que les élèves ont à traiter. Il s'agit ici de relever les différentes utilisations d'une lettre depuis la représentation particulière d'une valeur particulière jusqu'à la notion de variable. L'idée qu'une lettre ne représente qu'une valeur particulière est tout à fait compatible avec l'expérience arithmétique des élèves, mais l'idée que des lettres différentes telles que  $x$  et  $y$  puissent avoir la même valeur dans un problème donné n'est pas facile à admettre. [...] Des expressions telles que  $3x+8y+2x$  sont dénuées de sens et tendent à être résolues incorrectement à moins que l'enfant ne comprenne à la fois la signification de termes comme  $3x$  et le fait que les lettres peuvent représenter des valeurs différentes dans certains cas (Booth 1984).

### 1.1.3. -LES ASPECTS SYNTAXIQUES

Les parenthèses et la priorité des opérations n'apparaissent qu'avec les premiers éléments d'algèbre, ou du moins comme un préliminaire à l'algèbre dans l'enseignement du début du collège. Souvent ces élèves ne considèrent pas les parenthèses nécessaires pour indiquer l'ordre dans lequel les opérations sont faites (Kieran 1979) L'ordre de gauche à droite spécifie comment se font les opérations.

La hiérarchie conventionnelle des opérations semble inutile aux élèves au débuts de l'algèbre.(Kieran 1990). C'est ainsi que les parenthèses, et surtout leur absence par convention dans la multiplication en raison de la priorité, soulèvent des difficultés d'écriture et de lecture des calculs. En arithmétique savoir quelle opération effectuer en premier est généralement suffisant pour obtenir une réponse correcte, alors qu'en algèbre l'omission des parenthèses aboutit le plus souvent à une mauvaise réponse. (Booth 1984).

### 1.1.4. -L'INTERPRETATION DES EQUATIONS ET LEUR RESOLUTION.

L'étude des obstacles présentés par l'apprentissage des équations fait ressortir l'importance du passage arithmétique algèbre. En arithmétique les élèves posent les

opérations qu'ils utilisent pour résoudre le problème, en Algèbre ils doivent représenter la situation problème plutôt que d'effectuer les calculs (Kieran 1990). Mais ce n'est pas seulement poser une équation qui nécessite une approche différente en Algèbre. La résolution d'une équation requiert des procédures de résolution jamais rencontrées en arithmétique à l'école élémentaire (Kieran 1989). Il s'agit des problèmes liés à l'addition ou à la multiplication des deux membres par un même nombre et d'une manière générale à la conservation de l'égalité.

#### 1.1.5. -LES ASPECTS DYNAMIQUES ET STATIQUES DANS L'ECRITURE D'EXPRESSIONS ARITHMETIQUES ET ALGEBRIQUES.

Les relations ou les transformations sur des objets mathématiques apparaissent indépendantes du temps, de l'action, de l'intervention humaine [...] Une deuxième manière, pour des élèves, d'envisager ces relations consiste à faire intervenir le procédé qui explicite la transformation et la relation (Laborde 1977). Et Kieran (1990) exprime aussi " a prédominance of operational conceptions among our algebra students".

#### 1.1.6. -APPROCHES INFORMATIQUES DE LA NOTION DE VARIABLE

De nombreuses recherches ont abordé le concept de variable dans plusieurs environnements -Logo-Pascal-LSE- (Samurçay 1985b). Le concept de variable n'apparaît pas spontanément chez de jeunes élèves travaillant en LOGO et nécessite une intervention didactique. Il faut beaucoup de situations avant que des élèves (11-14 ans) puissent faire une synthèse sur la notion de variable (Sutherland & Hoyles 1986). Les expériences des élèves avec des variables en Logo ou Basic donnent des résultats bénéfiques dans les apprentissages algébriques (Sutherland 1987, Thomas & Tall 1986 ). Nous devons prendre en compte une partie des recherches menées sur ces thèmes pour aborder l'étude de l'itération dans Multiplan.

#### 1.1.7. -LES FONCTIONS ET LES GRAPHES

Cette question très étudiée fait ressortir une approche facilitée de la notion de fonction par l'étude de tableaux de valeurs pour des élèves de 12 à 15 ans (Dreyfus & Eisenberg 1981). En revanche la plupart des élèves rencontrent des difficultés à

relier les données numériques et les représentations graphiques (Janvier 1981 ; Ponte 1985 ; Vergnaud & Errecalde 1980). Avec des étudiants un peu plus âgés, 16 à 18 ans, Sfard (1987) observe que la conception de la fonction est plus *opérationnelle* - envisagée comme un algorithme- que *structurelle* c'est-à-dire envisagée comme correspondance entre deux ensembles. La majorité des étudiants considèrent la fonction comme un processus de construction plutôt que comme un objet statique. On peut dès lors en déduire une stratégie pour l'enseignement : " if an operational conception is indeed a necessary first step in an acquisition of a new mathematical idea, we can probably precipitate the learning by fostering the student's understanding of process and algorithms *before* translating them into structural definitions ; this can be done by incorporating computer programming into mathematics courses ". (Sfard 1987). Ajoutons que la gestion d'un ensemble de valeurs est facilitée par le tableur et que la formule peut justement être l'expression de l'algorithme qui facilitera l'approche de la notion de fonction.

## 1.2. LA RUPTURE ARITHMETIQUE -ALGÈBRE

Dans ces recherches en didactique l'étude de la rupture arithmétique -algèbre tient une place fondamentale puisque c'est à partir des connaissances de l'élève en arithmétique que se construisent les connaissances en Algèbre. Cette étude nécessite une prise en compte des différentes caractéristiques des deux savoirs en jeu. Dans le présent travail sur les tableurs, il convient de situer précisément par rapport à ces recherches la place que tient la formule utilisée dans un tableur. En particulier de quel domaine relève la formule envisagée comme description d'un calcul entre des contenus de cellules du tableur. Ceci permettra d'analyser quel rôle les élèves font jouer à la formule et aussi d'étudier les obstacles qui peuvent se présenter dans l'apprentissage.

### 1.2.1. -L'ARITHMETIQUE

L'arithmétique s'intéresse à la résolution de problèmes numériques utilisant essentiellement des nombres entiers naturels et des décimaux positifs. Cette résolution est obtenue à l'aide de techniques spécifiques mettant en jeu des relations entre des grandeurs. "L'outil essentiel de l'arithmétique est le langage ordinaire augmenté du calcul sur les nombres. [...]. Elle demeure essentiellement un savoir

oral qui ne confie au papier que l'effectuation des opérations sur les nombres" (Chevallard 1989)

L'arithmétique utilise un ensemble d'outils sémiotiques dont le rôle est de coder les calculs à effectuer. Il s'agit de la représentation des nombres entiers et décimaux, des symboles d'opérations, de parenthèses pour gérer les priorités et du signe "=" indiquant des résultats de calculs. Mais ces outils restent très limités. Dans ce contexte le calcul prend une place très accessoire en regard du raisonnement explicite en langue naturelle. Le calcul ne joue ici que le rôle d'une mécanique au service du raisonnement exprimé par ailleurs. L'exécution du calcul nécessite bien sûr son codage à l'aide de ces outils sur le papier mais l'exécution achevée et le résultat trouvé les calculs sont considérés comme une étape qui ne porte pas en elle d'éléments dans l'exposé du problème. Du point de vue de l'apprentissage, les connaissances arithmétiques des élèves proviennent du cycle élémentaire et certaines se dresseront en obstacles pour l'appropriation des savoirs dans le domaine algébrique dont l'apprentissage est entrepris au collège.

### 1.2.2. -L'ALGÈBRE

L'algèbre est aussi un domaine où l'on code les calculs dans des ensembles de nombres, mais elle fournit un moyen plus puissant, lié à l'usage des lettres pour désigner les variables et la possibilité de calculer sur les expressions littérales qu'elle conduit à former (Chevallard 1989). Il ne s'agit plus de travailler uniquement sur des quantités connues, mais d'exprimer des relations entre ces quantités. Qu'elles soient connues ou inconnues n'est plus un obstacle à l'écriture des relations contrairement à ce qui se passe en arithmétique. Ce qui fait la force de l'algèbre, c'est l'emploi de paramètres, ou de variables du système, dont les valeurs sont supposées connues. "En termes de modélisation, l'introduction des paramètres fait passer d'une modélisation "arithmétique", où les énoncés du langage ordinaire [...] cèdent la place à des expressions littérales sur lesquelles opère le calcul algébrique et qu'on pourra évaluer en fin de calcul, en revenant alors aux nombres particuliers définissant l'état du système auquel on s'intéresse". (Chevallard 1989).

Le système de représentation des relations s'appuie sur un usage de symboles, la plupart du temps littéraux qui représentent les variables. Ce n'est plus le langage ordinaire qui exprime le raisonnement, c'est le calcul lui-même qui permet une représentation du raisonnement. La puissance qu'introduit l'algèbre par rapport à l'arithmétique la rend de toute façon nécessaire dès que la complexité des

situations dépasse un certain niveau, la plupart du temps dès qu'on aborde les problèmes autres que ceux qui relèvent du premier degré.

La maîtrise de l'Algèbre nécessite l'appropriation d'une syntaxe nouvelle pour l'élève et des usages particuliers de certains symboles connus comme les symboles opératoires, le signe égal ou les parenthèses. L'aboutissement de l'algèbre élémentaire, du moins au collège, est l'étude de quelques fonctions données par une expression algébrique. Les recherches en didactique de l'Algèbre se sont intéressées à ce qu'on désigne habituellement par le terme de "rupture arithmétique/algèbre". Il s'agit ici d'une rupture au sens des concepts mis en jeu dont l'élève doit s'assurer l'appropriation. L'algèbre représente une double rupture épistémologique avec l'introduction d'un détour formel dans le traitement de problèmes habituellement traités intuitivement et d'autre part l'introduction d'objets mathématiques nouveaux comme les équations, les inconnues ou les fonctions (Vergnaud 1988).

Le passage d'un mode de raisonnement qui n'utilise le secours de l'écrit que pour effectuer des calculs numériques à une autre problématique de l'écriture des relations en jeu entre les nombres n'est pas sans dresser un certain nombre d'obstacles bien identifiés ces dernières années. On peut dire que de ce point de vue l'Algèbre ne peut pas être considérée comme une simple généralisation de l'Arithmétique. "Learning algebra is not merely a question of making explicit what was implicit" (Kieran 1989). C'est l'un des résultats fondamentaux d'avoir reconnu que l'algèbre n'est pas un simple transfert des connaissances de l'arithmétique. Même si dans les deux domaines l'écriture d'un calcul utilise des moyens ayant beaucoup d'éléments communs.

## 2. ANALYSE CONCEPTUELLE DE MULTIPLAN

Dans ce paragraphe nous présentons l'analyse du logiciel utilisé en étudiant ce qu'il implique comme concepts, objets, relations entre ces objets, procédés et règles de fonctionnement relatifs à un ensemble de traitement de l'information (Osta 1988). On peut se référer aux travaux de Barthet (1983) sur la conception d'une interface homme-machine pour situer cette analyse par rapport aux 3 niveaux de représentation qu'elle définit :

-la Représentation Conceptuelle (RC) qui est la représentation abstraite des fonctionnalités du logiciel.

-la Représentation Interne (RI) qui est la représentation implantée dans l'ordinateur.

-la Représentation Externe (RE) qui est la représentation que voit l'utilisateur, elle dépend comme la seconde des contraintes matérielles et logicielles du dispositif informatique utilisé.

Notre analyse ne prendra pas en compte la représentation interne, les phénomènes étudiés ne nous obligent pas à aller jusque là. Nous présenterons dans un premier temps une description de la représentation externe qui permettra d'appuyer et de donner un sens à la description conceptuelle qui prend en compte les fonctionnalités disponibles pour l'utilisateur. C'est en effet au niveau de la représentation conceptuelle que se situe l'apprentissage. Toute utilisation adéquate du logiciel doit résulter de la construction par l'utilisateur d'une représentation de son fonctionnement liée à cette représentation conceptuelle. Il s'agit notamment de s'approprier le rôle et la construction des formules, les systèmes de référence et d'une manière générale ce que le logiciel permet de faire du point de vue des calculs et de la façon de les mettre en œuvre

## **2.1. DESCRIPTION DU LOGICIEL**

Le tableur auquel nous faisons référence et qui a été l'objet de l'essentiel de notre travail est Multiplan™ (versions 1.02 et 1.10 de Microsoft™ pour Macintosh™).

Nous avons réalisé par ailleurs des expérimentations avec des adultes en milieu de travail sur Multiplan version 1 pour Compatibles PC.

Un tableur impose une structuration des données sous la forme d'un tableau constitué de cellules. Mais la puissance d'un tel logiciel provient principalement de l'existence de formules reliant entre elles plusieurs cellules associées à des fonctionnalités d'édition adaptées.

### 2.1.1.-LA CELLULE ELEMENT DE BASE DU TABLEAU

Le tableau de Multiplan comporte 255 lignes et 63 colonnes dont les intersections déterminent 16065 cellules. La cellule est l'élément de base du tableau. L'édition des formules, la saisie des données au clavier, se fait toujours après sélection d'une cellule choisie par l'utilisateur. La cellule sélectionnée est souvent désignée par le terme de cellule active. Sur Macintosh elle est perceptivement identifiée par sa couleur noire. La cellule peut contenir une simple valeur numérique ou un texte, mais également une formule qui produit un résultat calculé et affiché dans la cellule. Nous distinguerons ainsi les **cellules de données** et les **cellules calculées**. Par ailleurs pour l'écriture des formules chaque cellule doit être désignée, nous étudierons ce point plus loin.

### 2.1.2.-LA FORMULE : ASPECT DYNAMIQUE DU TABLEUR

De fait la formule implantée dans une cellule est l'expression algébrique d'une fonction. Les variables de la formule qui définit cette fonction sont des références à des cellules dont les contenus calculés leur sont attribués. Par exemple dans le figure 1-1, nous avons représenté plusieurs cellules en distinguant pour chacune un niveau apparent contenant une valeur numérique et un deuxième niveau contenant éventuellement une formule.

Pour faciliter la lecture nous avons désigné ces cellules par les lettres a à f. La cellule c contient une formule qui calcule à partir des valeurs affichées dans les cellules a, b et d la somme 15 affichée dans cette cellule c. L'exemple donné montre que l'on peut faire référence à des constantes numériques comme dans la cellule d ou à des valeurs déjà calculées par d'autres fonctions comme dans les cellules b ou c. On peut aussi faire référence à une cellule sans contenu apparent comme la cellule e et, dans le cas d'un calcul le contenu par défaut est zéro. Le tableur effectue une mise à jour du tableau dans le cas d'une modification du contenu des cellules arguments. Une feuille de calcul avec l'ensemble de ses formules est alors davantage qu'un simple tableau de valeurs : elle génère un ensemble de tableaux défini par les relations qui ont été créées entre les cellules. C'est cet aspect fonctionnel qui donne au tableur un statut dynamique. La construction d'une feuille de calcul doit tenir compte de l'aspect générique que les formules donnent au modèle construit, c'est-à-dire prendre en compte toutes les valeurs numériques susceptibles d'être affectées aux cellules du tableur. Par exemple dans le cas de la

figure 1-1, la formule définie dans la cellule f, doit tenir compte des éventuels contenus qui pourraient être affectés à la cellule e.

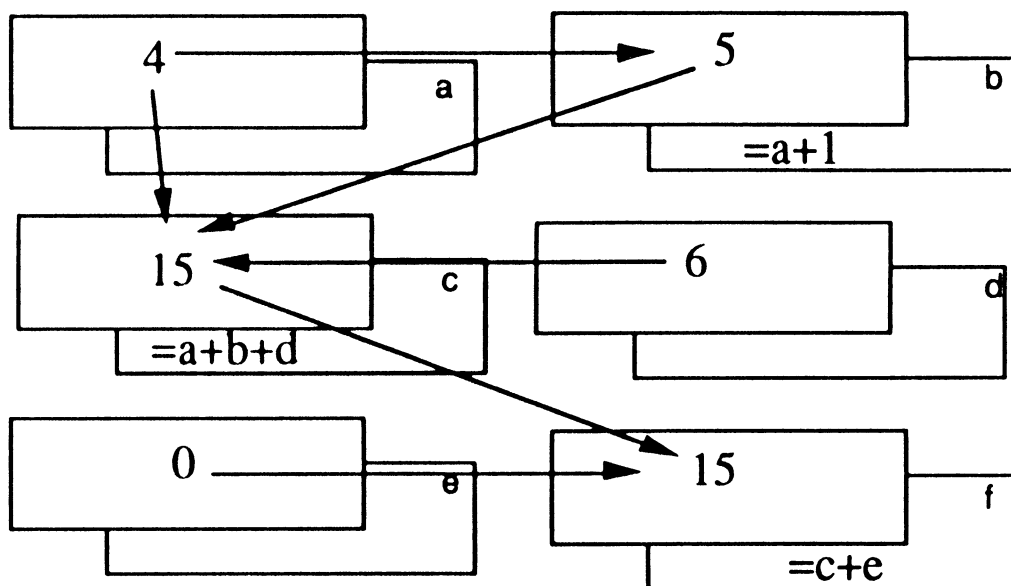


Figure 1-1

Ainsi dans la suite de notre travail nous distinguerons la **feuille de calcul**, qui définit la fonction, des **tableaux** qui sont les images de cette fonction obtenues à partir d'un ensemble de données numériques données par l'utilisateur. Cette précision terminologique est d'autant plus nécessaire que l'utilisateur n'aperçoit sur l'écran que ces images, ainsi que l'indique la figure 1-1, ce qui ne manquera pas d'avoir des conséquences sur ses conceptions.

### 2.1.3.-LES SYSTEMES DE REFERENCES

Ecrire une formule de calcul dans une cellule à partir des contenus d'autres cellules nécessite l'utilisation de modes de désignation. Pour décrire la figure 1-1, nous avons par exemple utilisé des désignations classiques en algèbre, avec des lettres. Dans un tableur il existe plusieurs types de désignations pour répondre aux différents besoins de l'utilisateur. En effet, repérer des cellules dans un tableau peut être fait à l'aide :

- d'une référence absolue
- d'une référence relative à la cellule active
- d'une désignation spécifique (nom attribué à une cellule)



### 2.1.1. Références absolues

L4C2 qui apparaît en haut et à gauche de la feuille de calcul (Figure 1-2) est la "référence absolue" de la cellule active. Cette référence est l'indication des numéros de ligne et de colonne (ici, ligne 4 et colonne 2) à l'intersection desquelles se trouve la cellule. Ce type de désignation est fait en référence à un repère fixe auquel est rapporté le tableau de Multiplan correspondant à la numérotation affichée à l'écran pour les lignes et les colonnes. Dans le tableau, chaque cellule a ainsi une désignation unique. On peut utiliser ces références pour écrire des formules comme : =L2C2+L3C2 qui calcule la somme des contenus des deux cellules L2C2 et L3C2.

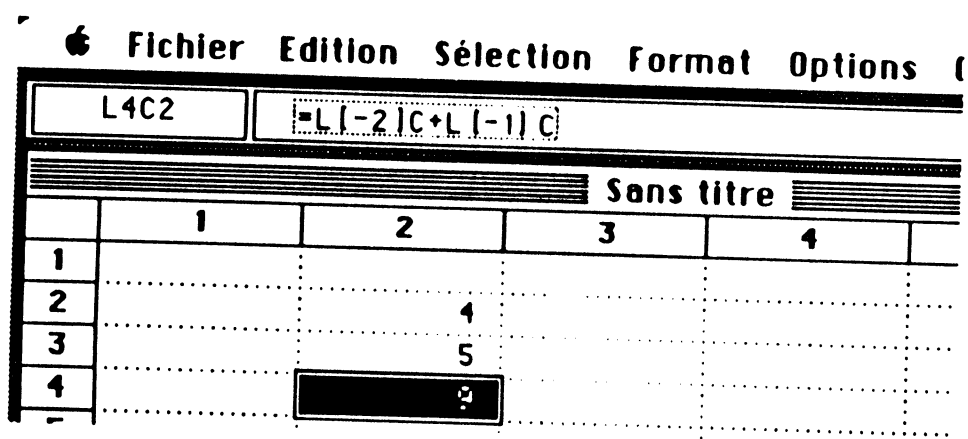


Figure 1-2

### 2.1.3.1. REFERENCES RELATIVES

Encadrée d'un pointillé, on peut voir dans la barre d'édition de la figure 1-2 une formule utilisant des "références relatives". L[-2]C désigne la cellule qui se trouve deux lignes au dessus de la cellule active et dans la même colonne. Il s'agit là d'un repère dont l'origine est la cellule active. Au cours de l'édition d'une formule le fait de désigner une cellule à l'aide de la souris édite automatiquement dans la formule les références relatives de cette cellule par rapport à la cellule active. C'est le choix qui a été fait par le concepteur du logiciel, il donne à ce type de référence une place privilégiée pour l'écriture des formules. L[-4]C[+2] indique par exemple le déplacement à effectuer de la cellule active à la cellule que l'on veut désigner c'est-à-dire quatre lignes au dessus (-4) et 2 colonnes à droite (+2). Ce type de référence comporte une syntaxe particulière avec l'utilisation des lettres L et C pour ligne et

colonne, un crochet<sup>1</sup> contenant alors le décalage de la cellule désignée par rapport à la cellule active, avec le signe obligatoire + ou - (suivant le sens du décalage ). Il existe cependant deux types d'exceptions à cette syntaxe générale des références relatives:

- l'absence de parenthèses et d'argument numérique, comme dans LC[5] ou L[-2]C signifie que l'on fait référence à une cellule de la même ligne ou de la même colonne. LC désigne ainsi la cellule active elle même.

- l'absence de la lettre L ou C par exemple L[-4] ou C[+2] signifie également que l'on fait référence à une cellule de la même colonne ou de la même ligne.<sup>2</sup>

### 2.1.3.2. LES NOMS

On peut donner un nom à une cellule ou à un ensemble de cellules (colonne, ligne, pavé etc.). Ce nom, contrairement à la référence absolue n'a pas de syntaxe prédéfinie l'utilisateur choisira généralement un signifiant lié au problème qu'il traite<sup>3</sup> La désignation d'une cellule ou d'un ensemble de cellules à l'aide d'un nom se réalise à l'aide de l'option "Définir un nom" du menu sélection. (Figure 1-3).

---

<sup>1</sup>La version 1.02 de Multiplan sur Macintosh utilise des parenthèses dans l'écriture des références alors que la version 1.10 utilise des crochets. Cette différence peut avoir une incidence non négligeable sur la lecture des formules comportant déjà des parenthèses pour indiquer des priorités de calcul comme dans le calcul algébrique classique. La version 1.02 a été utilisée au cours de la première expérimentation alors que par la suite nous avons utilisé la version 1.10 que nous considérons plus lisible On peut noter aussi que sur les versions pour compatibles P.C les références relatives s'écrivent avec des parenthèses.

<sup>2</sup> Le Manuel de l'utilisateur comporte un exemple de la première exception mais la deuxième n'apparaît à aucun moment dans la documentation. L'absence d'indication sur cette deuxième exception explique sans doute le peu d'utilisation qui en est fait dans les modèles de feuilles que nous avons pu observer.

<sup>3</sup> Les contraintes de syntaxe sont faibles ; elles permettent à l'utilisateur de choisir pratiquement n'importe quel nom signifiant, à l'exception de quelques mots réservés. (Manuel p 45)

### 2.1.3.2.1. Le nom : attribut caché de la cellule

L'utilisation de noms comporte plusieurs caractéristiques particulières.

- Le nom d'une cellule ou d'un groupe de cellules n'apparaît pas dans le tableau.

- Le nom donné à une cellule ou à une zone ne peut être connu qu'à l'aide de la commande "Vers..." du menu **sélection** qui fournit dans une fenêtre la liste des noms définis et permet de sélectionner la cellule ou la zone portant un nom donné. Ainsi le nom d'une cellule reste un attribut caché de cette cellule dont l'utilisation nécessite une gestion rigoureuse et délicate.

<b>Sélection</b>	
Toutes les cellules	⌘T
La dernière cellule	⌘U
Vers...	⌘J
Une liaison...	
-----	
Afficher la cellule active	⌘A
-----	
Définir un nom...	⌘N
Supprimer un nom...	

Figure 1-3

L'utilisateur doit lui-même présenter son tableau en créant des libellés qui permettront de repérer les cellules ou les ensembles de cellules aux quels il affecte un nom. Mais ces libellés seront voisins de la cellule désignée et c'est l'utilisateur qui devra rester vigilant à ne pas confondre la cellule contenant le libellé qu'il a choisi et installé, et la cellule contenant le nom qu'il a également installé et choisi dans une cellule voisine.

### 2.1.3.2.2. Noms par défaut

Quand l'utilisateur effectue le choix d'un nom pour une cellule ou une zone, le logiciel propose des noms par défaut avec un ordre de priorité implicite. Par exemple, si la cellule active de la figure 1-4 pour laquelle on veut choisir un nom est voisine de cellules comportant des textes, par défaut le logiciel proposera d'abord comme nom le texte de la cellule de gauche, ici "article", et s'il n'en existe pas, celui de la cellule du dessus, ici "montant".

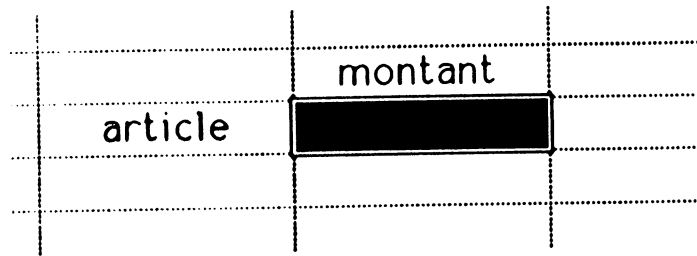


Figure 1-4

Dans le choix d'un nom pour une colonne ou une ligne, le logiciel propose le texte éventuel de la première cellule de la ligne ou de la colonne comme nom par défaut.

#### 2.1.3.2.3. *Implicites dans les noms pour des ensembles de cellules*

Si un nom désigne une colonne, par exemple, se référer à ce nom dans une formule, revient à prendre implicitement la cellule de la colonne désignée se trouvant sur la même ligne que la cellule où la formule est éditée. Ainsi dans l'exemple de la figure 1-5, la formule `=montant * 10/100` effectuera le calcul en prenant pour montant la valeur 455 qui se trouve sur la même ligne que la formule et dans la colonne dont le nom est "montant". Sur chaque ligne le nom "montant" désigne une cellule et donc une valeur différente.

Ce type de désignation très particulier a été choisi par le concepteur pour rendre cette formule recopiable vers le bas tout en calculant avec les différents éléments de la colonne. Chaque fois qu'un ensemble de cellules est désigné par un nom, une correspondance implicite est toujours établie entre les cellules désignées et celles qui y font référence. Ces choix, commodes pour l'utilisateur d'un tableur, au regard de la gestion de grands ensembles de nombres, donnent à la désignation par nom une signification très différente de celle qu'elle peut avoir en algèbre. Ici le nom désigne à la fois un ensemble de valeurs et une correspondance terme à terme entre deux ensembles de cellules.

=montant*10/100			
Sans titre			
	2	3	4
	montant		
	455	45,5	
	489	48,9	
	562	56,2	
	655	65,5	
	569	56,9	
	1236	123,6	
	125		

Figure 1-5

#### 2.1.3.2.4. Effacement et recopie d'un nom

Le nom qui désigne une cellule du tableau ou une zone n'est pas supprimé par effacement de la cellule - à l'aide de l'option **effacer** du menu **édition** -, il n'apparaît pas dans la cellule mais existe toujours à l'endroit choisi même après effacement ou recopie dans une autre partie de la feuille de calcul. Le fait de copier, puis coller une cellule laisse de côté son nom éventuel qui, contrairement à la formule et à la valeur, n'est pas recopié. Cette particularité, combinée avec le fait que le nom reste caché peut conduire l'utilisateur à des difficultés sérieuses. Par ailleurs, notons que les commandes **recopier vers le bas** ou **recopier à droite** n'ont aucun effet sur les noms.

#### 2.1.4. LES FONCTIONS DANS MULTIPLAN

Les tableurs, et Multiplan en particulier, disposent d'un ensemble de fonctions mathématiques ou financières. Les fonctions que nous avons utilisées avec les élèves sont quelques fonctions élémentaires comme **Somme()**, **Moyenne()**, **Min()** et **Max()**. Ces fonctions ont pour argument une liste de cellules fournie par l'utilisateur. Nous avons également utilisé la fonctions **Racine()** qui produit une valeur numérique correspondant à un argument d'une cellule. Enfin il existe des fonctions spécifiques du traitement de l'itération, nous n'avons utilisé que **NBITER()** qui fournit un compteur pour le contrôle de l'itération. Les nombreuses autres fonctions disponibles ne seront pas étudiées ici.

## 2.1.5. CONTENUS APPARENTS ET CACHES DES CELLULES

Nous abordons ici les aspects du tableau correspondant aux choix par défaut pour le logiciel concernant l'affichage et les formats. Le tableau de la figure 1-6 permet de mettre en évidence les caractéristiques qui définissent le contenu d'une cellule. Les contenus apparents sont les divers éléments que l'utilisateur voit dans la cellule : le nombre affiché, sa taille, sa position dans la cellule. Les contenus cachés sont des caractéristiques de la cellule qui ne sont pas visibles dans la cellule : par exemple une formule de calcul, un nom donné à une cellule ou un mode de calcul.

Nous avons croisé ces caractéristiques visuelles avec le champ d'action d'une commande définissant un format ou un type de présentation de la cellule ou de son contenu.

L'effet d'une commande ou d'une action sur le tableau se fait à trois niveaux :

- sur une cellule seulement
- sur une sélection de cellules
- sur le tableau entier.

	Apparent	Caché
Cellule	Contenu numérique	Formule de calcul nom
Sélection de cellules	Position Largeur colonne	Nom Protection d'une cellule Type numérique
Tout le tableau	Choix caractères Taille Protection feuille	Mode de calcul

Figure 1-6

Ce tableau illustre, par exemple, ce que nous avons exposé à propos des noms qui sont des caractéristiques cachées d'une cellule ou d'un groupe de cellules. Ce qui concerne la protection de la feuille de calcul, la position, le choix ou la taille des caractères ou des colonnes ne sera pas abordé ici en raison de son peu

d'intérêt par rapport à notre travail. Pour le reste nous détaillons plus loin les différents éléments apparaissant dans le tableau.

#### *2.1.5.1. LA FORMULE CACHEE : LA PRIORITE AU CALCUL*

En ne considérant que des contenus numériques des cellules, perceptivement toutes les cellules sont identiques : elles contiennent des nombres, indépendamment de leur mode de production. Les nombres sont des données fournies par l'utilisateur ou bien des résultats calculés par des formules à partir de ces données. Rien ne permet au premier abord de distinguer ces deux types de nombres. La formule n'est pas directement visible par l'utilisateur, sauf pour la cellule active : la formule apparaît alors dans la "Barre d'édition"<sup>1</sup>. On parlera ici de priorité au calcul.

#### *2.1.5.2. NIVEAU D'ACTION DES COMMANDES ET FORMATS*

Le tableau de la Figure 1-6 met aussi en évidence l'action différenciée de certaines commandes. Les trois niveaux que sont la cellule, la sélection d'un ensemble de cellules et le tableau tout entier correspondent à trois types d'actions différentes que l'utilisateur doit identifier pour mettre en œuvre une commande.

L'action sur une cellule se fait essentiellement avec le clavier et la souris. Par exemple l'édition d'une formule, le choix d'un nom, d'un type ou d'un format.

L'action sur un ensemble de cellules se fait toujours en opérant d'abord d'abord la sélection de cet ensemble puis en activant la commande. Par exemple la recopie à droite ou vers le bas, le choix d'un nom, d'un type ou d'un format.

L'action sur le tableau entier se fait en activant une commande dans un menu. Par exemple le choix d'un mode de calcul ou d'une police de caractères.

---

<sup>1</sup>On peut aussi sélectionner la commande **expressions** du menu **options** qui affiche les formules dans les cellules. Le contenu numérique n'est alors plus accessible dès lors qu'il est calculé par une formule. Seules les données apparaissent comme des nombres dans les cellules du tableau. Ce type d'option n'a pas été présenté aux élèves puisque de toute façon la formule est toujours accessible dans la barre d'édition.

### *-Le choix des types numériques*

Ce choix se fait par la sélection d'un type effectué par l'utilisateur (Figure 7), mais la cellule ne porte pas d'indication explicite sur le type numérique choisi. Pour le connaître il faut revenir à l'item du menu **format** indiquant le type sélectionné. Les calculs peuvent être effectués par la machine avec le type standard et affichés entiers si l'utilisateur le souhaite.

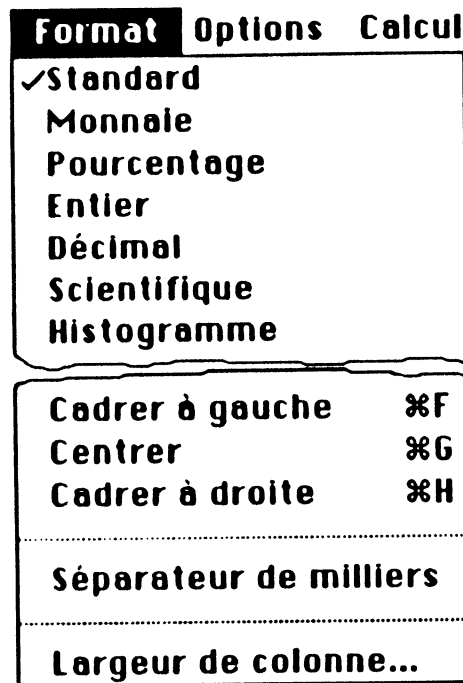


Figure 1-7

### *-Le mode de calcul*

Le mode de calcul par défaut est le calcul automatique c'est-à-dire que toute modification du tableau donne lieu à un recalcul immédiat. L'utilisateur peut choisir le "calcul sur ordre", option où l'utilisateur commande lui-même le calcul. Cette option est utilisée notamment dans l'édition de grands tableaux où il est plus agréable de commander le calcul à la fin des modifications. Un troisième mode de calcul est disponible, l'itération, sur lequel nous reviendrons plus loin.

Là encore le choix du mode de calcul est caché à l'utilisateur, seule la consultation du menu calcul permet de voir quelle option est cochée (figure 1-8). L'ordre de calcul, hors itération, est déterminé par les formules et les références qu'elles contiennent. L'ordre de calcul est fonction du contenu de la cellule après la



première série de calculs. Si une cellule renvoie à d'autres, ces dernières devront être calculées en premier (Manuel p 122). Ce mode de calcul ne peut bien entendu pas s'appliquer en cas de références circulaires, c'est-à-dire avec des cellules qui contiennent des formules se faisant mutuellement référence. Cet aspect particulier sera traité avec l'itération.

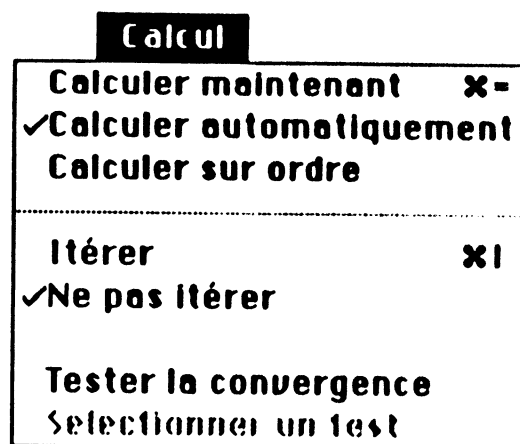


Figure 1-8

## 2.2. ARITHMETIQUE ET ALGÈBRE : LE POINT DE VUE DES TABLEURS

Dans cette section nous allons décrire une représentation conceptuelle du tableur qui nous permettra ensuite d'organiser un processus didactique et une analyse des expérimentations que nous avons construites. Dans un tableur les formules sont une description des relations entre des cellules et permettent de produire un résultat qui peut être un nombre, un booléen ou un texte. Nous nous intéresserons principalement ici aux formules produisant des résultats numériques. L'écriture d'une formule fait intervenir de plusieurs façons des concepts qui relèvent de l'algèbre plus que de l'arithmétique. La formule présente cependant des caractéristiques très particulières provenant du contexte de feuille de calcul dans lequel on l'introduit, de sa construction, du résultat qu'elle produit, du type de problème abordé, ainsi que d'autres aspects spécifiques du tableur comme la priorité au calcul, le recalcul automatique ou la recopie. Nous distinguerons deux niveaux dans l'édition des formules. Un premier niveau est celui de l'action de construction qui fait intervenir uniquement des valeurs numériques qu'on pourra appeler niveau de description des calculs. Un deuxième niveau plus formel inclut l'analyse des formules éditées que nous appellerons le niveau d'analyse. Ce

deuxième niveau se décompose en plusieurs sous-niveaux que nous analyserons plus loin.

### 2.2.1. NIVEAU DE DESCRIPTION DES CALCULS : LA CONSTRUCTION D'UNE FORMULE

La conception des tableurs permet à l'utilisateur de saisir une formule de calcul à l'aide de la souris sans écrire explicitement au clavier les références des cellules qui la composent. L'exemple suivant illustre divers états successifs de la construction d'une formule. A partir de l'état initial illustré par la figure 1-9 l'utilisateur sélectionne une cellule et indique à l'aide du signe égal qu'il écrit une formule.

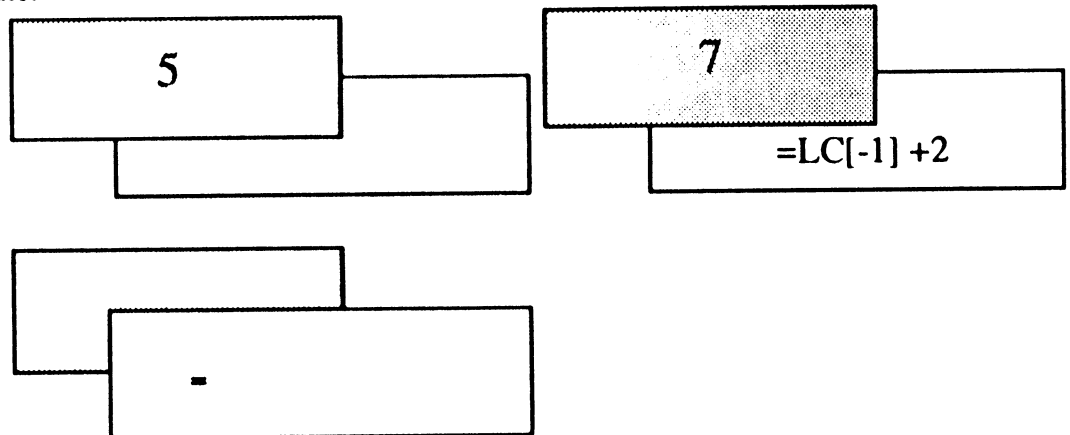


Figure 1-9

Dans un état 2, il saisit au clavier " 2\*( " puis désigne " ça et ça" à l'aide de la souris dans une manipulation directe. Ce qui se traduit par un état 3 illustré par la figure 1-10.

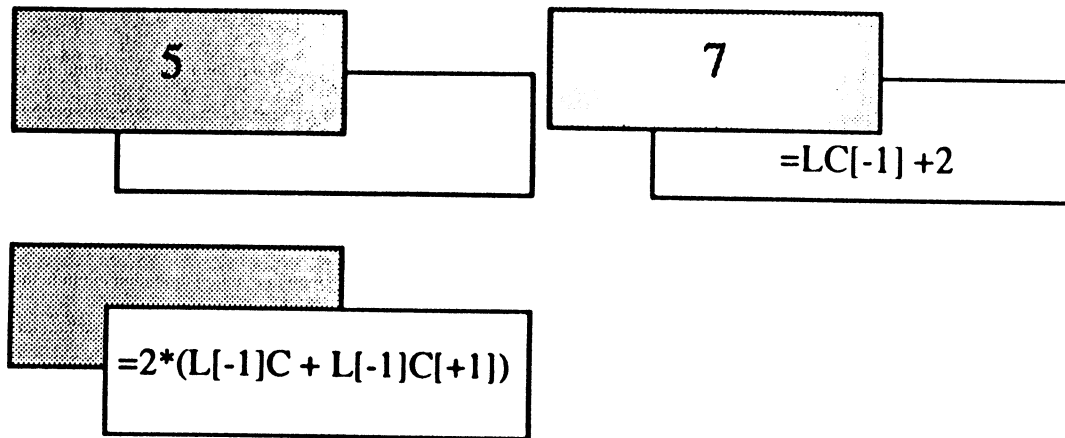


Figure 1-10

La validation de la formule fait passer à un état 4 représenté par la figure 1-11. Cet exemple illustre la présence d'un niveau de formule explicite mais partiellement géré par l'utilisateur, et un niveau de manipulation des nombres.

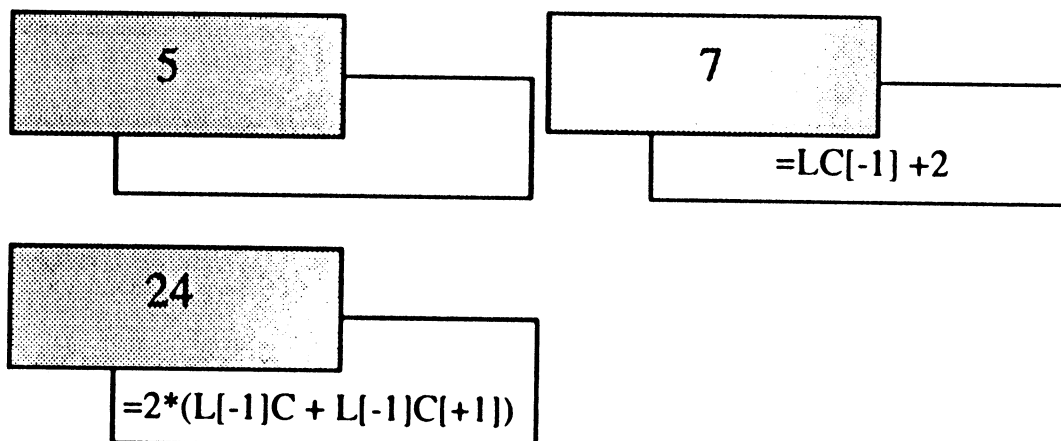


Figure 1-11

Pour construire une formule il suffit de montrer des nombres et d'indiquer des symboles opératoires ou des parenthèses. Pour nous cet aspect de la saisie d'une formule correspond à un premier niveau dynamique où la formule n'est que partiellement partiellement gérée par l'utilisateur qui intervient par une manipulation directe au niveau des nombres apparents dans les cellules. On peut faire l'hypothèse que ce premier niveau relève d'une conception arithmétique du calcul<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Les caractéristiques des formules ainsi construites sont prédéterminées par les choix par défaut établis pour le logiciel. Le plus important d'entre eux étant la désignation des cellules à l'aide de références relatives.

## 2.2.2. NIVEAU D' ANALYSE D'UNE FORMULE

La maîtrise des formules du premier niveau que nous venons de décrire est loin d'être suffisante même pour une utilisation élémentaire du logiciel. L'utilisateur va en effet être confronté à des problèmes qui vont nécessiter le recours à une analyse de la formule : c'est le deuxième niveau. La formule écrite par le logiciel devra être analysée par l'utilisateur en tenant compte de la syntaxe propre au logiciel et, en particulier, du type de désignation choisi par l'utilisateur.

Voici un exemple courant (Figure 1-12-A, 1-12-B) qui conduit à rentrer dans l'analyse du fonctionnement du logiciel en ce qui concerne le tri. Les résultats "aberrants" obtenus, à la suite d'un tri, placeront l'utilisateur en face d'un problème relevant de l'analyse de la formule et des désignations.

L5C2				L5C2			
=SOMME(L[-4]C:L[-1]C)				=SOMME(L[-3]C:L[-2]C)			
Sor				Sa			
	1	2		1	2		
1	François	45		1	Alain	23	
2	Pierre	89		2	François	45	
3	Alain	23		3	Jacques	71	
4	Jacques	71		4	Pierre	89	
5		228		5		118	

Figure 1-12-A

Figure1-12-B

Pour la formule de la figure 1-12-A, visible dans la barre d'édition, la fonction SOMME a pour argument des cellules montrées avec la souris. Le résultat 228 est affiché dans la cellule L5C2 sans que l'utilisateur n'ait à se préoccuper de la formule qui est cependant visible dans la barre d'édition. Après un tri par ordre alphabétique de la colonne 1, le résultat calculé est modifié puisque la machine fait une mise à jour des références. L'utilisateur aperçoit la modification du contenu de la cellule L5C2, mais seule une analyse de la formule et de la modification apportée aux références permet de comprendre le phénomène et d'y apporter une réponse conforme au calcul que l'on veut effectuer.

L'exemple précédent illustre un fonctionnement particulier du logiciel, mais ce sont souvent des erreurs de manipulation ou de conception dans les formules qui obligent à une analyse de la signification des formules et du système de désignation

utilisé. Cette analyse implique la prise en compte des relations entre les cellules qui sont représentées dans la formule par l'un des systèmes de désignation disponibles dans le logiciel. Ce ne sont plus les nombres qui interviennent dans cette analyse mais les désignations des cellules, en même temps que leur contenu. Ceci définit un deuxième niveau qui relève du savoir algébrique.

Le passage du premier niveau arithmétique au deuxième niveau algébrique constitue un obstacle que l'élève devra franchir et qui devra être pris en compte dans la construction des situations didactiques.

### 2.2.3. LA STRUCTURATION EN TABLEAU

La disposition en tableau est la seule structure des données qui soit disponible dans un tableur. Cette structuration intervient de façon fondamentale dans les caractéristiques algébriques du tableur. Elle induit les systèmes de désignations des cellules et la gestion des variables intervenant dans les tableaux créés par l'utilisateur.

L'utilisateur doit d'abord construire un tableau en disposant les cellules constituant les données et les cellules contenant les résultats de calculs. La configuration du tableau imposera dans la plupart des cas des choix spécifiques dans la construction de la formule. Ces choix se situent au niveau des désignations avec des références relatives ou des références absolues ou éventuellement des noms pour désigner les cellules. Certains types de tableaux nécessitent des formules combinant plusieurs types de désignation.

La commande de recopie (vers le bas ou à droite) impose aussi la construction de formules cohérentes de ce point de vue. La "recopiabilité" d'une formule sera un critère de construction déterminant pour éviter de fastidieuses éditions de formules dans un grand ensemble de cellules. On peut de ce point de vue caractériser les feuilles de calcul en distinguant celles de type libre et celles de type lié. Cette distinction provient du type de références utilisables pour conserver la recopiabilité d'une formule.

L7C2		=SOMME(L[-5]:L[-1]C)					
<b>Sans titre</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>1</b>		1	2	3	4	5	total
<b>2</b>	A	45	56	56	12	12	181
<b>3</b>	B	323	123	66	44	212	768
<b>4</b>	C	656	158	78	684	59	1635
<b>5</b>	D	89	637	421	985	47	2179
<b>6</b>	E	8789	485	63	872	915	11124
<b>7</b>	total	9902	1459	684	2597	1245	15887
<b>8</b>	moyenne	1980	292	137	519	249	

Figure 1-13

### 2.2.3.1. FEUILLE DE CALCUL LIBRE

Les formules d'une feuille libre pourront être construites uniquement avec des références relatives. Elles sont recopiables. Ce type de feuille de calcul, qui est l'un des plus fréquents, est illustré par la figure 1-13. Le calcul du total 9 902 est obtenu par l'intermédiaire de la formule visible dans la barre d'édition. Cette formule, écrite avec des références relatives, est la même que celle de la cellule L7C3. Cette formule est recopiable à droite. De la même façon la formule :

=SOMME(LC[-5]:LC[-1])

de la cellule L2C7 peut être recopiée vers le bas dans la colonne 7 pour obtenir dans chaque cellule un résultat analogue. La désignation des cellules à l'aide de références relatives est bien adaptée à ce type de feuille de calcul. C'est une des raisons qui l'a fait adopter par le constructeur comme mode de référence par défaut.

### 2.2.3.2. FEUILLE DE CALCUL LIEE

Une feuille de calcul *liée* comprend à la fois des références absolues<sup>1</sup> et des références relatives. Les Figures 1-14 et 1-15 montrent un exemple de ce type de feuille de calcul (il s'agit de la même feuille de calcul avec affichage des valeurs et des formules).

<sup>1</sup>Ce pourrait être aussi des noms.

Dans cette feuille de calcul la valeur de la TVA est un paramètre que l'utilisateur peut avoir besoin de modifier occasionnellement sans reconstruire les formules de son tableau. Il la considère donc comme une constante placée dans la cellule L2C2. Toutes les formules de la feuille de calcul qui y font référence ne seront pas recopiables si on n'utilise que des références relatives. Un tel type de feuille de calcul est liée.

Fichier Edition Sélection Format Options Calcul

L4C5		=LC[-1]*L2C2/100				
Sans titre						
	1	2	3	4	5	6
1		TauxTVA				
2		18,6				
3	article	quantité	PU	Px HT	TVA	TTC
4	xxxx	5	6,45	32,25	8,00	38,25
5	hhhh	6	7,56	45,36	8,44	53,80
6	llllll	9	45,2	406,8	75,66	482,46
7						

Figure 1-14

Dans une feuille de calcul liée, l'utilisateur ne peut plus s'appuyer seulement sur les choix par défaut des références au moment de la saisie d'une cellule avec la souris. Il doit construire une formule recopiable en tenant compte du rôle de chacune des données dans le calcul. Cela le conduit à éditer des formules en utilisant à la fois des références absolues (ou des noms) et des références relatives.

Fichier Edition Sélection Format Options Calcul

L4C5		=LC[-1]*L2C2/100				
Sans titre						
	1	2	3	4	5	6
1		TauxTVA				
2		18,6				
3	article	quantité	PU	Px HT	TVA	TTC
4	xxxx	5	6,45	=LC[-1]*LC[-2]	=LC[-1]*L2C2/100	=LC[-1]+LC[-2]
5	hhhh	6	7,56	=LC[-1]*LC[-2]	=LC[-1]*L2C2/100	=LC[-1]+LC[-2]
6	llllll	9	45,2	=LC[-1]*LC[-2]	=LC[-1]*L2C2/100	=LC[-1]+LC[-2]

Figure 1-15

## 2.2.4. CARACTERISTIQUES ALGEBRIQUES

### 2.2.4.1. CHOIX D'UNE DESIGNATION

Chaque type de désignation doit être choisi en fonction de l'utilisation qui est faite du contenu des cellules, ceci est particulièrement important dans le cas de la recopie d'une formule d'une cellule dans une autre cellule. La figure 1-16

L3C1		=L(-2)C+L(-1)C	
	1	2	
1	2	4	
2	3	5	
3	5		

L3C1		=L1C1+L2C1	
	1	2	
1	2	4	
2	3	5	
3	5		

a b

Figure 1-16

montre deux tableaux qui diffèrent par le type de références utilisées pour exprimer une même formule écrite dans la cellule L3C1. Si cette formule était recopiée en L3C2, le résultat obtenu ne serait pas identique dans les deux cas. Dans le premier cas (Figure 1-16a) le résultat serait 9, dans le second cas (Figure 1-16b) le résultat serait 5. Au niveau d'une cellule les références absolues et les noms correspondent à des types de désignations dont le traitement et la signification sont voisins. Cependant les noms permettent de construire des formules dont la lecture est facilitée au regard du problème qu'elles permettent de traiter puisqu'on donne en général des noms significatifs. Par exemple une formule telle que :

$$L[-5]C[+2]*L[-2]C[+1]+L[+1]C[+2]*L[-5]C[+2]$$

est plus difficile à lire et à décoder pour l'analyser qu'une formule du type  $x*y + z*x$  en remplaçant éventuellement  $x$ ,  $y$  et  $z$  par des noms significatifs.

Cependant, au niveau d'une zone, une colonne par exemple, le traitement de la désignation par nom devient très différent puisqu'il comporte une partie absolue (la position de la colonne) et une partie relative implicite (la cellule de la colonne correspondant à la ligne de la cellule qui y fait référence).



L5C3		=coeff*R		
Sans titre				
	1	2	3	4
1				
2	résultat	coefficient		
3	12	1	12	
4	45	2	90	
5	23	6	138	
6	12	5	60	
7	7	4	28	
8	6	3	18	
9				

Figure 1-17

Ainsi dans l'exemple de la figure 1-17, les colonnes 1 et 2 portant les noms respectifs de "R" et "Coeff", dans la formule éditée dans la colonne 3, visible dans la barre d'édition, fait sur chaque ligne référence aux valeurs de cette ligne dans les colonnes 1 et 2. Comme 138 qui est calculé à partir de 23 et 6 alors que 60 sera calculé à partir de 12 et 5. Cette particularité est difficile à exprimer au niveau de l'algèbre élémentaire puisqu'un nom ne désigne plus une valeur mais un ensemble de valeurs. Ainsi dans l'exemple de la figure 1-17, "coeff" ou "R" ne désignent pas chacun une valeur mais une suite ordonnée de valeurs. Il s'agit ici d'une sorte de produit de fonctions :  $f * g$  défini par :

$$\text{pour tout } x, f * g(x) = f(x) * g(x).$$

#### 2.2.4.2. ASPECTS SYNTAXIQUES

Les formules dans Multiplan utilisent le symbolisme classique du calcul algébrique au niveau des opérations, parenthésages et priorités des calculs. Les désignations des variables et paramètres ont déjà été décrites et présentent une relative complexité de lecture. Elles mêlent aux parenthèses du calcul algébrique des parenthèses ou des crochets qui ont une autre signification dans la formule. La désignation par nom est celle qui fournit les formules ressemblant le plus à celles du calcul algébrique élémentaire.

Cependant ce qui va éventuellement créer des difficultés pour l'utilisateur c'est à la fois la complexité sémiotique de certaines désignations et la présence de

deux syntaxes qui se mêlent ; celle du logiciel et celle, du calcul algébrique plus familière aux élèves.

#### **2.2.4.3. LA NOTION DE VARIABLE DANS MULTIPLAN**

Dans les langages impératifs, comme Pascal ou Basic, la désignation d'une variable cache la complexité qui tient au fait qu'elle est un signifiant qui permet de manipuler à la fois des adresses et des valeurs numériques. En particulier dans une instruction du type  $x := x + 1$  en Pascal, quand  $x$  est en partie gauche il a une valeur d'adresse alors qu'en partie droite il a une valeur "algébrique" comme élément d'une expression dont l'évaluation donne une valeur numérique. Dans Multiplan, le système de références absolues constitue une désignation d'adresse, l'utilisateur gérant lui-même la saisie de la valeur numérique en désignant lui-même l'adresse. Le système de références relatives relève du même type de désignation d'adresse mais cette fois-ci relativement à une cellule donnée. Ce type d'adressage produit des désignations qui pointent des adresses différentes dépendant de l'implantation géographique de la formule.

La désignation par nom se rapproche des syntaxes des langages de programmation cités plus haut, mais ce qu'on gagne en lisibilité dans une formule comme  $x + 3 * y$  est perdu par la disparition de la localisation géographique de  $x$  ou  $y$  que l'utilisateur doit gérer lui-même contrairement au système de références absolues dont le nom est précisément l'adresse.

#### **2.2.4.4. FONCTIONS**

Dans l'analyse nécessaire à notre étude, nous classerons les fonctions en trois types :

##### **2.2.4.4.1. Fonctions d'une variable**

Les élèves de troisième ont rencontré des exemples de fonction mais limités aux fonctions d'une variable réelle. On peut imaginer que pour eux la fonction RACINE() fonctionne comme la racine carrée qu'ils connaissent sur leur machine à calculer : le choix de RACINE() est assimilé au choix de la touche  $\sqrt{x}$ . La syntaxe est cependant particulière dans Multiplan puisqu'on passe de la notation classique

utilisant un radical à une notation fonctionnelle dont on peut penser que pour les élèves de troisième elle appartient à un champ conceptuel voisin mais différent.

#### *2.2.4.4.2. Fonctions de plusieurs variables*

La fonction SOMME() est par contre éloignée des objets algébriques que les élèves manipulent habituellement. Jamais ils n'ont rencontré l'addition présentée comme une fonction de plusieurs variables, la liste devant être fournie comme argument. On peut cependant penser que l'addition étant familière aux élèves ils utiliseront sans difficulté cette présentation fonctionnelle. Des trois autres fonctions de plusieurs variables utilisées MOYENNE() est la plus familière aux élèves. Par contre MAX() et MIN() sont des fonctions que les élèves n'ont jamais eu l'occasion de manipuler, la difficulté pouvant provenir du peu d'intérêt ressenti, par rapport au problème, par les élèves à faire appel à une fonction pour découvrir la plus petite ou la plus grande valeur d'une liste.

#### *2.2.4.4.3. Fonctions spécifiques*

La seule fonction spécifique du logiciel que nous utilisons est la fonction NBITER(). Outre les concepts liés à la mise en place de l'itération qui seront étudiés plus loin, on peut noter que c'est une fonction sans argument mais dont la syntaxe exige une parenthèse vide. Cette particularité commune à bon nombre de langages informatiques pourra créer ici des difficultés importantes s'ajoutant à celles du traitement de l'itération.

#### *2.2.4.5. SAISIE, EXECUTION, PROGRAMMATION*

Un langage de programmation permet d'écrire un ensemble d'instructions qui sont exécutées de manière différée. L'utilisateur doit lui-même prévoir toutes les valeurs à saisir et gérer leur désignation, leur saisie et leur traitement. Dans Multiplan, par contre, la formule implique le calcul d'une seule valeur dans une seule cellule. L'utilisateur après avoir choisi la cellule construit alors la formule en choisissant les désignations appropriées pour les cellules auxquelles il fait référence.

On voit donc que dans Multiplan le problème de la saisie des variables disparaît puisque c'est l'utilisateur lui-même qui sélectionne avec la souris la cellule dans laquelle il veut saisir une donnée. La difficulté réside plutôt dans le double contenu de la cellule - formule et valeur calculée. En effet, la saisie d'une donnée dans une cellule contenant une formule efface cette formule. Une mauvaise prise en compte de ce fonctionnement du logiciel peut conduire à des erreurs importantes dans la gestion d'une feuille de calcul. Si l'on peut parler de programmation dans un tableur c'est du double point de vue de la construction de chaque formule dans une cellule et de l'organisation des différentes formules entre elles. Nous traiterons ailleurs le cas particulier de l'itération.

#### 2.2.5. LA REPLICATION

Nous désignerons par le mot de **réplication** un processus fondamental dans l'environnement des tableurs. Il consiste à générer un ensemble de valeurs par le moyen de la recopie d'une même formule dans un ensemble de cellules, le plus souvent dans la même ligne ou la même colonne. C'est donc la répétition  $n$  fois séquentiellement de la même opération.

La réplication utilise à la fois :

- la structuration en tableau avec le grand nombre de cellules disponibles
- la commande de recopie qui la rend commode à implanter.

Voici trois exemples de réplication :

2.2.5.1. EXEMPLE 1 : CONSTRUCTION D'UNE LISTE D'ENTRIERS CONSECUTIFS (FIGURE 1-18)

	1
1	41
2	42
3	43
4	44
5	45
6	46
7	47
8	48
9	49
10	50
11	51
12	52

	1
1	41
2	=L(-1)C+1
3	=L(-1)C+1
4	=L(-1)C+1
5	=L(-1)C+1
6	=L(-1)C+1
7	=L(-1)C+1
8	=L(-1)C+1
9	=L(-1)C+1
10	=L(-1)C+1
11	=L(-1)C+1
12	=L(-1)C+1

a
b

Figure 1-18

Seul le nombre de la cellule L1C1 est une donnée, les autres valeurs sont calculées à l'aide d'une même formule recopiée vers le bas dans la colonne 1. (La figure 1-18-a montre les valeurs et la figure 1-18-b les formules correspondantes).

2.2.5.2. EXEMPLE 2 : CALCUL DES TERMES SUCCESSIFS D'UNE SUITE DE FIBONACCI (FIGURE 1-19)

	1
1	1
2	2
3	3
4	5
5	8
6	13
7	21
8	34
9	55

	1
1	1
2	2
3	=L(-2)C+L(-1)C
4	=L(-2)C+L(-1)C
5	=L(-2)C+L(-1)C
6	=L(-2)C+L(-1)C
7	=L(-2)C+L(-1)C
8	=L(-2)C+L(-1)C
9	=L(-2)C+L(-1)C

Figure 1-19

Cet exemple illustre comment à partir des deux termes initiaux de la suite on peut construire tous les autres termes en explicitant la construction des termes successifs. La formule de calcul  $= L[-2]C+L[-1]C$  traduisant l'expression classique d'une suite récurrente  $f(n) = f(n-2) + f(n-1)$ .

*Exemple 3 : Plusieurs formules (Figure 1-20).*

Dans cet exemple on associe plusieurs formules pour construire une table des valeurs de la série  $S = \sum n^2$ . La colonne 1 contient les entiers consécutifs, la colonne 2 les carrés de ces entiers et la colonne 3 les termes de la série.

	1	2	3
1	1	1	1
2	2	4	5
3	3	9	14
4	4	16	30
5	5	25	55
6	6	36	91
7	7	49	140
8	8	64	204
9	9	81	285

	1	2	3
1	1	=LC[-1]^2	1
2	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]
3	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]
4	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]
5	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]
6	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]
7	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]
8	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]
9	=L[-1]C+1	=LC[-1]^2	=L[-1]C+LC[-1]

Figure 1-20

Le processus de réplication est lié à celui d'itération par l'existence d'un invariant mais il en diffère fondamentalement par l'absence d'exécution d'une formule identique implantée dans une même cellule dont le contenu numérique serait modifié à chaque répétition du calcul. Il n'y a pas de contrôle à effectuer puisque les valeurs successives obtenues se répartissent géographiquement dans le tableau dans les cellules que l'utilisateur a lui même sélectionnées, le nombre de cellules est ainsi physiquement déterminé.

Dans la réplication la formule constitue un invariant qui définit une relation entre une ou plusieurs cellules, mais les calculs se font dans des cellules différentes. Ce calcul fait intervenir autant de variables qu'il y a de répétitions alors que dans l'itération ce sont les mêmes variables qui sont modifiées à chaque étape du calcul. Il s'agit en quelque sorte d'une itération "déroulée".

On peut faire l'hypothèse que dans la mise en œuvre d'une réplication on retrouvera chez les élèves les mêmes caractéristiques de construction que pour une itération à l'exception naturellement des éléments qui en sont absents comme, par exemple, le contrôle explicite.

## 2.2.6. L'ITERATION

### 2.2.6.1. STRUCTURE GENERALE DE L'ITERATION

Mejias (1985) propose une analyse conceptuelle de l'itération sur laquelle nous nous appuyerons. Elle distingue le **corps de l'itération** caractérisé par l'invariance de la séquence d'instructions qui le compose. Le problème de son expression est celui de la délimitation de cette séquence comme sous-ensemble des instructions du programme qui exprime l'algorithme. Les solutions apportées peuvent se ramener aux types principaux suivants :

TANT QUE <condition> FAIRE <corps de l'itération> FIN TANT QUE

REPETER <corps de l'itération> JUSQU'A CE QUE <condition>

Le rôle de la condition est d'assurer que l'algorithme «ne boucle pas indéfiniment». Il faut donc analyser quelles sont les variables nécessaires au contrôle de la boucle, et s'assurer qu'elles prendront les valeurs permettant de décider la fin de l'exécution. La formulation de la condition consiste en général en une expression logique construite à l'aide de ces variables.

L'expression de l'itération doit de plus comporter un **avertisseur d'itération** et des moyens de délimiter le corps de l'itération. Dans les exemples ci-dessus TANT QUE et REPETER sont des **avertisseurs** : ces expressions signalent l'entrée dans une itération. Le corps de l'itération est délimité dans le premier cas par les mots FAIRE et FIN TANT QUE, et dans le second cas par REPETER et JUSQU'A CE QUE.

La relation entre le corps de l'itération et la condition est double : la condition permet de contrôler la répétition du corps de l'itération, mais par ailleurs celui-ci doit permettre la mise à jour des valeurs des variables de la condition, afin d'assurer que l'exécution se termine dans un temps fini. Il faut aussi que cette condition puisse être évaluée dès la première rencontre de l'itération, et par suite que ces variables aient une valeur initiale pertinente. C'est le problème de l'**initialisation**. Il ne concerne pas seulement les variables de la condition, mais aussi éventuellement certaines variables qui apparaissent dans le traitement de l'information dans le corps de l'itération.

### 2.2.6.2. L'ITERATION DANS MULTIPLAN

L'itération dans Multiplan présente des particularités originales :

- le corps de l'itération est toujours constitué par l'ensemble des cellules de la feuille qui est recalculée entièrement à chaque étape de l'itération.

- la mise en place de l'itération n'est possible que si des «références circulaires» sont utilisées dans le calcul, et si la commande **Itérer** est sélectionnée dans le menu **Calcul**. Les «références circulaires» définissent un état particulier des relations entre les cellules ; il s'agit d'une ou de plusieurs cellules qui se font mutuellement référence (Manuel p.76).

La Figure 1-21 montre des exemples de références circulaires avec une cellule (a), deux cellules (b) ou quatre cellules (c).

Le recours à la commande **Itérer** du menu **Calcul** tient lieu d'avertisseur d'itération (la présence de références circulaires provoque d'ailleurs un message signalant que la commande **itérer** doit être choisie).

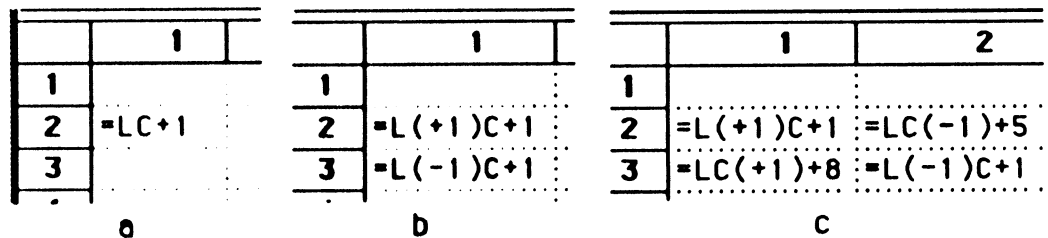


Figure 1-21

Dans Multiplan, l'explicitation de la condition d'arrêt n'est pas nécessaire dans tous les cas. En effet :

- une itération en cours peut être suspendue ou même interrompue par l'utilisateur en sélectionnant **Annuler** dans la fenêtre d'itération avec la souris. On peut donc contrôler directement l'évolution des contenus des cellules et interrompre à tout moment l'itération, les contenus des cellules restant ce qu'ils étaient au moment de l'interruption ;

- l'utilisateur peut, comme dans le modèle décrit par Mejias, construire lui-même, dans une cellule, une condition d'arrêt. Il faut alors que cette cellule ait été choisie pour cela, ce qui est obtenu avec la commande **Tester la convergence**



(Manuel p.81-4). Ceci est en particulier obtenu avec la fonction NBITER()<sup>1</sup> qui réalise un compteur d'itération. On peut créer ainsi dans Multiplan une itération se rapprochant du modèle : "REPETER <corps de l'itération> JUSQU'A CE QUE <condition>", où la condition porte sur le nombre de répétitions déterminé a priori. La fonction NBITER() est initialisée à zéro à chaque nouvelle itération.

Du point de vue de l'utilisation, l'itération paraît suivre le déroulement suivant :

:

1) Multiplan calcule la feuille entièrement, les cellules étant traitées dans l'ordre illustré par la figure 1-22.

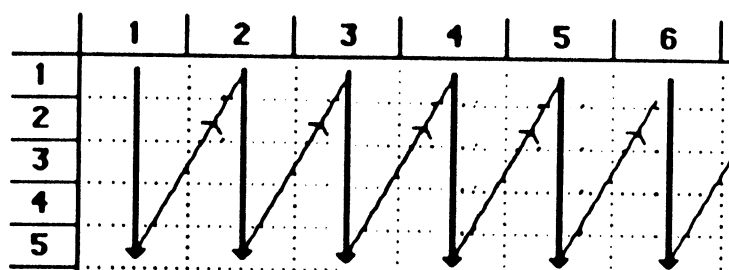


Figure 1-22

2) Multiplan teste la valeur de vérité de la condition et provoque l'arrêt éventuel.

3) le compteur est incrémenté et le calcul reprend.

Un tel fonctionnement provoque au moins un calcul de la feuille dans tous les cas, et toujours une itération de plus que ce qu'indique le compteur lorsque celui-ci est utilisé. La place de la condition dans la feuille n'a aucune importance si elle ne fait pas référence à des contenus de cellules. Par contre les relations définissant le calcul devront être construites en tenant compte de l'ordre de traitement (figure 1-22).

---

<sup>1</sup> La présence de références circulaires et le choix de la commande itérer déclenchent l'itération. Le logiciel possède son propre compteur d'itération qui est accessible à l'utilisateur par l'intermédiaire de la fonction NBITER(). Cette fonction particulière à l'itération provoque le message #NA (Non Accessible) dans toute cellule contenant la fonction au moment de son édition. En cours d'itération NBITER fournit la valeur du compteur d'itération. Nous avons utilisé NBITER() pour créer un booléen dans une cellule à l'aide de la formule "= NBITER()=50 " ne produisant VRAI que si le compteur d'itération atteint 50. Ce booléen est testé à l'aide de la commande "tester la convergence" du menu calcul qui permet d'interrompre l'itération.

## 2.2.7. ETUDE COMPAREE DE LA REPLICATION ET DE L'ITERATION DANS MULTIPLAN

Il existe des études nombreuses sur l'itération, en revanche l'inexistence d'étude sur les conceptions des utilisateurs débutants de tableurs ne permet pas de trouver de recherche portant sur la construction de modèles répliatifs dans cet environnement. Nous proposons ici une comparaison entre la répliation et l'itération dans le cadre de Multiplan.

Une telle comparaison doit tenir compte de l'écologie du dispositif, c'est-à-dire que l'accès plus ou moins facile à certaines commandes ou fonctionnalités du logiciel, la structuration sous forme de tableau, la saisie des données et des formules, le type de problème et d'une manière générale la représentation que peut se faire l'apprenant du dispositif vont influencer la décision d'utiliser l'itération ou la répliation. Nous faisons l'hypothèse que pour les problèmes proposés dans le cadre des expérimentations que nous analyserons par la suite, l'écologie du dispositif influence fortement l'utilisation d'une répliation au détriment de l'itération.

Les tâches qui nécessitent l'emploi de l'itération et la répliation concernent des calculs à répéter un certain nombre de fois. La mise en œuvre de tels modèles doit tenir compte principalement de l'initialisation du calcul, de l'existence d'un invariant et du contrôle du nombre de calculs à effectuer. Le tableau de la figure 1-23 indique les parallèles qui peuvent être établis entre un modèle d'itération et un modèle de répliation.

Pour la construction de la répliation les élèves rencontreront, comme dans l'itération, la construction de l'invariant comme principale difficulté, avec la nécessité de réaliser un découpage en actions élémentaires. Ils devront aussi prendre en compte la recopie de la formule qui impose à la formule de faire référence, pour le calcul d'ordre  $n$ , à la cellule où s'est réalisé le calcul d'ordre  $n-1$ . Par contre, les élèves devront reconnaître le rôle particulier de la première cellule qui sert à initialiser le processus et ne contient pas de formule. En revanche tous les problèmes liés à la construction du test et au contrôle ne se posent pas dans la répliation puisqu'il suffit de sélectionner les cellules dans lesquelles on veut recopier la formule. C'est ainsi qu'est délimitée une zone dans laquelle s'effectuent les calculs.

Pour conclure nous faisons l'hypothèse que la répliation est plus adaptée à l'"écologie" du tableur. Elle permet d'obtenir, en utilisant les nombreuses cellules du tableau, un ensemble de valeurs non disponibles dans le cas de l'itération. De

plus la réplication peut se construire pas à pas et ne nécessite pas une prise en compte globale dès le départ de l'ensemble du processus. Elle permet aussi de s'affranchir des obstacles liés à la mise en œuvre d'un test d'arrêt.

Itération	Réplication
<p>invariant</p> <p>test arrêt (contrôle)</p> <p>initialisation</p> <p>Calcul " iterer"</p> <p>nécessité de réf circulaires</p> <p>affichage du résultat final</p>	<p>invariant</p> <p>choix des cellules en répliquant</p> <p>choix de la première cellule</p> <p>mode de calcul "normal"</p> <p>formule recopiable</p> <p>affichage des résultats intermédiaires</p>

Figure 1-23

## 2.2.8. COMPLEXITE D'UNE FORMULE

L'étude précédente permet d'avancer une typologie des formules selon la complexité envisagée pour leur mise en œuvre. C'est cette typologie qui nous a permis d'envisager une stratégie dans la construction d'un processus didactique.

Sans que cette typologie ait un caractère général, dans le cadre de notre travail, nous distinguerons pour les formules les niveaux de complexité suivants :

- les formules éditées dans des tableaux libres construites avec les choix par défaut du logiciel, utilisant essentiellement des références relatives.

- les formules éditées dans des tableaux liés avec une utilisation mixte de références absolues et relatives.

- les formules construites pour la réplication L'analyse des relations entre les différentes cellules servant de construction à la formule répliquée sera ici la difficulté majeure.

-les formules liées à la construction d'un processus itératif.

Bien entendu il s'agit ici de la complexité intrinsèque à la formule. En effet, on ne peut négliger le contexte du problème qui nécessitera la construction même de la formule ainsi que la décision de construire une formule dans une cellule déterminée.

### 2.2.9. EXTENSION DE L'UTILISATION DU TABLEUR

Dans un premier temps, l'utilisateur débutant réalise une transposition d'un tableau dans l'environnement du tableur. Ceci permet d'augmenter la puissance de calcul et la vitesse de traitement créées par les formules et la gestion dynamique du tableur. Dans un deuxième temps, on peut envisager d'utiliser la tableur d'une façon plus performante pour optimiser des situations inaccessibles directement ou envisager des traitements automatiques de problèmes. On définit ainsi l'extension du niveau d'utilisation. Une de nos hypothèses de départ est que cette extension ne se réalise pratiquement pas même si les sujets possèdent le niveau d'analyse algébrique suffisant ; l'implantation dans le logiciel d'une formule ne correspondant pas à un calcul directement induit par le problème se fait exceptionnellement au niveau des utilisateurs élémentaires.



## **CHAPITRE 2. ALGÈBRE ET MULTIPLAN : LES REFERENCES**

Ce chapitre présente les inter-actions entre un modèle algébrique et son implantation dans le tableur. Il s'agit, en particulier d'étudier les difficultés des utilisateurs liées à la présence de deux syntaxes qui se mêlent : celle de l'algèbre et celle du tableur.

Pour mener cette étude à bien, nous nous appuyerons sur les observations de l'ensemble des séquences réalisées au cours de la formation et sur l'interview que nous avons conduite avec 6 binômes d'élèves et 7 binômes d'adultes. L'ensemble des tâches proposées est fourni en annexe ainsi que les analyses a priori de la situation interview.

Les situations que nous avons construites pour l'apprentissage et dans la situation interview s'appuient sur un modèle de l'élève que nous avons élaboré en tenant compte des connaissances des élèves en algèbre et de l'analyse conceptuelle du tableur telle que nous venons de la décrire.

Les connaissances des élèves en algèbre à la fin de la scolarité du collège (10<sup>e</sup> année correspondant à la fin de la scolarité obligatoire) les conduisent à désigner des variables à l'aide de lettres avec des notations utilisant des exposants mais jamais aucun indice. La lecture d'expressions du type des polynômes du premier degré est en général faite correctement. Dans cet environnement les désignations sont univoques : chaque symbole désigne un seul objet. Ce point fait d'ailleurs l'objet d'un enseignement systématique au niveau du collège. Les syntaxes de l'algèbre et de Multiplan se mêlent dans l'écriture des formules puisqu'à l'exception des désignations, ce sont les conventions du calcul algébrique qui président à l'organisation des calculs décrits par les formules du tableur.

Notre analyse nous conduit à envisager chez les élèves une rupture entre ces connaissances et le système de désignation du tableur à l'aide de références relatives. Les différences entre les deux systèmes symboliques conduisent à une typologie des obstacles à l'apprentissage envisageables du point de vue de la syntaxe que nous abordons dans ce chapitre :

•Obstacles liés à la lecture et dus à la densité de l'écriture. Le nombre de symboles nécessaires à l'écriture des références est notablement augmenté (5 à 6 fois plus important).

Ces difficultés intervenant au niveau

-de la priorité des opérations en jeu ( addition et Multiplication).

-de la signification des références

•Obstacles liés aux références relatives à une cellule. L'origine du repère varie avec chaque formule et les désignations ne sont plus uniques pour chaque cellule. La lecture peut être notablement perturbée dans la mesure où le rôle de la cellule active n'est pas identifié.

•Obstacles liés à une modification, relativement à l'univers papier-crayon, des symboles opératoires notamment pour la multiplication (\*) et la division (/).

•Obstacles liés à la manipulation des fonctions Dans Multiplan les fonctions comme Somme() , MIN() ou Moyenne() sont à l'origine de difficultés concernant la syntaxe et la sélection des arguments

## 1. REFERENCES RELATIVES :

Les travaux préliminaires à cette étude nous ont permis de mettre en évidence les difficultés des élèves concernant les références relatives relevées par de nombreux enseignants. Ces difficultés persistant longtemps après les débuts de l'apprentissage, nous nous sommes attachés à les mettre en évidence et surtout à en trouver l'origine. C'est ce que nous abordons dans ce chapitre.

Les modes de représentations des systèmes de références que construisent les élèves sont difficiles à repérer dans la mesure où les feed-back de la machine les conduisent souvent à détruire des formules qui sont soit rejetées par le dispositif soit qui ne leur conviennent pas. Il ne réalisent pas, la plupart du temps, d'analyse des formules. C'est pour cela que nous avons construit, en plus de l'observation des situations d'apprentissage sur l'ordinateur, des situations spécifiques qui devaient conduire les élèves à analyser des formules écrites avec des références relatives. Ces situations devaient être réalisées par les élèves entièrement dans un environnement papier-crayon. ("Vêtements" : séance 3 et "Rectangles" : séance 5).

## 1.1. UNE APPROPRIATION DELICATE

Le système de références relatives, qui est le choix par défaut du concepteur<sup>1</sup>, se pose en obstacle à l'apprentissage du tableur. En effet, nous avons pu observer que dans les premiers temps de l'apprentissage les élèves construisent facilement les feuilles de calcul simples qui leur sont proposées. Mais cette aisance dans la construction ne doit pas être interprétée comme une appropriation du système de références relatives utilisé. D'autant que la désignation en acte, si peu d'éléments sont concernés, permet une maîtrise suffisante pour dispenser de lire ce que la machine traduit en formules. Bien entendu le problème se pose pour valider la formule. Mais le contrôle par l'action a pu paraître suffisant. D'où l'illusion initiale de facilité lors de la prise en main.

En effet construire, par exemple, une feuille de calcul comme celle de la figure 2-1 est fait par tous les élèves avec une saisie à la souris des valeurs apparentes dans les cellules, sans qu'une analyse de la formule produite soit entreprise. Nous donnons ici le seul exemple d'élève que nous avons vu tenter une analyse de la formule au début de la formation.

A la deuxième séance, les élèves ont reçu des informations sur la signification des références relatives dans la désignation des cellules intervenant dans la formule. Sur les 10 élèves observés, Sylvie, en binôme avec Corinne, est en effet la seule qui ait tenté, sans y parvenir à donner une signification à ces références.

Ainsi, après avoir édité dans la cellule L11C4 la formule (Figure 2-1):

$$= \text{MAX}(L[-9]C : L[-4]C)$$

et avant de la valider, elle croit s'être trompée dans la sélection des cellules de l'argument et tente de la contrôler :

Sylvie	<i>Attends -9 c'est...-4... de -9 jusqu'à -4 ... -9 c'est lui... -4 c'est lui</i>
Corinne	<i>C'est bon</i>
Sylvie	<i>je sais pas , ... si je recommençais.. je recommence...</i>

Elle efface alors les références et refait la sélection des cellules avec la souris. Elle abandonne ainsi le décodage pour éditer de nouveau avec la souris. Elle tentera encore une fois de donner une signification aux références relatives en essayant d'expliquer à Corinne comment on peut corriger des références sans nécessairement les effacer. Ainsi, à propos de la formule

$$= \text{MOYENNE}(LC[-4] : LC[-1]) :$$

---

<sup>1</sup> Voir à ce sujet une étude conceptuelle du tableur dans Capponi 1989.



Sylvie *Tu sais quand on se trompe, au lieu de tout effacer, j'ai vu comme il a fait [elle parle du professeur, intervenu dans le binôme voisin], il s'arrête où c'est faux et où tu dois réécrire. LC ça veut dire la même ligne de la case et après tu mets -4 et là -3... -2... -1... après tu mets 2 points...*

Corinne *j'ai pas compris*

Sylvie *LC ça veut dire sur la même ligne... après tu mets au lieu de tout effacer, de tout refaire, tu mets LC : la même ligne, le crochet -4... jusqu'à... tu mets deux points ... et LC : sur la même ligne, tu mets moins 1, si c'est là... il faut mettre les crochets ...*

goldman						
	1	2	3	4	5	6
1		français	math	hist-geo	anglais	moyenne
2	septembre	14	12	15	10	12,75
3	octobre	9	10	17	5	10,25
4	novembre	2	15	18	14	12,25
5	décembre	7	12	10	11	10
6	janvier	10	13	15	4	10,5
7	février	5	11	6	8	7,5
8						
9	myoenne	7,8333333	12,166667	13,5	8,6666667	
10	minimum	2	10	6	4	
11	maximum	14	15	18	14	
12						
13						

Tableau des valeurs (Mylène et Nadia Séance 2)

	1	2	3	4
1		français	math	hist-geo
2	septembre	14	12	15
3	octobre	9	10	17
4	novembre	2	15	18
5	décembre	7	12	10
6	janvier	10	13	15
7	février	5	11	6
8				
9	myoenne	=MOYENNE(L[-7]C L[-2]C)	=MOYENNE(L[-7]C L[-2]C)	=MOYENNE(L[-7]C L[-2]C)
10	minimum	=MIN(L[-8]C L[-3]C)	=MIN(L[-8]C L[-3]C)	=MIN(L[-8]C L[-3]C)
11	maximum	=MAX(L[-9]C L[-3]C)	=MAX(L[-9]C L[-3]C)	=MAX(L[-9]C L[-4]C)
12				

Tableau des formules (colonnes 1 à 4, Mylène et Nadia Séance 2)

Figure 2-1

Sylvie ne se contente plus de travailler au niveau de l'action en éditant une formule :

- elle reconnaît le rôle de désignation des références dans la formule
- elle cherche à en comprendre le sens

-elle utilise cette connaissance pour valider la formule éditée.

Sylvie est ainsi la seule élève qui manifeste, dès le début de l'apprentissage, une conception algébrique de la formule en tentant de donner un sens au codage fourni par la machine. Son protocole indique la difficulté qu'elle rencontre à interpréter les références relatives et à les utiliser pour contrôler sa formule. Notons encore qu'elle est la seule qui se soit posé ce type de problème et qui ait engagé une lecture des références. Ce protocole de Sylvie, au début de l'apprentissage, indique bien les difficultés rencontrées par les élèves.

Nous avons essayé d'identifier, au cours de l'ensemble des séances de formation, la nature de ces difficultés. C'est ce que nous analyserons dans la suite du chapitre.

Par ailleurs, la situation interview nous a permis de faire un bilan chez les élèves à la fin de la formation, et aussi chez des adultes ayant suivi une formation d'une douzaine d'heures. Dans la situation Cible 1, (Figure 2-2) les sujets, après avoir modifié les contenus des cellules de la colonne 1, qui sont des valeurs, et observé la modification du contenu de L5C4 devaient choisir 3 nombres de façon à obtenir 100 en L5C4. Cette tâche est facilitée si l'on connaît la nature de la relation définie par la formule implantée en L5C4. Il s'agit alors de donner une signification à la formule que l'on peut voir dans la barre d'édition de la figure 2-2.

Nous avons construit une situation où il est facile d'établir une correspondance entre les cellules dont les références sont dans la formule et les valeurs qui apparaissent dans ces cellules sur l'écran. Ainsi, même les binômes qui auraient des difficultés à décoder doivent être guidés par la simplicité des relations à découvrir.

Cette formule est relativement courte il y a autant de références dans la formule que de cellules contrairement à ce que nous ferons plus loin. D'autre part il s'agit d'une expression du premier degré par rapport à chacune des variables.

Voici par exemple le protocole de Florence et Philomène dans cette situation interview quand elles commencent le décodage de cette formule.

1. Florence *moins 1... L moins 1 C 3 plus 2... multiplié par... attends j'arrive pas à lire là... L moins 1... C moins 3... ça correspond à quelle...*
2. Philo *ben on a qu'à le faire avec le curseur...*
3. Florence *L moins 1... c'est bien là les lignes ... moins 1...(5s)... C moins 3... plus 2...*
4. Philo *(tout bas en copiant)... plus 2 fois LC moins 3...*
5. Florence *2... (10s) mais là il faudrait quand même qu'on arrive à déchiffrer parce que ...*
6. Florence *ben ça c'est ligne L...*
7. Philo *où tu vois ligne ?*

L5C4		$=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]$				
		cible1				
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
4	2					
5	5					
6	6					
7						

Figure 2-2

8. Florence *C c'est colonne t'es d'accord ? oui c'est ça ... donc L moins 1. d'habitude quand tu définit une cellule tu dis ... L6C1 donc c'est en face de la ligne 6 colonne 1. comme là (elle montre la référence absolue en bas du tableau). voila... donc là c'est L moins 1... mais moins 1 quoi ? ... moins 1... attends ... (5s)*
9. Observ *c'est un autre système d'écriture ...*
10. Florence *ouais (15s)...on devait y arriver ! (elles rient) [...]*
11. Philo *mais elle est bizarre cette formule...*
12. Florence *oui mais j'arrive pas à la lire ...là sur les ... je comprends pas ce que c'est L moins 1 C moins 3... qu'est ce que ça veut dire ?*

Nous voyons ici les difficultés rencontrées par Florence et Philomène pour décoder une formule simple écrites avec des références relatives.

Un des résultats est que sur un ensemble de 14 adultes et 12 élèves, 5 ne peuvent donner de signification aux références et parmi ceux qui réalisent le décodage, 8 y parviennent avec de nombreuses hésitations et en s'appuyant sur la simplicité du tableau proposé. Il n'y a pas de différence notable entre les adultes et les élèves de ce point de vue.

Ces résultats indiquent les difficultés d'appropriation du système de références relatives dans le tableur. Ces difficultés trouvent leur origine dans la nature du système de références dont l'origine du repère change avec la cellule active, et, dans la complexité de l'écriture des références qui contrastent avec des notations algébriques classiques, où la désignation d'une variable à l'aide d'une simple lettre reste toujours la même.

## 1.2. LA COMPLEXITE DE LA FORMULE : ORGANISATION DU CALCUL

Les élèves ont rencontré des difficultés que nous associons à la complexité de l'écriture d'une formule avec des références relatives et à une gestion des priorités d'opérations. En effet prenons l'exemple de la formule qui apparaît dans la situation "gaz-elec" de l'interview. (Figure 2-3). Cette formule est d'une écriture complexe au regard de ce que l'on peut attendre d'une expression de même type en algèbre. Elle correspond, en effet, à une somme de 4 termes dont deux sont des produits de deux facteurs. soit une expression du type :

$$px + qy + a + b$$

L7C4		=LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]			
gaz elec-b					
	1	2	3	4	
1	abonn gaz	abonn elec	P.U Gaz	P.U. elec	
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F	
3					
4					
5					
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom elec(KWh)	montant	
7	1	5891	513	1375,08 F	
8	2	4789	568	0,00 F	
9	3	3569	456		
10	4	1256	689		
11	5	2652	703		
12	6	4582	653		

Figure 2-3

L'expression utilise dans Multiplan 54 caractères alors qu'en algèbre on n'en compte que 9. Cette abondance de symboles donne à l'écriture une apparente complexité et rend sa lecture plus difficile. Une des conséquences de cette complexité tient dans la difficulté à distinguer les groupements de facteurs induits par les priorités qui sont les mêmes en algèbre et dans le tableur. Ainsi on observe

un effet de "mise à plat" de l'expression, encore accentué par les références relatives, qui situe la complexité du traitement à deux niveaux :

- une expression comme  $a \times b + c \times d$  nécessite une construction des priorités perturbée par la présence des références relatives .

- une expression comme  $ab + cd$ , familière aux élèves comporte une priorité induite qui disparaît dans l'écriture de la formule dans Multiplan où l'explicitation de tous les signes de calcul supprime l'effet de regroupement dû à l'omission du signe  $\times$  en algèbre.

Les protocoles suivants illustrent ces différents éléments liés à la complexité de l'écriture.

Dans la tâche que nous analysons ici, ("Vêtements", Séance 3) les élèves doivent donner la signification d'une formule correspondant au tableau de la figure 2-4 pour reconnaître qu'elle ne réalise pas le calcul attendu dans la situation proposée. La formule à décoder est complexe :

$$\frac{L[-4]C[-1] * L[-2]C + L[-2]C[-1] * L[-3]C + L[-3]C[-1] * L[-4]C}{\begin{array}{cccccc} \hline 123 & 0 & 236 & 1 & 1350 & 4 \\ \hline \end{array}}$$

Nous indiquons sous chaque référence le contenu numérique de la cellule et nous avons souligné les 3 termes de cette expression. Nous avons pu observer des difficultés de lecture liées à cette écriture complexe. Les 3 termes de l'expression sont difficiles à distinguer c'est vraisemblablement là l'origine de certaines erreurs de décodage. Sylvie et Corinne, par exemple, ont essayé d'organiser leur lecture à l'aide de parenthèses, mais n'y sont pas parvenu puisqu'elle écrivent :

$$123 \times (0 + 236) \times (1 + 1350) \times 4$$

où elles regroupent deux facteurs de deux termes différents deux fois de suite et obtiennent une expression factorisée au lieu d'une somme de trois termes. Ce type d'erreur ne se produit pas en général chez des élèves de troisième si l'expression est écrite sous une forme qui leur est plus familière du type  $ab + cd + ef$ . Dans ce type d'écriture l'organisation du calcul n'est pas cachée par la complexité de la désignation des variables. Ces élèves n'ayant pas été observées, nous ne savons pas de quelle manière ce décodage a été conduit, ni si ce calcul a donné lieu à une vérification. Ce sera le seul binôme qui réussira par la suite un codage correct.

Dans la même tâche, Gilles et Franco ont décodé avec des références inexacts mais l'organisation du calcul leur a aussi posé des difficultés puisqu'ils écrivent :

$$123 \times 236 + 236 \times 1250 + 1250 + 1350 \times 123$$

La structure du calcul est modifiée, on peut faire l'hypothèse que c'est la complexité de lecture de l'expression qui fait échouer les élèves.

L1: C1: =L[-4]C[-1]\*L[-2]C+L[-2]C[-1]\*L[-3]C+L[-3]C[-1]\*L[-4]C

Sans titre				
	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

article	prix unitaire	quantité
chemise	123	4
mantøu	1350	1
pentalon	236	0
	total	5636

figure 2-4

Mylène et Nadia ne parviendront à décoder que la première référence et auront des difficultés à organiser le calcul autour des opérations en jeu :

1. Mylène *Eh bien il a fait, regarde, déjà il a fait ça... et ça... j'sais pas trop quoi ... là ...*
2. Nadia *Multiplié ?*
3. Mylène *oui ça fois ça ... j'crois... j'crois que c'est ça ; après ...*
4. Nadia *il a ajouté*
5. Mylène *pourquoi il a ajouté ?*
6. Nadia *Ben , ouais... non il a multiplié [ ...]*
7. Mylène *Eh ben qu'est ce que ça fait que ça ?*
8. Nadia *plus, moins ou multiplié ... je sais pas quoi ...*
9. Mylène *je sais pas*
10. Nadia *égal... ouais ça doit être plus... attends*
11. Mylène *Il y a un problème là ...*
12. Nadia *Mais là... 123 + 236 ... + 236... multiplié ... une deux... 236... [ ...]*
13. Nadia *mais la petite étoile elle est à la fin ... pas...*
14. Mylène *je sais pas moi !*

Mylène et Nadia ont eu des difficultés pour comprendre la signification des références relatives, mais ici c'est l'organisation du calcul qui pose problème avec les opérations en jeu entre les grandeurs puisqu'elles se posent des questions relatives aux opérations entre les grandeurs en jeu (2-5-6-10-13).

Christophe arrivera à décoder mais le protocole suivant montre le travail et la rigueur nécessaire pour ne pas se tromper, il suit sur la fiche avec son crayon :

Christophe *Ligne moins 4 ... 1,2,3,4 ... Moins 1 ... 123 ... Multiplié, c'est quoi Ca ? c'est multiplié ! 123 multiplié par ligne moins 2 ... Un, deux ... Multiplié par 0 ... Plus ligne moins 2 : un, deux ... C moins 1 ... L moins 3 ... Un, deux, trois ... Fois 1 ... L moins 3 ... Ouais, c'est celui là ... Alors L moins 3 ... Un, deux, trois ... Moins 1 ... 1350 ... Fois L moins 4 ... 1,2,3,4 ... 146 fois 1 ...*

Il note en même temps sur son brouillon :

$$123 \times 0 + 236 \times 1 + 1350 \times 4 ,$$

puis calcule pour contrôler qu'il obtient le même résultat que celui qui est affiché dans la cellule. et il conclut : " *on a juste ! ça fait 5636 !* ".

La complexité syntaxique est dépassée par une lecture systématique de gauche à droite qui conduit à occulter les priorités.

Cécile et Michèle se posent aussi la question de l'organisation du calcul, mais elles n'arriveront pas à mener de front le décodage des références et l'organisation du calcul et abandonneront sans terminer, le temps de travail étant écoulé.

Ces observations, relevées après 10 heures de travail sur Multiplan, indiquent encore de nombreuses difficultés dans l'interprétation des références relatives. Nous faisons l'hypothèse que parmi les difficultés de lecture des références, la complexité de l'écriture d'une formule intervient encore de manière importante, du moins dans les premiers temps.

### 1.3. LE ROLE DE LA CELLULE ACTIVE COMME ORIGINE DU REPERE

Une autre difficulté dans la lecture des références relatives provient de l'identification de la cellule active comme origine du repère ou d'une interprétation erronée de l'origine. Cet obstacle, déjà mis en évidence dans une expérimentation

préliminaire (Capponi 1989), a de nouveau été observé chez plusieurs élèves pendant la formation.

Ainsi à la séance 3 (Vêtements séance 3) (Figure 2-4), pour donner un sens à la référence relative d'une cellule, les élèves doivent reconnaître la cellule active, où la formule est inscrite comme l'origine du repère. 3 binômes sur les 4 observés<sup>1</sup> ont rencontré des difficultés avec ce repérage relatif. Nous indiquons ici les protocoles correspondants :

Gilles écoute les explications du professeur mais s'interroge sur l'origine du repère :

1. Prof *L[-4] ça veut dire 4 lignes au dessus*
2. Gilles *oui, mais ça part d'où aussi ? ça part d'où ? pour 4 lignes, 3. colonnes... 4 lignes en avant ?*

Franco montre alors comme origine la cellule qui contient le texte "prix unitaire".

3. Prof *d'où tu fais partir ?*
4. Franco *Ben d'après ce que je comprends, ça doit partir de là [il montre avec son doigt la cellule "prix unitaire"]*
5. Prof *celle ci ?*
6. Franco *oui parce que ils disent colonne d'en haut et moins un ... ça doit faire ça !*

Franco ne fait pas le lien entre la formule de la barre d'édition et la cellule, noircie, contenant le total et qui doit servir d'origine pour le repère.

Cécile et Michèle, sur la même tâche, ont commencé à coder la formule (troisième question) avant le décodage de la formule (deuxième question). Elles commencent le repérage à partir de la cellule active mais ne sont pas d'accord sur le retour à cette cellule pour chaque référence :

1. Michèle *Non, pourquoi tu repars là, non ! Regarde, t'es là ! Ta cellule elle est là, maintenant. Et maintenant tu veux calculer ça par ça, en principe ... Bon alors tu fais L ... Non ... C[-1] ...*
2. Cécile *Ouais ...*
3. Michèle *C[-1] multiplié par L[-1] Non, pas ...*
4. Cécile *Non, et L[1]*
5. Michèle *L[+1] ... Ouais L[1] ... Non, attends c'est moins ...*
6. Cécile *Tu vois, c'est bien comme j'avais marqué ! Lui, à chaque fois il est pas revenu*

---

<sup>1</sup> Nous n'avons aucune observation du détail du décodage pour Sylvie et Corinne. Elles sont parvenues à repérer correctement toutes les cellules intervenant dans la formule mais nous ne savons pas quel type de problème elles se sont posées à ce sujet.



7. Michèle *Si !*  
 8. Cécile *Il est parti là, et puis là ...*  
 9. Michèle *Si ! T'es là*  
 10. Cécile *Non, parce que c'est toujours par rapport à la case en noir ! Donc c'est bien comme j'avais fait ! C'est par là, par là ... On revient à la case pour changer ...*  
 11. Michèle *Bon, ben c'est comme tu penses ...*  
 12. Cécile *Et mais c'est L[-1] C[+1] et nous c'est C[-1] L[+1] ! Eux ça fait ... Ben oui, tu vois, regarde, c'est ce que je te disais ! C'est C[-1] ...*  
 13. Michèle *Ouais*  
 14. Cécile *L[-1] ... C[-3]*  
 15. Michèle *Ah ouais ! Ouais, ouais, non, mais t'as raison ! Tu fais ça ! Bon allez, efface tout ! Alors ...*  
 Elles recommencent et de nouveau la même question se pose :  
 16. Michèle *Mais ta truc elle est là ... J'pige plus rien !*  
 17. Cécile *Faut toujours partir du truc noir*  
 Finalement elle demanderont au professeur :  
 18. Cécile *Michèle était pas d'accord avec ce que je pensais.*  
 19. Prof *Oui ... C'est ce que tu as voulu faire ?*  
 20. Cécile *Oui*  
 21. Prof *Pourquoi vous n'étiez pas d'accord ?*  
 22. Cécile *Parce que moi je voulais tout le temps pour faire les opérations, tout le temps partir de la case noire. Et Michèle pensait qu'il fallait pas tout le temps revenir au point de départ ... Elle faisait ça fois ça, plus ça fois ça, sans revenir à la case noire ...*  
 23. Michèle *Ouais, la cellule, admettons qu'elle vienne là ... Après, bon ben qu'elle aille là ... Et après enfin ... Là et puis ... Parce que ...*  
 24. Prof *C'est à dire euh ... Un petit peu comme euh ... C'est comme si tu faisait un jeu de piste, et quand tu es arrivée à un endroit, tu repars de là ?*  
 25. Michèle *Ouais ouais ouais !*  
 26. Cécile *Tandis que moi je parlais toujours de la case noire !*

Pour Michèle les cellules sont repérées les unes après les autres en prenant comme origine chaque fois la dernière cellule intervenant dans le calcul (1-16-23-26). Elle cède devant l'insistance de Cécile. Mais dès que la question se repose elle réintroduit sa conception de l'origine. Cette conception est assez prégnante puisque le débat entre les élèves n'a pas permis de la surmonter. Ce sont elles qui appellent le professeur pour faire un arbitrage.

Nous trouvons des indices des difficultés liées à l'origine du repère chez la moitié des élèves dans la séance 5 (Rectangles Séance 5).

La figure 2-5 montre une cellule noire dans laquelle est implantée la formule (1). En travaillant au décodage de la formule (2), Franco commence son déplacement de cette cellule noire :

1. Franco *C'est faux, L moins 3, pourquoi L moins 3 ? ça va pas ça c'est faux ! 3 cases en avant ça fait ... 1, 2, 3 ...*  
 2. Gilles *mais à partir de la noire !*

3. Franco *non ! mais c'est faux alors là ... 2 cases en avant c'est juste ... 1, 2 une case en arrière c'est ici ... 3 cases en arrière ça va jusque là c'est faux, elles sont fausses...*

Chez ces élèves le problème de l'origine est posé bien qu'il interfère fortement avec le sens des déplacements puisque pour Franco la lecture se fait tantôt en avant, tantôt en arrière sans que l'on puisse savoir exactement ce qui guide cette lecture.

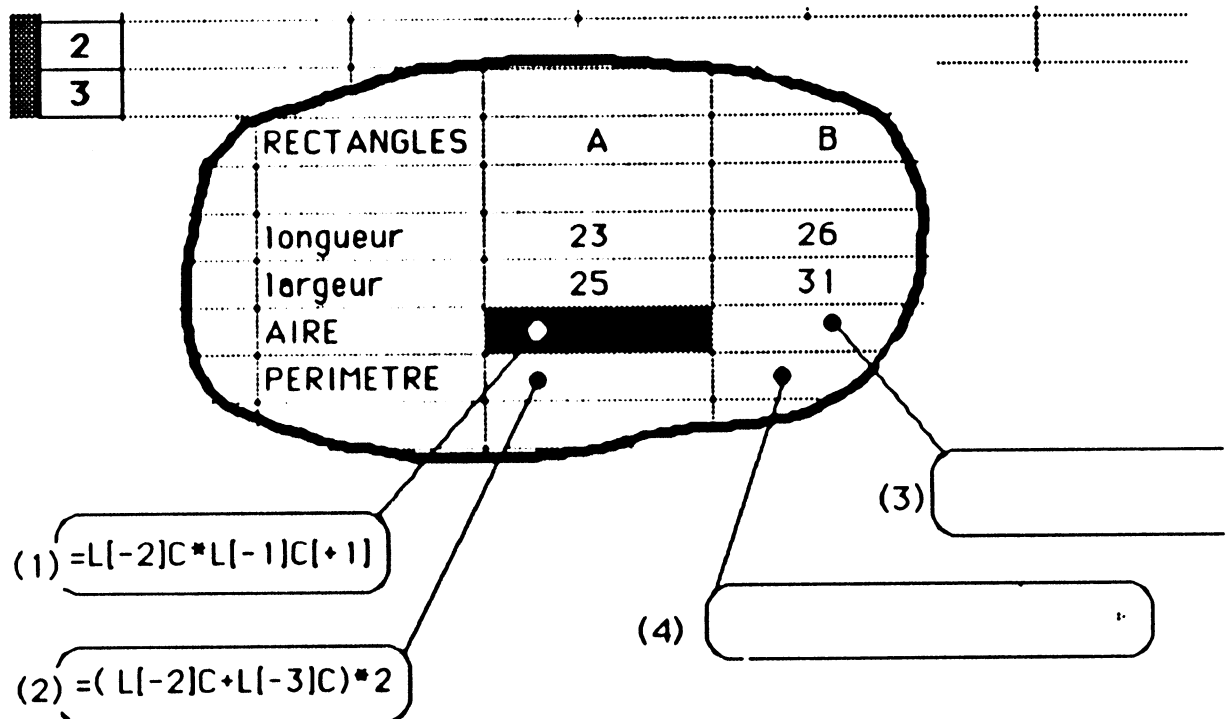


Figure 2-5

Comme à la séance 3, Cécile et Michèle ont des difficultés avec la cellule active. Au moment de compléter les formules pour trouver le périmètre du rectangle B (Figure 2-5)

1. Cécile *C'est celle là, la case active ? ... non c'est celle là ...*
2. Michèle *je sais pas justement, c'est la question que je posais tout à l'heure*
3. Cécile *Appelle le prof !*
4. Michèle *Monsieur je sais pas si on la laisse là Monsieur... la cellule active, elle est là ?*
5. Prof *c'est toujours celle...*
6. Cécile *qu'on calcule*
7. Prof *oui c'est celle où tu écris la formule... ici elle sera là*
8. Cécile *C'est bon, c'est ce qu'on voulait savoir ...*

La difficulté est apparue pour, ces élèves, quand il a fallu choisir l'origine du repère pour établir la formule du périmètre (Formule 4). Le passage de la

formule 3 à la formule 4 provoque un changement d'origine qui pose problème aux élèves. Elles font appel au professeur, bien que ce soit Cécile qui fournisse la réponse à la question. Sans être vraiment bloquée, elle cherche à obtenir une validation du professeur.

- Sylvie fera comme Franco un décodage de la formule (2), qu'elle appelle "b", à partir de la cellule noire :
1. Sylvie *mmm... et le b ? le b c'est faux parce que L moins 3 sur la même colonne ... 1,2,3... il n'y a rien...*
  2. Corinne *Alors dans le petit b ... euh...*
  3. Sylvie *Attends faut voir d'abord... L moins 2 C ... 1,2, C ça veut dire la même colonne plus moins 3 c ... moins 3 multiplié par 2... Ben L moins 3 il n'y a rien du tout hein !... ben alors elle est fausse*

C'est ensuite ce qu'elles inscrivent dans le cadre réponse. Sylvie fait un décodage correct des références en ce qui concerne les déplacements mais prend la cellule noire comme origine du repère. Nous pensons que, ici, c'est la cellule noire qui apparaît sur le tableau qui a trompé Sylvie puisque c'est toujours l'aspect de la cellule active dans le logiciel. Mais, ce n'est pas non plus la seule origine de cette erreur puisque dans le codage de la formules (3) Sylvie la produira de nouveau :

4. Corinne *alors le périmètre c'est longueur fois largeur multipli...*
5. Sylvie *non, 26 plus 31 multiplié par 2 c'est ça ... alors c'est L moins 2...*
6. Corinne *Je ne fais pas de crochet ? [ Corinne écrit la formule dans le cadre réponse de la fiche ]*
7. Sylvie *si ! L crochet moins 2 C plus , plus normal ... L crochet moins 1 crochet C , ferme la parenthèse ... multiplié par 2 ... et voilà !*

Sylvie construit les références sans tenir compte de la cellule dans laquelle la formule sera installée. On peut penser que ce type d'erreur a peu de chances de se produire dans l'interaction avec le logiciel puisqu'on ne dispose alors que d'une seule formule à la fois dans la barre d'édition et que cette formule est identifiée par l'élève autant par le résultat qui y apparaît que par ses références. On voit encore ici comment Sylvie avant de construire sa formule passe de la description langagière de Corinne (4) à une description à l'aide des nombres apparaissant dans les cellules (5).

Mylène éditera correctement les formules et fera, elle, explicitement référence au fonctionnement de l'ordinateur au moment de l'édition puisque la cellule active est perceptivement noire :

1. Nadia *"inscrire dans ces cadre les formules pour l'aire et le périmètre du rectangle B" ... ah mais c'est moins facile .*

2. Mylène *C'est la même chose normalement puisque quand on se met là... après celui là il devient noir et on calcule à partir de celui là .*

Mylène décrit à la fois le fonctionnement au niveau du logiciel "on se met là" , les effets visuels "celui là devient noir " et les conséquences au niveau du repère pour les références de la formule " on calcule à partir de celui là". Sylvie, elle, n'a pas eu ces préoccupations et n'a pas pris en compte le positionnement de la formule.

Dans la situation Cible 1 ( Situation interview) le décodage de la formule de la Figure 2-2 nécessitait aussi l'identification de la cellule active comme origine du repère. Maryse (Adulte) a par exemple des difficultés à donner une signification à la formule :

1. Maryse *j'attends la suite, je ne suis pas très mathématique moi...*
2. Annie *mais c'est les positions là !*
3. Maryse *J'ai compris... bof...*
4. Annie *t'as pas compris ?*
5. Maryse *attends parce que je comprends... tu me dis ...*
6. Annie *c'est les positions relatives ... c'est par rapport à cette cellule là qui est en surbrillance <sup>1</sup>...*

Le protocole suivant de Florence et Philomène indique aussi des difficultés à ce niveau.

1. Philo *plus deux fois LC... moins 3 plus 1... (5s)... les autres formules elles étaient pas comme ça celles qu'on avait vues ...*
2. Observ *si ... vous n'y aviez sans doute pas fait attention... je vais vous donner un petit coup de main... cette formule est écrite par rapport à la cellule 6 qui sert d'origine*
3. Florence *ah d'accord de repère ... donc ça fait*

Florence et Philomène reçoivent une aide de l'observateur car depuis longtemps elles n'arrivent pas à lire les références relatives. Il suffit que l'observateur leur signale que la cellule L5C4 est origine du repère pour qu'elles arrivent ensuite à décoder. Ceci indique que l'identification de la cellule active comme origine du repère semble être l'un des obstacles intervenant fortement dans les échecs de décodage.

---

<sup>1</sup>La situation Interview des adultes a été réalisée sur des compatibles PC-XT.

## 1.4. LE ROLE DE L ET C DANS LES REFERENCES

Les premières feuilles de calcul que construisent les débutants mettent en jeu des formules qui ne contiennent que des références à des cellules qui sont toutes sur la même ligne ou la même colonne. Cette particularité a pour conséquence de ne donner que des références où, soit C, soit L n'est suivi d'aucune valeur, par exemple LC[-3] ou L[-5]C. Tout se passe alors comme si les élèves, dans le contexte de la formule qu'ils construisent, ne prenaient pas en compte la signification de L comme Ligne ou de C comme Colonne, mais considéraient ces lettres comme un indicateur nécessaire dans la formule, mais dont le rôle n'était pas clairement identifié.

Dans la tentative de décodage de Sylvie nous pouvons d'ailleurs noter :

Sylvie *LC ça veut dire sur la même ligne... après tu mets au lieu de tout effacer, de tout refaire, tu mets LC : la même ligne, le crochet - 4... jusqu'à... tu mets deux points ... et LC : sur la même ligne, tu mets moins 1, si c'est là...*

## 1.5. LE FRACTIONNEMENT D'UNE REFERENCE

Nous analysons dans ce paragraphe une des conséquences de la complexité de l'écriture des références relatives qui conduit les élèves à opérer une lecture partielle de celles-ci. Les observations que nous avons pu réaliser à partir de la situation rectangles (Séance 5) indiquent qu'il ne s'agit pas d'un phénomène marginal.

La complexité des désignations à l'aide de références relatives conduit 6 élèves sur les 10 à donner une signification à une partie de la référence en négligeant une autre partie. Par exemple une référence comme L[-3]C[+1] sera lue comme 3 cases au dessus sans que la signification de C[+1] soit prise en compte. Tout se passe comme si les lettres L et C n'avaient pas de signification précise dans la décomposition du déplacement dans les deux directions du repère. Le protocole suivant (Rectangles Séance 5) montre un exemple de cette lecture particulière des références dans le décodage de la formule =L[-2]C\*L[-1]C[+1] :

1. Gilles *euh... LC moins 2 ... ça serait 23* [Figure 2-5]
2. Franco *L moins 1*
3. Gilles *ça serait 25*
4. Franco *oui... 23 fois 25 ...*

Le groupement de L et C et le report à la fin, dans la lecture, du coefficient -2 (1) indiquent ici une relecture particulière de la formule où seul -2 prend une

signification dans le repérage. La lecture par Franco (2) fait disparaître le C et n'empêche pas Gilles de placer la cellule dans la même colonne. Ces deux élèves font une lecture partielle des références où L et C n'ont pas de signification nettement identifiée. Cette difficulté va se trouver mise en évidence dès que la référence ne désigne plus une cellule de la même colonne comme dans la formule (1) de la figure 2-5.

1. Franco *Multiplié par ...L moins 1...voilà...et plus 1 ? c'est ça que j'arrive pas à ... [ ...] ça va pas plus 1*
2. Gilles *d'où il sort le plus 1 ?*

Ces élèves resteront longtemps incapables de donner une signification à la dernière partie de la référence parce qu'ils ne relient pas, malgré le crochet le nombre +1 et la lettre C qui lui donne un sens et que la description qu'ils savent faire du calcul en référence au problème ne comporte pas ce +1. C'est Christophe, un élève du binôme voisin qui les aidera :

3. Christophe *C'est colonne plus 1...*
4. Gilles *t'as vu ça correspond pas à 1 tout court ...*
5. Franco *pourquoi il y a le plus 1 ?*
6. Gilles *là si tu dis plus 1..., à mon avis, c'est pour inscrire ici non ? plus 1 tu rajoutes une case, tu descends là ...*
7. Franco *regarde là ils le mettent pas ... pourquoi ?*
8. Gilles *ah non là fois 2 ... plus 1 ça va l'inscrire ici*
9. Franco *et là pourquoi ils le mettent pas ? il fallait mettre plus 2 là , et là il a multiplié ... multiplié c'est pour calculer le périmètre ... on a jamais fait tout ça ; on a juste tapé entrée après ... c'est faux avec plus 1.*

Gilles (2) utilise la remarque de Christophe pour donner au coefficient +1 une signification en liaison avec les références. Ce qu'il tente d'expliquer à Franco en termes de déplacement (4 et 6) Mais celui-ci reste sur un registre d'opérations entre cellules : négligeant les parenthèses et les crochets de la formule (2) (Figure 2-5). Il essaye de leur donner un sens de déplacement -plus 2 -, s'interroge de nouveau sur le calcul à effectuer (le périmètre) et conclut que cette formule (1) est fautive puisqu'il ne donne pas de signification à +1. Une lecture partielle de la formule tant du point de vue des lettres L et C que des parenthèses ou des crochets empêche Franco de distinguer les coefficients, qui définissent des déplacements dans le système de référence, des termes ou facteurs du calcul décrit par la formule. Franco se plaçant du point de vue des formules qu'il a déjà éditées dans les séances précédentes décrit l'action (7) mais ne lui donne pas de signification en liaison avec le système de références.

La lecture partielle de la référence conduit ainsi à son fractionnement en plusieurs éléments qui peuvent interférer avec le calcul.

Dans un autre binôme, Christophe rencontre aussi cette difficulté :

1. Christophe *L moins 2 C ... moins 1... plus 1 , qu'est ce que c'est que cette histoire, c'est quoi le plus ? ... Carreau plus 1 je comprends pas ce qu'il veut faire ... moins 2 C ... c'est faux... je comprends pas ce plus 1... c'est colonne plus 1... on compte comme ça ... 1, 2, et 1 ... ils disent ça fois ça [23 fois 25] et après ils avancent d'une case ... alors elle est fausse . [ils remplissent le cadre réponse sur la feuille de travail] fausse à cause de C plus 1...*
2. Prof *Qu'est ce que ça calcule ?*
3. Christophe *23 fois 25 ... elle calcule 23 fois 25... mais le chiffre va être marqué là pour le B puisqu'elle va avancer d'une case ... le plus 1...*

Avec la même formule que Franco, Christophe rencontre des difficultés analogues. Il donne une signification à la première partie de la formule "L[-2]C" puisqu'il l'interprète comme "25" et donne à [+1] la signification d'un déplacement a posteriori. C'est de là qu'il déduit que la formule est incorrecte . Il envisage même dans la description qu'il fait pour le professeur un déplacement du résultat calculé occasionné par le [+1]. Christophe, comme Franco, n'envisage pas la référence L[1]C[+1] comme un tout, elle n'est pas prise en compte en tant que variable intervenant globalement dans le calcul mais se trouve fractionnée. Le schéma suivant indique la lecture qui est faite par Christophe :

$$L[-1]C[+1] \longrightarrow L[-1]C + 1$$

Cette conception de Christophe se manifeste dans les explications qu'ils donnent à Alexandre après que le professeur l'ait aidé à comprendre la signification d'une référence.

- Christophe *regarde la formule ... [ = L[-2]C\*L[-1]C[+1] ] le premier c'est ça... ça c'est le premier nombre ... [il montre L[-2]C ] et ça tout entier c'est le deuxième nombre ... [il montre L[-2]C[ +1] ] ... celui là... chaque truc fait un nombre ... s'il y a C suivi de rien ça veut dire qu'il y a rien puisqu'il avance pas , en case , tu fais moins 2 ... ça fait 23... et là ils disent qu'ils avancent d'une case dans ce sens donc ça fait comme ça ... moins 1 et une case de plus ...*

Dans sa description Christophe insiste sur "ça tout entier " , c'est en effet là que se situait l'obstacle pour lui dans le décodage de la formule. Cependant il ne

traduit pas en termes de marqueurs syntaxiques la distinction entre les deux syntaxes manifestées par la présence ou non de crochets.

Cécile et Michèle ont aussi rencontré des difficultés en raison du fractionnement de la référence. Dans le décodage de la référence  $L[-2]C[+1]$  (Figure 2-5) :

1. Michèle *L moins 2 : dans la même colonne, Multiplié par L moins 1 C ...  
C dans la même colonne ...*
2. Cécile *Non colonne plus 1*
3. Michèle *Je comprends pas pourquoi il a mis plus un ... ça correspond à  
quoi ? ça multiplié par ça ?*
4. Cécile *Il faut dire si elles sont correctes les formules...*
5. Michèle *La première est pas correcte ... si c'est pour le truc du 1... parce  
que... pourquoi il y a +1 ?*
6. Cécile *ça fait L moins 1 ...*
7. Michèle *Je sais pas, j'ai pas bien compris le truc des formules ...*
8. Cécile *Là ... L moins 1 c'est la ligne L moins 1 ... multiplié ...*
9. Michèle *Non là c'est une autre colonne ... ça serait C moins 1...*
10. Cécile *Non c'est L moins 2*
11. Michèle *L moins 2 dans la même colonne , multiplié par L moins 1 ...  
colonne...*
12. Cécile *colonne plus 1 ! ... L moins 1 ça ferait 25 fois 31 ...*
13. Michèle *mais pourquoi plus 1 ?*
14. Cécile *et ben c'est une colonne après, c'est plus 1*
15. Michèle *Attends... Non... L moins 1 C c'est ça plus 1...*
16. Cécile *L moins 1 c'est ça et colonne plus 1 c'est ça ... ça ferait 25  
moins rien du tout ... c'est pas bon parce que là il n'y a rien du  
tout*

Michèle (1) fait une lecture fractionnée de la référence où seule le décalage de la ligne (L moins 1) est pris en compte. La lettre C signifie "dans la même colonne" , ce qui est exact dans la première référence de la formule =  $L[-2]C*L[-1]C[+1]$  mais qui conduit aux difficultés de Michèle pour la deuxième puisqu'elle ne considère pas  $[+1]$  comme relié à C pour indiquer un changement de colonne. Dans cette lecture de la référence, le crochet n'a pas de statut bien identifié, il est simplement ignoré puisqu'il n'a pas de signification pour Michèle.

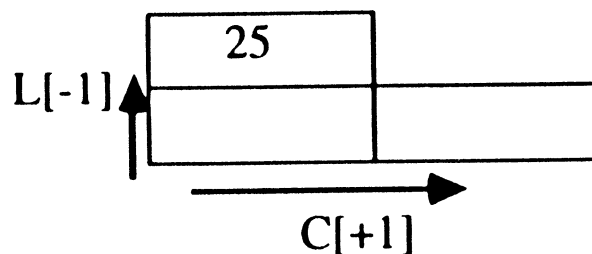


Figure 2-6



Cécile manifeste une lecture plus conforme à la signification accordée par le logiciel aux références puisqu'elle introduit le plus 1 comme un coefficient pour C (2 et 14) .

Mais Michèle, qui continue à fractionner la référence, perturbe Cécile au point qu'elle proposera une lecture fractionnée de la référence (16) où chaque lettre L et C constitue à elle seule la référence d'une cellule intervenant dans le calcul (Figure 2-7).

Les protocoles que nous venons d'examiner indiquent nettement une lecture fractionnée de la référence relative. Nous considérons que ce fractionnement est lié à la fois à la complexité intrinsèque de la syntaxe d'une référence relative et à l'épistémologie de l'algèbre chez les élèves de troisième. Pour éclairer ce dernier point notons que pour des élèves de troisième les notations fonctionnelles comme  $f(x)$  sont encore peu familières et ne sont pas lues comme reliant de manière inséparable la variable  $x$  et la fonction  $f$  . Pour un élève de troisième, le statut de la parenthèse est surtout celui d'un indicateur de priorités dans une expression algébrique qui est de nature très différente de celui d'une parenthèse dans  $f(x)$ . Par analogie, et en raison de la complexité de l'écriture, dans les références relatives le crochet n'est pas lu comme une notation fonctionnelle  $C[+1]$  comme cela pourrait être le cas si les élèves avaient une familiarité plus grande avec la notion de fonction et l'utilisation de la syntaxe correspondante.

D'autre part, l'usage veut qu'en algèbre, la plupart des variables soient désignées à l'aide d'une seule lettre alors qu'ici une désignation de cellule comme celles citées dans les protocoles atteint 10 caractères. Ce fonctionnement très différent dans les deux environnements induit les difficultés observées chez les élèves.

## 1.6. LES PARENTHÈSES ET CROCHETS

Le rôle des crochets et des parenthèses est fixé dans la version de Multiplan que nous avons utilisé<sup>1</sup>. Les crochets délimitent les coefficients associés aux déplacements en ligne (L) et en colonne (C). ainsi par exemple  $L[-7]C[+4]$ . Les parenthèses indiquent les priorités du calcul. En algèbre élémentaire, il est d'usage

---

<sup>1</sup> Dans les versions pour compatibles PC, il n'y a que des parenthèses qui jouent les deux rôles ainsi que dans la version 1.02 sur Macintosh. On peut penser que ce seront alors des confusions entre deux rôles différents joués par le même symbole qui pourraient créer des difficultés.

dans l'enseignement de présenter les parenthèses et les crochets comme des indicateurs de priorités. Mais, une hiérarchie est en général introduite qui place toujours la parenthèse à l'intérieur d'un crochet. Le crochet n'existe d'ailleurs que s'il contient des parenthèses. Cette distinction sur le rôle respectif de ces deux objets dans les deux environnements introduit une difficulté pour des élèves.

Ainsi Nadia et Mylène (Séance 2 moyennes) qui éditent la fonction *somme()* au clavier oublient les parenthèses. Le professeur leur demande de la remettre :

Mylène *mais attends, c'est une parenthèse ou un crochet ?*

Nadia *mais un crochet !*

et elles éditent un crochet. La confusion manifestée par ces élèves entre les crochets et les parenthèses a peut-être pour origine le calcul algébrique tel qu'ils le pratiquent en classe puisque dans la formule qu'elles éditent :

$$=SOMME + L[-13]C[+1] :L[-2]C[+1]$$

les parenthèses que le professeur leur demande de mettre contiendront les crochets des références.

On peut ainsi remarquer que ces élèves n'ont pas encore identifié le rôle des crochets, exclusivement réservés dans Multiplan à l'écriture des références relatives.

BULLETIN DE PAYE		MAISON DES JEUNES LE ROSSIGNOL	
JANVIER 87			
NOM	GILEEFT	ACTIVITE	JUDD
NOMBRE HEURES	11		
SALAIRE HORAIRE	135		
PRIME	255		
INDEMNITES	323		
		+	
SALAIRE BRUT			1 485,00 F
RETENUES	taux (%)		
SS maladie	5,5		81,68 F
SS vieillesse	4,7		69,80 F
ASSEDIC	1,72		25,54 F
BASE IMPOSABLE			1 562,99 F
NET A PAYER			1 885,99 F

Figure 2-7

Le même type de difficultés a été observé à la séance 4 (Fiches de paye , Séance 4) où ,Gilles et Franco, dans l'édition d'une fiche de paye comme celle de la figure 2-7 ont tout d'abord eu des difficultés avec les procédures d'édition : dans le calcul de la base imposable (Salaire brut auquel on enlève les trois retenues), pour enlever les trois retenues ils tapent un signe moins, puis font glisser la souris sur les trois cellules à enlever, ils ajoutent ensuite la prime et obtiennent la formule :

$$L[-6]C[-1] - + L[-4]C : L[-2]C + L[-9]C[-2]$$

le logiciel éditant automatiquement le signe plus et les références séparées par deux points. Une telle formule produit le message d'erreur, #VALEUR, que les élèves n'arrivent pas à interpréter. Cette tentative consiste à faire prendre en charge par le logiciel la soustraction des trois retenues.

Ils sont aidés par le professeur qui leur signale qu'il faut indiquer toutes les opérations :

1. Prof *On ne peut pas faire comme ça, il faut indiquer toutes les opérations, refaites la formule*
1. Gilles *alors moins ça, je clique*
2. Franco *moins... tu mets moins ... plus ça... plus ça... plus ça... entre parenthèses... comment on fait les crochets ? les crochets ? ... ça plus ça... entre crochets... plus ça ... voila*

The screenshot shows a spreadsheet application window with a formula bar at the top containing the formula:  $=L[-6]C[-1]-[L[-4]C-L[-3]C-L[-2]C]+L[-9]C[-2]$ . Below the formula bar, a dialog box titled "Caractère inattendu à modifier." (Unexpected character to modify) is displayed, with an "OK" button. The spreadsheet grid below shows the following data:

9				
10		1 470,00F		
11	taux (%)			
12	5,5		80,85	
13	4,7		69,09	
14	1,72		25,284	
15				
16				
17				

The formula bar shows the formula:  $=L[-6]C[-1]-[L[-4]C-L[-3]C-L[-2]C]+L[-9]C[-2]$

Figure 2-8

Il obtient la formule :

$$L[-6]C[-1] - [L[-4]C + L[-3]C + L[-2]C ] + L[-9]C[-2]$$

Il valide et obtient le message "Caractère inattendu à modifier" pendant que le premier crochet après le signe de la soustraction apparaît en fond noir. (Figure 2-8)

- |    |        |   |
|----|--------|---|
| 3. | Gilles | <i>Faut le supprimer</i>                              |
| 4. | Franco | <i>on appelle le prof</i>                             |
| 5. | Gilles | <i>c'est moins quoi ? c'est moins ça ?</i>            |
| 6. | Franco | <i>ça marche pas, c'est pas la peine ... moins...</i> |
| 7. | Gilles | <i>t'as pas dit plus tout à l'heure ?</i>             |
| 8. | Franco | <i>non ça va continue</i>                             |

Gilles supprime les crochets, et remplace les signe + par des moins pour obtenir la formule correcte :

$$L[-6]C[-1] - L[-4]C - L[-3]C - L[-2]C ] + L[-9]C[-2]$$

Ne sachant quel symbole utiliser, parenthèse ou crochet, il supprime alors les crochets en utilisant les conventions du calcul algébrique qui lui sont familières et lui permettent d'obtenir un calcul correct.

Les protocoles de Nadia et de Gilles montrent les difficultés que les élèves rencontrent pour le choix des crochets ou des parenthèses. Nous interprétons ça comme une réticence de leur part à mettre des crochets à l'intérieur de parenthèses, ce qui serait en contradiction avec tout ce qu'ils savent de l'utilisation de ces symboles dans le domaine du calcul algébrique enseigné au collège.

D'autres difficultés apparaissent avec la gestion des parenthèses et des crochets. Elles sont liées à la description du calcul et à son implantation dans le logiciel. Ainsi Michèle et Cécile voulant aussi enlever les trois retenues au salaire brut le décrivent en langue naturelle :

- |    |         |  |
|----|---------|--|
| 1. | Michèle | <i>ensuite Base impossible, c'était en enlevant tout ça, donc faut additionner tout ça</i> |
| 2. | Cécile  | <i>additionner ?</i>   |
| 3. | Michèle | <i>Ben oui parce que c'est tout ça qu'on nous enlève</i>                                   |

Puis, elles éditent la formule :

$$L[-6]C - L[-4]C + L[-3]C + L[-2]C$$

qui les satisfait bien que le résultat calculé soit supérieur au salaire brut. Il s'agit ici, pour nous, d'un problème de mise en place du calcul dont l'origine est plutôt la description algébrique classique, qui nécessite une parenthèse, que

l'implantation dans le logiciel. On rencontre le même type de problème avec Mylène et Nadia, qui, après avoir lu la description du calcul sur la feuille de travail éditent la formule : (Figure 2-9)

1. Mylène *Le salaire brut*
2. Nadia *ça ? [elle montre la cellule L9C3]*
3. Mylène *oui [Nadia clique dans L9C3]... moins ça*
4. Nadia *ça*
5. Mylène *on met ...*
6. Nadia *ouais faut qu'on mette des parenthèses là non ? des crochets ?*
7. Mylène *Je sais pas*
8. Nadia *Ben sinon il va tout mélanger non ?*
9. Mylène *non peut-être pas !*
10. Nadia *ben... p'têt que oui... p'têt que non*
11. Mylène *allez mets pas de parenthèses*
12. Nadia *mais si mets en !*
13. Mylène *non !*
14. Nadia *plus...*

Ce protocole montre que la question des parenthèses se pose pour obtenir un calcul conforme à la description. C'est ici la syntaxe nécessaire à la machine qui est en cause et non la description qui pourrait en être faite au niveau algébrique hors Multiplan que Nadia propose dans Multiplan. C'est finalement Mylène qui impose sa conception d'une prise en charge par la machine de leur intention de soustraire les trois retenues. On rencontre ici aussi dans la proposition de Nadia le problème du choix entre les parenthèses et les crochets.

L15C3		=L[-6]C-L[-4]C+L[-3]C+L[-2]C+L[-9]C[-1]				
annie						
	1	2	3	4	5	
1	decembre		activité	hand ball		
2	nom	Annie				
3						
4	nombre h	15				
5	salaire h	98				
6	prime	230				
7	indemnité	145				
8						
9	salaire brut		1470,00F			
10	retenues	taux %				
11	ss maladie	5,5	80,85F			
12	ss vieillesse	4,7	69,09F			
13	assedic	1,72	25,28F			
14						
15	B imposable		1718,53F			

Figure 2-9

## 2. DESIGNATION AVEC DES REFERENCES ABSOLUES

Les références relatives, privilégiées dans l'édition des formules, ne sont pas le seul type de désignation dans le tableur. La construction de formules dans les tableaux liés, par exemple, nécessite une désignation invariante par recopie comme la référence absolue ou le nom donné à une cellule. Ces deux désignations sont du même type dans la mesure où c'est la cellule du tableau qui est notée et non sa position par rapport à la formule où elle intervient.

### 2.1. UNE LECTURE AISEE

Les observations réalisées montrent qu'aucune difficulté de lecture n'a jamais été observée pour des références absolues. Elles sont d'un accès plus facile que les références relatives. Nous avons pu noter, en particulier, une utilisation spontanée de références absolues sous la forme d'un couple de nombres pour désigner une cellule : Michèle au moment de l'édition des valeurs dans le deuxième tableau (notes de Felix; séance 2) :

*Michèle tape 2,3 ... peut-être ça remettra les mêmes trucs*

Elle désigne ainsi la cellule L2C3.

Plusieurs élèves comme Mylène ou Sylvie utiliseront fréquemment les références absolues pour écrire des formules au clavier de préférence à une édition à la souris. Mais le plus significatif est le résultat issu de la situation interview où la formule proposée dans Cible 2 que l'on peut voir dans la barre d'édition de la figure 2-10 a été décodée<sup>1</sup> sans qu'apparaisse la moindre difficulté chez aucun des 26 sujets que nous avons observés. Ceci est à mettre en parallèle avec le décodage laborieux de la formule en références relatives de Cible 1. Ce système de désignation est d'un accès beaucoup plus facile dans la mesure où il est lié avec les pratiques de repérage dans un tableau à double entrée que les élèves connaissent et maîtrisent dès l'école primaire. Piaget situe l'acquisition de cette compétence avant la huitième année chez les sujets qu'il a observés. En outre, cette désignation

---

<sup>1</sup> La figure 2-11 représente la partie supérieure de la feuille de calcul.

présente l'avantage d'être unique dans la mesure où chaque cellule du tableau reçoit une seule désignation par ce procédé, contrairement aux références relatives. Il est ainsi plus proche des désignations algébriques qui désignent, elles aussi, un seul objet.

🍏 Fichier Edition Sélection Format Options Calcul

L232C60		=L5C1*5-L4C1*4+3*L6C1-3*L5C1		
cible 2-b				
	59	60	61	62
228				
229				
230				
231				
232		10		
233				
234				
235				

Figure 2-10

## 2.2. CARACTERISATION

En revanche la situation cible-2 (interview) nous a permis de repérer que la distinction entre les deux syntaxes n'est pas toujours faite correctement. En effet dans cette tâche, Il s'agissait de décoder la formule de la cellule L5C4 (Figure 2-11) qui était constituée d'une seule référence de cellule. Il s'agissait pour les sujets de donner un sens à cette référence. Le fait qu'il n'y ait pas de calcul réalisé est un obstacle important que nous analyserons ailleurs. Par contre rapidement cette formule les conduit à explorer le tableau pour voir ce que contient la cellule dont ils ont la référence. Cette référence est relative : ce sont les crochets et les signes + et - qui la caractérisent de ce point de vue. Sur les 13 binômes, 9 l'ont lue comme une référence absolue alors que les 4 binômes qui ont vu une référence relative à la cellule L5C4 se répartissent également entre les adultes et les élèves ( 2/7 et 2/6).

Très peu parmi ceux qui recherchent la cellule L227C56 et la trouvent vide pourront expliquer pourquoi c'est en L232C60 que se trouve la formule qui produit la valeur 10 recopiée dans la cellule L5C4.

Les différences entre les deux syntaxes sont fondamentales pour une lecture correcte de la formule, mais elles ne sont distinguées que par un très petit nombre

de sujets. Par ailleurs une fois la formule découverte, il n'y a plus d'intérêt à identifier le décalage observé entre L227C56 et L232C60. Il faudra d'autres tâches (Gaz elec : situation interview) pour que les sujets jugent nécessaire de revenir sur la distinction entre les deux types de références proposées dans le tableur. Nous y reviendrons dans le chapitre 6.

L5C4		=L(+227)C(+56)			
cible 2-b					
	1	2	3	4	
1					
2					
3					
4	2				
5	3				10
6	4				
7					

Figure 2-11





## Chapitre 3 : La Formule

Toute la puissance du tableur réside dans le mode de construction et d'utilisation des formules. C'est la formule qui permet de faire la distinction majeure entre feuille de calcul et tableau que nous avons mise en évidence dans l'analyse conceptuelle.

-Tout calcul est réalisé dans le tableur par une formule dans une cellule où le résultat est affiché. Nous envisageons que situé uniquement au niveau de l'action pour réaliser un calcul (saisie à la souris) un utilisateur peut négliger la création d'une formule par le dispositif. Montrer les nombres apparents dans le tableau et taper les opérations au clavier suffisent à produire un résultat dans une cellule. Pour certains utilisateurs l'existence de la formule ne sera même pas identifiée. Nous avons créé une situation (cible-interview) pour relever ce type de conceptions concernant le calcul dans le tableur.

-La formule peut être considérée comme une simple description de calculs d'autant que ce qui est affiché est un résultat numérique. Un utilisateur peut avoir une conception initiale du tableur proche d'une calculatrice. Dans ce cas les cellules ne représentent pas des variables, ni les formules une description de calculs entre des variables, c'est-à-dire une formule au sens algébrique.

-La formule permet de créer une feuille de calcul qui génère un ensemble de tableaux. La prise en compte de la feuille de calcul dans son aspect le plus général devait selon nos hypothèses se faire avec difficultés par certains élèves.

-L'analyse d'une formule, les relations qu'elle crée entre les cellules sont nécessaires au contrôle de certaines feuilles de calcul ou à la construction de certains modèles comme des formules recopiables dans les tableaux liés. La représentation que se construit l'utilisateur d'un calcul décrit par une formule de Multiplan dépend surtout de la complexité du calcul envisagé, du système de références utilisé et de ses connaissances algébriques. Notre analyse a priori nous a conduit à envisager des représentations langagières, numériques, géographiques et algébriques. Nous analyserons dans ce chapitre ces aspects liés à la formule à propos de la situation "cible" (interview). - Inversement, un modèle algébrique étant donné, par exemple sous la forme d'un tableau contenant des expressions algébriques définissant des relations entre ses cases, nous faisons l'hypothèse que le transfert dans le tableur ne se fait pas sans que deux obstacles apparaissent :

•Le premier tient au fait que le tableur ne calcule qu'à partir de valeurs, effectivement implantées dans des cellules<sup>1</sup>. Alors qu'une expression algébrique au sens le plus général, n'a pas besoin d'opérer sur des nombres pour exister ; toute variable est représentée par une lettre et l'expression algébrique utilise cette lettre comme désignation.

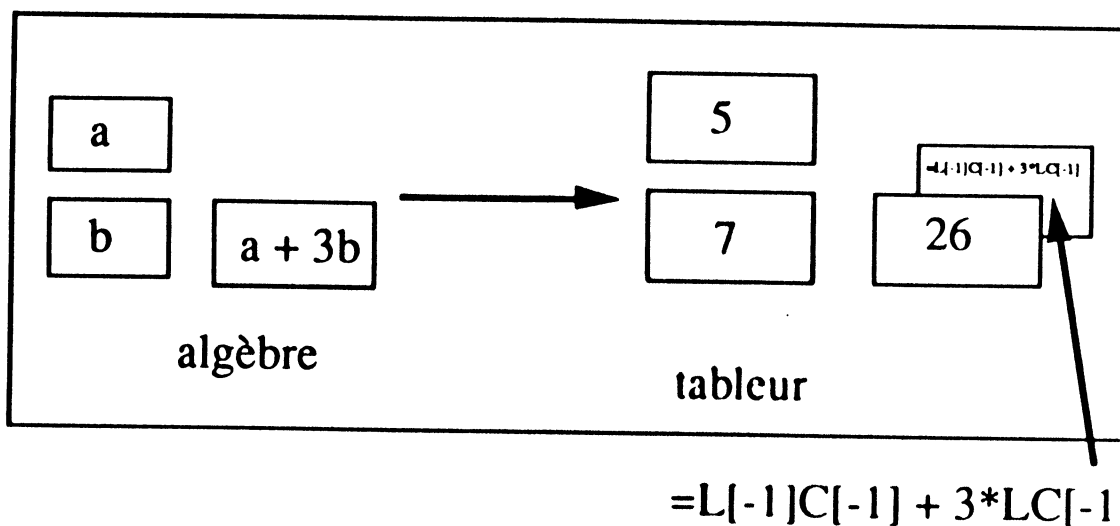


Figure 3-1

Le schéma de la figure 3-1 illustre le transfert d'une expression algébrique dans un tableur. Dans la feuille de calcul, les cellules contenant 5 et 7 n'ont pas à recevoir de désignation explicite. Seule la formule à créer dans Multiplan fait référence à ces cellules. Ceci crée une difficulté puisque l'utilisateur doit décider avant ou après l'édition de la formule de la faire opérer sur des valeurs sans tenir compte des désignations a et b. D'une certaine façon il y a une perte apparente d'information dans le passage algèbre tableur. C'est ce transfert que les élèves peuvent avoir du mal à réaliser.

•Le deuxième obstacle consiste pour des élèves à considérer que la simple écriture des relations algébriques données peut être interprétée par le tableur. Ils réaliseraient alors une simple recopie des expressions algébriques.

Nous décrivons dans ce chapitre un ensemble d'observations liés à ces aspects concernant la formule. Nous compléterons dans le chapitre traitant de Multiplan comme Outil (Chapitre 5).

<sup>1</sup> Toute tentative de calcul sur autre chose que des valeurs numériques produit le message d'erreur #VALEUR dans la cellule où la formule est éditée.

## 1. LE ROLE DE LA FORMULE

Nous avons pu observer les problèmes d'édition rencontrés pendant la formation. Mais nous avons aussi cherché à reconnaître à la fin de la formation quel rôle était attribué à la formule par les utilisateurs.

### 1.1. EDITION D'UNE FORMULE

Au début de la formation (Séance 2 : "moyennes"), les informations fournies par le professeur présentaient la formule comme le moyen de réaliser les calculs, en particulier celui des moyennes de notes (Figure 3-2). Cependant au moment d'installer les calculs dans le tableur, on observe plusieurs attitudes. Alexandre et Christophe cherchent un moyen automatique de calcul dans le menu **Calcul**, ils veulent que la machine prenne en charge complètement l'édition de la formule : " *C'est ça, calculer automatiquement !* " (**Calculer automatiquement** est un item du menu calcul).

En revanche, quand Michèle annonce : "*Après il faut une formule pour que ça calcule la moyenne* ", elle l'exprime comme l'explicitation du calcul à effectuer. D'une façon générale, 3 binômes sur les 5 commenceront à éditer une formule pour effectuer les calculs, les deux autres (Alexandre-Christophe et Gilles-Franco) devront demander l'aide du professeur pour qu'il explicite ce qu'il faut faire pour effectuer les calculs.

Les difficultés d'édition que rencontrent les élèves peuvent même leur faire abandonner dans certains cas cette conception de la formule comme description de calcul comme Nadia et Mylène, bloquées dans l'édition d'une formule devant calculer la moyenne :

1. Nadia *Ben il faut que tu la calcules toi maintenant...*
2. Mylène *oh ... non ! non ! [indignée et exaspérée]...oh non ! ... ça doit pas être ça !*
3. Nadia *Ben si !*
4. Mylène *oh non ! non !*
5. Nadia *ben si c'est ça, tu la calcules toi ta moyenne*

Nadia propose de calculer en dehors du tableur (1-5) et d'inscrire les notes dans le tableau. Mylène, en échec pour éditer une formule refuse absolument (2-4). Pour elle le tableur doit être autre chose qu'un simple tableau pour poser des nombres. Nadia, poursuivant son idée, calcule de tête et annonce "*ça fait 12 de moyenne à peu près*". On voit chez ces deux élèves deux conceptions très différentes du tableur, Nadia allant jusqu'à le disqualifier comme outil de calcul.

	Français	math	hist-géo	anglais	moyenne
Septembre	15	7	12	8	
octobre	10	13	13	10	
novembre	11	12	10	12	
décembre	12	8	6	6	
janvier	11	12	4	14	
février	8	16	12	13	
moyenne					
minimum					
maximum					

Figure 3-2

## 1.2. EXISTENCE DE LA FORMULE

Dans ce paragraphe nous décrivons une situation que nous avons créée pour repérer le niveau de prise en compte de la formule par les élèves et des adultes à la fin de leur formation. Dans la situation cible1 (interview) la tâche des sujets nécessite de reconnaître l'existence d'une formule dans la cellule L5C4 de la figure 3-3. En effet dans le fichier qui leur est donné c'est la cellule L1C1 qui est active.

-Leur premier travail consiste à modifier les contenus des cellules de la colonne 1 et à observer les modifications de la cellule L5C4 ( En mettant 3,6,7 on obtient 28).

L5C4	=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]				
cible1					
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4	2				
5	5				
6	6				
7					

Figure 3-3

-La tâche est ensuite de trouver 3 nombres dans la colonne 1 pour que le contenu de L5C4 soit égal à 100. Il est donc important pour eux de connaître le procédé de calcul, c'est-à-dire la formule implantée dans la cellule L5C4. Nous nous sommes attachés à observer de quelle manière les sujets reconnaissaient l'existence et la localisation de la formule qui provoquait les modifications observées.

Sur les 13 binômes observés, 4 n'ont pas reconnu l'existence d'une formule ou du moins sa localisation dans la cellule L5C4. Il fallait en effet pour voir cette formule sélectionner la cellule L5C4. Nous détaillons ici les protocoles des binômes qui ont rencontré des difficultés à ce niveau.

Par exemple Florence et Philomène, deux étudiantes en fin de maîtrise de Langues étrangères appliquées. Elles ont suivi une formation à Multiplan d'une dizaine d'heures.

1. Philo *ouais ça fait 28 ... bon on a observé que 22 était remplacé par 28... pas la peine de se demander comment c'était calculé puisqu'on nous demande de voir...*
2. Florence *mais seulement après il faut trouver trois nombres pour que ça donne 100... il faut bien trouver le processus... comment tu veux faire sinon... moi je veux bien trouver 100... mais... ou tu mets n'importe quoi à la limite alors...*
3. Philo *mais non pas n'importe quoi ...*
4. Florence *mais si tu peux mettre ... euh... 25 et 25... et puis 2 en haut...*
5. Philo *qu'est ce que tu fais ?*
6. Florence *25 et 25 ... 50 ... fois 2... pourquoi pas ...*
7. Philo *ben oui c'est ce qu'on avait fait pour le 22...*
8. Florence *oui...*
9. Philo *ben moi je voudrais bien savoir comment le 28 a été calculé ...*
10. Florence *oui c'est ça ...*
11. Observateur *vous pensez que le processus est le même ?*
12. Florence *non !*
13. Philo *ben non ça doit ...*

Florence veut découvrir le processus (2). Elle a bien reconnu qu'un calcul était effectué "quelque-part", mais elle est loin d'avoir identifié la localisation de la formule et se lance dans des recherches empiriques (4). Philomène pour sa part cherche une façon de calculer le 28 qu'elles ont obtenu en plaçant 3,6 et 7 dans la colonne 1, mais ni elle, ni Florence ne reconnaissent que c'est toujours la même formule qui produit le résultat de L5C4 (12 et 13). L'observateur insiste pour obliger Florence à continuer dans cette direction :

14. Observ *est-ce que vous pensez que la méthode de calcul du nombre qui est là que j'appelle la cible est la même méthode de calcul ou qu'elle change suivant les nombres ?*
15. Florence *ben si c'est un nombre ss... s'il y a une méthode de calcul... faut pas qu'elle change ...*
16. Observ *qui c'est qui le met ce 28 ?*

17. Florence *c'est selon les chiffres qu'on va donner ici ... qu'on trouve 28; donc il y a bien une méthode de calcul... c'est inscrit dans le programme de l'ordinateur... puisque tout à l'heure on trouvait 22... donc vous avez du taper ... par exemple qu'en faisant la cellule L4C1 plus L5C1... tout ça entre crochets multiplié par ... non c'était plus enfin donc... L6C1... plus L5C1... tout ça entre crochets multiplié par 3... normalement ... non...*
18. Philo *oui c'était ça ...*
19. Florence *c'est pour l'autre... vous avez donc inscrit un programme dans lequel il était donc écrit que cette cellule plus cette cellule multiplié par celle ci donnait 22... donc après avec cette méthode on a plus qu'à taper les chiffres ... et c'est à ça que ça sert pour aller plus vite ... et on trouve le résultat directement... mais apparemment c'est pas cette méthode là parce que là en faisant la même chose on trouve pas 28... donc ça doit être autre chose , on peut trouver 22 autrement...*
20. Philo *mais si nous en tapant 3,6,7... on obtient 28... ça veut dire que il y a une opération est déjà enregistrée...*
21. Florence *mais bien sûr sinon il pourrait pas le trouver automatiquement...*
22. Philo *oui*
23. Florence *donc il y a une autre façon de trouver 22... peut-être, il faut voir, il faut trouver la même façon là et là pour trouver 22 et 28... sinon ça veut dire qu'il peut pas y avoir deux méthodes différentes ...on va chercher... essaye de trouver 22 là; on va faire toutes les possibilités ...possibles*

Obligée par l'observateur à se poser la question du calcul, elle reconnaît d'abord l'existence d'un calcul qui est le même pour toutes les valeurs. (15) . Elle décrit ensuite (17) une formule telle qu'elle peut l'imaginer. Elle parle ensuite de programme (19). Elle montrera ensuite la disquette, supposée contenir la formule, puis se lancera dans une recherche de toutes les relations possibles (23). Ce protocole indique clairement que ces étudiantes reconnaissent l'existence d'un calcul mais qu'elles ne localisent pas la formule dans la cellule L5C4. C'est l'observateur qui devra leur demander ensuite de sélectionner L5C4 pour découvrir la formule.

Deux élèves de troisième, Danielle et Chrystelle feront un travail du même type que Florence et Philomène en cherchant à découvrir la relation en observant les modifications produites par les changements successifs de valeurs dans les cellules de la colonne 1.

- Danielle (tape 10 dans L6C1) *oui mais c'est pas ça !*  
 Christelle *attends*  
 Danielle *c'est égal à 26 [ dans la cible L5C4]*  
 Christelle *oui c'est ça qui est juste !*  
 Danielle *et avant c'était ... 6 !*  
 Christelle *avant c'était égal à 22 !*  
 Danielle *le précédent c'était 22, maintenant c'est 26 , on a ajouté 4 et à 6 on a ajouté 4 aussi pour faire 10 ! donc là il y a une addition ! faut trouver où elle est la multiplication parce que automatiquement il y a une multiplication dedans... parce que si on ... [elle tape 6 dans L6C1]*  
 Observ *pourquoi tu as remis 6 ?*  
 Danielle *ben parce que ça faisait 26 ! là c'est une addition, il faut trouver la multiplication !*

Observ  
Danielle *tu penses qu'il y a une multiplication ?  
ben oui parce que déjà 6 et 5 onze et deux ça fait treize donc au total il y a une multiplication [20s] ..[elle tape 5 dans la cellule L5C2 et dans la cible elle obtient 25 ] donc c'est toujours l'addition ! [elle tape 3 dans L4C2 et la cible est égale à 25)] donc elle est là la multiplication*

Elles continuent ensuite longuement leurs essais. Mais à aucun moment elles ne cherchent à déterminer comment la machine fait le calcul et où ce calcul est décrit. L'observateur, les jugeant dans une impasse, essaye ensuite de leur faire préciser le rôle du dispositif et la localisation du calcul.

Observ *la machine fais un certain calcul à chaque fois , est-ce que tu saurais où trouver quel calcul elle fait ?*

Danielle et Christelle cherchent à découvrir le procédé de calcul par des modifications successives des valeurs de la colonne 1, elles imaginent des valeurs multipliées par certains coefficients qu'elles cherchent à découvrir de manière empirique . Il faudra la remarque de l'observateur pour que Danielle sélectionne la cellule L5C4 et découvre la formule. Il semble que dans le cas de ces deux élèves le calcul soit reconnu, mais elles ne parviennent pas plus que Florence et Philomène à localiser la formule dans la cellule L5C4 où le résultat est apparent.

Deux autres élèves, Ivan et Cécile adopteront aussi une procédure du même type que les précédents mais ils parviendront à réaliser la tâche sans découvrir la formule uniquement en ajustant les nombres à l'aide des valeurs qu'ils essayent. Ils commencent par une recherche empirique.

1. Ivan *attends moi je veux essayer comme ça juste pour le plaisir ... (à la place de 42 il tape 2) ... 2... 13 et ... (il tape 2 puis 9 ) ... 101 j'y étais presque ...*
2. Cécile *ouais (admirative)*
3. Observ *pourquoi tu as essayé ces nombres ?*
4. Ivan *parce que j'avais envie ça ... parce que je suis né le 9... ma mère le 13 et 22 parce que on avait un 22 là ... ouais et c'était presque ...*
5. Cécile *et si on met 8 ? (elle le tape dans L6C1 et obtient 100) ... ben voila*
6. Ivan *voila (ils rient)*
7. Cécile *on a trouvé ...*

La recherche empirique de Ivan (4) est complétée par un ajustement de la valeur de L6C1 en tenant compte de la cible (5). Ils continueront leur recherche sans tenir compte de la formule mais en modifiant de manière empirique les valeurs des cellules de la colonne 1. Ainsi Cécile avec 21, 13 et 11 dans les cellules de la colonne 1 explique sa stratégie :  
(8)

8. Cécile *ben comme là j'ai 21 (dans L4C1)... disons que je rajoute 2, ça me fera 23 ... (elle le tape) ... si j'enlève les deux que j'ai rajouté au 13 ça me*



- fera 11 ... j'enlève les deux que j'ai rajouté en haut ... oui mais vu que je veux changer le dernier aussi ... je change aussi le deuxième donc ça me fait 11... disons que je mets 10 pour pouvoir changer mon dernier après ... je mets 10 (elle le tape dans L5C1 ) ... et ce qui fait qu'au dernier je mettrai douze (elle tape douze dans L6C1) et là tu auras 101 ...*
9. Ivan *ah ouais ...*
10. Cécile *j'ai dû me tromper quelque part ...*
11. Cécile *par contre on a vu au passage que avec 23,10 et 11 ça faisait 100, on l'a bien observé !*
12. Observ *est-ce que vous avez une idée de la façon dont le 100 est calculé ? c'est pas vous qui le calculez... vous n'y touchez pas vous !*
13. Observ *ça doit faire par exemple ... deux fois ça ... trois fois ça et une fois ça tu es sûr ?*
14. Ivan *ouais*
15. Observ *comment tu le sais ?*
16. Ivan *non mais peut-être là je dis au hasard*
17. Observ *ouais chaque ligne est multipliée par quelque chose qui donne ...*
18. Cécile *comment le vérifier ?*
19. Observ *ben en changeant les nombres ici; en mettant des petits nombres*
20. Observ
21. Ivan

L'essai de Cécile à partir d'un triplet qui donne 100 est une combinaison des nombres qui relève d'une stratégie où elle compense ce qu'elle enlève à l'un pour l'ajouter à l'autre. Cette procédure empirique n'aboutit pas et les interrogations de l'observateur à propos du calcul aboutissent à une description d'un calcul qui semble vraisemblable mais sans contrôle (18). Ils entament ensuite de nouveau une stratégie d'essais avec des petits nombres (21). Ces deux élèves n'ont pas identifié l'existence ni a fortiori la localisation d'une formule. Le relatif succès de leur stratégie empirique les a conduits à ne pas explorer de ce côté. Pour nous cette recherche sans utiliser la formule trouve aussi son origine dans une conception du tableur où les calculs réalisés par le dispositif ne sont pas explicitement mis par les élèves en relation avec une formule qui calcule un résultat dans la cellule où elle est implantée.

Ces protocoles qui ne concernent que 4 binômes sur les 13 indiquent une difficulté à identifier l'existence de la formule et aussi le rôle qu'elle joue et notamment la localisation de la formule dans la cellule qui contient le résultat calculé. Pour tous les autres, au moins l'un des deux sujets identifiera la cellule qui contient la formule et pour eux le procédé de calcul sera alors reconnu en décodant la formule.

### 1.3. FEUILLE DE CALCUL : UN GENERATEUR DE TABLEAUX

La construction d'une feuille de calcul est le plus souvent celui d'un modèle qui permet d'obtenir toute une famille de tableaux en modifiant les valeurs dans les cellules.

Nous pouvons ici faire l'hypothèse que l'édition d'une formule peut être vue de deux façons. La première étant une simple description de calcul et la seconde étant une

prise en compte d'une relation établie entre les cellules comme une fonction permettant le recalcul. Ce rôle de la formule a été rencontré par les élèves dans plusieurs tâches qui avaient pour objectif l'appropriation de cet aspect par les élèves.

nestor						
	1	2	3	4	5	6
1		français	math	hist-geo	anglais	moyenne
2	septembre	15	7	12	8	=MOYENNE(LC[-4]:LC[-1])
3	octobre	15	13	13	10	=MOYENNE(LC[-4]:LC[-1])
4	novembre	11	12	10	12	=MOYENNE(LC[-4]:LC[-1])
5	decembre	12	8	6	6	=MOYENNE(LC[-4]:LC)
6	janvier	11	12	4	14	=MOYENNE(LC[-4]:LC)
7	fevrier	8	16	12	13	=MOYENNE(LC[-4]:LC)
8						=MOYENNE(L[-6]:L[+1])
9	MOYENNE					
10	MIN					
11	MAX					
12						

Figure 3-4

Dans la séance 2 de la formation (Séance 2, Moyennes) les élèves après avoir édité une première feuille de calcul (Figure 3-4) pour obtenir les notes de l'élève DUPONT devaient aussi calculer les moyennes d'un autre élève (FELIX). Nous avons proposé ce deuxième tableau pour les confronter à une situation classique du tableur où la feuille de calcul construite permet de générer plusieurs tableaux si la structure de la feuille est la même. La formule doit ici être considérée par les élèves comme indépendante des nombres auxquels elle s'applique. (Seuls les binômes de Franco-Gilles et Christophe-Alexandre n'ont pas entamé l'édition du deuxième tableau pour des raisons de temps.)

Dans les 3 autres binômes, les élèves se posent tous la question de l'utilisation ou non du travail qu'ils viennent de réaliser avec un élève. La tâche qu'ils viennent de terminer a été longue et la fin de la séance approche. C'est plutôt en terme de volume de travail que se pose pour eux le problème plutôt qu'au niveau de la reconnaissance du statut dynamique que les formules donnent au tableur. On peut dire que la plupart des élèves qui s'engagent dans cette tâche ne s'attendent pas vraiment à n'avoir que les notes du nouvel élève à recopier pour terminer la tâche. Par exemple, Sylvie est prête à refaire tout le tableau (1):

1. Sylvie            *On enlève ça [le fichier des notes du premier élève]*
2. Prof             *pourquoi ?*
3. Sylvie           *il n'y a plus rien à faire dessus...*
4. Corinne         *On efface seulement les chiffres et on enlève "Sylphide" [c'est le nom du fichier enregistré sur lequel elles travaillent ]*

Par contre Corinne propose de changer seulement les notes (4) et le nom du fichier .  
Pour elle, si on change les notes, il faudra aussi changer le nom de l'enregistrement (4) .  
Elle anticipe aussi le rôle que joue de la formule (5) :

5. Corinne *La moyenne touche la pas et ça la fera toute seule*
6. Sylvie *Ben oui je sais ! [ Sylvie commence à taper les notes de l'élève Felix ]  
ah... mais les moyennes ça se fait automatiquement !*

Sylvie, malgré sa réponse à Corinne (6), n'a vraiment réalisé que le recalcul de la moyenne était fait automatiquement par la formule qu'au moment où elle obtient la nouvelle moyenne (6). Mais quand par erreur elle efface les formules :

7. Sylvie *Les moyennes ont fait quoi maintenant ? elle ne se font pas automatiquement ! faut refaire les moyennes*

Pour Sylvie "refaire les moyennes" consiste à réécrire les formules, ce qu'elle va faire ensuite. Ce protocole indique une prise en compte de la formule comme description d'un calcul. Mais aussi que la conception d'une feuille de calcul comme un modèle permettant de générer un ensemble de tableaux (Ici la feuille de notes de DUPONT et de FELIX) ne va pas de soi.

De son côté Cécile suggère de réécrire toutes les formules, mais sur la même feuille de calcul en déplaçant la fenêtre de l'écran (1):

1. Cécile *On va faire là ... on va partir par là bas*
2. Michèle *ça devrait enlever le nom normalement ... Qu'est ce qu'il faut faire, on va pas tout retaper... moi je deviens folle ! ... ramène moi le tableau*
3. Cécile *regarde là il y a septembre, octobre novembre et là on recommence*
4. Michèle *peut-être que si on tapait ... on s'en va et on tape 2,3... peut-être que ça remettra les mêmes trucs...*
5. Cécile *mais ça c'est enregistré ! ... maintenant on change juste les nombres et ça sera "Sissou-mic 2" [c'est le nom du nouveau fichier]*
6. Michèle *allez on change les nombres [elles le font puis expliquent au professeur] on a changé les nombres et ça a fait tout seul la moyenne ... et ça a calculé tout seul*

Avec ce binôme on peut relever comment se pose le problème de ce que va devenir le fichier du premier élève si on change les notes. Michèle aurait voulu un autre fichier qu'elle pensait obtenir par déplacement de la fenêtre mais le nom, apparent du fichier en haut de la fenêtre ne disparaît pas (2).. elle pense même obtenir une recopie en donnant des références de cellules comme 2,3 (4). Mais c'est Cécile qui résout le problème en parlant de l'enregistrement déjà effectué [sous le nom de "Sissou-Mic " ] et envisage la création d'un autre fichier, avec un autre nom, en changeant les notes du premier élève (5). C'est à ce stade de l'apprentissage une très bonne perception des différents niveaux

de l'environnement pour la gestion des fichiers. Ce protocole et le précédent montrent bien comment la gestion des fichiers est imbriquée avec le travail dans une application que ce soit d'ailleurs une feuille de calcul ou un fichier de traitement de texte ou tout autre type de fichier.

Michèle relève aussi après l'édition des nouvelles notes ce qu'elle considère comme important : le recalcul des nouvelles moyennes (6).

Le troisième Binôme, Nadia et Mylène, retrouve le même problème quand elles interrogent le professeur sur la tâche :

1. Nadia *mais on réécrit par dessus ?*
2. Prof *Qu'est ce que tu veux dire ?*
3. Nadia *on repasse, pour les notes on met la petite case noire là et on retape ...*
4. Prof *Qu'est ce que ça va faire alors ?*
5. Nadia *Ben je sais pas ...*
6. My *Ben ... [Elles éditent les notes de Félix]*
7. Mylène *Mais ça a tout changé c'est génial !*
8. Nadia *ben oui ça fait direct !*
9. Mylène *Mais c'est génial ça nous change tout et voilà !*

Ces élèves comme les précédents savent construire une formule qui est alors pour elles la description d'un calcul. Mais il y a ici la découverte du rôle que la formule va jouer dans le tableau après changement des valeurs numériques. En effet elles remplacent bien les notes (1-3-6), mais ne sont pas du tout sûres de ce qui va se passer (4-5). La surprise manifestée par les élèves(7-9) indique bien que cette dimension de la formule n'avait pas encore été prise en compte.

Dans une autre partie de la formation (Séance 4, fiche de paye) les élèves devaient éditer une feuille de calcul permettant l'établissement de fiches de paye pour les animateurs d'une maison de jeunes. Ils devaient ensuite utiliser cette feuille de calcul pour obtenir une dizaine de fiches de paye correspondants à divers animateurs. Le modèle à construire est représenté avec ses formules par la figure 3-5

	1	2	3	4
1	janvier		activité	
2	nom	Ernest		ski
3				
4	nombre h	33		
5	salaires h	135		
6	prime	680		
7	indemnité	478		
8				
9	salaires brut		=L(-5)E(-1)+L(-4)E(-1)	
10	retenues	taux %		
11	ss maladie	5,5	=L(-2)E+L(-1)/100	
12	ss vieillesse	4,7	=L(-3)E+L(-1)/100	
13	assedic	1,72	=L(-4)E+L(-1)/100	
14				
15	B imposable		=L(-2)E-L(-4)E+L(-3)E+L(-2)E+L(-3)E(-1)	
16	net à payer		=L(-1)E+L(-3)E(-1)	
17				

Figure 3.5

Nous avons distingué soigneusement, pour les élèves, ce qui relève de chaque personne (le nombre d'heures de travail, les indemnités) et ce qui correspond à un modèle de présentation et de calcul commun à l'ensemble. La tâche est ensuite d'éditer à partir de ce modèle les fiches de paye de chacun en ne modifiant que les variables qui correspondent à chaque personne. Nous pensons donner ainsi à la feuille de calcul construite un statut de générateur de tableaux plutôt qu'un aspect de présentation statique de résultats. Les résultats obtenus doivent ensuite être recopiés par les élèves sur des imprimés qui leur sont fournis.

Bien que cette séance commence après près de 5 heures de travail sur le tableur, la plupart des élèves n'éditent pas de formules mais les résultats de calculs effectués sur les valeurs avec une calculatrice. Cette procédure utilisée par 4 binômes sur 5 remet en cause le statut même de la formule et son existence. De plus la feuille de calcul n'existe pas, les élèves créent un simple tableau qui ne permet pas de réaliser l'ensemble de la tâche d'édition des fiches de paye construites sur le même modèle.

Deux binômes utilisent cependant le tableur pour calculer mais au lieu d'écrire une formule avec des références de cellules, ils construisent les formules de calcul en rentrant eux-mêmes des nombres dans la formule, soit de manière partielle, un mélange de nombres et de références, soit même pour tous les nombres de la formule. Voici l'exemple de Christophe et Alexandre (Figure 3-6) qui ont construit une feuille de calcul entière avec ce procédé.

ANNIE 1			
	1	2	3
1	BULETIN DE PAYE	MAISON DES	
2	JANVIER 87		
3	NOM:	ANNIE	ACTIVITE: HAND BALI
4			
5	NOMBRE HEURES	22	
6	SALAIRE HORAIRE	106	
7	PRIME	320	
8	INDEMNITES	256	
9			
10	SALAIRE BRUT		
11	RETENUES	TAUX (%)	
12	SS MALADIE	5,5	=((2332)*(5,5))/(100)
13	SS VIEILLESSE	4,7	=((2332)*(4,7))/(100)
14	ASSEDIC	1,72	=((2332)*(1,72))/(100)
15			
16	BASE IMPOSABLE		=(2332)-((128,26)+(109,604)+(40,1104))+(320)
17	NET A PAYER		=L[-1]C+L[-9]C[-1]
18			

Figure 3-6

Ces élèves utilisent la machine comme une calculatrice, ils inscrivent les opérations qu'ils veulent faire faire à la machine. Le fait que pour eux chaque nombre doive être entre parenthèses est une règle d'action qu'ils ont construite au début en raison de difficultés d'édition qui ont été résolues en même temps qu'ils installaient des parenthèses.

Ce binôme, sollicité par le professeur, édite ensuite des formules. Ils parviennent à une formule correcte pour le calcul du salaire brut, mais rencontrent par ailleurs des difficultés avec le calcul des pourcentages : ils éditent alors la formule :

$$=(L[-3]C*4,7/100$$

et obtiennent le message "erreur dans les parenthèses" qui les conduit à abandonner pour en revenir aux formules construites uniquement avec des nombres. Ils termineront la séance en essayant, à la demande, du professeur d'éditer encore cette formule et n'y parviendront toujours pas en raison du statut de texte de la cellule L12C2 où ils ont inséré des blancs pour centrer les nombres. Le logiciel fournit alors un message #VALEUR. A la fin de la séance ces élèves ne parviendront pas à construire une feuille de calcul correcte.

Un autre exemple d'une telle utilisation de Multiplan est celui de Cécile qui, pour éditer sa première formule, tente de construire une formule qui utilise des nombres et non des désignations de cellules :  $=12*85$ . Le professeur lui demandera d'abandonner cette procédure.

Ces procédures relèvent d'une conception de tableau et non de feuille de calcul. Le rôle de la formule n'est pas pris en compte avec son action sur les cellules repérées par les références. C'est le contenu numérique qui est privilégié au dépens de la cellule comme variable dans la formule. L'ensemble des protocoles indique aussi que la description du calcul et la construction d'une feuille de calcul se situent à deux niveaux différents de l'apprentissage. L'un relève pour nous de l'arithmétique dans la mesure où il décrit uniquement des opérations à effectuer sur les nombres alors que l'autre considère la formule comme la description d'un calcul faisant intervenir les cellules en tant que variables et relève d'une problématique algébrique.

Tous se passe entre le premier plan et le deuxième plan de la figure 3-7. Le premier plan représentant ce qui est perçu visuellement du tableau, le deuxième les concepts algébriques qui sont sous-jacents.

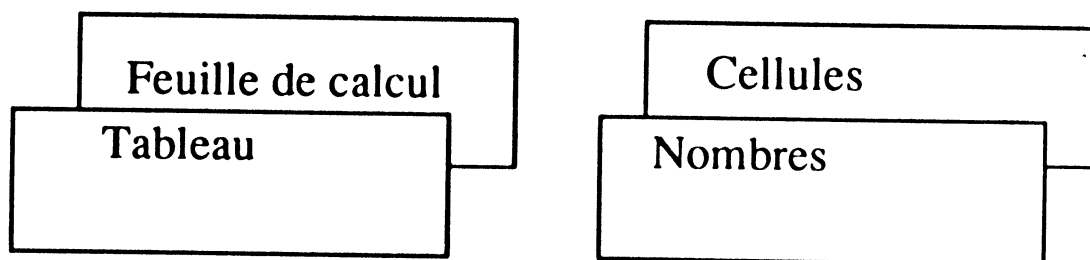


Figure 3-7

Notre résultat attesté par ces protocoles est que ces deux niveaux existent pour les élèves et que le passage de l'un à l'autre ne va pas de soi. Il peut constituer un obstacle non négligeable.

## 1.4. DESCRIPTION , LANGAGE ET VARIABLE

### 1.4.1. DE LA DESCRIPTION A LA FORMULE

La construction d'une formule fait intervenir des cellules qui jouent le rôle de variables. Une description en langue naturelle des calculs à implanter est souvent traduite par les élèves en termes de relations entre les cellules en utilisant éventuellement les contenus numériques de ces cellules.

Ainsi au cours de la formation (Séance 4, Fiches de paye ) la feuille de travail fournit aux élèves une description en langue naturelle des calculs à effectuer pour chaque cellule dont le contenu s'obtient par calcul. A l'exception de Christophe, tous les élèves

élaborent à partir de la description langagière une description à l'aide des nombres apparaissant dans les cellules, puis l'utilisent pour calculer à l'aide de Multiplan.

Ainsi Mylène et Nadia pour le calcul du salaire brut (Figure 3-5):

1. Mylène *Donc alors ... maintenant il faut qu'on calcule le salaire ... donc on fait ...ça par ça ... [elle montre les cellules]*
2. Nadia *oui...*
3. Mylène *Multiplié par ça .. donc ! [très satisfaite]*

Mylène se contente de montrer les cellules avec son doigt et d'exprimer le calcul en langue naturelle (1-3)

Mais pour le calcul de la base imposable :

4. Mylène *Maintenant il faut qu'on calcul la base imposable...*
5. Nadia *Donc on fait le salaire...*
6. Mylène *le salaire ...*
7. Nadia *Brut...on fait ça ...*
8. Mylène *oui*
9. Nadia *moins ces trois nombres, plus le montant de la prime ... plus ...230*

Elles décriront ainsi les calculs, mais la description est plus complète, elle utilise la langue naturelle de manière plus marquée. Elles décriront aussi les autres calculs, y compris les pourcentages qui poseront, par contre, des problèmes à tous les autres binômes.

D'autres descriptions sont fournies par Cécile et Michèle, qui signifient, pour elles, que c'est une formule de calcul qu'il faut créer :

1. Michèle *Le salaire brut , il faut le calculer , c'est salaire horaire multiplié par le nombre d'heures.*
2. Cécile *Et la formule on la marque là dedans...*

Gilles et Franco passent par une vérification numérique, à la main, à partir de l'exemple pour s'assurer que leur interprétation de la description langagière correspond aux résultats donnés avec l'exemple de la feuille de paye de Gilbert :

1. Franco *Ils enlèvent tout ça... et puis ils ajoutent la prime [Base imposable] et ensuite [Net à payer] ils ajoutent ça et ça ...*
2. Gilles *Mais ça pour arriver à 1562, ils y ajoutent ...*
3. Franco *Non ils l'enlèvent... parce que c'est pour la sécurité sociale, alors ils y enlèvent ensuite pour trouver ça , ils ajoutent les indemnités.*
4. Gilles *Oui, mais comment tu fais que de 1485 tu passes à 1562 ?*
5. Franco *Ils font ça moins ça et ensuite ils additionnent la prime*
6. Gilles *Ah prime 255... on va essayer [il fait les opérations sur son papier]...c'est ça*



En général les élèves sont capables de traduire la description des calculs en langue naturelle, c'est-à-dire qu'ils lui donnent un sens en décrivant les calculs à l'aide des nombres contenus dans les cellules. L'utilisation de la langue naturelle se prête bien à une approche de la formule comme description de calculs, elle est assez largement utilisée à cet effet ; nous verrons d'ailleurs par la suite d'autres situations où le langage joue aussi un rôle non négligeable. Mais nous ne pouvons cependant pas dire si cette utilisation du langage permet une approche de la description qui se situe au niveau du tableau ou de la feuille de calcul. Nous pensons plutôt que l'utilisation de descriptions langagières est indépendante de l'accès à l'un plutôt qu'à l'autre des deux niveaux tableau et feuille de calcul.

L5C4		=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]				
cible 1						
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
4		2				
5		5				
6		6				
7						

Figure 3-8

#### 1.4.2. DE LA FORMULE A LA DESCRIPTION

Inversement, nous avons créé une situation où une formule étant donnée, la tâche incitait à tenter d'en donner une description. Cette situation (cible 1 : interview) donnée à des adultes et à des élèves de troisième permet de noter une grande différence entre les deux populations en ce qui concerne le passage par une description en langue naturelle. Dans cette situation la formule (Figure 3-8) a donné lieu à une description langagière chez 6 binômes d'adultes sur 7 alors qu'un seul binôme d'élèves sur 6 l'a réalisée. Il semble que la maîtrise plus grande du langage chez des adultes d'un niveau de formation générale beaucoup plus élevé ait produit ce type de résultat.

Ainsi Joëlle et Yvette (adultes) décodent la formule de L5C4 puis terminent par un contrôle effectué avec les nombres de la colonne 1 et le résultat (1-2) et enfin donnent une expression en langue naturelle (4-5):

1. Joëlle
  2. Yvette
  3. Joëlle
  4. Yvette
  5. Joëlle
- donc c'est 2 multiplié par 5 ! plus la ligne plus 1 c'est ça ... plus 6  
alors ça fait 3 fois 2 ... 6... 5 fois 2... 10 ... 16 et 22 ! ça fait 22 c'est  
ça ! c'est bon ... alors pour retrouver cette formule ... on a multiplié  
par 2 ... le premier... on multiplie par 2 le second... et on ajoute le  
troisième ... on prend le chiffre 3... on multiplie par 3 le premier ...  
oui  
le second chiffre est multiplié par 2... et le troisième ...  
il est additionné ...*

Pour la même tâche, Maurice et Annie (adultes) donnent une description du même type : *donc 3 fois quelque chose plus deux fois quelque chose ... 3 fois ce nombre plus deux fois celui là plus une fois le troisième.*

Il en est de même pour 4 autres binômes d'adultes. Voici encore la description fournie dans la même tâche encore par Nelly (élève de troisième) pour Stéphanie:

- Nelly *ton chiffre qui est dans la première case là, tu le multiplies par 3 ... celui là par deux ... et celui là tu le laisses comme il est, multiplié par 1 quoi ! tu additionnes le tout et ça te fait trouver celui là.*

Dans la situation interview le décodage d'une autre formule, (Gaz-élec : interview) illustrée par la figure 3-9, a donné lieu aussi à des descriptions en langue naturelle. Dans cette situation, cette description permet aux différents sujets qui l'utilisent de situer la formule par rapport au problème.

Ainsi Ivan et Cécile (élèves) décodent la formule :

1. Cécile
  2. Ivan
  3. Cécile
  4. Ivan
  5. Cécile
  6. Ivan
  7. Cécile
  8. Ivan
  9. Cécile
  10. Ivan
  11. Cécile
  12. Ivan
  13. Cécile
- allez on décode la même ligne la colonne moins 2  
ça fait 5891 vas y écrits 5891  
multiplié  
fois euh la ligne moins 5 1,2,3,4,5  
1,2,3,4,5  
non ça ça fait plus 5 ! 1,2,3,4,5, oui donc là ...  
colonne moins 1 zéro virgule 5 ... 0,15  
15 plutôt on est où là ?  
plus même ligne colonne moins 1...  
plus 513 ... après ça venir faire ça ... 513 multiplié par ligne moins 5 ...  
même colonne voilà ... (0,59) ... plus ligne moins 5 colonne moins 3  
...  
ligne moins 5 colonne moins 3 ça fait 28,25 ...  
plus ligne moins 5 , colonne moins 2  
zéro virgule 15...*

L7C4		=LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]			
gaz elec-b					
	1	2	3	4	
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec	
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F	
3					
4					
5					
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom elec(KWh)	montant	
7	1	5891	513	1375,08 F	
8	2	4789	568	0,00 F	
9	3	3569	456		
10	4	1256	689		
11	5	2652	703		
12	6	4582	653		

Figure 3-9

14. Ivan *zéro virgule 15 ... mais pourquoi il fait une deuxième fois le... il est pas bien lui... il a oublié quelque chose ... je suis sûr... normalement il doit y avoir ça, ça, ça, ça, ça, ça... parce que normalement il doit faire la consommation de gaz multiplié par le prix du gaz plus l'abonnement du gaz ...*
15. Cécile *l'abonnement oui ...*
16. Ivan *et après il doit faire la consommation d'électricité multiplié par le prix de l'électricité plus l'abonnement d'électricité*
17. Cécile *oui c'est normal !*
18. Observ *ce que tu as trouvé c'est que les deux derniers étaient pas bons ?*
19. Ivan *oui, oui*

Ils réalisent le décodage (1-13) mais Ivan remet en cause l'utilisation à deux reprises d'une cellule (14). C'est alors qu'il exprime en langue naturelle les relations entre les cellules pour exprimer que le décodage réalisé n'est pas correct. Pour nous c'est le moyen qu'il utilise pour relier la formule à la signification qu'elle a par rapport au problème. C'est ce qui permettra aussi à Ivan de contrôler le décodage qu'il effectue de la formule, c'est donc un contrôle en termes de signification à la fois des références et de l'adéquation de la formule au problème qui est permis par l'expression langagière.

Pour Christine et Stoyan (élèves)

1. Stoyan *moi j'aurais fait... ça plus ça ... (L7C2 plus L7C3)... la consommation de gaz plus la consommation d'électricité ...*

2. Christine *oui...non mais là c'est la consommation c'est pas le prix ... il faut multiplier par ça ... par ... abonnement gaz ...*
3. Stoyan *ça c'est en plus ...*
4. Christine *c'est quoi ça PU Gaz ?*
5. Observateur *PU : prix unitaire !*
6. Christine *ah ! ... gaz et puis là on a la somme ... il faut multiplier par ça et ça et ça ... (elle montre L7C2 multiplié par L2C3 et L7C3 par L2C4)...  
on fait plus après ...*
7. Stoyan *et après on les ajoute tous les deux pour le montant total... le prix que doit payer le client ... [ils décodent la formule...]*
8. Christine *oui c'est juste (elle a calculé avec la machine et trouvé 1375,08)*
9. Christine *et après ... plus ... moins 5 et moins 3 .. plus 28,27...et après plus 5 moins 2 ... abonnement électricité , 160,49...c'est ... consommation de gaz multiplié par ... et plus ça les deux ... les deux abonnements... gaz plus électricité ...*
10. Stoyan

Ces élèves énoncent d'abord les relations définies par la situation (1-9). Ils décodent ensuite la formule puis font référence, pour la contrôler à la description du calcul qu'ils avaient déjà réalisée (9-10).

Pour eux c'est encore le support langagier qui les guide pour contrôler la formule en lui donnant un sens par rapport à la situation.

Presque tous les binômes (12/13) procéderont de manière analogue. Seules Danielle et Christelle (élèves) décodèrent la formule sans référence au problème. Elles se contentent de calculer à la main le résultat apparaissant dans la cellule L7C4. Elles ne feront pas une analyse relativement au problème, et utiliseront alors la langue naturelle, qu'à la demande de l'observateur.

La description langagière apparaît ici comme la conclusion du travail de décodage et permet de fournir une expression plus exploitable que la formule elle-même en raison de la complexité sémiotique de cette dernière. Elle permet à l'utilisateur de mieux prendre en compte la signification que la formule revêt en rapport avec le problème. Nous considérons que dans les protocoles relatifs à la dernière situation décrite, ce recours à une description du calcul en langue naturelle peut être analysé comme une étape qui favorise une approche de la formule dans son aspect algébrique c'est-à-dire comme description de relations entre des cellules.

## 2. CODAGE ET DECODAGE

Nous traitons ici les différents modèles utilisés par les élèves et les adultes pour représenter les formules implantées dans le tableur sur lesquels ils doivent agir. Ce type d'analyse des relations (Cible 1 et Cible 2 : interview) est peu habituel dans un tableur, mais nous l'avons utilisé pour obtenir les représentations des sujets à l'aide des situations de la situation interview.

### 2.1. UNE FORMULE EN REFERENCES RELATIVES

La première situation comportait une formule liant 3 cellules et relativement simple du type  $3x+2y+z$  mais donnée à l'aide de références relatives.

L5C4		=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]				
		cible1				
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
4		2				
5		5				
6		6				
7						

Figure 3-10

Le tableau fourni aux sujets correspond à la figure 3-10 et ils travaillaient sur le tableau.

#### 2.1.1. ABSENCE DE REPRESENTATION

Seuls deux binômes d'élèves n'ont pas utilisé de représentation explicite des relations définies par la formule. Ce sont les binômes de Ivan-Cécile et Cédric-Eyup qui n'ont pas décodé la formule et n'ont explicité aucune représentation du calcul. Tous les autres, adultes et élèves, ont par contre adopté différents types de signifiants, parfois plusieurs pour le même binôme, que nous analysons ici.

### 2.1.2. REPRESENTATION LANGAGIERE

Nous avons déjà relevé dans ce chapitre (2.4.4) que 6 binômes adultes sur les 7 et 2 binôme d'élèves sur les 6 ont explicité une représentation langagière de cette relation.

### 2.1.3. REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE

Nous avons aussi observé deux représentations tenant compte de la position des cellules (représentation géographique) l'une chez des adultes et l'autre chez des élèves. Ainsi Joëlle et Yvette décodent la formule de la barre d'édition (Figure 3-10) et la représentent sur un papier par le schéma de la figure 3-11. Cette représentation a été construite par ce binôme pour mettre en évidence les relations entre les cellules. En revanche la disposition géographique adoptée par deux élèves, Christine et Stoyan ne sera utilisée, et très temporairement, que pour une recherche des 3 nombres de la colonne 1 (Figure 3-12). En revanche nous verrons plus loin que de telles signifiants sont plus fréquents dans la situation cible 2.

$$\begin{array}{l} \textcircled{1} \times 3 \\ \textcircled{2} \times 2 \\ 3 + \end{array}$$

Figure 3-11

L4		4
L5		5
L6		40

Figure 3-12

### 2.1.4. REPRESENTATION ALGEBRIQUE

Aussi fréquente que la représentation langagière, l'utilisation de signifiants de type algébrique se répartit en revanche de manière plus uniforme sur l'ensemble des deux populations. puisque 3 binômes d'adultes sur 7 et 3 binômes d'élèves sur 6 l'utilisent. Deux systèmes sémiotiques sont utilisés : les références absolues et une notation algébrique classique.

### 2.1.4.1. REFERENCES ABSOLUES

Le décodage de la formule en référence relatives a été traduit par deux binômes sous forme de références absolues.

Ainsi Maryse et Annie (adultes)

Annie écrit sur son papier les 3 lignes suivantes :

$$(1) \quad L4C3 \times 3 + 2 \times L5C1 + L6C1$$

$$(2) \quad 100 - L6C1 - 2(L5C1) = 3 L4C1$$

$$(3) \quad \frac{100 - L6C1 - 2L5C1}{3} = L4C1$$

1. Annie *alors... 100 moins le troisième chiffre par exemple (elle commence la ligne (2) sur le brouillon) ... je vais l'appeler ... bon L6C1... moins... le deuxième chiffre mais multiplié par 2... (elle écrit) ... ça me fait 3 fois le premier chiffre ... c'est ça ?*
2. Maryse *oui ... tu fais une équation là ...*
3. Annie *donc le premier chiffre ça fera 100... je sais pas si c'est ce qu'on cherche ... sur 3... (elle écrit la ligne (3)).*
4. Maryse *pourquoi tu as pas fait pareil en mettant x ou je sais pas quoi ...*
5. Annie *mais on le veut le 100.....*

Annie réalise ainsi une transformation typiquement algébrique en utilisant une référence absolue pour désigner les cellules. On notera d'ailleurs les transformations successives de l'expression qu'elle réalise d'une ligne à l'autre avec les conventions habituelles du calcul algébrique, c'est-à-dire la suppression des symboles de multiplication puis finalement la suppression des parenthèses inutiles autour de L5C1. Maryse fait explicitement référence à une notation utilisant la lettre x (4), sans doute en raison de ses connaissances algébriques où il était d'usage d'utiliser ce type de notation pour effectuer ce genre de calcul dans la résolution d'une équation qu'elle reconnaît (2).

Un binôme d'élèves, Sylvain et Vincent, a utilisé aussi des références absolues pour représenter la relation, mais contrairement au binôme précédent Sylvain transformera tout de suite l'expression

$$\begin{array}{l} L4C3 \times 3 + L5C1 \times 2 + L6C1 \\ \text{en} \quad 3x + 2y + z = 100 \end{array}$$

avec lequel il entamera la résolution du problème.

#### 2.1.4.2. SYMBOLISME ALGÈBRE CLASSIQUE

Deux binômes d'adultes adopteront ce mode de représentation de la formule. Jocelyne et Christiane, après une description en langue naturelle "le premier... deux fois le deuxième, plus une fois le dernier" Christiane écrit :

Christiane  $3 \times 1^{\circ} + 2 \times 2^{\circ} + 3^{\circ}$  puis  $3A + 2B + C = 100$   
*je m'en souviens pas ... je sais plus comment on fait ... faut résoudre l'équation.*

En se ramenant à une expression algébrique Christiane fait appel à ses connaissances algébriques et mentionne la résolution d'une équation.

Jean-Michel et Claude (Adultes) utilisent aussi une telle notation :

Jean-Michel écrit :

$$3 \times x + 2 \times x + x$$

puis tente une transformation de l'expression : il ajoute des parenthèses

$$3 \times (x + 2 \times x) + x$$

puis les supprime.

Claude *Oh là là faut résoudre l'équation ou je sais pas quoi moi !*  
Jean-Michel *non ... c'est-à-dire  $3x + 2x + x$  ... cinq...  $6x$  ... 100 divisé par 6 ! non ça va pas faut mettre un  $x$  entier. (30 s de silence) ... c'est pas... de toutes façons, c'est pas uniquement un nombre . on a mis  $x$  mais c'est faux de raisonner par  $x$  parce qu'en fait c'est trois chiffres différents ... c'est  $x$ ,  $y$  et  $z$  .*

Claude *oui*  
Jean-Michel *c'est pour ça que c'est faux, ça peut pas être 100 divisé par 6*

Il transforme alors l'expression :  $3x + 2y + z$  .

Les transformations successives de Jean-Michel indiquent qu'il se place aussi dans le cadre de l'Algèbre qu'il connaît. Mais l'interférence avec le problème à résoudre et l'existence de trois nombres différents l'incite à recueillir sa première expression qu'il avait tenté d'exploiter dans la résolution.

Chez les élèves, trois d'entre-eux travailleront sur des expressions algébriques avec des connaissances qui ont fait l'objet d'un apprentissage récent. Ainsi Sylvain (après une expression à l'aide de références absolues (Cf paragraphe précédent)) écrit l'égalité :

$$3x + 2y + z = 100$$



1. sylvain *alors 3y... x plus 2y ... ça fait penser à une équation de droite ça je sais pas pourquoi ... euh ... plus z ... putain ça fait une équation ... égal 100...*
2. sylvain *je sais pas si je vais pouvoir la résoudre...normalement ...il faudrait un système de trois équations ...*
3. observ *qu'est ce que tu penses de ce qu'il fait ... il écrit  $3x=2y+z=100$ ...vin*
4. vincent *ouais ... ça permet de ... c'est un point de départ... après tu peux changer les nombres plus facilement quand tu ... si tu as ça en tête... ça permet de voir...*

Sylvain fait référence à une équation de droite, qu'il a étudiée dans le cours de mathématiques (1). Il parle ensuite de système d'équations (2). Il se place résolument dans le domaine algébrique et cherche à repérer dans ses connaissances une technique de résolution du problème. C'est Sylvain qui travaille et l'observateur cherche à repérer si Vincent donne un sens au travail de Sylvain. Celui-ci explicite le rôle de représentation de la formule que joue l'expression algébrique.

Deux autres binômes d'élèves adopteront des signifiants utilisant le symbolisme algébrique classique :

Christine et Stoyan	$a \times 3 + b \times 2 + c$
Danielle et Christelle	$x \times 3 + y \times 2 + w = 100$
	puis $3x + 2y + w = 100$

Danielle comme Annie ( paragraphe précédent) transforme l'expression initiale avec des signes **X** en les supprimant et en plaçant les coefficients numériques devant les lettres.

L'ensemble de ces protocoles indique que la formule donnée en références absolues dans Multiplan est reprise dans le cadre algébrique qu'ils connaissent par plusieurs binômes d'adultes et d'élèves. Les expressions subissent des transformations qui relèvent de ce cadre et certains recherchent des techniques propres à ce domaine ( équations, systèmes d'équations, équations de droites). Cependant les références absolues, notations propres au logiciel interfèrent dans au moins un cas avec le symbolisme propre au calcul algébrique classique caractérisé ici par l'utilisation d'une lettre unique pour désigner un nombre donné.

## 2.2. UNE FORMULE EN REFERENCES ABSOLUES

Dans la situation Cible 2 (Figure 3-13), les références absolues sont utilisées dans la formule donnée. En revanche la formule est plus complexe puisque :

- elle fait intervenir deux fois la même cellule, il y a donc quatre termes dans l'expression faisant intervenir 3 cellules.

- les cellules ne sont pas données dans la formule dans le même ordre que dans le tableau

- la formule contient des coefficients négatifs

- La fonction définie par la formule est décroissante par rapport à la variable représentée par la cellule L4C1.

L232C60		=L5C1*5-L4C1*4+3*L6C1-3*L5C1									
cible 2-b											
	1	2	3	4		58	59	60	61		
1											
2											
3											
4	2										
5	3			10							
6	4										
230											
231											
232								10			
233											
234											

Figure 3-13

Les caractéristiques de cette formule pouvaient rendre commode le recours à une expression algébrique pour transformer l'expression. Nous avons également analysé les différents types de signifiants utilisés et le niveau du recours aux transformations propres au cadre algébrique. Les types de signifiants adoptés jouent bien entendu un rôle sur la réalisation de la tâche que nous chercherons à mettre en évidence.

### 2.2.1. ABSENCE DE REPRESENTATION

Tous les sujets ont cherché la formule et l'ont trouvée. Un seul binôme d'élèves, celui de Nelly et Stéphanie, s'est contenté de recopier la formule telle quelle en références absolues et ne l'a pas utilisée du tout pour résoudre le problème, se contentant d'essais

successifs en modifiant les valeurs à l'aide d'observations sur les modifications provoquées par un changement dans une cellule.

Voici par exemple un des nombreux essais qu'elles ont effectués et qui illustre une méthode entièrement basée sur l'étude de ces modifications .

Nelly *je vais mettre 13... (elle tape 13 dans LAC1 : 13,26,34 --->102)...*  
 Stéphanie *mets euh... 11 ... 12*  
 Nelly *non si je mets 11 ça va le descendre*  
 Stéphanie *et ben ?*  
 Nelly *ça va le faire grandir plutôt ... regarde*  
 (elle tape 11 : 11,26,34 ---->110)... *110 alors tu vois ...*  
 Stéphanie *mets 9 ...*  
 Nelly *non parce que tu le mets petit plus le chiffre est grand !*  
 Stéphanie *mets 15 ...*  
 Nelly *mais voilà attends ...13 ... (elle tape 13 : 13,26,34 --->110)... et celui là je dis plus il grandit plus celui là il est petit (elle montre la ligne 6)... donc je mets ...*  
 Observ *explique j'ai pas compris ... tu dis ...*  
 Nelly *celui là (ligne 4) plus il est petit plus celui là il est grand (la cible)... plus il est grand plus il est petit ...*  
 Stéphanie *mets 32...*  
 Nelly *non le contraire ... 36 (elle met 13,26,36 --->108)... euh pourquoi il grandit ...*  
 Stéphanie *essaye 32...*  
 Nelly *si tu mets 32... (elle le tape : 13,26,32 --->96)... ooh...*  
 Stéphanie *c'est trop petit... 33*  
 Nelly *(elle tape 13,26,33 --->99)... 99 ! ah ! (5s)... 12...*  
 Stéphanie *attends plus celui là il est petit plus celui là il est grand (elle parle du premier)*  
 Nelly *oui (elle tape 12,26,33 --->103)... 103... bon on va revenir à 13 on était avant ? (elle tape 13,26,33 --->99)... je reviens à 99... (elle tape 13,25,97 --->97)... 97 !... on essaye avec 27 (dans L5C1 : 13,27,33 --->101)... 101... ah ...*  
 Stéphanie *mets 26 !*

C'est l'absence de représentation de la formule qui conduit ces deux élèves à utiliser les capacités de recalcul de la machine pour faire des essais. La formule n'a aucun rôle dans cette procédure.

## 2.2.2. REPRESENTATION LANGAGIERE

L'utilisation de la langue naturelle pour représenter la formule est beaucoup moins fréquente que dans la situation cible 1 , puisque nous l'observons seulement chez deux binômes d'adultes sur les 7 et jamais chez les élèves. On peut penser que la complexité relative de cette formule, surtout en regard de celle de cible 1 a conduit les sujets à utiliser d'autres types de représentations plus efficaces que la langue naturelle, notamment des signifiants algébriques ou pseudo-algébriques. Nous donnons ici les expressions utilisées pour ces descriptions .

1. Joëlle *alors ligne 5 colonne 1 c'est donc le 3...*
2. Yvette *ouais*
3. Joëlle *qui est multiplié par 5*
4. Yvette *par 5 ...*
5. Joëlle *moins ... alors la ligne 4*
6. Yvette *celle là là*
7. Joëlle *colonne 1 ...*
8. Yvette *oui*
9. Joëlle *c'est celle -ci c'est le 2...*
10. Yvette *2 qui est ... plus*
11. Joëlle *moins 2 que multiplie 4...*
12. Yvette *oui multiplié par 4 ... oui*
13. Joëlle *plus 3*
14. Yvette *plus 3 (Yvette écrit sur le brouillon  $3 \times 5 - 2 \times 4$ ...)*
15. Joëlle *que multiplie...*
16. Yvette *ligne 6*
17. Joëlle *ligne 6 c'est donc le 4 là*
18. Yvette *3 multiplié par 4... (5s)... c'est ça hein*
19. Joëlle *c'est donc alors le deuxiè... ..*
20. Yvette *attends ...*
21. Joëlle *c'est le deuxième chiffre là... multiplié par 5 ... moins le premier  
chiffre multiplié par 4*
22. Yvette *oui... premier chiffre mult...*
23. Joëlle *plus*
24. Yvette *le troisième chiffre*
25. Joëlle *3 que multiplie le troisième chiffre ...*
26. Yvette *alors ça fait 3 fois 5 ... 15*
27. Joëlle *attends ... et oui il y a encore un moins ... moins il faut encore  
soustraire le deuxième là ...*
28. Yvette *alors c'est encore moins*
29. Joëlle *moins 3 fois le deuxième chiffre ...*

Elles continueront par une vérification de leur décodage en comparant le résultat affiché et celui qu'elles calculent à l'aide de leur formule. C

Ce protocole indique comment les nombres qui servent au début à désigner les cellules (1-18) sont ensuite remplacés par des désignations utilisant des positions dans le tableau ("le premier", "le deuxième") (lignes 19-26). Par contre cette description ne les conduira pas à la création de signifiants plus efficaces pour la réalisation de la tâche.

En revanche Jocelyne et Christiane (adultes) exploiteront davantage cette étape langagière :

1. Christiane *c'est pas très évident... .. bon on a 5 fois ce chiffre moins 4 fois ... le premier...*
2. Jocelyne *pourquoi tu as mis multiplié par 4... ?*
3. Christiane *hein ? c'est 5 fois ... le central... hein... moins 4 fois le premier... plus 3 fois celui ci et moins 3 fois encore celui-ci*
4. Jocelyne *oui*
5. Christiane *donc c'est complètement absurde hein ... ça fait 2 fois le deuxième 5 fois ce chiffre moins 3 fois celui ci en fait c'est m'en fait deux fois ...*

6. Christiane *ça me fait 2 A plus 4 B plus 3C ... tout simplement( elle écrit sur le Brouillon) ... et on doit trouver 100 ?*
7. Jocelyne *oui*

A partir de l'expression en langue naturelle, Christiane réalise une simplification de la formule puis évolue vers des signifiants algébriques qui leur permettront de réaliser plus facilement la tâche donnée. Ces deux binômes sont les seuls qui aient donné une description en langue naturelle de la formule. Nous faisons l'hypothèse que la complexité de la formule qui disqualifie la représentation langagière au profit d'autres types de signifiants, notamment une description de type "numérique marqué", que nous décrirons plus loin, ou algébrique.

### 2.2.3. REPRESENTATION DE TYPE "NUMERIQUE" ET "NUMERIQUE MARQUE"

Le décodage de la formule consiste à mettre en évidence le calcul réalisé avec les trois valeurs données pour trouver la valeur de la cible. Dans un premier temps, la moitié des binômes (3/7 pour les adultes et 3/6 pour les élèves) écrivent à l'aide des valeurs le calcul à effectuer, c'est ce que nous désignons par représentation de type **numérique**. En voici un exemple (Yvette : adulte) :

$$3 \times 5 - 2 \times 4 + 3 \times 4 - 3 \times 3$$

Ce type de représentation permet aux sujets de se convaincre qu'ils ont bien identifié la relation en comparant le résultat fourni à celui qu'ils calculent à partir de cette expression. Mais ce type d'expression présente l'inconvénient de ne pas distinguer les valeurs contenues dans les cellules des coefficients fournis par la relation. Pour résoudre cette difficulté on peut bien entendu utiliser une expression avec des lettres, de type algébrique, mais 6 binômes préféreront utiliser une représentation particulière où, soit les coefficients soit les valeurs contenues dans les cellules sont distingués par un attribut (un soulignement, une étoile, un cerclage...). Nous donnons ici les exemples relevés et certaines des justifications apportées par les différents binômes.

Jean Michel et Claude (Adultes)

$$(\overset{*}{4} \times 5) - [(1 \overset{*}{\times} 4)] + (3 \overset{*}{2} \times 3) - (\overset{*}{4} \times 3) = 100$$

Marquent les valeurs contenues dans les cellules de la colonne 1.

Annie et Maurice (Adultes)

$$(\underline{3} \times 5) - (\underline{2} \times 4) + (3 \times \underline{4}) - (3 \times \underline{3})$$

1. Observ *qu'est ce que vous soulignez là...*
2. Maurice *les chiffres ...*
3. Observ *c'est-à-dire ?*
4. Maurice *les valeurs des cases*
5. Annie *les chiffres donnés .. ah non les valeurs des ... les valeurs qu'on nous donne en nous donnant...*
6. Maurice *ce qu'il faut modifier...*
7. Observ *vous avez fait un double soulignement du 5, du 2 du 4 et du 3...*
8. Maurice *c'est pas ça... c'est pas le 5... c'est le 3*
9. Annie *c'est le 3... le 2*
10. Maurice *le 4 et le 3...*
11. Observ *celui que vous avez souligné deux fois c'est celui qui est...*
12. Annie *en double*
13. Maurice *c'est le chiffre qui est déjà dans une des cases ... parce que j'ai 3 multiplié par 5 je me rappelle plus que c'est le 5 ou le 3 que je bouge ...*

Maurice et Annie marque les valeurs et pas les coefficients (4-6). Mais Maurice et Annie tiennent aussi à indiquer d'une manière particulière que le contenu de L5C1 intervient deux fois dans le calcul (12-13) par un double soulignement. C'est en effet un défaut de ce type de codage de ne pas pouvoir reconnaître les valeurs représentant la même variable.

Jean et Danielle (Adultes)

$$\textcircled{3} \times 5 - \textcircled{4} \times 2 + \textcircled{3} \times 4 - \textcircled{3} \times 5$$

- Danielle *là c'est 3 fois quelque chose ...*  
 Jean *et là aussi 3 fois quelque chose ?*  
 Danielle *ouais ...*  
 Jean *c'était 3 fois 3 ... là c'est encore 3 multiplié par quelque chose ... (il entoure des nombres sur sa feuille)*  
 Observ *qu'est ce que c'est les nombres entourés ?*  
 Danielle *facteurs...*  
 Jean *ouais ...*  
 Observ *par rapport à la formule par exemple c'est les ... ceux que tu a entourés ?*  
 Jean *ce sont les nombres par lesquels je vais multiplier*

Jean a marqué les coefficients de la formule.

Christine et Stoyan (Elèves)

Christine souligne les valeurs.

$$4 \times \underline{5} - 5 \times \underline{4} - \underline{3} \times 4 - \underline{3} \times 4$$

Christine *là on multiplie par 4, là on multiplie par 5, multiplié par 4...multiplié par ... plus 3 (elle souligne les coefficients)*  
 Observ *qu'est ce que tu soulignes là Christine ?*  
 Christine *les chiffres de la formule parce qu'après je sais pas ...*  
 Observ *qu'est ce que tu appelles les chiffres de la formule ?*  
 Christine *oui parce qu'après quand on multiplie par 3 je sais plus quel chiffre c'est ...*  
 Stoyan *100*  
 Observ *attends quelle différence il y a entre ce 4 et ce 5 ? [le 5 souligné du premier terme]*  
 Stoyan *c'est celui là de la formule*  
 Christine *le 5... le 5 ... y sert dans la formule pour trouver le résultat*  
 Observ *et le 4 ?*  
 Christine *le chiffre, ce sont les chiffres euh... euh... qu'on met pas dans la formule ... enfin si on les met mais qu'on peut changer pour ....*  
 Observ *ils sont où dans le tableau ces nombres là ?*  
 Christine *ils sont là (elles montrent les 3 cellules de la colonne 1)*

Ivan et Cécile (Elèves)

$$\underline{3} \times 5 - \underline{2} \times 4 + 3 \times \underline{4} - 3 \times \underline{3}$$

Ivan *Je souligne les chiffres que nous on inscrit... qui sont variables. et ça ça fait bien beaucoup de ... ah non en fait ça en fait quatre mais comme il y a deux fois L5C1 donc ça fait bien 3... 3 chiffres à trouver*

Ivan en soulignant contrôle la correspondance entre le nombre de cellules et le nombres de valeurs qu'il a soulignées, ce sont bien les valeurs contenues dans les cellules qu'il souligne.

Cédric et Eyup (Elèves)

$$3 \times \textcircled{5} - 2 \times \textcircled{4} + \textcircled{3} \times 4 - \textcircled{3} \times 3$$

Observ *ça veut dire quoi que le 3 est entouré ?*  
 Cédric *ça veut dire que c'est pas ceux qui étaient là ... c'est des choses qui sont dans la formule*  
 Observ *et ce 3 là ? (il montre la dernier 3 de la formule)*  
 Cédric *c'est celui qui est là (il désigne la cellule L5C1)*

Cédric indique aussi que ce sont les coefficients qu'il marque en les entourant.

Donc sur l'ensemble de ces 6 binômes 4 marqueront les valeurs qu'ils doivent trouver et deux marqueront les coefficients de la formule. les protocoles indiquent qu'un seul binôme fait une distinction spéciale pour identifier la cellule d'origine, en particulier L5C1 qui apparaît deux fois dans la formule. Cette marque a de l'importance puisqu'une des principales difficultés liées à ce type de représentation de la formule va provenir des confusions qui seront faites entre les valeurs choisies au niveau de la formule et leur

implantation dans le tableur pour effectuer le calcul. D'ailleurs Maurice et Annie sera, avec Christine et Stoyan, le seul binôme sur les 6 ayant utilisé une représentation en numérique marqué à évoluer vers des signifiants algébriques qui évitent la difficulté que nous venons de citer.

#### 2.2.4. REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE

La représentation géographique de la formule correspond à une reproduction des éléments significatifs de la feuille de calcul. Il s'agit le plus souvent d'indiquer les nombres en jeu en respectant leur position relative dans le tableau mais surtout les opérations dans lesquelles ils interviennent. Les 3 binômes ayant utilisé des signifiants de ce type ont tous par la suite évolué vers des représentations algébriques. Nous donnons ici les représentations que nous avons pu observer.

Ces deux adultes dessinent sur leur papier :

$2 \times 4$	${}^2 A \times 4$
$3 \times 5$	${}^3 B \times 5$
$4 \times 3$	${}^4 C \times 3$
	$-B \times 3$

Figure 3-14

Voici le protocole correspondant:

1. Florence *3... donc on a utilisé le premier... alors on multiplie le deuxième nombre par 5... euh... ensuite 2 fois 4... le premier par 4... le quatrième par... non c'était le... non...*
2. Philomène *le deuxième le 3...*
3. Florence *c'est ce 3... il y était dans la formule ? ... oui... 3 fois LSC6... donc c'était 4... donc on fait 4... fois... on multiplie par 3... moins 3... donc celui là... non pas 3... deuxième chiffre par 3... bon on va les appeler A, B et C parce que avec les chiffres on va pas y arriver ... ça sera plus simple...*
4. Philomène *donc on fait A fois 4...*
5. Florence *c'est lesquels que vous appelez A,B,C ?*
6. Observ *ceux qu'on cherche ...*
7. Philomène *Ben , A, B, C c'est dans l'ordre là...*
8. Florence *alors A multiplié par 5...*
9. Philomène *A ça correspond à LSC1... si c'est ça... LSC1... il est où le papier...*
10. Florence *LSC1 c'est 2... c'est le 2*
11. Philomène *d'accord... c'est 2 donc c'est ça 123*
12. Florence *non... non... c'est 3*
13. Philomène



- |               |   |
|---------------|---|
| 14. Florence  | <i>L5C1 c'est 3 ... donc ça fait ... il fallait multiplier par ...</i>  |
| 15. Philomène | <i>par 5...</i>   |
| 16. Florence  | <i>tu es sûre... donc c'est B par 5... ensuite L4C1...</i>  |
| 17. Philomène | <i>mais pourquoi tu as mis A là ?</i>   |
| 18. Florence  | <i>A ça remplace 2 si tu veux... ça c'est 3 et ça c'est ...</i>   |
| 19. Philomène | <i>oui mais c'est pas le 2 qu'on a multiplié on a fait 3 fois 5... c'est L5C1... c'est encore un 3 ... c'est B alors...</i>                                       |
| 20. Florence  | <i>L5C1 c'est B ... c'est bien ça ... B fois 5...</i>   |
| 21. Philomène | <i>pourquoi tu as mis A là ? c'est B fois 4... et B fois 5...</i>   |
| 22. Florence  | <i>qu'est ce que tu dis ? L5C1 fois 5... L5C1 c'est donc B... moi je l'appelle B...</i>   |
| 23. Philomène | <i>aussi 3... oui mais tu avais mis A...</i>  |
| 24. Florence  | <i>et Ben B fois 5 ça fait...</i>   |
| 25. Philomène | <i>oui oui tu as raison...</i>  |
| 26. Florence  | <i>ensuite ... L4C1... c'est 2 fois 4... donc ... ça c'est A on le multiplie par 4... c'est juste (elle écrit sur son papier) ... ensuite plus 3 fois L6C1...</i> |
| 27. Philomène | <i>ça c'est C ...</i>   |
| 28. Florence  | <i>c'est C donc celui là on le multiplie par 3... et ensuite on fait 3 fois L5C1... c'est donc B</i>  |
| 29. Philomène | <i>c'est B</i>  |
| 30. Florence  | <i>donc ensuite à la fin ... moins ... B fois 3...</i>  |

Philomène et Florence commencent une représentation à l'aide de nombres uniquement (Figure 3-14 gauche) . Mais la cellule L5C1 intervenant deux fois dans le calcul pose un problème de disposition. Florence abandonne alors ce schéma ( 3) et construit celui de la figure 3-14( droite) qui permet de donner à la cellule L5C1 un nom comme B qui sera alors réutilisé dans le bas du schéma. Le contenu des cellules est aussi indiqué en plus petit à gauche des lettres. Nous avons donné l'ensemble de ce protocole parce qu'on y voit bien les difficultés que représentent la différence de position respective des cellules sur le tableau et dans la formule. Florence a choisi l'ordre du tableau : de haut en bas A,B et C (8) . Mais il faut un long travail (9-25) pour que Philomène prenne en compte que l'ordre dans la formule n'est pas le même que dans le tableau. C'est ensuite la désignation de la deuxième cellule par B qui permet de terminer en la reprenant (30). Florence cherche à perdre le moins d'informations possibles ( contenus des cellules, positions respectives, relations) en utilisant cette représentation géographique. Elle va d'ailleurs l'abandonner pour travailler en ligne avec les désignations littérales qu'elle a construites. Ici la représentation géographique est une étape qui la conduit vers des signifiants algébriques.

Jocelyne et Christiane (Adultes) font le schéma de la Figure 3-15.

- |               |  |
|---------------|--|
| 1. Christiane | <i>multiplié par 5 ... donc c'est le deuxième chiffre qui est multiplié par 5 ... (elle écrit 2, 3 et 4 en colonne sur le brouillon ) 2,3 et 4</i> |
| 2. Jocelyne   | <i>alors le 3...</i>   |
| 3. Christiane | <i>huuum... ligne 5 colonne 1 ... ça c'est multiplié par 5 (elle écrit x5 en face de 3)</i>  |
| 4. Jocelyne   | <i>le 3 il est multiplié la ligne 4 colonne 1 c'est le 2 qui est multiplié... et ...</i>   |
| 5. Christiane | <i>multiplié par 4 (elle écrit x4 en face de 2)</i>  |

6. Jocelyne *et la ligne 3 ligne 6 colonne 1 donc c'est le 4*
7. Christiane *ligne 6 colonne multiplié par 3 (elle écrit x3 en face de 4)*
8. Jocelyne *moins la ligne 5 colonne 1... c'est le 3...*
9. Christiane *ligne 5 colonne 1 multiplié par 3 (elle écrit sur la deuxième ligne x3)  
...voilà*

$$\begin{array}{r}
 2 \times 4 \\
 3 \times \cancel{5} \quad \times \cancel{3} \quad \times 2 \\
 4 \times 3
 \end{array}$$

Figure 3-15

Christiane place d'abord les nombres : c'est leur position qui les situe par rapport aux références absolues de la formule (3-9). L'attribution des coefficients est faite par une lecture des références où la numérotation de la ligne permet de placer correctement les coefficients sur le schéma. Nous avons aussi indiqué sur la figure 3-15 la simplification que Christiane opérera un peu plus tard sur le schéma. Ce binôme passera aussi rapidement de cette représentation géographique à une représentation algébrique.

Dans le binôme de Christine et Stoyan (élèves), c'est Christine qui dessine la figure 3-16.

1. Christine *euh... alors ça fait L5C1... 5... quelque chose au milieu qui multiplie le nombre par 5 ... (elle écrit en colonne sur son brouillon les trois points et à côté les opérateurs) ... dans les trois nombres qu'il y a celui ci est multiplié par 5 ... [.....]*
2. Christine *L5 c'est 1 ... fois ça ... celui là moins L4C1 fois 4...*
3. Observ *c'est lequel L5C1 ?*
4. Christine *celui là celui qui est au milieu ... donc par 5 après multiplié par 4 et on ajoute ... 3 fois ... L6 (elle écrit 3X.)*
5. Observ *qu'est ce que c'est que ce point que tu as mis ?*
6. Christine *c'est un chiffre un chiffre ... pour après qui m'aidera pour trouver 100*

$$\begin{array}{r}
 \bullet \times 4 + \\
 \bullet \times 5 - \\
 3 \times \bullet
 \end{array}
 \quad \nearrow \quad
 -3 \times \bullet$$

Figure 3-16

7. Observ *et c'est quel chiffre ce point ?*
8. Christine *c'est le chiffre de la case L6C1... (elle ajoute la flèche)*

9. Observ *c'est quoi cette flèche ?*  
 10. Christine *cette flèche là... c'est pour euh... on calcule comme ça ... après on calcule là ... pour finir le calcul là ... sur ce chiffre là ...*  
 11. Observ *c'est-à-dire on calcule multiplié par 4 plus ...*  
 12. Christine *non on commence par là L5 !*  
 13. Observ *ça fait multiplié par 4 et par 5 ...*  
 14. Christine *c'est pareil*  
 15. Observ *et puis ?*  
 16. Christine *et puis après on finit là ...*  
 17. Observ *c'est quoi ce 3 multiplié là ?*  
 18. Christine *c'est comme fois 4, fois 5... fois 3 , c'est la formule j'ai mis la formule ...*  
 19. Observ *et ce point c'est le dernier celui d'en bas ?*  
 20. Christine *celui d'en bas l'avant dernier et après on finit sur cette ligne là, c'est le même chiffre ...*

Pour Christine la représentation adoptée permet un positionnement de chaque nombre, mais les contenus de cellules sont seulement représentés par des points, qui ne sont pas des désignations caractérisant une cellule (comme le B de Florence) .Elle est donc contrainte de remettre sur la même ligne la deuxième occurrence de L5C1 dans la formule. Ces points sont des "trous" mais ils n'ont pas encore un statut de variable, ils ne sont pas distingués ni distinguables, c'est le rôle de la représentation géographique de les localiser relativement à la formule. Christine a également le souci de conserver l'ordre de calcul de la formule : elle place ainsi la flèche et décrit à l'observateur un ordre de calcul. Elle précise bien le commencement (12) et la fin (16). Et c'est bien le même chiffre qui est sur la même ligne (20). La représentation géographique de Christine a des caractéristiques algébriques très pauvres, elle ne va pas lui permettre d'évoluer vers des signifiants algébriques , et à la suite d'une étape vers le numérique marqué elle continuera une recherche des nombres de la colonne 1 de manière empirique.

## 2.2.5. REPRESENTATION ALGEBRIQUE

5 binômes d'adultes sur les 7 parviennent à des représentations de type algébrique alors que ce n'est le cas que chez deux binômes d'élèves. Nous analysons ici les différentes caractéristiques de ces représentations ainsi que le rôle qu'elles ont joué dans la réalisation de la tâche.

Pour Jean et Danielle (adultes), l'expression qu'ils construisent utilise une notation pseudo-algébrique illustrée par la figure 3-17. Nous interprétons cette expression comme une représentation des cellules du tableau considérées comme des cellules et non pas des variables représentant les contenus de ces cellules. La construction de cette expression ainsi que l'absence de traitement qu'elle provoque en sont des indices.

$$\begin{array}{cccc}
 2^{\circ}\text{C} & 1^{\circ}\text{C} & 3^{\circ}\text{C} & 4^{\circ}\text{C} \\
 (\text{L5C1} \times 5) & -(\text{L4C1} \times 4) & + 3 \text{L6C1} & - 3 \text{L5C1}
 \end{array}$$

Figure 3-17

### 2.3. IMPLANTATION D'UN MODELE ALGEBRIQUE

Au cours de la formation nous avons donné aux élèves une tâche où, à partir d'expressions algébriques données, ils devaient créer des relations entre des cellules. Dans cette tâche (carré magique- Séance 9), proposée aux élèves, au bout de 10 heures de formation à Multiplan, une partie du travail des élèves consistait à construire dans Multiplan un carré magique défini par la figure 3-23.

a	a+14	b	a+3
b-2	a+5	a+6	a+8
a+7	b-4	a+10	a+4
a+12	a+2	a+1	b+2

Figure 3-23

Il s'agit donc pour eux d'implanter dans le tableur un modèle défini à partir des notations littérales classiques avec des lettres a et b.

Toutes les cases du carré magique s'obtiennent à partir de deux cases notées a et b. L'expression du contenu de chacune des cases est donné à l'aide d'une expression algébrique du type a+2, b-4 etc..... Les élèves ne connaissent pas la désignation des cellules par des noms

Il s'agissait pour nous de créer pour les élèves un obstacle de nature à leur faire prendre en compte :

- la signification des lettres a et b relativement au modèle algébrique proposé.
- la distinction entre les éléments du tableau qui sont des données à fournir comme des nombres et les éléments du tableau qui sont calculés à partir de ces nombres.
- l'expression des relations ainsi définies entre les cellules dans la syntaxe du logiciel.

Les élèves devront transposer la situation définie de manière algébrique qui leur est donnée dans le tableur. Cette transposition ne peut se faire qu'en fournissant des valeurs pour a ou b, éventuellement zéro en ne fournissant rien. En effet dans le modèle construit dans le tableur, les cellules correspondant à a et b n'ont pas à être désignées de manière particulière contrairement au modèle algébrique. En revanche, ils devront traduire dans le logiciel les relations qui leur sont fournies.

On voit ici dans Multiplan une difficulté particulière pour la mise en place du modèle : la formule est l'expression d'un calcul à réaliser à partir de données numériques alors que dans le modèle algébrique donné aux élèves, les lettres a et b sont des variables, que les élèves devront remplacer par des valeurs pour l'implantation dans Multiplan, même si ces valeurs sont quelconques. Compte tenu de la priorité donnée aux valeurs par le logiciel, les expressions algébriques deviennent des formules fournissant un résultat calculé, elles ne peuvent comme en algèbre s'écrire avec des variables.

Cette difficulté a bien été relevée chez tous les élèves qui se demandent s'il faut remplacer a et b par des valeurs :

Voici par exemple le protocole de Nadia et Mylène :

Nadia	<i>on met n'importe quels nombres ?</i>
Mylène	<i>ouais... c'est ça que je sais pas ! attends... [elle lit les instructions de la feuille distribuée par le professeur] on choisit comme on veut les entiers a et b ...</i>
Nadia	<i>on met n'importe quel chiffres ...</i>
Mylène	<i>oui mais ça marchera ?</i>
Nadia	<i>ben justement</i>
Mylène	<i>[demande au professeur] monsieur, on va pas mettre a et b ?</i>
Professeur	<i>qu'est ce que tu voulais taper là à la place de 9 ? tu voulais taper un a ? c'est ce que tu avais envie de faire ?</i>
Mylène	<i>enfin ... je sais pas !</i>
Nadia	<i>non un nombre...</i>
Professeur	<i>tu voulais taper un nombre toi Nadia ?</i>
Nadia	<i>oui</i>
Professeur	<i>et toi Mylène, tu taperais un nombre là ?</i>
Mylène	<i>non</i>

Pour Mylène c'est le transfert de a et b dans Multiplan qui pose problème. Elle ne veut pas remplacer a par un nombre dans le tableau. On peut noter que remplacer des lettres par des valeurs est parfois considéré comme une erreur dans certaines activités algébriques ce qui peut expliquer la réticence de Mylène. Alors que pour Nadia le problème ne semble pas se poser.

On retrouve le même type de problèmes chez Sylvie et Alexandre.

*on prend comme on veut a ou b ?*  
 [tape a dans L1C1 et b-2 dans L2C1] *plus moins 2... c'est comme ça qu'il faut faire ?*  
*oui et après tu remplaceras par a*  
 andre *on aurait du tout de suite choisir un entier... non on choisit tout de suite un entier ...bon ... je commence avec 5 [il remplace effectivement a par 5].*

Sylvie fait écrire a par Alexandre dans une cellule du tableau en envisageant de la remplacer par des valeurs ensuite. On pourrait rapprocher sa démarche de celle des élèves manipulant des expressions algébriques dans lesquelles ils doivent parfois remplacer la variable par une valeur numérique. Ce type de travail est fréquent en mathématiques pour ces élèves de troisième. Il est important de noter que Sylvie a besoin de faire écrire la lettre a, alors que pour Alexandre cette étape semble superflue.

Sylvie cherche d'ailleurs une compétence de la machine utilisant une désignation proche du modèle algébrique.

Sylvie [au professeur] *...qu'on mette a et qu'ensuite on remplace a et ça remplace tous les a du tableau.*  
 Professeur *oui, on n'a pas utilisé ça*  
 Sylvie *non ... ah oui mais en mettant la référence de la ligne qu'il y a là ...*

Sylvie mettra ensuite en place les relations entre les cellules d'abord en les écrivant explicitement comme LC[-2] puis en les saisissant à la souris.

A noter qu'elle mettra a et b dans les cellules correspondantes et devant le message #VALEUR qu'elle obtient, analyse bien ce qui se passe :

Sylvie *ah parce qu'il n'y a pas de valeur à b !*

Le résultat essentiel de ce travail est que pour la totalité des 6 élèves travaillant dans cette situation le problème de cette transposition s'est posé et que, pour presque tous, cela s'est traduit dans un premier temps par la construction d'un modèle comme celui de la figure 3-24 où toutes les expressions sont considérées par le tableur comme des textes.

Une intervention de l'enseignant sera nécessaire pour disqualifier cette construction qui n'est pas interprétée par Multiplan comme la définition de relations entre des cellules mais comme un texte. Notons de surcroît qu'aucun binôme n'a commencé sa formule par le signe "=" qui indiquerait au logiciel que l'on introduit une formule. Les formules contiendraient alors le message #NOM puisque les noms a et b n'ont pas été définis.

Sans titre				
	1	2	3	4
15	a	a+14	b	a+3
16	b-2	a+5	a+6	a+8
17	a+7	b-4	a+10	a+4
18	a+12	a+2	a+1	b+2
19				

Figure 3-24

Dans cette construction, les élèves donnent au dispositif la compétence d'interpréter des relations définies dans une autre syntaxe que celle qui a été manipulée jusqu'ici. En effet les relations ainsi écrites sont de simples recopies des relations algébriques sont données. Même l'indication d'une formule, qui commence par le signe égal, est absente. Tout se passe comme si les désignations classiques de l'algèbre pouvaient tout à coup remplacer le système de désignation à l'aide de références absolues ou relatives, pour les élèves.

L'intervention de l'enseignant conduira les élèves à construire une définition des relations en termes de références relatives (figure 3-25):

ESSAI BON				
	1	2	3	4
1				
2	5	=LC[-1]+14	10	=LC[-3]+3
3	=L[-1]C[+2]-2	=L[-1]C[-1]+5	=L[-1]C[-2]+6	=L[-1]C[-3]+8
4	=L[-2]C+7	=L[-2]C[+1]-4	=L[-2]C[-2]+10	=L[-2]C[-3]+4
5	=L[-3]C+12	=L[-3]C[-1]+2	=L[-3]C[-2]+1	=L[-3]C[-1]+2
6				

Figure 3-25

Ces protocoles sont conformes à l'analyse a priori que nous faisons concernant le transfert d'un modèle algébrique du type "carré magique" dans le tableur. Les difficultés des élèves correspondent bien :

- au statut à donner aux cellules L2C1 et L2C2 (Figure 3-25) dans le transfert du modèle dans Multiplan
- au transfert d'une écriture de type algébrique dans le système de références du tableur.

Ces obstacles sont dans une certaine mesure une conséquence du choix que nous avons fait de ne pas faire travailler les élèves avec des noms. Mais nous sommes tentés de penser que même avec une introduction des noms dans la formation, ce type de difficultés pourrait encore être rencontré. Néanmoins l'étude dans ce cas là du transfert d'un modèle algébrique dans le tableur reste à mener et pourrait en fonction des résultats conduire à remettre en cause en partie le choix que nous avons fait de ne pas utiliser ce type de désignation.





## Chapitre 4. Caractères informatiques

Dans ce chapitre nous traitons des caractéristiques plus proprement informatiques du travail avec un tableur. Il s'agit notamment des notions de réplication et d'itération avec lesquelles les élèves rencontrent pour la première fois les contraintes de la planification d'actions successives à faire exécuter par le tableur. Nous distinguons trois parties :

- la réplication que nous avons présentée dans l'analyse conceptuelle (Chapitre 1).
- l'itération limitée au contexte dans lequel nous avons fait travailler les élèves,
- les aspects liés à la validation des formules et des feuilles de calcul.

Les deux premières parties s'appuient sur des séances de la formation avec les élèves : "tables numériques" et "300 entiers", alors que la troisième fait intervenir les observations issues des situations de l'enseignement et de l'interview.

### 1. REPLICATION

L'organisation particulière d'une feuille de calcul en recopiant des formules qui génèrent des suites récurrentes est spécifique des tableurs. Ce type de concept que nous avons déjà présenté est bien adapté à l'écologie du tableur, particulièrement en raison des outils que constituent les références relatives et la "recopie vers le bas". En effet, si la recherche de la formule à répliquer peut s'apparenter à la recherche d'un invariant comme dans le corps de l'itération, en revanche les difficultés liées au contrôle et, dans une moindre mesure à l'initialisation, disparaissent. Nous faisons cependant l'hypothèse que la découverte de l'invariant constitue le principal obstacle dans la mise en place de la réplication. C'est ce que nous cherchons à mettre en évidence dans la situation "tables numériques"(séance 5) que nous décrivons ici.

## 1.1.LA SITUATION "TABLES NUMERIQUES"

Il s'agit de faire construire par les élèves un tableau de nombres comprenant un grand nombre de cellules et mettant en évidence le caractère dynamique de Multiplan : c'est-à-dire la possibilité d'obtenir par la modification d'une cellule une réactualisation complète des valeurs affichées dans le tableau. Cette possibilité de Multiplan représente une économie importante qui peut être reconnue par les élèves et donc qui peut justifier leur investissement dans la résolution du problème qui est proposé. La mise en œuvre d'un modèle répliatif est nécessaire ici et nous voulions proposer une situation où les élèves soient confrontés à sa mise en place.

La tâche consiste à construire une feuille de calcul permettant d'obtenir des tables de valeurs numériques donnant sur une même page une liste d'entiers consécutifs, leurs carrés, leurs cubes et leurs racines carrées. Par exemple la table représentée par la figure 4-3 est obtenue en écrivant 1500 dans la cellule L2C1, ce qu'on peut observer dans la barre d'édition qui contient alors un nombre et non une formule .

Nous avons montré aux élèves, sur un Macintosh, le produit fini qu'ils devaient réaliser : nous avons pour cela produit devant eux plusieurs tables numériques en modifiant seulement le nombre de la cellule L2C1 sans qu'ils aient la possibilité de voir les formules qui permettaient ce fonctionnement. Nous avons voulu éviter en procédant ainsi que les élèves se contentent de saisir les entiers de la colonne 1 au clavier, l'un après l'autre, et obtiennent une table de valeurs «fixe».

Nous attendions des élèves qu'ils construisent un tableau dont un extrait est représenté par la figure 4-5 (il s'agit ici des formules de calcul qu'une option du logiciel permet d'afficher dans les cellules à la place des valeurs calculées) .

Les relations entre les cellules étant définies correctement (Figure 4-3), le contenu d'une table est déterminé par la donnée du premier nombre, ici 1500. En modifiant seulement ce nombre on obtient une table différente.

## 1.2.ANALYSE A PRIORI

Cette situation doit amener les élèves à se poser les questions suivantes :

Comment s'actualisent les valeurs sur une ligne ?

Comment s'actualisent les valeurs sur les différentes lignes ?

Ce qui conduit à :

Comment sont liés entre eux les éléments d'une ligne ?

Comment sont liées entre elles les lignes ?

Ces relations relèvent d'une analyse du problème au niveau algébrique et elles utilisent l'économie que représentent les références relatives. Celles-ci permettent d'écrire une seule formule recopiable sur chaque ligne pour les calculs des carrés, cubes et racines carrées, et aussi de générer la première colonne d'entiers consécutifs par réplication de la même formule.

L2C1		1500		
TABLE				
	1	2	3	4
1		CARRES:	CUBES:	RACINES CARREE
2	1500	2250000	3375000000	38.729833462074
3	1501	2253001	3381754501	38.742741255621
4	1502	2256004	3388518008	38.755644750152
5	1503	2259009	3395290527	38.76854394996
6	1504	2262016	3402072064	38.78143885933
7	1505	2265025	3408862625	38.794329482541
8	1506	2268036	3415662216	38.8072215927864

Figure 4-3

La tâche peut se décomposer en deux sous-tâches de complexités différentes. Nous les présentons ici dans l'ordre de difficulté qu'elles peuvent présenter pour les élèves sans préjuger de l'ordre dans lequel ils traiteront les différentes parties de ce problème. La figure 4-4 illustre le "calcul horizontal" qui permet d'obtenir les éléments d'une même ligne, et correspond à l'expression algébrique de fonctions, et la réplication qui permet de générer la colonne des entiers consécutifs.

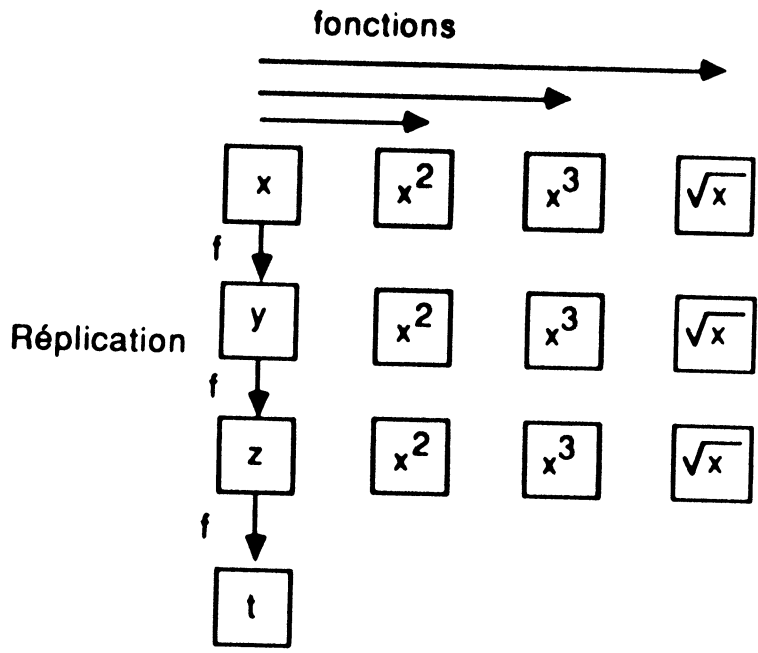


Figure 4-4

1.2.1. LE CALCUL HORIZONTAL

Ce premier sous-problème consiste à écrire les formules donnant à partir de la cellule L2C1 (Figure 4-5) le carré, le cube et la racine carrée du contenu de cette cellule.

Les élèves doivent construire les formules des cellules L2C2, L2C3 et L2C4.

TABLE				
	1	2	3	
1		CARRES	CUBES	RACINES CARREES
2	1500	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-1)*LC(-2)	=RACINE(LC(-3))
3	=L(-1)C+1	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-1)*LC(-2)	=RACINE(LC(-3))
4	=L(-1)C+1	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-1)*LC(-2)	=RACINE(LC(-3))
5	=L(-1)C+1	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-1)*LC(-2)	=RACINE(LC(-3))

Figure 4-5

Cette partie de la tâche n'est pas analysée ici.

## 1.2.2. LA REPLICATION

Dans la construction de la première colonne que nous appellerons «colonne compteur» il faut découvrir la formule qui va être répliquée et permettre ainsi de construire la suite des entiers consécutifs de telle façon que la modification de la première cellule entraîne la modification de la colonne entière. L'élève doit tout d'abord identifier l'aspect dynamique de la tâche. C'est ce que nous avons tenté d'obtenir en présentant une démonstration du produit fini. La dévolution de la tâche passe par la reconnaissance par les élèves de cet aspect dynamique des tables qu'ils construisent.

La complexité vient de la construction de la relation qui génère les entiers. La première colonne ne peut pas être éditée par une simple saisie de valeurs. L'élève doit construire un ensemble de formules implantées dans les cellules de la première colonne, à l'exception de la première. Pour pouvoir répliquer cette formule, il faut construire une formule identique dans toutes ces cellules, c'est-à-dire découvrir un invariant qui caractérise la relation entre une cellule et la précédente. Nous assimilons la découverte de cette relation à celle d'une fonction (au sens mathématique du terme) qui permet de générer la suite des nombres. Il y a là un changement de niveau important et délicat de même nature que celui décrit par Rogalski et Vergnaud (1987) à propos de l'itération où "les valeurs successives de la variable au cours de l'exécution sont prises comme un tout : la relation fonctionnelle. Et c'est sur cette fonction qu'il faut raisonner". Dans le cas de la réplication, la différence majeure avec l'itération réside dans l'affichage effectif des valeurs. la variable disparaît au profit de la liste des valeurs qui est affichée. Il s'agit en quelque sorte d'une "itération déroulée". C'est la découverte de cette relation identique d'une ligne à l'autre mais agissant chaque fois sur des valeurs différentes qui constitue le moteur du processus. Sa recherche est suffisamment délicate pour créer des difficultés importantes aux élèves comme nous avons pu l'observer au cours de la pré-expérimentation.

On peut envisager que faute de découvrir cet invariant les élèves en restent à l'édition d'une colonne fixe ou bien feront appel à des compétences de la machine qui résoudraient le problème. Cet appel à des compétences de la machine peut se situer soit au niveau de commandes disponibles dans des menus, comme "calculer automatiquement", soit dans l'utilisation de fonctions ou de commandes existantes comme "la recopie vers le bas".

La plus grande familiarité des élèves avec le logiciel que lors de la pré-expérimentation devait permettre de faire disparaître la plupart des difficultés liées à la maîtrise élémentaire du logiciel et d'observer la mise en place des relations nécessaires à la réplique pour la construction de la première colonne.

### **1.3.COMPTE RENDU DES OBSERVATIONS**

#### **1.3.1.STRATEGIES DES ELEVES**

Les observations réalisés montrent que la dévolution du problème a bien été réalisée par la présentation de l'objet fini. La caractéristique dynamique de la feuille de calcul à créer a été prise en compte par tous les élèves. C'est d'ailleurs la réalisation de cette partie de la tâche qui a été la plus difficile. Nous avons résumé dans le tableau de la Figure 4-6 les stratégies de tous les élèves au cours de cette séance.

Ce tableau indique que seules Mylène et Nadia ont à la fois anticipé la création de la formule pour la réplique de la colonne compteur et l'ont mise en place sans difficulté, à l'exception de la recopie qu'elles n'ont utilisée qu'à la sollicitation du professeur. Michèle et Cécile donnent aussi d'emblée une formule à implanter dans la première colonne mais elles n'ont pas pu la mettre en place. La création d'une première colonne fixe<sup>1</sup> est une étape par laquelle sont passés tous les élèves à l'exception de Mylène et Nadia. Les difficultés principales se sont concentrées pour ces binômes dans la recherche soit d'une formule soit de compétences de la machine qui pourraient créer la colonne compteur. A l'exception de Gilles et Franco qui n'ont pas découvert d'invariant et de Christophe et Alexandre qui n'ont pas pu terminer en raison de difficultés d'initialisation, les autres élèves ont effectivement réalisé la feuille de calcul demandée.

#### **1.3.2.APPEL A DES COMPETENCES DE LA MACHINE**

Nous désignons par ce terme les tentatives des élèves qui consistent à rechercher pour créer une suite d'entiers consécutifs une commande ad-hoc dans les menus, une fonction ou même une prise en compte implicite du problème à résoudre par la machine. Nous considérons que ce type de comportement est

---

<sup>1</sup>Nous appelons ici colonne fixe une première colonne où les contenus numériques des cellules sont saisis au clavier et non générés par une formule répliquée.

- I Anticipation de la colonne compteur
- II Recherche d'une formule pour la colonne compteur et échec
- III Appel à des compétences de la machine
- IV Construction d'une colonne fixe
- V Construction des formules pour les carrés, cubes, racine carrée
- VI Edition des formules du V sans recopie
- VII Recopie des formules du V
- VIII Edition de la formule de réplication
- IX Réplication complète (initialisation et Recopie)
- P indique des interventions décisives du professeur

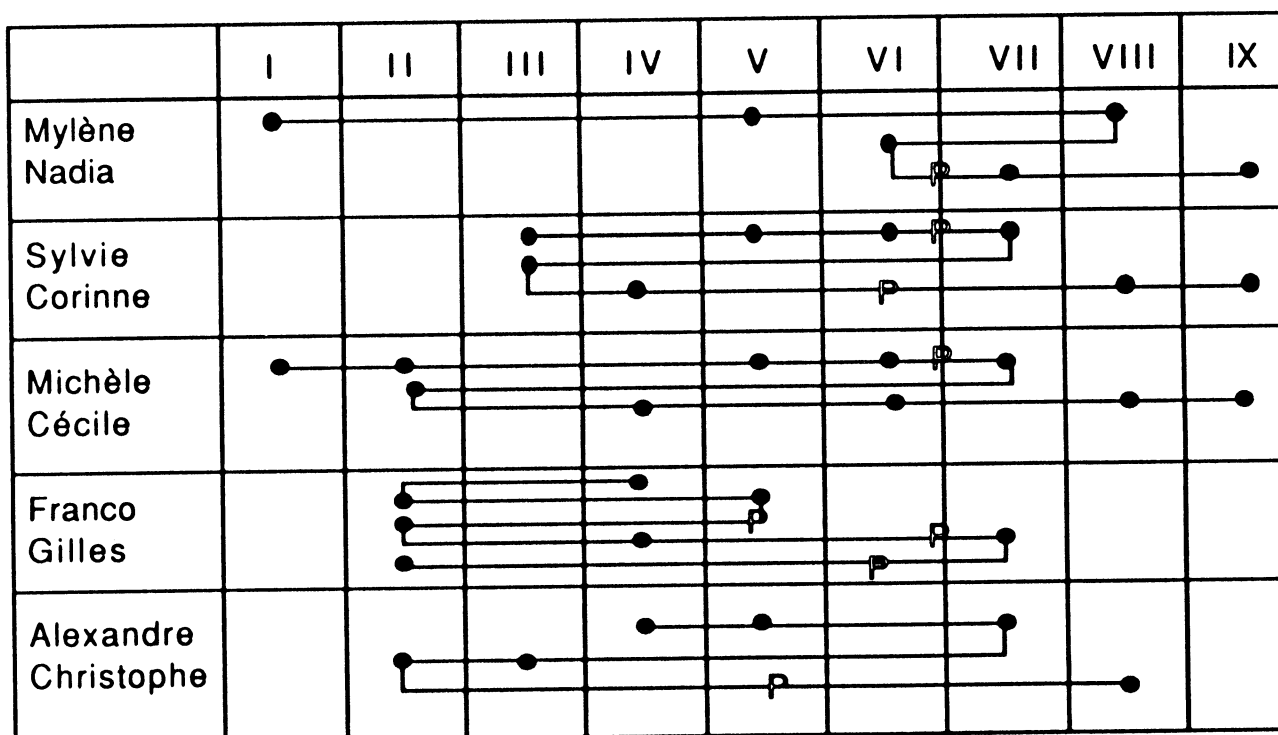


Figure 4-6

l'indice d'une faible appropriation du rôle de la formule dans la construction de la feuille de calcul. En effet la recherche d'une table numérique dynamique ne peut passer que par la construction d'un ensemble de formules qui établissent les relations adéquates entre les cellules. De ce point de vue, le protocole de Sylvie et Corinne est typique :

Au début du travail Sylvie tape 50 dans L2C1 (Figure 4-7)

1. Sylvie ... *faut tout...*



2. Corinne *non, c'est pas pour que ça s'affiche tout seul, mais c'est pas sûr que si nous on met 50,51,52,53,54... qu'après quand on mettra un nombre ici [elle montre L2C1], ça sera tout consécutif*
3. Sylvie *ben on va voir... [elle tape 51,et 52 en dessous dans la colonne 1]*

L3C1		51		
sans titre				
	1	2	3	4
1		carré	cubes	racines carrés
2	50			
3	51			
4	52			

Figure 4-7

4. Corinne *mais ouais, mais ça va pas se calculer tout seul !*
5. Sylvie *mais non mais c'est pour voir, si après ça revient là ... on met 20 et puis on voit si les autres y changent ... [elle tape 20 dans L2C1]...non ça y change pas .*
6. Corinne *oui mais c'est quand tout ça ça y sera ... quand on aura fait le carré qu'on pourra regarder, pas avant ... quand on aura calculé tout ça après on regarde si ça change ou pas ... parce que la dernière fois quand on avait plein de trucs c'est toutes les colonnes qui changeaient... au départ c'était pas ...*
7. Sylvie *toutes les colonnes où il y avait des choses , tu sais après on mettra ça multiplié par ...*
8. Corinne *ce que je te propose de faire, d'abord on calcule ça... là...là et là... et après on regarde si ça change ...*

Elles éditent les formules de calcul pour le carré, le cube et la racine carrée puis font un essai de modification :

9. Sylvie *on va voir là, tape 51 ... et ben non c'est pas ça.*

Ces deux élèves envisagent que sans implanter de formules pour la première colonne il y aura des modifications automatiques. Sylvie essaye dès le début (5) mais Corinne pense qu'il faut qu'il y ait d'autres formules pour que cela se produise. La même idée est présente chez Gilles qui après l'édition de la formule du carré modifie le contenu de la cellule L2C1 qui contient 51 :

- Gilles *à la place de 51 on va essayer ... marque n'importe quoi ... 34... entrée ... pof... ça marche pas ... c'est pas grave*

On rencontre ici une conception particulière de la formule que l'on retrouvera ailleurs (reversibilité Chapitre 5) : une formule peut modifier les contenus de

cellules autres que celles où elle est implantée. Nous faisons l'hypothèse que cette conception se construit à partir de deux caractéristiques importantes du tableur : le recalcul automatique et la priorité à l'affichage des valeurs. En effet, s'il est vrai que la modification du contenu numérique d'une cellule peut entraîner la modification d'autres contenus de cellules (ce qu'observe Corinne en parlant de la dernière séance<sup>1</sup> (6) ), par contre il est nécessaire pour que cela se produise que des formules fassent référence à la cellule modifiée. Corinne ne reconnaît pas le rôle que joue chaque formule dans cette modification apparente du tableau. C'est pourquoi, bien qu'elle ne pense pas qu'il puisse y avoir recalcul sans formules, (4) elle peut envisager (6) que la création de quelques formules pour les calculs des carrés et cubes puisse entraîner des modifications dans la première colonne. Corinne et Sylvie attribuent ainsi au dispositif des compétences particulières pour essayer de résoudre leur problème. Leur premier échec va d'ailleurs les conduire à la recherche d'autres compétences de la machine :

Corinne *peut-être que c'est dans une liste, que c'est marqué consécutif... je sais pas quoi... ça doit être dans un dossier... [.....] il y a peut-être un truc nombres consécutifs ... ça doit bien être quelque chose ...*

Elle envisage de trouver une fonction ou un menu. Mais la première question qu'elle pose au professeur concerne l'utilisation d'une formule ou d'une commande :

Corinne *Pour que les nombres soient consécutifs, c'est une formule où il faut qu'on cherche dans un truc ?*

Le professeur lui indiquera qu'elle doit chercher une formule plutôt qu'une commande ou fonction spéciale. La stratégie de Corinne est remarquable dans la mesure où pour créer une colonne de valeurs elle ne pense pas d'abord à une formule mais plutôt à un outil spécifique disponible dans un menu. Ce comportement n'est pas rare chez les élèves. Il pose un problème dans la mesure où il interfère dans le tableur avec ce qui ne peut relever que de la création de relations entre les cellules, c'est-à-dire de la construction de formules. Il pourrait éventuellement exister dans le tableur des fonctions spéciales qui permettraient de faire ce type de calcul, mais de toute façon on ne pourrait alors échapper à la nécessité de fournir la liste des cellules concernées et l'incrément que l'on souhaite voir appliquer.

---

<sup>1</sup>Elle fait ici référence à la tâche "Fiches de paye" (séance 4).

### 1.3.3.UTILISATION DE LA RECOPIE

L'utilisation de la commande **recopier vers le bas** est nécessaire à une mise en œuvre rapide de la réplique. Sans être indispensable - il serait possible d'éditer les formules une à une - elle permet d'éditer tout le tableau à partir des formules en tête des colonnes. Le tableau de la figure 4-6 permet de remarquer que l'intervention du professeur a été nécessaire chez tous les élèves, sauf Alexandre et Christophe, soit pour qu'ils utilisent cette commande soit pour qu'ils arrivent à l'utiliser correctement. Nous nous intéresserons seulement ici aux aspects de la recopie qui interfèrent avec la création de l'invariant en particulier quand la recopie est considérée comme pouvant générer la suite des entiers. Nous avons par exemple observé chez Christophe une utilisation ad hoc de la recopie. Pour lui, sans écrire de formule le logiciel va générer automatiquement la suite des entiers dans la première colonne :

1. Christophe *attends ... p'têt recopier vers le bas*
2. Alexandre *tu veux recopier quoi ?*
3. Christophe *je veux voir quelque chose*
4. Alexandre *ben ça va faire partout 50*
5. Christophe *c'est pas dit ! c'est p'têt pas dit... on peut essayer on a rien à perdre ... Ah la la ! [ il a obtenu 50 dans toute les cellules de la colonne 1] attends il y a peut-être un moyen , c'est de les mettre par ordre ... on essaye de trouver un truc pour les mettre dans l'ordre de 1 à ... qui mettrait 50 jusqu'à 92 ... qui les mettrait...*

Pour Christophe la recopie vers le bas est capable de générer automatiquement la colonne d'entiers consécutifs. Par contre Alexandre envisage bien ce que va effectivement réaliser le dispositif dans ce cas là (4). Christophe envisage même un tri ("*mettre par ordre*" ) mais ne le mettra pas en œuvre.

### 1.3.4.LA CONSTRUCTION DE LA REPLICATION

#### 1.3.4.1. VARIABLES

Dans la construction de la réplique il faut envisager les cellules indépendamment de leur contenu et il est impossible de construire le processus si la formule n'est pas construite à l'aide d'une désignation de cellule. Nous avons noté au chapitre 3 les formules très particulières construites par Christophe et Alexandre (Figure 3-6) avec une simple description d'un calcul qui fait intervenir des nombres

sans désignation de cellules La recherche de Christophe comporte encore le même type de construction de formules :

1. Professeur *vous pourriez chercher comment on trouve 51 quand on connaît 50*
2. Christophe *c'est plus 1 ... attends je vais voir quelque chose ... [il tape la formule = 49 + 1 et obtient 50 dans la cellule L2C2]*
3. Alexandre *quoi 50 ? [en riant pour se moquer de Christophe]*
4. Christophe *non... non... ça serait cette case ...*
5. Alexandre *Maintenant tu fais 49 + 2 pour trouver 51 [il continue à rire]*
6. Christophe *peut-être qu'en ajoutant chaque cellule plus 1 ...*

Ils abandonnent ensuite pour chercher dans les menus une commande qui les aiderait à résoudre le problème. Alexandre ne propose rien mais n'accepte pas les propositions de Christophe, il propose par dérision de continuer (5) pour remplir la colonne alors que Christophe énonce la relation qu'il ne peut pas mettre en place en raison du type de description du calcul qu'il propose. Il tentera même une recopie de la formule = 50 + 1 toujours sans désignation de contenus de cellules :

1. Christophe *attends on va voir quelque chose ... recopier vers le bas ... et ça marche pas là !*
2. Alexandre *c'est normal que ça marche pas ... mais ça fera 51 de partout ... hein...*
3. Christophe *justement*
4. Alexandre *c'est ce qui t'intéresse ?*
5. Christophe *j'aimerais voir si ça marche déjà...*

Ils copient et obtiennent 51 dans la colonne. Christophe ne tient pas compte des arguments et de la prévision d'Alexandre, ses tentatives relèvent en partie d'une stratégie d'essais-erreurs. Il parviendra cependant à résoudre le problème en posant la question en termes de modifications du contenu des cellules :

Alexandre *tu fais 49 plus 1*  
 Christophe *mais ça changera pas, pour le nombre après, si tu changes le nombre ça fera toujours 49 plus 1 Pfff... je mets un autre nombre ... cette case, mais comment on la marque cette case ? ... c'est cette case plus 1...*

On retrouve ici une illustration de ce que Bonar et Soloway (1985) ont mis en évidence à propos de la distance entre l'expression langagière de la relation et sa mise en place sur le dispositif.

#### 1.3.4.2. *DECOUPAGE EN ACTIONS ELEMENTAIRES ET INVARIANT*

La répliation comme l'itération se construit à partir d'une conception globale de l'action à entreprendre puis par le découpage en actions élémentaires qui doit

mettre en évidence un invariant. Il s'agit en particulier ici de prendre en compte l'existence d'une même formule implantée dans chaque cellule de la colonne à l'exception de la première qui contient une valeur qui initialise le processus. Chez Mylène, dès le début, l'expression de l'invariant que constitue cette formule ne permet pas de voir comment elle le construit. En revanche le protocole de Michèle et Cécile nous apporte un éclairage sur la nécessité du découpage en actions élémentaires.

1. Michèle *Il faut une formule*
2. Cécile *Plus 1*
3. Michèle *ben oui... il faut trouver une formule à chaque fois c'est plus 1 tout le long... mets toi dans 10 ... reste appuyé... descends ... 53... lâche [Cécile a sélectionné la première colonne où seule L2C1 contient la valeur 10] ... dans 54 on met la formule non ? [elle parle de la cellule C1 , en bas de la colonne sélectionnée ].*
4. Cécile *on la met maintenant, égal...*
5. Michèle *on l'écrit comme ça ?*
6. Cécile *si... si ... égal*
7. Michèle *mais tu te rends compte ça ferait ... ça plus 1 ...*
8. Cécile *égal*
9. Michèle *ah mais je sais ça y est*
10. Cécile *on fait L, on ouvre les crochets ...*
11. Michèle *non tu sais ce qu'on fait, on revient au début... on se met là... tu mets 10 là ... voilà après tu vas dans l'autre et tu mets plus 1... non c'est pas ça*
12. Cécile *non c'est pas ça ... je sais pas ce qu'on fait là*
13. Professeur *Qu'est ce que tu fais ?*
14. Cécile *et ben on veut mettre une formule pour mettre plus 1 mais on sait pas comment s'y prendre*
15. Professeur *tu as mis égal là ?*
16. Cécile *oui*
17. Professeur *ton idée c'était quoi là ?*
18. Cécile *de marquer L plus 1 C ... enfin je sais pas ... ou bien C*
19. Professeur *c'est à quoi que tu veux ajouter 1 ?*
20. Cécile *ben à 10 ! et ajouter 1 tout le long*

L'expression de la relation en langue naturelle "ajouter 1 partout" (3 et 20) n'est pas suffisante pour que la formule soit implantée par les élèves. La première tentative consiste à créer une formule qui serait en bas de la colonne, à la ligne 54, qui exprimerait qu'on ajoute 1 à chaque élément de la colonne. (1 à 10). Nous considérons ce type de formulation comme un indice d'une conception globale de la tâche sans que chaque cellule soit considérée individuellement. Il manque ici une analyse du rôle de chaque cellule dans la construction du processus.

Devant l'échec de cette tentative, Michèle (11) propose alors d'implanter une formule dans L3C2 qui décrirait le calcul  $L2C1 + 1$ , c'est-à-dire qu'elle réalise le découpage qui permettra la réplique. Mais Cécile n'a pas suivi Michèle, et interrogée par le professeur sur ce que Michèle voulait faire, en reste à sa

description globale "ajouter 1 tout le long" <sup>1</sup>. Bien qu'il semble que Michèle soit en mesure de construire la formule, elles abandonnent et passent au calcul horizontal.

Cécile est confrontée à la difficulté du passage d'une description globale en langue naturelle du calcul - "on ajoute 1 tout le long" - au découpage en un ensemble de formules identiques implantées dans chaque cellule.

Christophe se trouve dans une situation du même type quand, après l'échec décrit au paragraphe précédent, il dit :

Christophe            *50 ça serait... toutes ces cases plus 1... je sais pas si tu peux faire un calcul comme ça ?*

Il donne aussi une description globale dans la mesure où on peut penser qu'il analyse que c'est ajoutant 1 qu'on obtient une description de la suite des entiers, mais la lecture qu'il en fait ne lui permet pas de voir comment cette description globale d'un processus peut lui permettre de trouver comment l'implanter sur le dispositif bien que dans une deuxième phase il décrive le découpage.

Pour nous, les difficultés rencontrées par Cécile et de Christophe sont de même nature.

Le découpage réalisé par les élèves sous la sollicitation du professeur peut ne pas être une formule recopiable. Franco et Gilles ont entendu beaucoup d'élèves autour d'eux dire qu'il fallait ajouter 50 et 1. Le professeur les aide à éditer la première formule de la colonne dans L3C1 puis les interroge sur la formule à éditer dans la cellule L4C1 (Figure 4-10)

1. Professeur    *tu vois qu'ici le nombre est obtenu à partir d'une formule ... comment calculer 52 automatiquement ?*
2. Franco        *avec 51 + 1*
3. Professeur    *je crois que vous avez compris*
4. Franco        *non je crois pas*
5. Gilles         *non !*
6. Professeur    *Gilles tu as vu ce qu'il a fait pour 51 ?*
7. Gilles         *il a fait 50 plus 1*
8. Professeur    *et pour 52 on mettra ?*
9. Gilles         *50 plus 2 !*
10. Professeur   *tu es sûr 50 ?*
11. Franco        *51 plus 1 ...*
12. Professeur   *ça va être celui ci 51... plus 1...*

---

<sup>1</sup>Elle se pose aussi des problèmes d'initialisation sur lesquels nous reviendront plus loin.

	1	2	3	4
1		carre	cubes	racines carres
2	50	2500	125000	7,0710678118655
3	51	2601	132651	7,1414284285428
4	52	2704	140608	7,211102550928
5	53	2809	148877	7,2801098892805
6	54	2916	157464	7,3484692283495
7	55	3025	166375	7,4161084870056

	1	2	3	
1		carre	cubes	racines carres
2	50	=LC[-1]*LC[-1]	=LC[-2]*LC[-1]	=RACINE(LC[-3])
3	=L[-1]C+1	=LC[-1]*LC[-1]	=LC[-2]*LC[-1]	=RACINE(LC[-3])
4	=L[-1]C+1	=LC[-1]*LC[-1]	=LC[-2]*LC[-1]	=RACINE(LC[-3])
5	=L[-3]C+3	=LC[-1]*LC[-1]	=LC[-2]*LC[-1]	=RACINE(LC[-3])
6	=L[-4]C+4	=LC[-1]*LC[-1]	=LC[-2]*LC[-1]	=RACINE(LC[-3])
7	55	=LC[-1]*LC[-1]	=LC[-2]*LC[-1]	=RACINE(LC[-3])

Figure 4-10 (valeurs et formules)

Mais, ils éditeront ensuite la formule  $L[-3]C+3$  dans L5C1 puis  $L[-4]C+4$  dans L6C1. Même la solution fournie par le professeur n'a pas permis à Gilles et Franco de s'approprier le fonctionnement du processus à l'aide d'un invariant que l'on peut recopier. Les valeurs obtenues sont correctes, elles se modifient bien avec la première valeur de la colonne, mais la formule ne peut pas être répliquée.

C'est cependant le découpage en actions élémentaires qui permettra d'arriver à la construction de la colonne par réplication. Ainsi Christophe passera de la description globale à la description du calcul d'une cellule à l'autre en descendant dans la colonne.

Christophe *...alors que ce soit tous ces nombres plus 1 ... c'est celui là plus 1...celui là plus 1... celui là plus 1... mais ça on peut pas le faire ...*

Il sera cependant bloqué par les problèmes de désignation décrits plus haut. Le professeur devra l'aider à les résoudre.

### 1.3.4.3. INITIALISATION

L'initialisation du processus pose problème. Nous avons pu l'observer chez trois binômes. Cécile après avoir envisagé une solution globale (cf § découpage en actions élémentaires) interroge le professeur sur l'implantation des formules et en particulier sur la première cellule de la colonne 1 qui contient à ce moment là la valeur 10, sans formule de calcul.

1. Cécile *mais le 10 on le laisse tout seul comme ça ?*
2. Professeur *c'est le seul nombre*
3. Cécile *la formule on la marque en ayant la case active ici ?*
4. Professeur *quand tu écris la formule ici, il faut bien que ce soit celle ci qui soit active !*
5. Cécile *mais je veux dire le 10 on s'en occupe plus maintenant*
6. Professeur *écris ta formule*

Cécile se pose la question de savoir si elle doit éditer une formule dans la première cellule. C'est le problème de l'initialisation de la suite des entiers. La même difficulté se retrouve chez Christophe et Alexandre qui éditent la formule = 50 + 1 dans la cellule L2C1 :

- Christophe *merde ça fait 51 !...*  
Alexandre *là il faut l'enlever parce que c'est 50 normalement*  
Christophe *je vais mettre 49 plus 1*

Christophe, au lieu de mettre une valeur qui initialise le processus, cherche toujours à mettre une formule dans la cellule d'initialisation de la suite des entiers.

Sylvie et Corinne ont construit une formule et l'on répliquée de la cellule L4C1 jusqu'en bas de la colonne 1 (Figure 4-11). Mais les deux cellules du haut de la colonne 1 ne contiennent que les valeurs numériques 50 et 51 :

1. Corinne *oui mais comme on a commencé à partir de là [elle montre L3C1] faut pas... il faudrait commencer à partir de 50*
2. Sylvie *On va voir là [L3C1] là je mets 20... ça m'étonnerait que ça marche mais enfin...*
3. Corinne *si ça marche !*
4. Sylvie *ouais mais t'as vu j'ai pas fait 50*
5. Corinne *justement il faut mettre 50 ... et il faut faire à partir de 50... remonter à ce truc là haut ...*
6. Sylvie *j'essaye là de mettre 20... [dans L2C1] t'as vu ça ne fait rien*
7. Corinne *parce que nous on a commencé à faire notre formule sur 51... on recommence et on fait la formule sur 20 [L2C1]*
8. Sylvie *et on fait quoi comme formule ?*
9. Corinne *on met 50 plus 1*



10. Sylvie

*mais ça te fait 51 après là ! à moins qu'on met 50 plus zéro ... attends*

TI			
	1	2	3
1		CARRES	CUBES
2	50	2500	125000
3	51	2601	132651
4	52	2704	140608

TF			
	1	2	
1		CARRES	CUBES
2	50	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-2)*LC
3	51	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-2)*LC
4	=L(-1)C+1	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-2)*LC
5	=L(-1)C+1	=LC(-1)*LC(-1)	=LC(-2)*LC

Figure 4-11 (Valeurs et formules)

- 11. Corinne
- 12. Sylvie
- 13. Corinne
- 14. Sylvie

*maintenant on a tous les autres mais on a pas celle là en essayant 50 plus zéro après ça fera 50 plus zéro et puis on fera tout ça*  
*Mais ça n'ira pas , c'est pas la peine d'essayer ... si tu mets le égal là après le 50 il disparaît ... c'est pour ça que l'autre marchait ... si tu mets égal et que tu veux faire 50 alors tu appuies là et le 50 il y est plus tu as que LC ... faut avoir un truc pour s'appuyer dessus moi je dis ... c'est normal qu'on arrive pas ... on pourra pas faire le calcul si quand tu mets égal après ça efface ...*

Elles n'ont pas identifié que leurs difficultés proviennent de la cellule L3C1 qui ne contient pas de formule. Elles sont persuadées qu'elle en contient une et n'ont pas cherché à le vérifier. L'analyse que fait Sylvie la conduit à prendre en compte l'initialisation du processus qui ne peut pas être faite par une formule.

#### 1.3.4.4. REFERENCES CIRCULAIRES

Christophe et Alexandre ont édité les formules pour le calcul des carrés, cubes et racines carrées dans les colonnes 2,3 et 4. La colonne 1 contient sur plus de 40 lignes des valeurs seules qu'ils ont obtenues par saisie ou "recopie vers le bas". (Figure 4-12).

ALCH 4				
	1	2	3	4
1		CARRES	CUBES	RACINES CARREES
2	50	2500	125000	7,0710678118655
3	51	2601	132651	7,1414284285428
4	50	2500	125000	7,0710678118655
5	50	2500	125000	7,0710678118655
6	50	2500	125000	7,0710678118655

ALCH 4				
	1	2	3	4
1		CARRES	CUBES	RACINES CARREES
2	50	= $(LC[-1]*LC[-1])$	= $(LC[-2]*LC[-2]*LC[-2])$	= $RACINE(LC[-3])$
3	51	= $SOMME(LC[-1]*LC[-1])$	= $(LC[-2]*LC[-2]*LC[-2])$	= $RACINE(LC[-3])$
4	50	= $SOMME(LC[-1]*LC[-1])$	= $(LC[-2]*LC[-2]*LC[-2])$	= $RACINE(LC[-3])$
5	50	= $SOMME(LC[-1]*LC[-1])$	= $(LC[-2]*LC[-2]*LC[-2])$	= $RACINE(LC[-3])$
6	50	= $(LC[-1]*LC[-1])$	= $(LC[-2]*LC[-2]*LC[-2])$	= $RACINE(LC[-3])$

Figure 4-12 (Formules et valeurs)

- Christophe *j'ai une p'tite idée ... carré là ça serait* [il édite la formule = $LC[+1]/50$  dans L2C1 et obtient le message "impossible de résoudre les références circulaires"]
- Alexandre *essaye les racines et puis tu fais... mais non c'est jamais exact les racines... sinon tu fais racine par racine*
- Christophe *ça sera jamais exact ...*
- Alexandre *efface 50 et fait égal ...*
- Christophe *multiplié par 50 !*
- Alexandre *par ça aussi*
- Christophe *ça colle pas ferme la parenthèse* [ils ont édité la formule = $LC[+3]*LC[+3]$  dans L2C1 ]
- Alexandre *voilà une nouvelle façon de trouver 50 ! et hop* [il valide et obtient le message "impossible de résoudre les références circulaires"] *ça veut dire quoi ça ? ça veut dire quoi "impossible de résoudre les références circulaires" ?*
- Christophe *je sais pas moi*

La première tentative de Christophe consiste à diviser par 2 pour obtenir la racine, ce qui correspond à une conception de la racine carrée encore fréquente chez les élèves à ce niveau (Assude 1989). Le message qu'il obtient le pousse à changer la formule en prenant le carré de la racine carrée. Il définit ainsi des références circulaires que le dispositif ne prend pas en compte puisque le mode de calcul "itérer" n'est pas sélectionné. A ce stade de l'apprentissage, ces élèves ne peuvent donner de sens à ce message et appelleront le professeur pour résoudre cette difficulté. La double tentative de Christophe et Alexandre consiste après avoir calculé le carré de 50 à chercher à retrouver 50 en calculant la racine carrée qu'ils viennent d'obtenir. Ils ne prennent en compte, ni la disparition, au moment de l'édition de la formule, de la valeur 50 de la cellule L2C1, ni le modèle circulaire qu'ils construisent. Ils tentent de calculer 50 à l'aide d'une formule mais il est

difficile de dire s'ils ne font qu'un essai ad hoc pour la cellule L2C1 pour trouver seulement 50 ou s'il s'agit du début d'une construction qui aurait concerné toute les colonnes pour créer la colonne compteur. Nous pensons que la deuxième hypothèse peut s'appuyer sur l'existence, au moment de leur travail de toutes les formules dans les colonnes 2,3 et 4 (Figure 4-12) dans la mesure où la présence de valeurs affichées dans ces colonnes les conduirait à calculer l'ensemble de la colonne par ce procédé.

Notre analyse nous conduit également à considérer la procédure de Christophe et Alexandre comme une conséquence de la priorité accordée dans le logiciel aux résultats calculés qui leur fait négliger le type de contenu de la cellule (valeur seule ou résultat calculé par une formule).

#### 1.3.4.5. RELATION ENTRE LES CARRÉS

Cécile et Michèle ont essayé de découvrir une relation entre les carrés pour obtenir par réplication la colonne des carrés :

Cécile	<i>là on retape les formules ... on recommence tout comme on a fait ici ?</i>
Michèle	<i>on va pas faire ça à chaque fois... il faut trouver une fonction que ça rajoute 1 à chaque fois [elle montre la colonne des carrés]</i>
Professeur	<i>ça on peut pas le faire ...</i>

Ce que propose Michèle c'est de découvrir une relation entre deux carrés d'entiers consécutifs, c'est-à-dire une relation entre  $x^2$  et  $(x+1)^2$  qui permettrait une réplication dans la colonne 2. Le rôle de la colonne d'entiers consécutifs n'est pas bien identifié par Michèle dans la construction de la feuille de calcul. L'intervention du professeur ne permettra pas que cette voie soit explorée par ces élèves.

#### 1.3.5.CONCLUSION

L'appel à des compétences du dispositif pour résoudre le problème de la construction de la colonne compteur est encore important. Et les échecs nombreux dans cette construction conduisent les élèves à la mise en place de simples valeurs saisies au clavier.

La construction de la réplication passe par des étapes voisines de ce que l'analyse a priori laissait prévoir, c'est-à-dire le découpage en actions élémentaires, qui ne va d'ailleurs pas toujours de soi, mais aussi des problèmes d'initialisation que nous n'avions pas prévus. On retrouve dans la construction de la réplication ces deux caractéristiques déjà observées dans d'autres travaux (Mejias 86) à propos de

l'itération. Nous avons pu observer que, de ce point de vue, la construction de la réplique s'apparente à celle de l'itération et a nécessité une étude des relations qui lient les cellules pour faire apparaître l'invariant qui permettra la copie. La découverte de cet invariant ne va pas de soi ainsi que l'attestent les échecs de plusieurs élèves. Les stratégies mettant en œuvre le calcul circulaire ou la recherche d'une relation entre les carrés manifestent par ailleurs une absence de contrôle de la structure de la feuille de calcul à construire. Notons enfin que nous retrouvons la distance importante entre les expressions langagières qui décrivent la tâche de manière globale et l'implantation effective sur le dispositif.

## **2. CONSTRUCTION D'UN PROCESSUS ITERATIF**

La construction par les élèves d'une itération dans le cadre de Multiplan faisait partie des objectifs de formation que nous avons établis. Nous ne considérons pas que ce concept soit indispensable dans une première initiation à Multiplan, mais les travaux menés par d'autres chercheurs nous permettaient de faire une analyse plus précise des caractéristiques de l'environnement de programmation dans Multiplan. Nous nous sommes en particulier appuyés sur les travaux de B. Mejias (1987), Rouchier et Al (1983) et Rogalski (1985).

### **2.1. TRAVAUX EXISTANTS**

Notre étude porte sur des élèves ou des adultes débutants ou du moins considérés comme n'étant pas des experts dans le domaine de l'utilisation des tableurs. Nous avons appuyé notre analyse conceptuelle sur les travaux de B. Mejias que nous ne reprendrons pas ici. C'est à partir des recherches de Rouchier, Rogalski et Samurçay que nous avons dégagé les éléments nécessaires à la construction d'une situation d'itération dans l'environnement Multiplan. En effet c'est au cours d'une expérimentation en classe de seconde des Lycées que ces chercheurs ont dégagé des éléments caractérisant une situation d'alphabétisation informatique en incluant la construction d'un programme en Pascal pour le calcul de la somme des  $n$  premiers entiers,  $n$  étant choisi par l'utilisateur du programme.

### 2.1.1. INFLUENCE DU LANGAGE DE PROGRAMMATION

Concernant le langage, Rouchier (1983) note que l'on constate chez les programmeurs débutants une fréquence plus élevée de programmes corrects quand le langage utilisé facilite les stratégies choisies. D'une manière générale, c'est l'influence du type de langage sur la réalisation de la tâche qui est mise en avant. En Pascal, ce sont les difficultés dans l'appropriation des variables qui se manifestent notamment au niveau des commandes de lecture et d'écriture. Il s'agit en particulier des difficultés relevées concernant l'affectation d'une variable et l'initialisation qui interfèrent fortement avec la construction du compteur et de l'accumulateur dans la somme des  $n$  premiers entiers. On peut penser que cette gestion des variables sera sensiblement différente dans Multiplan.

### 2.1.2. L'ITERATION

En revanche, la construction de la somme des  $n$  premiers entiers pose des difficultés spécifiques dont on peut faire l'hypothèse qu'elles dépendent dans une moindre mesure du langage. Il y a en effet un obstacle particulier dans la construction de l'accumulateur qui provient de la représentation séquentialisée du processus que doit se faire l'élève.

Accumuler une valeur comme dans :

**somme <- somme + nombre**

n'est pas la même opération et n'a pas la même fonction que décrire la succession des valeurs du compteur :

**compteur <-- compteur + 1**

(Rouchier 1987). Les observations d'élèves de seconde (Rouchier et al 1983) ont montré que les invariants "dynamiques" correspondant aux transformations à effectuer dans le corps de boucle n'étaient pas de difficulté analogue. Il est difficile pour les élèves de dégager, dans le cas de la somme, qu'à chaque étape ils ajoutent à la somme déjà obtenue le nombre suivant. (Rogalski, Vergnaud, 1987). Cette complexité cognitive est également relevée par Samurçay (1987). Rogalski signale que l'on maîtrise mal pour l'instant l'influence de l'enseignement dans la construction de tel ou tel modèle par les élèves et note une grande disparité de performance sur ce type de problème (Rogalski 1987). Nous ne sommes pas plus à l'aise de ce point de vue, d'autant que les études en didactique faisant intervenir des environnements informatiques comme les tableurs sont pour l'instant inexistantes.

## **2.2. CARACTERISTIQUES DE L'ITERATION DANS MULTIPLAN.**

L'environnement de Multiplan que nous avons décrit dans l'analyse conceptuelle va interférer fortement avec la situation que nous proposons de la somme des 300 entiers. Dans les situations que l'élève a déjà rencontrées dans le tableur, il n'a pas à anticiper le fonctionnement en décrivant les contenus successifs des variables, comme dans un langage de programmation, il édite les formules une par une et obtient à mesure dans les cellules les résultats calculés. L'affichage des valeurs numériques fait disparaître les formules et donne une grande importance aux résultats au détriment des formules. Ce fonctionnement est voisin de celui que développe Meißner dans son "principe de la voie à sens unique" (Meißner 87), à propos des calculatrices utilisées par les élèves où les calculs ne nécessitent pas que l'élève établisse un lien sémantique entre les variables concernées. Le problème se pose différemment dans le cas de l'itération puisque les formules doivent être construites en tenant compte de ce lien sémantique entre les cellules (variables).

Mais, si la nécessité de la planification de l'action nécessaire en Pascal (Rouchier 87) apparaît moins forte dans Multiplan, ce type d'environnement qui privilégie les valeurs calculées peut conduire les élèves vers des stratégies empiriques de type essais-erreurs. De toute façon nous envisageons que cette priorité accordée aux valeurs calculées interférera fortement avec l'analyse que les élèves pourront faire des relations entre les cellules. Pour nous, l'environnement du tableur facilite les stratégies empiriques qui s'appuient sur les valeurs calculées par les formules.

Le problème de l'affectation des variables, mis en évidence dans de nombreuses recherches (Rouchier A. et al 1983, Pea R.D. 1984, Soloway E., Ehrlich K., 1984) se pose différemment dans Multiplan. De surcroît il intervient dans le cas de l'itération de manière un peu différente de ce qu'il est habituellement dans le tableur. D'ordinaire, pour affecter une valeur à une cellule on la saisit directement ou bien on édite une formule qui la calcule et l'affiche. Il n'en est pas de même dans le cas de l'itération. Ce contexte de calcul va contraindre l'élève à se poser la question des contenus successifs des cellules pendant l'exécution de l'itération. Il sera donc contraint de raisonner en termes de séquentialité et d'envisager l'évolution des contenus de cellules produits par les formules qu'il aura implantées. Rogalski a mis en évidence les difficultés que représente la séquentialité de l'exécution dans différents environnements informatiques (Rogalski ,1987). Nous le relierons au même type de changement de niveau conceptuel que celui que nous avons signalé à propos de la réplique et déjà relevé par Rogalski et

Vergnaud (1987). C'est sur une fonction que l'élève doit raisonner, et à la différence de la réplication, il ne dispose pas d'une liste de valeurs qu'il peut construire "pas à pas". Il doit y avoir planification complète de l'action commandée au dispositif. C'est sans doute là l'obstacle le plus important que rencontreront les élèves dans la mesure où pour la première fois ils devront rentrer dans une problématique de la planification des actions qu'ils programmeront sur le dispositif.

## **2.3.LA SITUATION SOMME DES 300 ENTIERS**

### **2.3.1. DESCRIPTION**

La situation proposée aux élèves consistait à calculer la somme des 300 premiers entiers à l'aide d'une itération.

Nous avons commencé par leur faire construire un compteur dans une seule cellule pour présenter ensuite les moyens de contrôler l'arrêt. (Cette partie du travail n'est pas exposée ici).

Les élèves devaient alors trouver un moyen de construire la somme des 300 premiers entiers.

Nous avons fixé le nombre d'entiers à 300 et non à une valeur  $n$  à choisir :

-en raison de la facilité à modifier dans la cellule même le nombre d'entiers souhaité

-parce que le tableur comporte 255 lignes et que nous pensions ainsi éviter l'apparition de processus répétitifs que pouvaient construire les élèves.

Dans la conception de la formation nous avons fait le choix du mode d'itération le plus proche possible des conceptions spontanées des élèves telles qu'elles sont décrites dans les travaux de Mejias (1985). Il s'agit du «répéter  $n$  fois» où le nombre de répétitions est connu avant le commencement du calcul. La construction de l'itération doit prendre en compte les 3 stades suivants :

#### **2.3.1.1. LE DECOUPAGE EN ACTIONS ELEMENTAIRES**

Le découpage en actions élémentaires nécessite une analyse du problème prenant en compte les compétences de l'opérateur. C'est une opération complexe qui se fait tout au long de l'élaboration de l'algorithme et non au seul commencement de ce travail (Mejias 1985). Dans Multiplan ce découpage permet d'envisager séparément le compteur et le test d'arrêt. Seul l'accumulateur doit être

construit en utilisant le compteur. Nous faisons l'hypothèse que cette possibilité de traiter séparément ces différents éléments de l'itération réduit la complexité cognitive de l'ensemble de la tâche par rapport à un langage comme Pascal.

### 2.3.1.2. LA CONSTRUCTION DU CORPS DE L'ITERATION

Issu du découpage en actions élémentaires le corps de l'itération n'est en général pas complet d'emblée, certaines opérations nécessaires à la réalisation de la tâche n'apparaissent que plus tard dans sa construction. Par exemple la mise en place de la condition d'arrêt, mais aussi le choix d'avertisseurs de répétition .

Dans le problème proposé ici le corps de l'itération doit contenir deux cellules :

- l'une pour un générateur d'entiers (cellule L1C1 de la Figure 4-13)
- l'autre pour un accumulateur générant les sommes partielles (cellule L2C1 de la Figure 4-13)

1	
1	=LC+1
2	=LC+L(-1)C
3	

Figure 4-13

Comme nous l'avons signalé, c'est la construction de la relation entre ces deux ensembles de nombres qui peut constituer la difficulté la plus importante, en particulier la réutilisation du contenu antérieur de l'accumulateur et les relations entre le contenu de l'accumulateur et le générateur d'entiers comme dans l'environnement Pascal décrit par Rouchier (87).

Des aspects propres à Multiplan au niveau de l'itération peuvent aussi induire des stratégies spécifiques à cet environnement. Par exemple, le statut particulier du «calcul circulaire» et les relations qu'il entretient avec les commandes du logiciel pour la mise en place de l'itération, donnent un sens très différent à la notion d'avertisseur. En effet contrairement à un langage de programmation comme Pascal, l'avertisseur ici ne délimite pas le corps de l'itération qui, dans tous les cas, est l'ensemble de la feuille de calcul.



### 2.3.1.3. LA MISE EN PLACE DU TEST D'ARRÊT

Nous avons déjà remarqué que le test d'arrêt peut être construit indépendamment du compteur et de l'accumulateur. Pour construire le test d'arrêt, nous avons choisi la fonction **NBITER()** fournissant la valeur du compteur d'itération pour construire le test : "**=NBITER()=298**".

L'avantage de ce procédé est de pouvoir construire un test à partir d'une formule n'utilisant pas de références relatives à une cellule contenant le compteur. La cellule qui contient la condition d'arrêt peut être placée n'importe où dans la feuille sans que sa place intervienne dans le calcul de l'itération.

Mais plusieurs inconvénients proviennent de la fonction **NBITER()** elle même:

- NBITER()** produit un message d'erreur **#NA** (Non Accessible) avant l'exécution (Le compteur d'itération n'est pas disponible en dehors de l'itération)

- NBITER()** utilise une syntaxe, fréquente en informatique, avec deux parenthèses vides. Ce type de notation, non utilisé dans l'algèbre pratiquée par les élèves de troisième peut induire des constructions syntaxiquement incorrectes dans la mesure où les élèves installeront naturellement des expressions dans les parenthèses.

- Les élèves peuvent vouloir utiliser le compteur d'itération pour le calcul de la somme des 300 entiers, l'obstacle provenant de la nécessité de gérer alors le message d'erreur initial déjà signalé, ce qui ne leur est pas accessible.

Par ailleurs, les commandes nécessaires à l'exécution de l'itération et à son contrôle dans Multiplan sont délicates à mettre en œuvre . Elles donneront sans doute lieu à des erreurs répétées des élèves. En particulier la cellule contenant le test d'arrêt doit être signalée par l'option **tester la convergence** pour qu'il soit pris en compte par le dispositif en cours d'exécution.

### 2.3.2. ANALYSE A PRIORI DES STRATEGIES

#### 2.3.2.1. UN TRAITEMENT EMPIRIQUE

Nous pouvons trouver ce type de stratégie chez des élèves privilégiant l'analyse des résultats obtenus au détriment des relations qui les produisent. Les différentes formules construites paraissent l'être au hasard, les transformations

produites ne relevant pas d'une analyse algébrique des formules mais plutôt d'une adaptation ad hoc des données produites aux valeurs identiques à celles produites par les premiers essais à la main des élèves.

#### 2.3.2.2. *L'UTILISATION DE NBITER()*

La fonction NBITER() proposée aux élèves pour le contrôle du nombre d'itération peut être utilisée dans la construction même des formules, ce type d'utilisation étant le plus souvent combiné avec des formules implantées dans les parenthèses vides de cette fonction. Le type de formules possibles est :

=NBITER(1+2+3+..)

=NBITER(LC+1)

ou en combinaison avec d'autres fonctions comme la fonction **Somme**.

#### 2.3.2.3. *UTILISATION DE LA FONCTION SOMME()*

La fonction SOMME() peut être utilisée par les élèves qui prennent alors comme argument une ou plusieurs cellules dépendant ou non du compteur. On peut aussi rencontrer aussi des combinaisons de SOMME() et de NBITER().

#### 2.3.2.4. *LES ENTIERS CONSECUTIFS*

Ce type de formule très développé dans la pré-expérimentation atteste le statut particulier que certains élèves peuvent donner aux formules dans Multiplan. Elle peut prendre aussi la forme LC+(LC+1). Tout se passe comme si les élèves voulaient indiquer qu'au contenu de LC on ajoutait le "nombre suivant". C'est à dire que LC est l'état de ce qui déjà calculé et qu'à ce contenu on ajoute l'entier successeur LC+1.

Ce type de formule peut être considéré comme une étape dans la recherche de la solution ; puisque dans la pré-expérimentation presque tous les élèves ayant réalisé la tâche ont construit auparavant des modèles où dans deux ou trois cellules ont produit deux entiers consécutifs que l'on ajoute ensuite. L'analyse des résultats produits par ce type de modèle permet alors la construction de l'accumulateur.

### 2.3.2.5. *UTILISATION D'UN MODELE REPLICATIF*

L'analyse de la tâche et les moyens qu'ils envisagent d'utiliser pour la réaliser peuvent conduire certains élèves à éviter l'itération, connaissance nouvelle et peu familière, au profit de la réplication qu'ils ont utilisée à la séance précédente. Le problème qui peut se poser aux élèves utilisant cette solution, outre la construction de la colonne d'entiers consécutifs et de la "colonne accumulateur", réside dans le report de ces deux colonnes en bas du tableau puisqu'ils ne disposent que de 255 lignes alors qu'il en faut 300.

### 2.3.3. *COMPTE RENDU DES OBSERVATIONS*

#### 2.3.3.1. *PREMIERE SEANCE*

Le temps consacré à la situation pendant la première séance a été court, environ 30 minutes, ce qui n'a permis à aucun groupe de trouver une solution. Aucune recherche empirique prenant en compte seulement les valeurs calculées et non les relations entre les cellules n'est apparue. On peut faire l'hypothèse que ceci provient soit du temps relativement court de recherche laissé aux élèves, soit que la familiarité plus grande des élèves avec le Logiciel par rapport à la pré-expérimentation de 1986 ait empêché l'apparition de ce type de procédures.

Le tableau de la figure 4-16 indique que les 5 binômes ont tous construit un générateur d'entiers et le test avec le fonction NBITER(). Deux binômes en sont restés là alors que les 3 autres ont utilisé la fonction SOMME() avec comme argument le générateur d'entiers : SOMME(LC+1). Sylvie et Corinne ont tenté d'utiliser la fonction NBITER() comme générateur d'entiers et argument de la fonction Somme() dans une tentative qu'on pourrait rapprocher de la procédure d'addition de deux entiers consécutifs.

#### 2.3.3.1.1. *Fonction Somme*

L'utilisation de la fonction somme prévue dans notre analyse a priori a été la procédure la plus fréquemment rencontrée. Tous se passe comme si en écrivant Somme(LC+1) , les élèves envisageaient que la machine ferait la somme de tous les

éléments successifs du compteur. Ainsi Christophe et Alexandre (élèves) construisent la feuille de calcul de la figure 4-14. Ils lancent ensuite le calcul :

1. Alexandre *faut calculer maintenant ... faux... faux... c'est tout faux ...*
2. Christophe *il faut aller jusqu'à 300... il y a décalage ...*
3. Alexandre *c'est bientôt fini*
4. Christophe *vrai enfin... Mais ça n'a pas fait la somme de tous !*

Pendant l'exécution du calcul ces élèves voient défiler le compteur dans la cellule L1C1 et le booléen produit par la condition =NBITER()=98 dans la cellule L3C2. Christophe conidère que la machine va additionner tous ces nombres qui défilent et qu'à la fin il aura la somme dans la cellule L1C1 comme l'atteste sa déception finale (4).

L1C1		=SOMME(LC+1)	
<b>Sans titre</b>			
	1	2	3
1	57		
2			
3		FAUX	
4			

Figure 4-14

Sylvie et Corinne construiront aussi la formule =SOMME (LC+1).

Mylène et Nadia construisent la feuille de calcul de la figure 4-15.

La formule de la cellule L3C1 joue le même rôle que celle de deux binômes précédents, elle doit ajouter tous les éléments du compteur. Nous situons ces procédures comme un appel à des compétences de la machine qui pourrait, dans la fonction SOMME(), elle-même accumuler les valeurs du compteur Alors que pour Multiplan SOMME(x) calcule seulement x , puisque c'est le seul argument disponible.

<b>Sans titre</b>			
	1	2	3
1	=LC+1		
2		=NBITER()=298	
3	=SOMME(L[-2]C)		
4			
5			

Figure 4-15

Description des stratégies :

- I Construction du générateur d'entiers LC+1
- II Contrôle de l'itération avec NBITER()
- III Utilisation de NBITER() dans le calcul de la somme
- IV Formules du type LC+LC+1
- V Utilisation de la fonction SOMME()
- VI Utilisation de la réplication
- VII Somme de deux entiers consécutifs (ou égaux )
- VIII Construction de l'accumulateur.

Séance 1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Mylène Nadia	■	■			■			
Sylvie Corinne	■	■	■		■			
Gilles Franco	■	■						
Cécile Michèle	■	■						
Alexandre Christophe	■	■			■			

Séance 2	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Mylène Nadia	■	■		■				■
Sylvie Corinne	■	■				■	■	■
Cécile Michèle	■	■				■		
Alexandre Christophe	■	■		■	■	■	■	■

Figure 4-16

### 2.3.3.1.2.Nbiter()

Une seule tentative d'utilisation de NBITER() pour le calcul de la somme a été faite par Sylvie et Corinne (Figure 4-17)

Sans titre			
	1	2	3
1	=LC+1	=NBITER()=298	
2	=L[-1]C+NBITER()		
3			
4			

Figure 4-17

### 2.3.3.1.3.Entiers consécutifs

La tentative de Sylvie (figure 4-17) utilise NBITER() pour ajouter deux entiers consécutifs ( ou égaux) . Cette erreur se retrouve aussi chez Christophe et Alexandre (Figure 4-18) .

Sans titre			
	1	2	
1	=SOMME(LC+1)		
2	=SOMME(L[-1]C)		
3		=NBITER()=298	
4			

Figure 4-18

Nous retrouverons cette procédure à la deuxième séance.

### 2.3.3.2. DEUXIEME SEANCE

Les stratégies des élèves au cours de la deuxième séance sont détaillées dans le tableau 4-16. Comme à la première séance tous les binômes ont construit le générateur d'entiers (I) et le contrôle de l'itération (II). La possibilité, dans Multiplan, de construire séparément ces deux éléments nous permet de mettre en évidence que le principal obstacle dans la réalisation de la tâche ne provient pas de

leur construction mais plutôt de la construction de l'accumulateur et du lien qu'il entretient avec le compteur. Aucune utilisation de NBITER() n' a été faite par les élèves, le professeur ayant disqualifié l'utilisation de NBITER() pour les formules de calcul de la somme au début de la séance. Dans leurs nombreux essais, Christophe et Alexandre utiliseront encore la fonction SOMME() mais elle n'apparaîtra chez aucun autre binôme. Nous détaillons ici les 3 procédures les plus remarquables : les formules du type LC+LC+1, la construction de la somme de deux entiers et l'utilisation de la réplication.

### 2.3.3.2.1. Formules LC + LC +1

Ce type de formules illustre le statut particulier que certains élèves peuvent donner aux formules dans Multiplan. Tout se passe comme si les élèves voulaient indiquer qu'au contenu de LC, on ajoute le "nombre suivant". C'est-à-dire que LC est l'état de ce qui est déjà calculé et qu'à ce contenu on ajoute l'entier successeur : LC+1. Nous avons déjà relevé des utilisations de ce type de procédure dans l'utilisation de l'itération (Capponi, Balacheff 1989). Par exemple quand Christophe dit :

Christophe	<i>LC puis ensuite LC+1... LC+1... LC+1... ta ta ta</i>
Alexandre	<i>LC +1 +LC +1</i>

Il exprime bien un état de la cellule "puis ensuite" un de plus , le "ta ta ta " exprimant pour lui le fait que l'itération est lancée. Alexandre en fait tout de suite une interprétation en termes de formule à implanter.

### 2.3.3.2.2. Somme de deux entiers

La stratégie précédente doit aussi être rapprochée de celle qui consiste à ajouter deux entiers (consécutifs ou égaux) avant l'exécution du calcul dans la mesure où c'est un entier LC auquel on ajoute le suivant LC+1. Nous avons déjà rencontré cette tentative d'ajouter deux entiers à la première séance (Figure 4-14) et Figure ( 4-15). Nous l'avons encore rencontrée chez deux binômes à l'occasion de cette séance.

Sylvie et Corinne construisent d'abord deux entiers consécutifs qu'elles ajoutent (Figure 4-19).

	1	2
1	0	
2	1	1
3		

	1	2
1	$=L[+1]C$	
2	$=L[-1]C+1$	$=L[-1]C[-1]+LC[-1]$
3		

Figure 4-19

Sylvie *Là celle d'en dessus plus un et là on a mis celle là plus celle là ... je voudrais que ça itère et après ça fait ça... ça fait deux calcul à la fois .*

Pour elle aussi il y a une prise en charge du calcul par la machine à partir de la somme de deux entiers consécutifs si on lance l'itération. Sa procédure indique une analyse globale du processus mais un défaut dans le découpage en actions élémentaires. Elle conduit alors une analyse en termes de relations entre les cellules : elle dessine sur son brouillon (Figure 4-20):

	1	2
A	$L[+1]C$	
B	$L[-1]C+1$	$=A1+B1$

Figure 4-20

Sylvie *nous on a fait la somme des deux, il faut faire la somme de ça plus la somme des deux d'avant ... faut qu'il y ait trois trucs ... on est pas sorties de l'auberge !*

Cette analyse conduit Sylvie à construire une troisième cellule plutôt que l'accumulateur comme l'illustre la figure 4-21.

	1	2
1	$=L[+1]C$	
2	$=L[-1]C+1$	$=L[-1]C[-1]+LC[-1]$
3	$=L[-1]C+1$	

Figure 4-21

Sylvie *ça marche pas parce que ça ajoute les deux et ça ajoute pas la somme de celui d'avant plus un . ça ajoute ces deux là [deux entiers consécutifs ]au lieu d'ajouter celle là [la somme précédente ]plus celle là [l'entier suivant] .*

Elle montre le tableau de calcul qu'elle a construit sur son brouillon avec les sommes successives des 12 premiers entiers.



Sylvie *je voudrais repartir de 1,2,3 et ensuite faire 1 + 2 , ça ferait 3 et après faire ça [L2C1] plus celui là [L2C2] et puis ça continuerait de faire 1,2,3 tout le temps ... mais après ça ferait 5,6,7 . si ça change là... je pense que ça changerait là. [Elle construit alors la formule de L3C2] et là on mettrait le résultat de ça [L2C2] et plus ça [L1C2]. Figure 4-22*

Sans titre			
	1	2	
1	=L[+1]C		
2	=L[-1]C+1	=L[-1]C[-1]+LC[-1]	
3	=L[-1]C+1	=L[-1]C+L[-1]	

Figure 4-22

L'intervention du professeur sera nécessaire pour qu'elle construise un générateur d'entiers dans une seule cellule et construise l'accumulateur :

Sans			
	1	2	
1	=LC+1		
2			
3			

Figure 4-23

Professeur *imagine que tu as 55 là . [L1C1 figure 4-23]*  
 Sylvie *mais il faut une formule pour 55*  
 Professeur *là tu as LC+1 et là ? [L1C2]*  
 Sylvie *LC d'abord... parce qu'on mettra... on mettra dans une case*  
 Professeur *pourquoi LC ?*  
 Sylvie *c'est ça qui est là dedans [L1C2] et plus cette case là [L1C1] si on itère ça fera ce qu'il y a dedans et plus ça .*

Elle découvre ainsi la construction de l'accumulateur.

La stratégie de Sylvie avant l'intervention du professeur consiste toujours à ajouter des entiers (et des cellules pour les éditer) et à lancer l'itération en faisant prendre en charge par le logiciel l'addition de toute la liste de 1 à 300.

Christophe et Alexandre construisent aussi une somme de deux entiers (Figure 4-24) .

	1	2
1	25	
2	50	
3		

	1
1	=LC+1
2	=L[-1]C+L[-1]C
3	

Figure 4-24

1. Christophe *il faut faire l'addition de tous les nombres*
2. Alexandre *c'est le double de ça ... celui là est le double de l'autre*
3. Christophe *c'est déjà ça ...*
4. Alexandre *pourquoi le double ? ... parce qu'on part de 1 alors il fait 1+1 c'est normal c'est le double.*
5. Christophe *il faut déjà partir de 1 ... mettre au moins LC[-1] ... il faut que les nombres s'ajoutent au fur et à mesure . il faut prendre une cellule à partir de la première en les additionnant les une aux autres ... il faut arriver à trouver ce nombre plus le même nombre qui est affiché*
6. Alexandre *c'est ce nombre [un entier ] plus le résultat [ la somme jusqu'à cet entier , il montre en même temps les calculs de son brouillon]*

Ils continuent comme Sylvie et Corinne à ajouter des cellules comme l'indique la figure 4-25

Sans titre		
	1	2
1	=LC+1	=L[+1]C[-1]+L[+1]C[-1]
2	=L[-1]C+L[-1]C	=L[-1]C+L[-1]C
3		

Figure 4-25

Alexandre *et là ça fait quoi ? ça fait le double et si tu viens là ça te fera encore le double de ça.*

Ils en viendront à abandonner l'itération pour construire un modèle utilisant la réplication. Christophe exprime en langue naturelle les relations entre la somme et le compteur , mais il n'arrivera pas à construire non plus l'accumulateur.

### 2.3.3.2.3.Retour vers la réplication

Les échecs successifs peuvent conduire les élèves à se tourner vers une feuille de calcul utilisant la réplication dans la mesure où ils savent construire ligne par ligne le tableau des sommes successives sur un papier comme celui qu'ils ont rempli au début de la séance (Figure 4-26)

entier n	somme jusqu'à n	opérations effectuées
1	1	
2	3	1+2
3	6	.....
4	.....	.....
5	.....	.....
6	.....	.....
7	.....	.....
8	.....	.....
9	.....	.....
10	.....	.....
11	.....	.....
12	.....	.....

Figure 4-26

Ainsi Corinne propose en faisant référence à la construction des tables numériques ( Enseignement : Séance 5)

Corinne *On peut faire les nombres qui se suivent comme on avait fait ... là on pourrait aller jusqu'à 300 ... [elle montre la colonne 1 ]*

Mais Sylvie, qui travaille avec elle, ne suivra pas sa proposition, elle préfère construire un compteur dans la cellule L1C1.

Christophe et Alexandre après la construction d'entiers consécutifs (paragraphe précédent) en viennent à construire la feuille de la figure 4-27 qui mélange l'itération et la réplication :

	1	2	3	4		1	2	3	4
1	18	18				=LC+1	=LC+1		
2	19	37				=L[-1]C+1	=L[-1]C+LC[-1]		
3	20	57				=L[-1]C+1	=L[-1]C+LC[-1]		
4	21	78				=L[-1]C+1	=L[-1]C+LC[-1]		
5	22	100		<b>FAUX</b>		=L[-1]C+1	=L[-1]C+LC[-1]		=NBITER()=300
6	23	123				=L[-1]C+1	=L[-1]C+LC[-1]		
7	24	147				=L[-1]C+1	=L[-1]C+LC[-1]		

Figure 4-27 (Valeurs et formules)

Ils n'ont pas pu aller plus loin la séance étant terminée.

Le dernier binôme ayant utilisé la répllication est celui de Cécile et Michèle. Elles ont d'ailleurs presque abouti dans la réalisation de la tâche par ce procédé. Elles ont commencé par éditer un compteur dans la cellule L1C1 puis une suite d'entiers dans la colonne 1 avec les calculs de sommes dans la colonne 2 comme l'illustre la figure 4-28.

L13C3		
	1	2
1	285	1
2	2	3
3	3	6
4	4	10
5	5	15
6	6	21
7	7	28
8	8	36
9	9	45
10	10	55
11		

	1	2
1	=LC+1	1
2	2	=L[-1]C+LC[-1]
3	3	=L[-1]C+LC[-1]
4	4	=L[-1]C+LC[-1]
5	5	=L[-1]C+LC[-1]
6	6	=L[-1]C+LC[-1]
7	7	=L[-1]C+LC[-1]
8	8	=L[-1]C+LC[-1]
9	9	=L[-1]C+LC[-1]
10	10	=L[-1]C+LC[-1]
11		

Figure 4-28

Le compteur de la cellule L1C1 sera éliminé et remplacé par la valeur 1.

1. Michèle *ouais mais c'est long, tu vas faire ça ?*
2. Cécile *ben attends, on va bien arriver à quelque chose !*
3. Michèle *Ouais, regarde parce que c'est toujours la même formule*
4. Cécile *ouais c'est la même formule , donc cette formule il faut la recopier.*

Elles ont édité une par une toutes les formules de la colonne 2. Mais découvrent qu'elles peuvent les recopier( 3-4).

5. Michèle *on fait une formule ... regarde 10 plus 1 , ça fait L... regarde une colonne avant plus un et on recopie vers le bas... ça fera 10,11,12,13,14... jusqu'en bas et après là vers 55... ça fera la formule et puis ça donnera le résultat... on a pas besoin de ...*

Michèle construit une formule pour la colonne 1 de façon à obtenir les entiers successifs. Elles ont ainsi un moyen de réaliser la tâche qui leur fera définitivement

abandonner l'itération (5). Le seul problème qu'elles rencontreront est le report des valeurs de la dernière ligne dans les colonne 4 et 5 pour continuer jusqu'à 300 puisque le tableur n'a que 255 lignes. ainsi que l'indique la figure 4-29.

P3					
	1	2	3	4	5
1	1	1		255	255
2	2		3	256	511
3	3		6	257	768

P3					
	1	2	3	4	5
1	1	1		255	255
2	2	$=L[-1]C+LC[-1]$		$=L[-1]C+1$	$=L[-1]C+LC[-1]$
3	3	$=L[-1]C+LC[-1]$		$=L[-1]C+1$	$=L[-1]C+LC[-1]$
4	4	$=L[-1]C+LC[-1]$		$=L[-1]C+1$	$=L[-1]C+LC[-1]$

Figure 4-29

Le travail de ces deux élèves indique comment l'obstacle que constitue la mise en place de l'itération est contourné par l'utilisation d'une répliation qui leur permet de construire ligne par ligne les premiers calculs de la somme, un peu de la même façon que dans le tableau de la figure 4-26. Nous considérons que cet usage de la répliation par ce binôme et par celui de Christophe et d'Alexandre indique une meilleur adaptation de ce type de modèle à l'écologie du tableur. C'est-à-dire que la mise en place progressive peut se faire grâce à l'affichage des entiers et des différentes sommes qui permettent aux élèves de travailler sur les valeurs et les relations qu'on peut définir entre elles. Nous voyons là un indice de la distance conceptuelle entre les deux concepts, la répliation ne nécessite pas une planification intégrale de l'ensemble de la tâche contrairement à l'itération.

### 3. CONCLUSION

La mise en place de l'itération ne va pas de soi et permet de retrouver plusieurs des observations déjà réalisées dans d'autres contextes. La répliation, caractéristique de l'environnement du tableur et plus adaptée à une mise en place "pas à pas", supplante l'itération dans la réalisation de la tâche. Elle permet d'afficher les valeurs intemédiaires et facilite ainsi le découpage de la tâche pour la découverte de l'invariant.

L'environnement du tableur introduit aussi des stratégies utilisant la fonction SOMME() dont nous situons l'apparition fréquente dans une problématique caractéristique des environnements informatiques où l'utilisateur débutant attribue au logiciel une capacité à prendre en charge des tâches qui ne sont pas explicitées. D'une manière générale les difficultés de construction de l'itération rencontrées dans d'autres contextes se retrouvent dans Multiplan. En particulier, il y a loin de la description en langue naturelle à la réalisation effective sur le dispositif. On rejoint ainsi les observations de Bonar et Soloway (1985) qui montrent la distance entre les caractéristiques d'une réalisation pas à pas de procédures itératives dans le langage naturel et celle dans le langage de programmation Pascal. Par ailleurs, les stratégies d'élèves décrites par Rouchier et Samurçay (Rouchier et al 83) et Rogalski (Rogalski 85) font apparaître des additions d'entiers consécutifs comme :  $2+3 = 5$  ;  $3+4 = 7$  ;  $5+6=11$  ... ou des représentations du type  $1 + (x+1) + (x+1)$  qui indiquent une construction "pas à pas" manifestant des regroupements organisés de certains termes de la somme sont apparues de manière significative.



## **Chapitre 5. Multiplan outil**

### **1. CONCEPTIONS INITIALES D'UN UTILISATEUR**

#### **1.1. LA PRIORITE AUX RESULTATS :**

Dans le tableur les résultats fournis par les formules sont affichés dans les cellules, c'est ce que nous avons appelé la priorité aux résultats. C'est l'option par défaut du logiciel pour l'affichage dans les cellules. Cette caractéristique du logiciel a pour effet de cacher la formule, la feuille de calcul ayant l'aspect d'un tableau ne contenant que des nombres sans que l'on puisse distinguer les données numériques éditées directement dans les cellules et les résultats calculés par les formules. Nous avons fait l'hypothèse que cette particularité du tableur engendre une conception de la feuille de calcul comme un simple tableau de nombres pour certains utilisateurs. Le but de ce chapitre est de relever un ensemble d'observations, tant dans la séquence d'enseignement que dans la situation interview, qui peuvent attester de ce type de conception des sujets.

##### **1.1.1. UNE CELLULE VIDE**

La valeur zéro affichée dans une cellule n'est pas considérée par certains élèves comme un résultat produit par une formule. La présence du zéro peut même être considérée comme un indicateur de cette absence de formule. Ainsi dans la situation gaz-elec (interview), les sujets devaient vérifier le tableau de la figure 5-1<sup>1</sup>. Dans la cellule

---

<sup>1</sup>Cette situation est analysée dans le chapitre 6.



L8C4 apparaît la valeur zéro qui doit contenir le montant de la facture du client n°2. Les deux protocoles suivants indiquent la présence de cette conception chez deux élèves.

Ainsi Christine (élève)

Christine *oui ça va pas parce qu'il y a un ... il a quand même consommé ... surement qu'on a validé sans remettre et puis que ... sans remettre la formule ...*

Christine situe d'abord le problème de la présence d'un zéro dans la signification par rapport à la facture. Elle passe ensuite au niveau du tableur en l'interprétant comme une absence de formule par défaut de validation. Pour elle s'il y a zéro c'est parce qu'il n'y a pas de formule pour calculer dans cette cellule.

gaz elec-b				
	1	2	3	4
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F
3				
4				
5				
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom élec(KWh)	montant
7	1	5891	513	1375,08 F
8	2	4789	568	0,00 F
9	3	3569	456	

Figure 5-1

De la même façon pour Stéphanie (élève),

Observateur *attends regarde ce qu'il y a dans cette cellule ... [L8C4]*  
 Stéphanie *il y a rien*

Stéphanie dit qu'il n'y a rien dans cette cellule où 0 est affiché.

Ces deux protocoles attestent l'absence de formule pour Stéphanie et Christine.

### 1.1.2. FEUILLE DE CALCUL VERSUS TABLEAU

Il s'agit ici pour nous d'identifier de quelle façon les élèves situent, pendant la formation et après, le tableau considéré comme un ensemble de valeurs et la feuille de calcul considérée comme un ensemble de formules produisant un tableau de valeurs.

### 1.1.2.1. LIEU OU POSER DES NOMBRES

Au cours de la formation (Séance 4 : Fiches de paye) les élèves devaient construire une feuille de calcul permettant d'éditer des fiches de paye puis l'utiliser pour imprimer effectivement quelques fiches avec différentes données qui apparaissent en noir sur la figure 5-3. Toutes les valeurs de la colonne 3 sont obtenues à partir de formules que les élèves devaient construire à partir d'une description qui leur était fournie (Annexe).

Le tableau de la figure 5-2 indique que 4 binômes sur les 5 ayant participé à cette séance ont à un moment ou à l'autre utilisé le tableur pour poser des nombres. Les élèves effectuaient les calculs à la main sur un brouillon, puis reportaient les résultats dans le tableur. Le tableau était alors considéré comme un lieu où poser des nombres sans que le calcul soit produit par des formules implantées dans les cellules.

D'autres élèves ont bien construit des formules, mais celles-ci n'utilisaient pas des références à des cellules. Le tableur était simplement utilisé comme une calculatrice. 3 binômes sur les 5 ont procédé ainsi. Un seul binôme n'a utilisé aucun de ces deux stratégies (Mylène et Nadia).

I-l'utilisation du tableau de Multiplan pour poser des nombres

II-l'utilisation de Multiplan comme une calculatrice

	I	II
Alexandre-Christophe	*	*
Mylène-Nadia		
Sylvie-Corinne	*	
Cécile-Michèle	*	*
Gilles-Franco	*	*

Figure 5-2

La procédure qui consiste à poser des nombres est utilisée par 4 binômes sur 5. Elle remet en cause l'existence même de la formule puisqu'elle consiste, à partir d'un travail de calcul extérieur au logiciel à n'inscrire que les résultats sans inscrire de formule.

Par exemple Sylvie et Corinne ne construisent pas de formule pour calculer le salaire brut et installent dans la cellule la valeur calculée, sans doute à la main à l'extérieur du logiciel.

	1	2	3	4
1	janvier		activité	ski
2	nom	Ernest		
3				
4	nombre h	22		
5	salairé h	129		
6	prime	280		
7	indemnité	478		
8				
9	salairé brut		4455,00F	
10	retenues	taux %		
11	ss maladie	5,5	245,03F	
12	ss vieillesse	4,7	209,39F	
13	assedic	1,72	76,63F	
14				
15	B imposable		4603,96F	
16	net à payer		5081,96F	
17				

Figure 5-3

De la même façon, Gilles et Franco, à la suite d'une erreur de manipulation, effacent la formule de calcul du salairé brut :

Gilles *tu n'as pas retenu le numéro ?*

Franco *c'était 1470*

Ce qui les intéresse c'est le résultat calculé, et puisque Franco s'en souvient, c'est lui qui est édité dans la cellule plutôt que la formule.

Cécile et Michèle établissent la fiche de payé de Nestor dont les indemnités sont nulles, c'est-à-dire que le "net à payer" est égal à la base imposable :

Michèle *donc ce qu'on vient de calculer et plus les indemnités il y en a pas et donc on remet le nombre*

Cécile *ouais*

Michèle tape alors au clavier la valeur de la base imposable qui apparaît au dessus du "net à payer". Elle se contente d'inscrire une valeur qu'elle connaît sans utiliser de formule.

Christophe essaye de faire un calcul avec Multiplan , il tape dans la cellule L10C3 la formule : " 106\*22" mais comme il a oublié le signe égal le logiciel ne fait pas le calcul et l'affiche comme un texte, Alexandre calcule alors à la main et inscrit le résultat trouvé dans la cellule en commentant "*ça sert à rien un ordinateur*".

Ces trois protocoles indiquent qu'à la troisième séance de travail, 6 élèves sur 10 considèrent la feuille de calcul comme un lieu où poser des nombres. De ce point de vue on perçoit la déception d'Alexandre qui attendait plus de possibilités de son ordinateur.

### 1.1.2.2. UNE FORMULE DEPENDANT DES VALEURS

Nous avons déjà analysé le problème lié à l'existence même de la formule dans le chapitre 3. Cette absence de la formule dans les conceptions des élèves a aussi pour origine la priorité accordée aux résultats dans le tableur. Mais même quand l'existence de la formule est reconnue, les valeurs affichées dans le tableau sont parfois considérées par les sujets comme pouvant avoir une influence non seulement sur le résultat calculé par la formule mais aussi sur la formule elle-même. Tout se passe comme si la formule restait dépendante des valeurs qui lui servent d'argument. Par exemple Christine et Stoyan (élèves ; Interview : cible 1) viennent de décoder la formule de la cellule L4C1 et ont choisi les données qui apparaissent sur la figure 5-4 qui produisent le nombre 184 dans la cible (L4C1).

1. Christine *ça fait pas le compte*
2. Stoyan *ça fait 88 ... ça fait pas ...*
3. Observ *vous pensez que ça vient d'où , que ça aille pas ?*
4. Christine *si ça se trouve c'est la formule pour le chiffre qui était avant ...*
5. Observ *qu'est ce que tu veux dire ?*
6. Christine *ben qu'on a changé les chiffres , alors ça se trouve c'était pour le chiffre qui était avant que ...*
7. Observ *qu'est ce que tu en penses Stoyan ?*
8. Stoyan *ben là c'est le résultat de ... de ça là ... (il montre 184)*
9. Christine *la formule elle est restée ...*
10. Observ *Stoyan dit que c'est le résultat avec ces trois nombres et toi ?*
11. Christine *moi je dis peut-être que la formule elle est restée pour le résultat qu'on avait avant avec l'autre chiffre ...*
12. Observ *quel autre chiffre ?*
13. Christine *que 55 là ... on a changé 55 ...*
14. Stoyan *on met trois pour voir ce que ça va faire ... si on met 3 à la place de 55*  
...
15. Christine *ouais*
16. Stoyan *pour voir si ça refait pareil .*
17. Christine *ouais (elle tape 3,6,7 dans la colonne 1 et obtient 28 en L)*
18. Stoyan *28... c'est la même formule !*
19. Christine *oui... la formule n'a pas changé*

Christine écrit sur son brouillon une expression algébrique correspondant à la formule :

$$a \times 3 + b \times 2 + c$$

L5C4		=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]			
cible1-a					
	1	2	3	4	
1					
2					
3					
4	55				
5	6			184	
6	7				
7					
8					

Figure 5-4

Mais elle associe L4C1 et c ainsi que L6C1 et a . En remplaçant a ,b et c par les valeurs 7,6 et 55 elle obtient 88 et ne retrouve pas 184, le résultat qu'elle attend (1-2). Elle fait alors dépendre le résultat des nombres "qui étaient avant" (6) mais ce résultat était 28 et non 88. Il ne s'agit pas ici, comme on pourrait le penser, d'un problème d'options de calcul (**Calcul sur ordre** ou **Calcul automatique**), mais il s'agit pour Christine d'une influence des valeurs sur la formule. Elle pense même que la formule peut changer en raison des valeurs qu'on y introduit (11) et la vérification qu'elle entreprend avec Stoyan (13-14) consiste à remettre les valeurs 3,6,7 dont elle sait qu'elles donnent 28 comme résultat. Ils vérifient bien que la formule n'a pas été modifiée comme Christine l'avait envisagé. Ce protocole atteste que pour Christine la modification des valeurs peut affecter la formule. Il s'agit ici d'une conception qui donne aux valeurs visibles dans les cellules une influence sur les formules qui les produisent. Nous l'attribuons à la priorité donnée aux résultats dans le tableur.

Ce même binôme dans la suite de l'interview (Cible2 : interview) donnera encore une influence aux valeurs sur la formule quand Christine déclarera à propos de la formule "Mais avec les moins peut-être que ça marche pas pareil". Ceci se produit chaque fois en situation de blocage : elle a prévu certains résultats et ne les obtient pas et son explication met alors en cause la formule.

### 1.1.2.3. FORMULE LOCALE

Au cours de la formation ( Vêtements séance 3) , nous avons fourni aux élèves une situation qui devait nous permettre de repérer dans quelle mesure la formule était

construite par les élèves en fonction des valeurs apparaissant dans un tableau. Cette expérimentation a eu lieu à deux reprises dans des conditions d'enseignement identiques en 1987 et 1988 avec respectivement 5 et 6 binômes. Nous l'avons aussi proposée sous forme d'un questionnaire à des étudiants de deuxième année de sciences économiques à l'Université de Grenoble. Les documents correspondants sont en annexe.

### 1.1.2.3.1. Le problème

Le problème consiste à calculer le prix de plusieurs articles de vêtements connaissant leur prix unitaire et leur quantité (Figure 5-5). Nous avons choisi un problème très simple pour que tous les élèves auxquels nous l'avons proposé puissent définir les relations entre les grandeurs apparaissant dans la situation. La première phase du travail est simplement un contrôle de la capacité des élèves à définir et expliciter ces relations. Ensuite tout doit être traité par les élèves dans le cadre de la syntaxe de Multiplan. Dans un premier temps la formule fournie dans la barre d'édition doit être décodée pour identifier les relations qu'elle définit entre les grandeurs. Dans un deuxième temps nous demandons de coder dans le symbolisme de Multiplan la relation entre les cellules qui correspondent au calcul qu'ils ont eux-mêmes effectué au début. C'est cette dernière phase qui nous intéresse ici.

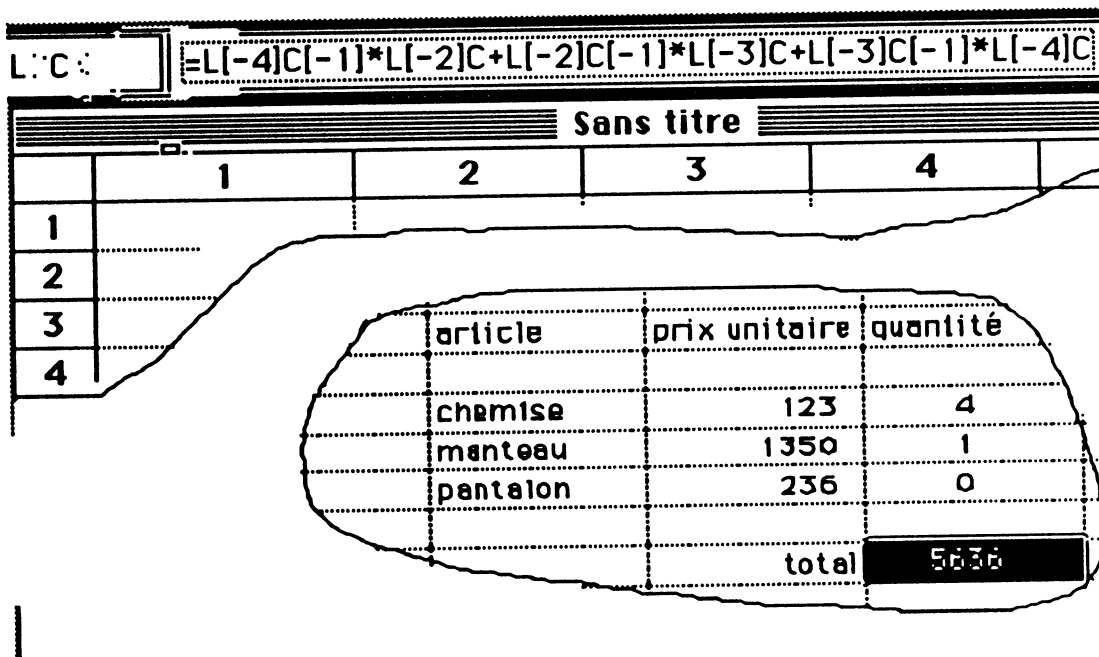


Figure 5-5

### 1.1.2.3.2. Une situation sans ordinateur

Le problème posé hors interactions possibles avec le dispositif informatique évite le recours à des procédures de type essai-erreur et des modifications locales et ad-hoc, de la formule qui seraient validées par le seul fait que le résultat calculé (par la machine) serait correct. Les élèves sont empêchés d'éditer une formule en cliquant simplement dans des cellules. Supprimer le dispositif, c'est les contraindre à passer par une compréhension de la signification de la formule.

### 1.1.2.3.3. Le choix des données

Dans la construction de la formule, nous avons pu observer dans une pré-expérimentation (Capponi Balacheff 1989) ce que nous appelons une *conception pré-algébrique*. Nous entendons par là que les données intervenant comme élément neutre d'une opération ne sont pas prises en compte dans la construction de la formule. Il s'agit dans le problème proposé ici du nombre de pantalons : 0, ou du nombre de manteau : 1. Ces nombres peuvent provoquer la construction de formules où les grandeurs correspondant à 0 et 1 n'apparaîtront pas. Ce type de conception fournit des formules fausses dans la feuille de calcul puisque en cas de modification du nombre de manteaux ou de pantalons le prix total calculé serait inexact.

	nombre	formule non construite	formule exacte	formule inexacte	influence des données
élèves 1987	5 binômes	2	1	2	2
élèves 1988	6 binômes	0	1	5	4
étudiants 1989	100	18	57	21	4

Figure 5-6

Les résultats illustrés par le tableau de la figure 5-6 indiquent des variations importantes entre les différents groupes. Notons que les élèves de 1987 ont été pressés par le temps et que certains n'ont rien construit puisque nous relevons ici la dernière question qui leur était posée. Les élèves de 1988 ont largement fait intervenir les valeurs dans la construction des formules. Alors que la proportion est très faible chez les

étudiants. Pour ceux-ci, par contre, nous ne disposons pas d'éléments concernant le détail de la construction de la formule.

Nous analysons ici quelques protocoles d'élèves au moment de la construction des formules.

Les élèves considèrent le dispositif comme une machine à calculer un peu perfectionnée qui calcule à l'aide de la formule. Ils n'envisagent pas une modification ultérieure des données qui pourrait rendre leur formule inadaptée.

1. Cécile *On va pas faire ça multiplié par 1, c'est pas la peine d'y faire ... c'est pas la peine d'y marquer ça multiplié par 1*
2. Michèle *tu multiplies... après tu fais la somme des deux ... si si multiplies y ! Mais c'est juste pour ...*
3. Cécile *pas besoin d'y marquer, on sait très bien que quelque chose multiplié par 1 ça donne ce quelque chose ...*

Cécile ne veut pas inscrire une opération inutile (1-3). Il est difficile de connaître exactement les intentions de Michèle (2), notamment si son intention était liée à un souci de généralité du tableau.

Sur le questionnaire lui-même Danielle inscrit la formule :

$$L[-4]C[-1]*L[-4]C+L[-3]C[-1]$$

et note à côté " je ne mets pas le pantalon car il n'y en a pas ".

Ce type de comportement très fréquent chez les élèves que nous avons observés, atteste l'influence de la priorité accordée aux résultats dans le logiciel. La conséquence en est une construction de feuilles de calculs qui ne correspondent pas à la généralité du problème posé puisque les formules ont un statut local dépendant des valeurs.

A propos de la situation Fiches de paye (Séance 4), nous avons pu observer chez Michèle que l'existence d'une prime égale à zéro dans la fiche de paye qu'elle utilise pour construire le modèle induit une formule inexacte pour le calcul de la base imposable (Figure 5-2):

Cécile *en ajoutant quoi ?*  
Michèle *la prime... ben la prime elle est de zéro de toute façon... alors ça va être facile ...*

Elles éditent la formule sans mettre la prime  
Michèle *et comme de toute façon il n'y a pas de prime c'est bon !*



La conception de la formule de Cécile et Michèle reste de toute façon très locale ainsi que l'atteste ce dialogue :

Cécile *Si on change les nombres on n'a qu'à tout effacé on recommencera*  
Prof *tu crois que la formule sera changée ?*  
Michèle *ben oui !*

Ces deux élèves se placent au niveau du tableau et non de la feuille de calcul où les formules permettent de tout recalculer en ne changeant que les données numériques. D'ailleurs, ces deux élèves éditeront ensuite quatre fiches de payes inexactes à partir de leur premier modèle et après les modifications demandées par le professeur, au lieu de rééditer de nouvelles fiches de paye à partir du modèle exact, elles modifieront une par une les formules inexactes de chacune des fiches déjà créées. Plus qu'une erreur stratégique des élèves, guidée par une reprise du travail déjà fait, nous interprétons ceci comme une appropriation faible de la fonction de générateur de tableau que les formules donnent à la feuille de calcul construite.

Nous retrouverons à la fin de la formation un travail du même type (Interview : Gaz-elec). Cédric pour trouver une formule recopiable dans un tableau lié<sup>1</sup> utilisera aussi des nombres plutôt que des désignations de cellules dans la formule comme on peut le constater avec la formule de la cellule L10C4 visible dans la barre d'édition (Figure 5-7).

La procédure de Cédric est une réponse au problème qu'il rencontre pour recopier une formule écrite en références relatives . C'est le seul moyen qu'il trouve pour que les valeurs de la ligne 2 apparaissent dans une formule recopiable en colonne 4. Ici encore on voit un élève qui privilégie les valeurs. En revanche le contexte est différent puisqu'il est en train d'écrire une formule et que la priorité aux valeurs apparaît ici plutôt comme une réponse adaptée au problème de la désignation des cellules. Cette formule pose le même problème que dans la situation **vêtements** : la modification des abonnements ou des prix unitaires ne sera pas prise en compte dans les calculs. Nous sommes là encore dans le cas d'une formule que l'on doit considérer comme inexacte dans le contexte d'une feuille de calcul. Ici aussi la formule peut être considérée comme ayant seulement une validité locale.

### 1.1.3. LES FORMATS

La priorité accordée aux résultats induit aussi des conceptions au niveau des nombres effectivement utilisés par le dispositif pour faire les calculs. Dans la situation

---

<sup>1</sup>Nous développons cet aspect du tableur dans le chapitre 6.

Cible 1 (interview) les choix des nombres de la colonne 1 par les sujets peuvent être issus d'une recherche à l'aide d'une équation qui fournit des valeurs approchées.

L10C4		=LC[-2]*0,15+LC[-1]*0,59+160,49+28,27			
CE6					
	1	2	3	4	5
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec	
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F	
3					
4					
5					
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom elec(KWh)	montant	
7	1	5891	513	1375,08 F	
8	2	4789	568	1242,23 F	
9	3	3569	456	993,15	
10	4	1256	689	1001,33	
11	5	2652	703	1001,33	
12	6	4582	653	1261,33	
13	7	4528	865	1378,31	
14	8	3265	458	948,73	
15	n	1752	752	875,0	

Figure 5-7

Voici le protocole de Maryse et Annie (adultes) qui jouent sur le type numérique des cellules. (Figure 5-8)

L5C4		=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]			
cible1-a					
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4	13,33				
5	15			40	
6	30				
7					
8					

Figure 5-8

Maryse choisit 15 et 30 dans les deux cellules inférieures de la colonne 1 et à l'aide d'une équation résout pour trouver le contenu de L4C5 comme quotient de 40 par 3.

1. Maryse (utilise une calculatrice)... on a dit 40... divisé par 3...
2. Annie oui c'est 13... je suis bête... 13,33333... c'est toujours le même problème ...
3. Maryse 13,333

4. Annie *donc le premier... j'ai la ligne 6 c'est là... (elle le tape)... c'était 30... la ligne 5 c'était 15... et le premier... 13,33 (elle le tape et les trois valeurs 13,333;15,30 donnent 99,999 comme résultat dans la cible)...*
5. Maryse *si on se mettait là...*
6. Annie *tu veux exactement 100...*
7. Maryse *oui entier ...*
8. Annie *pour arrondir...*
9. Maryse *oui entier ... (elle sélectionnent le format entier sur la cellule L4C1)... je vais mettre un entier pour qu'on ait 100... je sais pas si ça marchera ...*
10. Annie *mais non ça sera celui là qu'il faudrait (elle propose la cellule L5C1)...*
11. Maryse *ah oui ... comme tu veux...*
12. Annie *non parce que si tu arrondis celui là... tu va mettre 13 ou 14, tu auras pas mieux 100 ici hein... c'est plutôt celui là qu'il faut arrondir...*
13. Maryse *attends... entier ... je pense que c'est celui-ci... nombre de décimales zéro... (elle obtiennent 100 dans L5C4)...*
14. Annie *et voila c'est bon...*

Maryse a choisi de changer le format de la cellule L4C1 (9) pour obtenir exactement 100. Elle joue ainsi sur la présentation des nombres pour afficher un résultat qu'elle reconnaît approché. Annie réfute l'utilisation d'un type entier dans L4C1 (12) . Elle ne le considère pas la proposition de Maryse comme correcte. Si Maryse se situe au niveau des valeurs par contre Annie raisonne au niveau du calcul décrit par la formule. Nous considérons la proposition de Maryse et l'utilisation des formats comme une conséquence de la priorité donnée aux résultats dans le tableur : tout se passe comme si l'important était finalement l'affichage des valeurs et non le calcul décrit par les formules.

#### 1.1.4. LA RECOPIE

Le niveau auquel est envisagé la recopie est aussi un effet de la priorité donnée aux résultats. Nous avons pu l'observer à plusieurs reprises tant chez les élèves que chez les adultes.

Ainsi Nadia et Mylène (élèves) dans la situation **tables numériques** (Séance 5) :

Au moment du choix de la commande Recopier vers le bas :

1. Nadia *et ça fait quoi ça ? ... mais bon ça va te donner les mêmes nombres !*  
[...]
3. Professeur *ça recopie quoi ?*
4. Mylène *la formule !*

Nadia considère que la recopie d'une cellule contenant une formule va agir sur le résultat calculé et non sur la formule. Par contre Mylène exprime que c'est bien la formule qui sera recopiée. C'est la prise en compte du rôle de la formule qui en jeu ici.

Deux binômes d'adultes exprimeront le même type de conception de l'action de la recopie sur les résultats (Gaz elec; interview). Par exemple Annie :

Annie *je recopie cette cellule une fois vers le bas ... normalement ça devrait là...*  
 Maryse *non... attends ... recopie cellule ... ..*  
 Annie *là ça va recopier le chiffre ... le chiffre qui est dans la cellule là...*  
 Observ *vous pensez que ça recopie la valeur ?*  
 Annie *la valeur oui !*

Ou Jean-Michel et Claude :

Claude *j'ai eu peur au début qu'il me recopie 1375,08 jusqu'en bas ... que il y avait que le chiffre... exactement le même chiffre ... dans ces cas là c'est que c'est non*  
 Jean-Michel *est-ce qu'on a bien mis recopier vers le bas la formule ?*

Pour ces sujets c'est le résultat affiché dans la cellule qui prime sur la formule qui le produit.

L'ensemble des observations relevées indique que pendant et après la formation la priorité donnée aux résultats par le logiciel développe chez les utilisateurs une conception particulière de la feuille de calcul, celle-ci n'étant considérée que comme un simple tableau contenant des valeurs et les formules qui les produisent n'étant plus prises en compte.

## 1.2. REVERSIBILITE

Nous abordons ici des faits observés que notre analyse a priori ne nous avait pas permis de prévoir, concernant une conception du rôle de la formule dans le tableur. Nous appelons **reversibilité** la capacité attribuée par les sujets à une formule implantée dans une cellule qui fournit un résultat R à partir des valeurs a, b et c implantées dans d'autres cellules (Figure 5-9) de produire à partir d'une valeur S les les valeurs e, f ,g indiquées sur la figure 5-10.

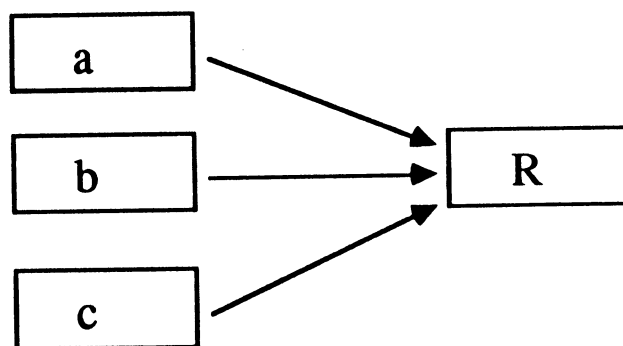


Figure 5-9

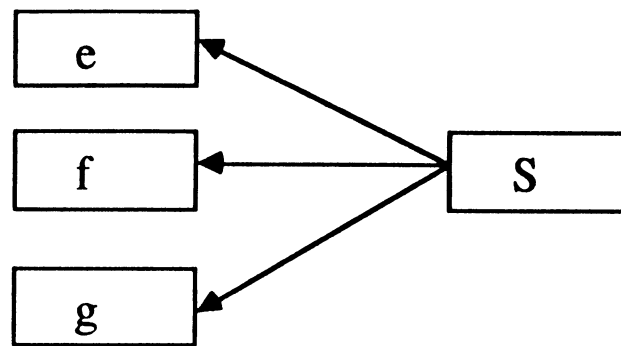


Figure 5-10

Le logiciel se voit ainsi attribuer une compétence à fournir des résultats dans d'autres cellules que celle où la formule est installée. C'est le fonctionnement même des formules dans le logiciel qui est remis en cause puisqu'à aucun moment le tableur ne peut réaliser ce type de travail. En effet une cellule ne peut contenir qu'une formule et le résultat qu'elle produit ou bien une valeur. Nous avons déjà observé ce type de conception de la formule (Chapitre 4, réplication). Les observations réalisées dans la situation interview montrent que 5 binômes d'adultes sur 7 ont évoqué la réversibilité et 3 l'ont effectivement essayée, parfois à plusieurs reprises. Chez les élèves la fréquence est plus faible puisque deux binômes sur 6 ont tenté de l'utiliser. Nous détaillons ici ces observations en fournissant les protocoles les plus explicites dans les justifications fournies.

### 1.2.1. REVERSIBILITE EFFECTIVE

La réversibilité donne lieu à des réalisations effectives au niveau de la tâche à réaliser. Ainsi, Maryse et Annie (Adultes) dans la situation Cible 1 (interview) ont d'abord décodé la formule, c'est-à-dire qu'elles connaissent les relations entre les différentes cellules de la feuille de calcul (Figure 5-4).

1. Annie *donc c'est ça la relation qu'il y a entre les trois chiffres ...et ça te donne donc euh... cette cellule ...*
2. Maryse *oui, oui*
3. Annie *donc pour avoir... 100...*
4. Maryse *ça c'est donc égal à 100...*
5. Annie *ça c'est égal à 100... (5s)... donc on va essayer de marquer 100 on va voir ce que ça fait... on se met en calcul.....*
6. Maryse *calcul...*
7. Annie *on va mettre 100 ( elle inscrit 100 dans L5C4) ... (5s)...*
8. Observ *vous l'avez fait pour quelle raison ?*
9. Annie *ben j'aurais bien aimé que ça se ... que les chiffres ... ah ben non c'est pas possible...*
10. Observ *vous pensiez quoi ?*
11. Annie *que les chiffres ...*

12. Maryse *que la formule se fasse ... soit inversée...*  
 13. Annie *non mais c'est pas possible ...*  
 14. Observ *inversée ? vous voulez dire quoi là ?*  
 15. Maryse *elle a fait sa formule elle pensait qu'en mettant 100 ça ferait tout... mais c'est pas ...*  
 16. Annie *mais non... on s'est trompées*  
 17. Maryse *comment dire... la formule elle va pas d'un côté et de l'autre... elle va que dans un sens ... on a pris à partir de ça (elle montre avec son crayon la première colonne) pour avoir 28... et non pas de 28 pour avoir 3... c'est pas des divisions...*  
 18. Annie *je crois qu'il suffit de choisir ... bon ... un nombre ... par exemple ... bon on a déjà mis 100... c'est le résultat qu'on veut... maintenant on va mettre... (elle retourne sur L5C1 puis L4C1)... on met par exemple ... n'importe quoi ... 1 ... on peut mettre n'importe quoi... ( 1,6,7 dans la colonne 1 donnent 100)...*  
 19. Observ *vous avez l'air étonnée là ?*  
 20. Maryse *le calcul se fait pas ... attends...*

La formule est connue (1) et la première réalisation de ce binôme est le remplacement du contenu de L5C4 par 100 (7). Elles attendent une modification des cellules de la colonne 1 qui ne se produit pas . (9). Puis Maryse explicitera (17) que la formule n'agit que dans un sens. Son explication ne contient cependant pas d'allusion au fait qu'une formule calcule dans la cellule où elles est implantée. Elle parle d'ailleurs de divisions dont on ne sait pas où elle les installerait. Par contre elle ne s'attendait pas à ce que la formule ait disparu (20) , il faudra l'intervention de l'observateur pour que Maryse et Annie réalisent que l'édition de 100 a effacé la formule. Elles n'utiliseront plus cette procédure par la suite.

En revanche, d'autres binômes auront plus de difficulté à analyser leur échec et réutiliseront plusieurs fois une procédure réversible. Ainsi Jean-Michel et Claude (Adultes, situation-interview : cible 1). Ils trouvent et décodent la formule, modifient l'expression en donnant une expression algébrique , Jean-Michel écrit  $3x+2y+z = 100$  puis se demande comment trouver x, y et z . C'est alors que Claude propose :

1. Claude *et si on met 100... et si on met 100 dans la colonne est-ce que ... les chiffres vont peut-être être modifiés ?*  
 2. Jean-Michel *ah oui ! bien sûr ! oui puisqu'il y a une formule , ce qu'on est bêtes ... oui, oui d'accord. on va mettre 100 dans la cellule de référence (Claude inscrit 100 dans L5C4) non !*  
 3. Observ *ça va pas. Alors qu'est ce que vous envisagez qui se passera maintenant si vous remplacez 3,6 et 7 par d'autres nombres*  
 4. Jean-Michel *ben par contre 100 va se modifier... donc il travaille dans un sens mais pas dans l'autre (Jean-Michel tape ensuite 4 dans L4C1) non ça ne change pas*  
 5. observateur *Qu'est ce qu'il s'est passé à votre avis ?*  
 6. Jean-Michel *Rien n'a changé , je pensais que quand on changeait , si c'était en mode calcul lorsqu'on changeait une colonne, ça changeait l'autre lorsqu'on avait une formule . D'habitude, nous quand on change des colonnes, ça*

- nous change , on réactualise les chiffres et ça nous change automatiquement*
7. Claude (elle tape 4,6 et 7 dans la colonne 1) *j'essaye de*
  8. Jean-Michel *la formule on l'a toujours ?*
  9. Claude *on va aller voir (elle sélectionne L5C4) on a plus de formule*
  10. Jean-Michel *voilà ! quand on a changé, on change le résultat et ça efface la formule .*

Claude et Jean-Michel connaissent la formule de L5C4 qu'ils ont même écrite avec une syntaxe algébrique, ils placent cependant 100 dans la cible en pensant obtenir les nombres cherchés. (1) La proposition de Claude est reprise avec enthousiasme par Jean-Michel pour qui c'est l'existence-même de la formule qui justifie la procédure. La question de l'observateur (3) vise à faire préciser par Jean-Michel le contenu de la cellule L5C4 après qu'une valeur ait été mise à la place de la formule. Il faudra que celui ci fasse effectivement un essai, Claude également pour que finalement la disparition de la formule soit reconnue (10). Nous voyons ici que le statut de la cellule et celui de son contenu ne sont pas maîtrisés par ces sujets. En effet ils n'envisagent pas, comme Maryse et Annie, que remplacer une formule par une valeur supprime cette formule. Les difficultés observées ici indiquent que ce n'est pas un oubli passager ou une inattention. Il faudra plusieurs échecs pour que Jean-Michel réalise ce que son action a modifié dans la feuille de calcul. Il recommencera pourtant exactement la même procédure dix minutes plus tard :

- 1 Jean-Michel *en fait ici, il nous suffirait de mettre 100 là dedans*
- 2 Claude *on va essayer*
- 3 Jean-Michel *maintenant ça va venir d'autres chiffres (ils mettent 100 dans L5C4) ben non (Claude rit)*

Ce deuxième essai est un indice de la robustesse de cette conception qui n'a pas été déstabilisée par le premier échec.

Un autre binôme, Joëlle et Yvette, utilise aussi la même procédure, mais ces adultes n'ont pas encore trouvé ni décodé la formule de la cellule L5C4. :

1. Yvette *ben si on met déjà directement 100 là (L5C4) est-ce qu'on aura pas quelque chose là ?*
2. Observ *quelque chose où ?*
3. Yvette *ben si on change le total là est-ce qu'il nous mettra automatiquement des chiffres là ?*
4. Observ *vous voulez quels chiffres ?*
5. Yvette *les chiffres qui correspondent...*
6. Joëlle *ben les chiffres qui vont correspondre au total de 100*
7. Yvette *voilà qui vont nous donner le chiffre 100 !*
8. Observ *voilà c'est qu'en tapant 100 ici, ça vous donnera automatiquement 100 ici*
9. Joëlle *mais normalement non ... enfin je sais pas, ça devrait pas ...*
10. Yvette *normalement oui parce que si la formule est rentrée dans la machine... normalement oui ...*
11. Observ *vous avez peut-être pas le même avis ...*

12. Joëlle *si c'est une multiplication ... euh... je sais pas je n'ai jamais essayé de faire ce ... on peut essayer de toute façon*
13. Joëlle *(elle tape 100 dans L5C4)... non ça change rien ... parce que là le total il est obtenu automatiquement à partir de ... d'une formule de calcul ...*
14. Yvette *oui... oui*
15. Joëlle *c'est pas en mettant un total qu'on va changer nos chiffres ...*

On peut noter ici les hésitations de Joëlle (9) qu'elle explicitera d'ailleurs après l'échec de la tentative (15) en donnant l'exemple qui lui sert de référence : connaissant un total (lui donne t-elle le sens de somme ? ) on ne peut pas retrouver les nombres qui ont servi à le construire.

Yvette , comme Jean-Michel, justifie la procédure utilisée par l'existence d'une formule (10). Tout se passe comme si pour eux la formule pouvait fournir un résultat ailleurs que dans la cellule où elle est implantée.

Par contre Joëlle et Yvette réaliseront tout de suite que la formule a disparu et qu'il faut la retrouver.

1. Joëlle *oui ... là on a anéanti la formule de calcul ...*
2. Observ *parce qu'il y avait une formule de calcul ?*
3. Joëlle *oui... ben ... euh ...elle se trouve à ce niveau là ... je suppose que pour... avant d'inscrire le 22 qu'il y avait au départ on lui a pas dit de mettre 22... on lui a pas donné l'addition ou la multiplication qu'il y avait là... on lui a dit additionner ligne 4 plus ligne 5 multiplié par ligne 6... un calcul de ce style...*

Joëlle reconnaît l'existence d'une formule (1) dont elle décrit le rôle dans la production du résultat 22 (3) . Elles décodent cette formule et l'utiliseront pour résoudre la tâche.

Le seul binôme d'élèves qui utilisera la réversibilité est celui de Ivan et Cécile.

Avant toute découverte de la formule c'est Ivan qui propose de mettre 100 dans L5C4 :

1. Ivan *il suffit de mettre 100 à la place de 28 (dans L5C4) , ça va faire tout seul*
2. Cécile *voilà*
3. Ivan *on met 100 pour voir si ça fait pas tout seul , on sait jamais*
4. Cécile *avec un peu de chance*

Il remplace 100 puis voyant que rien ne se passe il abandonne. L'essai de Ivan et Cécile est tout à fait empirique. Ils essaient pour voir en évoquant la chance. Ce binôme qui maîtrise peu le logiciel fonctionne tout au long de la séance de cette façon empirique.

### 1.2.2. REVERSIBILITE NON EFFECTIVE



Les autres binômes, tous des adultes, qui ont évoqué la réversibilité ne sont pas allés jusqu'à faire une tentative. C'est-à-dire qu'ils ont rejeté cette procédure en explicitant leur choix.

Florence n'a pas trouvé la formule et essaye d'imaginer un moyen de résoudre le problème :

Florence *Mais le problème c'est comment choisir ces trois nombres .... et en plus l'ordinateur il peut pas les trouver . si tu lui mets 100 et que tu lui donnes cet... il peut pas trouver comme ça...*

L'évocation est brève et toute suite rejetée, nous n'avons pas d'autres indices pour connaître les motifs de ce rejet.

Pour le binôme de Jocelyne et Christiane (adultes) , c'est Christiane qui proposera d'inscrire 100 dans la cible. (2)

1. Jocelyne *alors maintenant c'est trouver 100 au total .....*
2. Christiane *on va mettre 100 dans 4 on verra bien ... (elle rit)*
3. Jocelyne *ben non*
4. Christiane *va mettre 100 là bas on verra bien ...*
5. Jocelyne *on peut pas rentrer un chiffre il y a une formule ...*
6. Christiane *si on peut ...*
7. Jocelyne *oui mais c'est pas ...*
8. Christiane *on va effacer la formule*

Jocelyne refusera la procédure puisqu'il y a une formule (5) et Christiane anticipe à la suite de cette remarque l'effacement de la formule (8) consécutif à l'introduction d'une valeur.

Maurice et Annie (adultes) n'iront pas non plus jusqu'à inscrire 100 dans L5C4 :

1. Maurice *logiquement... si je mets 100 comme valeur ça doit pas redonner...*
2. Annie *je sais plus si ça marche à l'envers en fait...*
3. Maurice *non ça marche pas à l'envers puisqu'on sait pas sur lequel on est parti...*
4. Observ *qu'est ce que vous voulez dire quand vous dites que ça marche à l'envers ?*
5. Annie *si on met 100 là ...*
6. Maurice *mais ça marche pas*
7. Annie *je crois pas que ça marche...*
8. Maurice *non ça marche pas ...*
9. Observ *si ça marchait comme vous dites qu'est ce que ça produirait ?*
10. Annie *je sais pas moi, je pense que ça changerait les 3 chiffres et ça les mettrait dans le bon ordre ...*
11. Observ *ça vous donnerait ceux que vous cherchez ?*
12. Annie *oui*
13. Maurice *il y a qu'à essayer tu vois... (il rit)... ben non ça pourrait éventuellement en changer un par défaut ... et c'est tout... je pense pas que ça fasse ce genre de calcul...*

La proposition de Maurice à peine énoncée, il la réfute (1) et Annie également (2) mais l'idée initiale que fait expliciter l'observateur (9) est de nouveau abandonnée par Maurice qui pose le problème des trois valeurs à trouver (13). La tâche ne permet pas de savoir s'il aurait continué dans le cas où il n'y aurait que la référence à une seule cellule dans la formule.

Le seul binôme d'adultes qui n'évoquera à aucun moment cette procédure réversible est celui de Jean et Danielle. Ils ont d'ailleurs une maîtrise de Multiplan bien supérieure, notamment Danielle qui a développé un projet relativement complexe avec ce logiciel au cours d'un stage professionnel de deux mois dans une entreprise et dont le niveau de formation est celui d'un DUT d'informatique préparé en formation continue.

## **2. NIVEAUX D'UTILISATION**

Dans ce paragraphe nous analysons comment la construction des connaissances à l'utilisation d'un tableur met en jeu un niveau qui relève de la manipulation directe et d'un niveau de manipulation formelle pour la construction des feuilles de calcul.

### **2.1. ACTION VERSUS ANALYSE**

#### **2.1.1. NIVEAU DE L'OSTENTION**

Editer une formule, du moins dans le cas de formules simples telles que peut en manipuler un débutant, relève essentiellement de l'action. Editer une formule consiste à montrer des cellules, en fait les nombres qui y sont visibles, et à indiquer les opérations entre ces nombres. Ceci relève uniquement de l'action dans la mesure où l'on opère directement sur les nombres et que la formule ne joue aucun rôle pour l'utilisateur à ce niveau. On peut très bien éditer une feuille de calcul entière sans regarder ou comprendre la signification des formules que l'on crée. Il y a pour l'utilisateur création d'un tableau alors que le dispositif construit une feuille de calcul. Les premiers temps de l'apprentissage (Séance 2 : moyenne) nous ont montré que les élèves pouvaient éditer un tableau beaucoup plus rapidement que nous l'envisagions.

Cette facilité pour éditer des formules a pour origine une réelle qualité ergonomique de la version de Multiplan sur Macintosh employée par les élèves. Pointer une cellule avec

la souris et taper au clavier les signes d'opération n'ont pas présenté de grandes difficultés pour eux. Les élèves se situent naturellement à ce niveau de l'action pour décrire ou valider leurs résultats. La description d'une formule de calcul reste encore très liée à sa mise en place sur le dispositif. Quand les élèves cherchent à décrire la formule qu'ils ont installée, c'est en terme d'action réalisée qu'ils la décrivent et pas sous son aspect formel avec la syntaxe utilisée par le logiciel :

### MOYENNE(LC[-4] : LC[-1]) .

Nous avons pu par exemple relever chez Michèle qui cherche un moyen d'éditer plus rapidement la même formule<sup>1</sup> et demande au professeur si on ne peut pas faire plus vite :

Michèle                    *Monsieur, à chaque fois on est obligé de reprendre Edition et de faire le truc...*

Les élèves décrivent les formules en terme d'actions à réaliser. Ainsi Mylène guide

Nadia en suivant pas à pas la feuille d'information pour coller la fonction Moyenne :

Mylène                    *Tu fais édition et coller une fonction, hop... bon... après faut faire descendre le petit-truc [l'ascenseur de la fenêtre des fonctions] ... où ?*

Nadia                      *on cherche fonction... après il faut chercher moyenne, il faut faire descendre le petit truc... pas trop... pas trop... il faut vite que tu t'arrêtes après [.....] voilà va à moyenne ...*

Mylène                    *j'appuie ? et après qu'est ce qu'il faut faire ?*

Nadia                      *ouais et après il faut mettre OK ... voilà...*

Ce premier travail d'édition permet d'éditer rapidement des formules et d'obtenir aisément des tableaux. C'est une qualité du logiciel mais elle ne dispense pas l'utilisateur de rentrer un peu plus loin dans le fonctionnement du logiciel et surtout dans l'interprétation des formules qui sont éditées à la suite des actions réalisées. En effet l'utilisateur n'a aucun besoin de s'intéresser à la formule elle même, ni de donner un sens à l'expression qu'il peut apercevoir dans la barre d'édition. D'ailleurs sa complexité serait plutôt un obstacle à ce niveau.

Au cours de cette séance une seule élève s'est intéressée aux formules :

Ainsi Sylvie (élève), après avoir édité la formule : = MAX(L[-9]C : L[-4]C) et avant de la valider, croit s'être trompée dans la sélection des cellules de l'argument et tente de la contrôler :

---

<sup>1</sup> Les élèves ne disposent pas encore de la possibilité de recopier vers le bas. Cette commande leur sera donnée à la séance suivante.

Sylvie                    *Attends -9 c'est...-4... de -9 jusqu'à -4 ... -9 c'est lui... -4 c'est lui*  
 Corinne                *C'est bon*  
 Sylvie                    *je sais pas , ...si je recommençais...je recommence... je fais tout doucement... ouais c'était juste...parce que quand tu veux corriger il faut pas que tu lâches...*

et Sylvie préfère recommencer l'édition, c'est-à-dire qu'elle montre de nouveau la zone qu'elle veut sélectionner. Sylvie contrôle l'action du glissement de la souris associée au dé clic du bouton. Ce qui correspond, pour elle, à ce qu'elle contrôle visuellement de la saisie des cellules qui constituent l'argument de la fonction. Dans un premier temps, tous les élèves procèdent ainsi, souvent parce que c'est le seul moyen de corriger une formule qu'ils connaissent : on efface ce qui a été obtenu et on recommence l'édition. Mais parfois ces procédures persistent et nous les avons retrouvées chez des adultes. Ainsi dans l'interview (Gaz-elec) Claude finit de décoder la formule donnée :

1. Claude                *oui... ligne moins 5... bon c'est là... moins 2... et moins 3... et voilà c'est bon...*
2. Jean-Michel        *moi j'aurais fait... j'aurais fait d'abord... j'aurais marqué ...1375,08... ensuite j'aurais pris un exemple c'est-à-dire j'aurais réécrit la formule... alors je sais que c'est ... c'est ... comment on fait ... comme je sais pas très bien manipuler... pour moi... bon... j'aurais réécrit peut-être pas de sens là exactement , j'aurais fait la partie fixe abonnement gaz... j'aurais écrit les chiffres ...*
3. Claude                *ce qu'on peut faire c'est la réécrire la formule...*
4. Jean-Michel        *pour moi j'aurais mis ... il y a le ... moi j'aurai fait... je serais allé sur les chiffres ...*

Jean-Michel n'a pas du tout compris le décodage de Claude , sa méthode de vérification consiste à réécrire la formule en montrant les cellules. Il rejette la formule qui n'a pas d'intérêt puisqu'on peut la rééditer. Il ne s'agit plus ici d'un élève au début de la formation mais d'un utilisateur qui a reçu une formation à Multiplan.

Bien entendu, comme dans toute édition il se produit de nombreuses erreurs. Les manipulations sont parfois maladroitement , il y a des oublis dans une suite d'actions , des erreurs. Les difficultés apparaissent par exemple quand il faut faire glisser la souris et sélectionner un nombre important de cellules. En effet l'analyse des fichiers des élèves à la fin de la séance 2 a montré que 2 des 5 feuilles de calcul comportaient des erreurs. Voici par exemple la feuille de calcul de Gilles et Franco (Séance 2 : Moyennes ; Figure 5-21). Franco et Gilles ont eu des difficultés pendant la saisie des références des cellules pour le calcul de la moyenne dans la colonne 6 . La première erreur se situe dans les cellules L5C6, L6C6 et L7C6. Ces trois formules ont été éditées l'une après l'autre et non pas copiées. Pour chacune d'elles, la saisie des références se fait le long de la ligne depuis la

colonne 2 jusqu'à la colonne 6. Ils ont poursuivi le glissement de la souris jusqu'à la colonne 6 qui contient la formule de calcul. La répétition de cette erreur, qu'ils ont corrigée aux lignes 3 et 4, peut nous conduire à penser qu'elle n'est pas le résultat d'une simple maladresse. Peut-être que pour eux la colonne contenant la moyenne devait faire partie de l'argument de la fonction. Cette erreur n'empêche pas le calcul de la moyenne, mais produit tout de suite après le calcul l'apparition du message d'erreur "impossible de résoudre les références circulaires". Ces élèves ont pu ainsi éditer leur tableau, mais en étant constamment confrontés à ce message sans signification pour eux.

Le deuxième type d'erreur dans le tableau de ces élèves est celui de la formule de la cellule L8C6. Cette formule doit calculer la moyenne générale, mais la saisie des références est encore incorrecte puisqu'elle comprend, outre la cellule active, encore une cellule en plus à la ligne 8. Cette erreur provoque le même message que les précédentes.

nestor						
	1	2	3	4	5	6
1		français	math	hist-geo	anglais	moyenne
2	septembre	15	7	12	8	10,5
3	octobre	15	13	13	10	12,75
4	novembre	11	12	10	12	11,25
5	decembre	12	8	6	6	8
6	janvier	11	12	4	14	10,25
7	fevrier	8	16	12	13	12,25
8						10,833333
9	MOYENNE					
10	MIN					
11	MAX					
12						

Tableau des valeurs (Gilles et Franco S2)

nestor						
	1	2	3	4	5	6
1		français	math	hist-geo	anglais	moyenne
2	septembre	15	7	12	8	=MOYENNE(LC[-4]:LC[-1])
3	octobre	15	13	13	10	=MOYENNE(LC[-4]:LC[-1])
4	novembre	11	12	10	12	=MOYENNE(LC[-4]:LC[-1])
5	decembre	12	8	6	6	=MOYENNE(LC[-4]:LC)
6	janvier	11	12	4	14	=MOYENNE(LC[-4]:LC)
7	fevrier	8	16	12	13	=MOYENNE(LC[-4]:LC)
8						=MOYENNE(L[-6]C:L[+1]C)
9	MOYENNE					
10	MIN					
11	MAX					
12						

Tableau des formules (Gilles et Franco S2)

Figure 5-21

Cet exemple montre le cas de deux élèves qui ont rencontré de grandes difficultés dans l'édition de leur feuille de calcul. Ils n'ont à aucun moment cherché à utiliser les indications qu'aurait pu leur fournir la formule. C'est la limite des procédures liées à l'ostension : il faut pouvoir lire et exploiter la formule produite pour contrôler les instructions de calcul qui ont été données au dispositif.

Pour terminer voici encore un protocole de ces deux élèves à la séance 3 (marché commun) : ils éditent la formule calculant la somme des populations (figure 5-22):

1. Gilles *Plus ...*
2. Franco *Attends, une, deux ... Troisième, quatrième ...*
3. Gilles *Eh, trompe toi pas de lignes, parce que après, ça va ...*
4. Franco *Trois, quatre, cinq ...*
5. Gilles *Là, tu baisses un peu ...*
6. Franco *Un, deux, trois, quatre, cinq, six ...*
7. Gilles *Trompe toi pas d'une, parce que après, il va falloir tout recommencer. T'as déjà fait l'Italie ?*
8. Franco *Non ... J'l'ai pas faite, l'Italie ! Oh !*
9. Gilles *Si, tu l'as fait !*
10. Franco *Non ! Putain ...*
11. Gilles *Appuie un petit coup ... Vas-y ...*
12. Franco *Un, deux, trois, quatre, cinq, six, sept*
13. Gilles *Tu baisses, on aura bientôt fini ...*
14. Franco *Et voilà ... Tu cliques ...*
15. Gilles *voilà, stop !*
16. Franco *Et maintenant, qu'est ce qu'on fait ?*
17. Gilles *Et ben faut valider.*
18. Franco *On va dans fichier ?*
19. Gilles *Non, non, attends, attends !*
20. Franco *Dans édition ?*
21. Gilles *Attends, t'as oublié d'appuyer là, sur euh ...*
22. Franco *Ah ouais .. Entrée ! Et voilà, on a fini ! On l'a fait !*

L14C2		=L[-11]C+L[-10]C+L[-9]C+L[-8]C+L[-7]C+L[-6]C+L[-5]C+L[-5]C+L[-4]C+L[-3]C+L[-2]C+L[-1]C				
	1	2	3	4	5	6
5	FRANCE	52 920 000	551 602	95,94		
6	PORTUGAL	9 800 000	92 000	106,52		
7	DANEMARK	5 096 000	43 080	118,29		
8	LUXEMBOURG	356 800	2 586	137,97		
9	ITALIE	56 450 000	301 262	187,38		
10	GRANDE BRETA	55 937 000	244 035	229,22		
11	ALLEMAGNE	61 310 000	248 587	246,63		
12	BELGIQUE	9 890 000	30 513	324,12		
13	PAYS BAS	13 940 000	36 854	378,25		
14		308 539 800	2 488 475			

Figure 5-22

Gilles et Franco sélectionnent les cellules une par une pour ajouter les populations. Ils mettent beaucoup de soin à ne pas faire d'erreur (3) se trompent dans la sélection des cellules pour l'addition des populations (7-8-9-10), ils ne s'aperçoivent pas de l'erreur et continuent. Dès que la machine fournit un résultat ils ne cherchent pas à vérifier par une lecture de la formule qui leur aurait permis d'identifier l'erreur.

Christophe et Alexandre (élèves) dans cette même situation font aussi une erreur qu'ils ne reconnaissent pas. Dans le tableau de la figure 5-23, en éditant la formule de la cellule L9C4 ils se trompent dans la saisie des références mais obtiennent quand même un résultat, exact par hasard, compte tenu de l'interprétation que la machine fait de cette saisie. L[-1]C[-1] n'intervient pas dans le calcul et la formule donne toujours le même résultat que la formule = LC[-2]/LC[-1] quel que soit le contenu des cellules concernées. Les deux élèves n'ont pas fait cette analyse, ils n'ont même pas regardé la formule obtenue, pour eux obtenir un résultat est déjà une validation de leur formule.

L9C4		=LC[-2]/L[-1]C[-1]:LC[-1]			
marché commun 87-1					
	1	2	3	4	5
1	PAYS	POPULATION	SUPERFICIE(km <sup>2</sup> )	DENSITE H/km <sup>2</sup>	
2					
3	ALLEMAGNE	61 310 000	248 587	246,63	
4	BELGIQUE	9 890 000	30 513	324,12	
5	DANEMARK	5 096 000	43 080	118,29	
6	ESPAGNE	37 110 000	504 750	73,52	
7	FRANCE	52 920 000	551 602	95,94	
8	GRANDE BRETAGNE	55 937 000	244 035	229,22	
9	GRECE	9 280 000	131 944	70,33	
10	IRLANDE	3 200 000	70 282		
11	ITALIE	56 450 000	301 262		
12	LUXEMBOURG	356 800	2 586		
13	PAYS BAS	13 940 000	36 854		
14	PORTUGAL	9 800 000	92 000		
15					

Figure 5-23

L'ensemble de ces observations indique les limites d'une saisie non contrôlée par une analyse de la formule.

## 2.1.2. NIVEAU DE MANIPULATION FORMELLE

Ce niveau d'utilisation nécessite la prise en compte des formules, de leur signification et de leur syntaxe. Il est difficile à obtenir, la lecture des références, à elle seule, constitue déjà une difficulté majeure. Les exemples que nous avons donnés à propos de la lecture des références attestent de la difficulté représentée par la compréhension des références relatives. En effet nous avons relevé après plus de 5 heures de formation des difficultés majeures dans le décodage d'une formule simple en références relatives (Chapitre 2). Les protocoles fournis à propos de l'interview, à la fin de la formation, mettent aussi en évidence des échecs importants chez les élèves et les adultes après la formation. Cette analyse des formules est pourtant nécessaire pour obtenir une fiabilité indispensable dans la construction des feuilles de calcul. Les difficultés relevées ne portent d'ailleurs que sur des formules relativement simples du point de vue conceptuel.

Nous avons aussi largement développé le cas de la recopie dans un tableau lié (Chapitre 6) qui est typique d'une formule qui ne peut être même construite en se contentant de rester au niveau de l'action. Il faut en effet dans ce cas là d'abord comprendre l'origine de l'erreur à l'aide d'une lecture des références. Puis jouer sur d'autres types de désignations qui ne sont pas accessibles par une saisie avec la souris.

## 2.2. DISPONIBILITE DE L'OUTIL

Les utilisateurs d'un logiciel comme Multiplan en attendent un certain nombre de services pour qu'ils remplissent des fonctions qui étaient autrefois réalisées par d'autres moyens. Par exemple il permet d'éditer des tableaux de données avec un certain nombre de calculs sur les valeurs introduites. Dans le cas des adultes qui ont passé l'interview, il s'agissait pour certains d'entre eux de traiter des données correspondant à des ventilations de crédits dans des services d'une administration. Pour d'autres il s'agit de traiter l'ensemble des données correspondant aux effectifs d'élèves ou d'instituteurs d'un département. La plupart des utilisateurs arrivent à adapter l'outil à une tâche qui leur est familière. Nous faisons pourtant l'hypothèse que le tableur est souvent utilisé pour une tâche donnée en dessous des possibilités qui pourraient être disponibles. Cette limitation viendrait plutôt de l'utilisateur que des possibilités du logiciel.

Nous avons prévu dans plusieurs tâches de repérer le niveau d'utilisation que feraient les utilisateurs pour confirmer cette hypothèse.



### 2.2.1. LA COURSE DE CARRES

Dans le chapitre 3 nous avons décrit la situation carrés magiques (séance 9) qui permet aux élèves d'éditer autant de carrés magiques qu'ils veulent à l'aide d'une feuille de calcul qu'ils construisent à partir du modèle de la figure 5-24. La suite de la tâche est une compétition entre les élèves où il s'agit de trouver en un temps limité le plus de carrés magiques possibles dont la somme soit égale à 100. La feuille de calcul construite dans la première phase de la tâche correspond à la figure 5-25 où sont donnés le tableau des valeurs et les formules correspondantes.

a	a+14	b	a+3
b-2	a+5	a+6	a+8
a+7	b-4	a+10	a+4
a+12	a+2	a+1	b+2

Figure 5-24

Il s'agit pour les élèves d'utiliser le modèle qu'ils ont construit pour résoudre de manière performante une tâche de construction d'une famille de carrés magiques.

Pour que la somme soit égale à 100, on doit avoir :

$3a + b + 17 = 100$ , ce qui permet de trouver, par exemple, une expression de b en fonction de a :  $b = 83 - 3a$ . La solution la plus performante du point de vue de la course consiste à remplacer la donnée de L1C1 qui est a par une formule qui la calcule à partir de b.

L'analyse a priori permet de dégager 4 stratégies pour cette tâche :

**S1-** Une stratégie empirique qui consiste à modifier directement les valeurs correspondant à a ou b pour les ajuster en fonction de la somme obtenue.

**S2-** utilisation de règles d'actions construites à partir des modifications observées sur la somme quand on modifie les contenus des cellules représentant a ou b. Par exemple

si on ajoute 1 dans L1C3 la somme est augmentée de 1 et si on ajoute 3 à L1C3 la somme est augmentée de 3. Une fois le premier carré de somme 100 découvert il peut y avoir des règles d'actions concernant les modifications respectives de L1C1 et L1C3 pour retrouver un nouveau carré. Par exemple : si on ajoute 1 à L1C3, il faut enlever 3 à L1C1 pour retrouver un "bon carré".

L1					
	1	2	3	4	5
1	20	34	23	23	100
2	21	25	26	28	100
3	27	19	30	24	100
4	32	22	21	25	100
5	100	100	100	100	100
6	100				

	1	2	3	4
1	20	=LC[-1]+14	23	=LC[-3]+3
2	=L[-1]C[+2]-2	=L[-1]C[-1]+5	=L[-1]C[-2]+6	=L[-1]C[-3]+8
3	=L[-2]C+7	=L[-2]C[+1]-4	=L[-2]C[-2]+10	=L[-2]C[-3]+4
4	=L[-3]C+12	=L[-3]C[-1]+2	=L[-3]C[-2]+1	=L[-3]C[-1]+2
5	=SOMME(L[-4]C	=SOMME(L[-4]C:L	=SOMME(L[-4]C:L	=SOMME(L[-4]C:L
6	=SOMME(L[-5]C			

Figure 5-25

S3-Une analyse algébrique du problème peut permettre de mettre en évidence la relation  $3a + b + 17 = 100$  et éventuellement après modification l'expression de b en fonction de a :  $b = 83 - 3a$ . Ceci peut permettre de calculer des valeurs de a en choisissant b arbitrairement.

S4-L'analyse algébrique précédente peut donner lieu à l'implantation d'une formule en L1C1 qui calcule automatiquement le contenu de L1C1 quand on modifie le contenu de L1C3.

Notre hypothèse sur la disponibilité de l'outil revient ici à prévoir une absence de la stratégie 4.

Résultats :

Sur 9 binômes observés ( en 1987 et 1988) :

4 ont une stratégie qui reste empirique jusqu'au bout (Stratégie 1)

4 utilisent des règles d'actions (Stratégie 2) . Ils utilisent une stratégie de "couple" qu'ils définissent par l'observation de résultats successifs des relations entre a et b du type " on enlève 10 à a et on ajoute 30 à b " .

1 a une stratégie de type 3 issue d'une analyse algébrique de la relation :  $3a+b +17 = 100$  qui donne , transformée en  $3a+b=83$  et  $b = 3a-83$  .

En revanche aucune stratégie de type 4 n'est apparue.

Dans cette tâche, le rôle de Multiplan a été uniquement de valider les carrés magiques obtenus avec des choix de valeurs calculées en dehors du logiciel. La charge du calcul est restée aux élèves alors que le tableur aurait pu l'assurer. Cette situation au cours de la formation, nous a conduits à créer la situation cible qui a été traitée en situation interview où le même type de problème se posait.

### 2.2.2. LA SITUATION CIBLE

Dans cette situation de l'interview<sup>1</sup>, la tâche consistait à déterminer des valeurs à placer dans les 3 cellules dans la colonne 1 pour que la valeur de la cellule L5C4 soit égale à 100 (Figure 5-26). Il y avait deux modalités suivant que la formule était donnée à l'aide de références absolues ou relatives. Dans les deux cas, la recherche de la formule constituait une première partie de la tâche que nous avons déjà exposée au chapitre 3. Nous nous intéressons ici au rôle que les sujets attribuent à Multiplan dans la recherche de plusieurs triplets solutions dans la colonne 1.

L5C4		=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]				
cible1						
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
4	2					
5	5					
6	6					
7						

Figure 5-26

<sup>1</sup> la description détaillée de cette situation est fournie en annexe

A la différence de la situation "carrés magiques", la formule de calcul de la cible est disponible en sélectionnant la cellule L5C4. La donnée de cette formule facilite la découverte de l'expression algébrique correspondant à la stratégie de type 3. Par contre la construction d'une formule dans l'une des trois cellules de la colonne 1 permettant de calculer l'une des valeurs en fonction des deux autres restant à découvrir. Notre hypothèse sur la disponibilité de l'outil revient ici à dire qu'une telle formule ne sera pas construite par les sujets.

Les résultats obtenus confirment notre hypothèse sur ce point puisque, dans cette situation, sur les 13 binômes observés, 7 utilisent des stratégies de type 2 et 6 utilisent des représentations algébriques de la formule (voir le Chapitre 3 à ce sujet) utilisant éventuellement une notation à partir de références absolues. La stratégie la plus proche de celle de type 4 est celle d'Annie et Maryse (adultes) qui écrivent les expressions suivantes pour calculer L4C1 :

$$(1) \quad L4C3 \times 3 + 2 \times L5C1 + L6C1$$

$$(2) \quad 100 - L6C1 - 2(L5C1) = 3 L4C1$$

$$(3) \quad \frac{100 - L6C1 - 2L5C1}{3} = L4C1$$

Mais elles ne construiront cependant pas la formule correspondante dans L4C1 pour ajuster le contenu de L4C1 à partir des valeurs de L4C1 et L6C1. Tous leurs calculs seront faits sur un brouillon et elles ne feront que placer les valeurs calculées ainsi dans les cellules.

Dans la situation cible 2, la formule est plus complexe (elle est décrite au chapitre 3). Sur les 13 binômes 6 utilisent des stratégies de type 2 et 7 travaillent sur une expression algébrique. Mais là encore aucun n'inplantera de formule dans le tableur.

Notre hypothèse sur la faible disponibilité du tableur est confirmée par l'ensemble de ces observations. Les utilisateurs avec lesquels nous avons fait notre expérimentation restent à un faible niveau d'utilisation du logiciel puisqu'ils prennent en charge eux-mêmes une grande partie des calculs qui pourraient être faits par le tableur.



## Chapitre 6 -Multiplan outil : Feuilles de calculs liées et recopiabilité

Un aspect important pour un utilisateur d'un tableur est la maîtrise des formules recopiables dans le contexte des feuilles de calcul liées. En effet pouvoir recopier une formule à l'aide d'une des options de copie automatique (**Vers le bas** ou **à droite**) est indispensable pour faciliter l'édition de grandes feuilles de calcul. Nous aborderons ce problème de construction de formules recopiables dans le cadre de feuilles de calcul liées à partir des observations menées dans l'enseignement puis dans la situation interview.

### 1. DANS L'ENSEIGNEMENT : LA SITUATION "EQUATION".

L'analyse conceptuelle du tableur nous a conduit à définir la notion de feuille de calcul liée. La construction d'une telle feuille de calcul a été proposée à nos élèves au cours de la dernière séance, après 15 heures de formation. Il s'agit de l'activité **équation** où les élèves devaient construire un tel modèle pour trouver des valeurs approchées de solutions de plusieurs équations.

Dans cette tâche il s'agit de construire en colonne 4 (Figure 6-1) un modèle tel que L2C4 contienne la valeur initiale d'une suite construite de façon que chacun de ces éléments soit obtenu à partir du précédent en incrémentant le contenu de la cellule L1C2 (Variation ou pas). Cette feuille de calcul permet alors en éditant dans la colonne 3 les formules qui calculent l'image des éléments de la colonne 2 par une fonction (ici  $2x^2+4x-9$ ) de trouver des valeurs approchées des solutions de cette équation en étudiant les changements de signe dans la colonne 3. L'utilisateur, en choisissant chaque fois convenablement la valeur initiale et l'incrément peut approcher de façon de plus en plus fine chacune des solutions.

Avec cette feuille de calcul, on est typiquement dans le cas d'une feuille de calcul liée où la formule recopiable de la colonne 2 doit être construite d'une part à partir de la référence relative à la cellule directement au dessus dans la même colonne, et d'autre part à partir de la référence absolue de la cellule L1C2.

Equation									
	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	Variation	1	x	f(x)	1	x		f(x)	
2			0	-9		0		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
3			1	-3			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
4			2	7			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
5			3	21			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
6			4	39			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
7			5	61			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
8			6	87			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
9			7	117			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
10			8	151			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
11			9	189			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
12			10	231			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
13			11	277			=L[-1]C+L1C2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
14									

Figure 6-1 (Valeurs et Formules)

### 1.1. ANALYSE A PRIORI

Pour nous les difficultés des élèves devaient se situer dans la construction de cette formule recopiable. Chaque type de référence doit être utilisé.

-Les références relatives parce que chaque valeur de la colonne 4 est obtenue à partir de la précédente dans la colonne. Ce qui correspond à une formule où intervient L[-1]C avec la signification de "cellule du dessus" quelle que soit la position dans la colonne.

-Les références absolues parce que le pas de la cellule L1C2 est utilisée dans chacune des cellules de la colonne 4 et que sa position relative à chacune de ces cellules diffère.

A défaut d'obtenir une formule recopiable, une stratégie peut consister à éditer chaque formule une par une sans chercher la recopie. Une telle stratégie peut utiliser indifféremment des références relatives ou absolues.

### 1.2. ANALYSE DE OBSERVATIONS

Sur les 4 binômes qui ont travaillé sur cette tâche, un seul celui de Sylvie et Corinne parviendra à une formule recopiable. Les 3 autres, parviendront cependant à construire le modèle demandé, mais en éditant les formules, une par une, dans la colonne 4. Deux le réaliseront avec des références relatives et un avec des références absolues.

### 1.2.1. LE CAS EXEMPLAIRE DE MYLENE ET NADIA

L'exemple de Mylène et Nadia est exemplaire dans la mesure où ces élèves passent par toutes les étapes que nous avons envisagées dans la construction des formules de la colonne 4. Nous présentons ici les étapes successives de leur travail.

#### 1.2.1.1. UNE COLONNE FIXE

Les valeurs de la suite sont des données simplement introduites au clavier : nous parlons ici de "colonne fixe" dans la mesure où aucune modification n'est produite par la modification des deux paramètres, "valeur initiale" et "variation".

Mylène et Nadia commencent à éditer les textes ( Ligne 1) puis les formules de la colonne 5. Elles obtiennent alors le tableau de la figure 6-2.

Nadia *donc on met les chiffres*  
 Mylène *ben oui...je crois bien.*

	2	3	4	5
ON	1	x	f(x)	
		0	-9	
		1	-3	
		2	7	
		3	21	
		4	39	
		5	61	
		6	87	
		7	117	
		8	151	
		9	189	
		10	231	
		11	277	

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1	x	f(x)	
2			0	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
3			1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
4			2	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
5			3	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
6			4	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
7			5	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
8			6	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
9			7	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
10			8	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
11			9	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
12			10	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
13			11	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
14					

Figure 6-2 (Valeurs et Formules)

#### 1.2.1.2. CONSTRUCTION AVEC LA SOURIS : REFERENCES RELATIVES

Mylène et Nadia n'obtiennent aucune modification du tableau en éditant 0 dans la cellule L2C4. Cette absence de modifications conduit les élèves à éditer une formule avec la souris dans L3C4 : (Figure 6-3).



Mylène  
 Nadia  
 Mylène  
 Nadia  
 Mylène

*bon attends ... tu vas dans ... on fait ...  
 maintenant on fait cette cellule plus ... plus 1  
 Ouais, ouais  
 ça (elle clique dans L2C4)  
 Ouais, ouais , maintenant il faut que tu te mettes dans le 1 (Nadia clique dans L1C2)...voilà... mets zéro ... voila et maintenant il faut qu'on recopie vers le bas.*

Après avoir observé la modification du contenu de L3C4 en mettant 0 comme valeur initiale, Mylène considère sa formule comme correcte et la recopie pour obtenir l'ensemble de la colonne 4. Ces élèves éditent une formule qui doit, pour elles, prendre en compte les modifications des contenus de L1C2 et L3C4. Mais dès la ligne 4, l'incrément 1, n'est plus ajouté puisque la référence relative L[-2]C[-2] ne désigne plus la cellule L1C2 mais L2C2. Cette cellule ne contenant rien est considérée comme zéro par le logiciel. Il en est de même dans toute la colonne. Ces élèves obtiennent dans la colonne 4 une suite de valeurs 1, qui n'est pas la suite d'entiers consécutifs qu'elles attendent.

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1		x	f(x)
2				0	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
10				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
11				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
12				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
13				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
14				=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1		x	f(x)
2				0	-9
3				1	-3
4				1	-3
5				1	-3
6				1	-3
7				1	-3
8				1	-3
9				1	-3
10				1	-3
11				1	-3
12				1	-3
13				1	-3
14				1	-3

Figure 6-3 (Formules et valeurs)

### 1.2.1.3. REFERENCES ABSOLUES ET INCREMENT FIXE

Une intervention du professeur à toute la classe à propos des références absolues conduit Mylène et Nadia à éditer la feuille de calcul de la figure 6-4. Elles utilisent des références absolues pour la valeur initiale, mais abandonnent de nouveau l'utilisation de références pour l'incrément. Les valeurs obtenues dans la colonne 4 sont les mêmes:

Mylène *En réalité c'est normal*  
Nadia *pourquoi ?*  
Mylène *ben si tu dis ... regarde je vais te montrer... parce que regarde eh ben L2C4 c'est zéro plus 1 ça te fait 1 ... donc il faut pas qu'on recopie vers le bas*  
Nadia *Il faut faire à chaque fois une formule ?*  
Mylène *je sais pas*

Les valeurs obtenues et l'impossibilité de recopier est reconnue par Mylène. C'est Nadia qui propose d'abandonner la recopie et donc d'éditer les formules une à une dans la colonne 4. En revanche l'incrément n'est pas pris en compte en tant que paramètre.

### 1.2.1.4. TOUT EN REFERENCES ABSOLUES

L'étape suivante a consisté pour elles à éditer une formule en références absolues dans L3C4 en prenant en compte l'incrément (variation). (Figure 6-5).

Mylène *... plus L1C2... (elle a édité L2C4+L1C2 dans la cellule L3C4 puis valide)...oh merde... ah mais non il faut recopier vers le bas ... allez remonte ... Pfff... j'espère que ça va marcher parce que merde ... [elles rient parce qu'elles obtiennent encore la même suite de valeurs]. Là bon on va taper la formule à chaque fois parce que merde ...*  
Nadia *On refait la formule à chaque fois c'est mieux .*

Mylène malgré l'analyse précédente réalise une recopie de la formule obtenue, elle finira par se rallier à la proposition de Nadia d'éditer les formules une à une.

### 1.2.1.5. EDITION DES FORMULES UNE PAR UNE

Ces élèves termineront cette phase du travail en modifiant une par une toutes les formules de la colonne 4. La figure 6-6 montre la feuille de calcul terminée. Toutes les références des formules de la colonne 4 sont absolues.

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1	x		f(x)
2				0	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
10				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
11				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
12				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
13				=L2:F4+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
14					

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1	x		f(x)
2				0	-9
3				1	-3
4				1	-3
5				1	-3
6				1	-3
7				1	-3
8				1	-3
9				1	-3
10				1	-3
11				1	-3
12				1	-3
13				1	-3
14					

Figure 6-4 (Formules et valeurs)

Mylène et Nadia sont parmi les élèves les plus performants sur le tableur. Pour cette dernière séance, les constructions successives qu'elles réalisent indiquent l'importance de l'obstacle que représente la construction d'une formule contenant les deux types de références. Ces difficultés proviennent des connaissances algébriques des élèves où les désignations des variables ne dépendent pas de leur localisation comme cela se produit dans la situation décrite ici dans le tableur.

De surcroît, dans cette tâche, l'édition de dix formules ne représente pas un travail suffisamment dissuasif, ce qui conduit alors les élèves à éditer les formules une par une plutôt que de chercher une solution dans le cadre d'une formule recopiable.

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1		x	f(x)
2				0	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
10				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
11				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
12				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
13				=L[-1]+L1[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
14					

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1		x	f(x)
2				0	-9
3				1	-3
4				1	-3
5				1	-3
6				1	-3
7				1	-3
8				1	-3
9				1	-3
10				1	-3
11				1	-3
12				1	-3
13				1	-3
14					

Figure 6-5 (Formules et valeurs).

### 1.2.2. LE CAS DE CHRISTOPHE : INITIALISATION ET RECOPIABILITE

Parmi toutes les stratégies des élèves nous relèverons aussi le travail de Christophe et Franco. Ces deux élèves ont rencontré à la fois des problèmes dans l'initialisation de la suite et dans la construction de la formule recopiable. Confrontés au même obstacle que Mylène et Nadia, ils ont fini par éditer une par une des formules utilisant des références relatives. Nous donnons ici une description rapide de leur stratégie.

Tout d'abord Christophe édite la formule =L[-1]C+1 (Figure 6-7) qui produit après recopie la suite des entiers de la colonne 4. On voit ici que les élèves à ce niveau de formation réalisent facilement ce type de construction correspondant à une réplique élémentaire. On peut rapprocher cette formule de celle éditée par Nadia et Mylène à l'étape 3 (Figure 6-4) dans la mesure où la variation n'est pas considérée comme une variable, mais éditée séparément dans chaque formule. L'obstacle provient de l'absence de modifications de la colonne 4 quand on change le contenu de la cellule L1C2.

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1	x		f(x)
2			0		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3			=L2C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4			=L3C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5			=L4C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6			=L5C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7			=L6C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8			=L7C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9			=L8C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
10			=L9C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
11			=L10C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
12			=L11C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
13			=L12C4+L1C2		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
14					

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1	x		f(x)
2			0		-9
3			1		-3
4			2		7
5			3		21
6			4		39
7			5		61
8			6		87
9			7		117
10			8		151
11			9		189
12			10		231
13			11		277
14					

Figure 6-6 (Formules et valeurs).

					CF1		
	1	2	3	4	5	4	5
1	VARIATION	0,1	x	f(x)		x	f(x)
2			0	-9		0	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3			1	-3		=L[-1]C+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4			2	7		=L[-1]C+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5			3	21		=L[-1]C+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6			4	39		=L[-1]C+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7			5	61		=L[-1]C+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8			6	87		=L[-1]C+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9			7	117		=L[-1]C+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Valeurs

Formules

Figure 6-7

Christophe agit alors à la fois au niveau de l'initialisation et sur l'invariant qu'il doit construire pour la réplication dans la colonne 4.

### 1.2.2.1. INITIALISATION

Christophe réalise son action sur l'initialisation en éditant à trois reprises des formules qui pour lui doivent simultanément initialiser le processus et prendre en compte l'incrément. Ces trois formules sont :

$$(1) \quad =0+L[-1]C[-2]$$

$$(2) \quad =0*L[-1]C[-2] \quad \text{Formules recopiées dans la Colonne 4}$$

$$(3) \quad =LC +0,1$$

La première est l'addition de la valeur initiale et de l'incrément . Tout se passe comme si Christophe ne doutait pas que le dispositif considérait séparément ces deux valeurs. La cellule contenant alors simultanément deux valeurs différentes. On retrouve ce type de conception dans la construction d'une formule comme  $LC+LC+1$  pour l'itération (Chapitre 4 § 3).

La deuxième formule peut être considérée comme une modification ad-hoc de la première pour obtenir la valeur 0 comme valeur initiale, indépendamment du sens que cela peut avoir au niveau des relations établies entre les cellules.

La troisième, produite par l'action de montrer la cellule où est éditée la formule, est la traduction de l'intention d'ajouter la cellule contenant la valeur initiale, envisagée cette fois-ci comme variable et la valeur fixe de l'incrément.

### 1.2.2.2. INVARIANT

Les modifications que Christophe apporte à la formule relèvent de deux registres différents :

- Il agit de manière empirique pour obtenir l'affichage de valeurs correctes dans la colonne 4, sans prendre toujours en compte la nature des modifications algébriques de la formule qu'il construit. Tout le travail de Christophe est guidé par les valeurs numériques affichées dans la colonne 4.

- Il revient à l'addition de la variation comme donnée. L'impossibilité qu'il rencontre à faire prendre en compte la cellule L1C2 dans la formule le conduit à ajouter la variation comme une donnée alors qu'il tente de faire intervenir la cellule comme variable dans sa formule.

Nous donnons maintenant les différentes formules qu'il a éditées successivement dans la cellule L3C4 et qu'il a recopiées dans les autres cellules de la colonne 4 pour obtenir les valeurs numériques fournies par les formules. Ces valeurs, apparentes dans les cellules de la colonne 4, constituent l'un des éléments déterminants de la stratégie de Christophe. Ce sont elles qui le guident pour déterminer des modifications ad-hoc de la formule. Cette stratégie empirique est pour nous l'un des effets de la priorité aux résultats dans le logiciel.

	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	variation:	0,1	x	f(x)		0,1	x	f(x)	
2				0	-9			0	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3				1	-2,2			=L[-1]*C+1+L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4				1	8,22			=L[-1]*C+1+L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5				1	22,6			=L[-1]*C+1+L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6				1	41			=L[-1]*C+1+L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7				1	63,4			=L[-1]*C+1+L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8				1	89,8			=L[-1]*C+1+L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9				1	120			=L[-1]*C+1+L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Figure 6-8 (Valeurs et formules)

Par exemple, la figure 6-8 illustre une étape où ayant édité puis recopié la formule visible dans la colonne 4, Christophe attend une suite de valeurs dans cette colonne. C'est cette liste de valeurs, non conforme à ses prévisions qui le conduit à modifier la formule de L3C4.

Nous donnons ici (Figures 6-9 à 6-13) les différentes formules qu'il a éditées et recopiées ainsi que les valeurs produites par chacune.

	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	variation:	0,1	x	f(x)		0,1	x	f(x)	
2				1	-3			1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3				1	-8,58			=L[-1]*C*L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4				0	-9			=L[-1]*C*L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5				0	-9			=L[-1]*C*L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6				0	-9			=L[-1]*C*L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7				0	-9			=L[-1]*C*L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8				0	-9			=L[-1]*C*L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9				0	-9			=L[-1]*C*L[-2]*C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Figure 6-9 (Valeurs et formules)

	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	variation	0	x	f(x)		0,1	x		f(x)
2			0	-9			0		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3			1	-8,12			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4			0	-7,62			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5			0	-7,08			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6			1	-6,5			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7			1	-5,88			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8			1	-5,22			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9			1	-4,52			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Figure 6-10 (Valeurs et formules)

	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	variation	0,1	x	f(x)		0,1	x		f(x)
2			1	-3			1		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3			1,1	-2,18			=L[-1]C+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4			1,1	-2,18			=L[-1]C+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5			1,1	-2,18			=L[-1]C+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6			1,1	-2,18			=L[-1]C+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7			1,1	-2,18			=L[-1]C+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8			1,1	-2,18			=L[-1]C+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9			1,1	-2,18			=L[-1]C+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Figure 6-11 (Valeurs et formules)

	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	variation	0,1	x	f(x)		0,1	x		f(x)
2			1	-3			1		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3			1,2	-1,3			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4			1,3	-0,4			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5			1,4	0,52			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6			1,5	1,5			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7			1,6	2,52			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8			1,7	3,58			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
9			1,8	4,68			=L[-1]C+0,1+L[-2]C[-2]		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Figure 6-12 (Valeurs et formules)

La recopie de la dernière formule (Figure 6-13), réalisée d'ailleurs plusieurs fois, ayant échoué, puisqu'elle ne donne pas les valeurs attendues, Christophe éditera alors les formules une par une avec des références relatives obtenues à l'aide de la souris (Figure 6-14). Il opère ainsi de la même façon que Mylène et Nadia mais avec des références relatives.



	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	variation:	0,1	x	f(x)		0,1	x	f(x)	
2				1	-3		1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
3				1,1	-2,2		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
4				1,1	-2,2		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
5				1,1	-2,2		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
6				1,1	-2,2		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
7				1,1	-2,2		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
8				1,1	-2,2		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
9				1,1	-2,2		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	

Figure 6-13 (Valeurs et formules)

	1	2	3	4	5	2	3	4	5
1	variation:	0,1	x	f(x)		0,1	x	f(x)	
2				1	-3		1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
3				1,1	-2,18		=L[-1]C+L[-2]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
4				1,2	-1,32		=L[-1]C+L[-3]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
5				1,3	-0,42		=L[-1]C+L[-4]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
6				1,4	0,52		=L[-1]C+L[-5]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
7				1,5	1,5		=L[-1]C+L[-6]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
8				1,6	2,52		=L[-1]C+L[-7]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	
9				1,7	3,58		=L[-1]C+L[-8]C[-2]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9	

Figure 6-14 (Valeurs et formules)

Nous considérons que ces élèves bien qu'ils aient réussi à construire un modèle de feuille de calcul qui leur permettra de rechercher des solutions d'équations., ne sont cependant pas parvenus à construire une formule qui soit recopiable. Comme avec Mylène et Nadia, le nombre de cellules à éditer était trop petit pour les dissuader de se lancer dans une édition des formules une à une.

### 1.2.3. LE CAS DE SYLVIE : UNE FORMULE RECOPIABLE

En revanche pour deux autres élèves, Sylvie et Corinne, les remarques du professeur concernant les différents types de références les ont conduites à construire une formule recopiable dans la colonne 4. Elles sont d'ailleurs les seules élèves à l'avoir réalisé.

Pour réaliser cette construction, elles sont d'abord passées par la phase 2 de Mylène et Nadia (références relatives).

Sylvie [selectionne L3C3]...on fait égal... celle là [elle clique dans L3C2]  
 ..plus ... L1C2 et puis plus 1 il faut faire  
 Elle obtient la feuille de calcul de la figure 6-15.

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1	x	f(x)	
2			1	-3	
3			2	21	
4				-9	
5				-9	
6				-9	
7				-9	

	1	2	3	4
1	VARIATION	1	x	f(x)
2			1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3			=L[-1]C+L[-2]C[-1]+1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4				=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5				=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6				=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7				=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Figure 6-15 (Valeurs et formules)

Sylvie *...pourquoi 3, ouh la la ... on met pas plus 1 j'ai décidé [elle efface plus 1 dans la formule] maintenant on recopie vers le bas ... [elle le fait] ah voila [très satisfaite].*

Elle obtient la feuille de Calcul de la figure Figure 6-16.

	1	2	3	4	5
1	VARIATION	1	x	f(x)	
2			1	-3	
3			2	7	
4			2	7	
5			2	7	
6			2	7	
7			2	7	

	1	2	3	4
1	VARIATION	1	x	f(x)
2			1	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
3			=L[-1]C+L[-2]C[-1]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
4			=L[-1]C+L[-2]C[-1]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
5			=L[-1]C+L[-2]C[-1]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
6			=L[-1]C+L[-2]C[-1]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
7			=L[-1]C+L[-2]C[-1]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9
8			=L[-1]C+L[-2]C[-1]	=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9

Figure 6-16 (Valeurs et formules).

C'est à ce moment que le professeur propose à la classe un exemple disqualifiant les références relatives et propose d'employer des références absolues dans des situations du type de celles que rencontre Sylvie. Les explications générales du professeur sont interprétées par Sylvie dans le cadre de la feuille de calcul qu'elle construit. Elle reconnaît l'impossibilité de recopier puis décide de conserver la référence relative à la cellule du dessus dans la colonne. Elle choisit une référence absolue pour l'incrément ce qui lui donne une formule recopiable. Chez cette élève on voit aussi apparaître des étapes des stratégies développées par d'autres : une donnée fixe (1 dans la figure 6-15), remplacée par une référence relative (Figure 6-16). Mais c'est la reconnaissance de l'impossibilité de

la recopie liée au rôle joué par le référence relative dans cet échec qui la conduit à l'écriture d'une formule utilisant des référence absolues.

Les observations de cette situation indiquent la présence constante d'une difficulté dans la construction d'une formule mixte du point de vue des références utilisées. Ce sont les connaissances algébriques des élèves qui se posent en obstacle dans la mesure où les désignations algébriques sont invariantes. Une variable désigne toujours le même nombre, dans un calcul donné. Dans le tableur la désignation d'une cellule est liée à la géographie du tableur dans le cas des références relatives. La situation que nous venons de décrire présentait un ensemble de formules qui, en cas d'échec de la recopie, pouvait être réalisé en éditant une à une les formules ainsi que le montrent les études de cas. Nous avons été conduits, pour cela, à réaliser une expérimentation spécifique dans le cadre de l'interview. C'est cette situation que nous décrivons maintenant.

## 2. SITUATION EXPERIMENTALE : GAZ-ELEC

Nous avons proposé cette situation dans l'interview à des binômes d'élèves, de même type que dans l'enseignement et en parallèle, et à des adultes utilisant le tableur en situation de travail. Cette situation que nous appellerons "Gaz-elec" a été construite pour que les utilisateurs rencontrent les difficultés propres à la construction d'une formule recopiable dans une feuille de calcul liée.

### 2.1. DESCRIPTION DE LA SITUATION

On fournit aux sujets et sur l'ordinateur la feuille de calcul dont la figure 6-17 est une image écran qui en représente une partie puisque la feuille disponible sur l'ordinateur comporte 33 clients.

Un document sur papier fourni aux sujets comporte une image écran comme celle de la Figure 6-17, avec les valeurs uniquement, ainsi que la consigne suivante :

*Ce tableau est un extrait d'une feuille de facturation de gaz et d'électricité.  
Les prix unitaires et les abonnements sont fixés par EDF-GDF, les consommations des clients sont relevées sur les compteurs, tous ces nombres sont des données.*

*Le client N°1 doit payer 1375,08 F.*

*Vérifiez et complétez le tableau .*

L7C4		=LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]					
ns1							
	1	2	3	4	5	6	7
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec			
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F			
3							
4							
5							
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom élec(KWh)	montant			
7	1	5891	513	1875,08 F			
8	2	4789	568	0,00 F			
9	3	3569	456				
10	4	1256	689				
11	5	2652	703				
12	6	4582	653				
13	7	4528	865				

	1	2	3	4
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec
2	160,49	28,27	0,15	0,59
3				
4				
5				
6	N° Client	consom gaz	consom élec	montant
7	1	5891	513	=LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]
8	2	4789	568	=LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]
9	3	3569	456	
10	4	1256	689	
11	5	2652	703	
12	6	4582	653	
13	7	4528	865	

Figure 6-17 (Valeurs et formules)

## 2.2. OBJECTIFS

Il s'agit essentiellement dans cette situation d'étudier, chez des utilisateurs ayant reçu une formation minimale, élèves ou adultes, les compétences concernant trois points principaux :

- 1) Le décodage et l'interprétation d'une formule en références relatives ;
- 2) la recopiableté d'une formule du double point de vue du système de références utilisé et de la dimension du tableau dans un contexte de feuille de calcul liée ;
- 3) la construction d'une formule utilisant un double système de références

Le premier point a donné lieu à différentes analyses développées dans les chapitres précédents (2, 3 et 5).

Ce sont les deux derniers qui sont l'objet de ce qui suit.

### **2.3. VARIABLES DE COMMANDE DE LA SITUATION**

La situation est construite avec un certain nombre de caractéristiques qui permettent d'envisager quels types de difficultés les sujets vont rencontrer et les stratégies qui seront mises en œuvre pour les résoudre. Selon notre hypothèse, les connaissances algébriques doivent se dresser en obstacle pour la construction d'une formule comme cela est apparu dans la situation équation. Il s'agit ici, pour les sujets, de reconnaître l'impossibilité de recopier la formule de L7C4 puis de passer d'une disqualification des références relatives à la nécessité de la construction d'une formule recopiable, cette construction devant faire intervenir les modes de désignation. Notre hypothèse est que la disqualification des références relatives que doit amener l'impossibilité de recopier la formule donnée doit conduire les sujets à construire une formule recopiable.

Nous avons construit en conséquence la feuille de calcul fournie aux sujets avec les variables de commande de la situation suivantes :

1) La formule proposée est construite uniquement avec des références relatives pour la rendre non recopiable pour le calcul des montants des autres clients que le premier ;

2) Les éléments indépendants des clients (Prix unitaires et abonnements) sont placés en haut du tableau, sur la ligne 2. Ces données sont séparées des consommations par trois lignes vides (3, 4 et 5) de façon à produire par recopie de la formule proposée des montants nuls pour les trois premiers clients ;

3) La disposition en colonne des consommations et les données fixes en haut du tableau obligent à construire une formule utilisant à la fois des références relatives et des références absolues (ou des noms);

4) Le nombre de clients est 33 de façon à disqualifier les stratégies d'édition des formules une par une.

5) La cellule L8C4 contient la valeur zéro qui peut être analysée comme en contradiction avec le problème. Ceci peut conduire à une découverte de la formule qui produit ce résultat puis à l'analyse de cette formule.

## 2.4. ANALYSE A PRIORI DES STRATEGIES

La tâche consiste, en premier lieu, à analyser le calcul fait par la machine dans L7C4 et à s'assurer de sa correction du point de vue de la description des calculs faits par la machine en rapport avec le problème posé. L'interprétation du calcul proposé ne doit pas présenter de difficultés du point de vue des calculs à faire ni pour les élèves de troisième ni pour les adultes concernés par l'expérimentation.

Il faut ensuite compléter le tableau . C'est là que les sujets doivent rencontrer les principales difficultés puisque la formule construite en L7C4 n'est pas recopiable, en effet placée en L8C4 elle fournit un montant à payer nul ce qui n'est acceptable. Il en est de même pour le reste de la colonne. Cette formule, construite avec des références relatives, ne prend pas en compte les éléments fixes de la ligne 2 quand on la recopie vers le bas.

•Utiliser les références absolues uniquement n'est pas non plus possible puisque les consommations changent sur chaque ligne. C'est donc une utilisation mixte de références relatives et absolues qui est nécessaire.<sup>1</sup> Nous prévoyons chez la plupart des sujets une recopie de la première formule en références relatives : cette recopie provoquant des résultats absurdes au niveau du problème .

C'est l'analyse de la formule qui, seule peut permettre aux sujets de franchir cette difficulté. Elle permet de disqualifier les références relatives et doit permettre de proposer ensuite une formule recopiable construite avec un système mixte de références.

La présence du zéro de la cellule L8C4 peut à elle seule constituer la difficulté conduisant à l'analyse de la formule en références relatives dans la mesure où elle est en contradiction avec la signification de cette situation.

L'ensemble des deux situations Cible (interview) qui a précédé cette situation a été construit pour que les sujets rencontrent à la fois des références relatives et absolues qu'ils sont tenus de décoder pour analyser les calculs faits par la machine. Les sujets abordent donc la situation Gaz-elec en ayant utilisé ces deux types de références.

Cette situation a aussi été utilisée avec les 13 binômes (7 d'adultes et 6 d'élèves de troisième). Nous donnons ici une analyse des stratégies de résolution mise en place qui sont résumées dans le tableau de la figure 6-10 à la fin de ce chapitre.

---

<sup>1</sup>On peut aussi remplacer les références absolues par des noms.

## 2.5. ANALYSE DES OBSERVATIONS

Le tableau récapitulatif (Figure 6-21) à la fin du chapitre permet d'avoir une vue d'ensemble des résultats.

### 2.5.1. DIFFICULTES LIEES A LA PRESENCE DU ZERO

9 binômes sur 13 ont mis en cause la présence de la valeur zéro dans la cellule L8C4 (Figure 6-18) comme incompatible avec le problème. Notons que c'est le cas de tous les élèves alors qu'il ne s'agit que de 3 binômes d'adultes sur 7.

L8C4		=LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]			
<b>gaz elec-b</b>					
	1	2	3	4	
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec	
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F	
3					
4					
5					
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom élec(KWh)	montant	
7	1	5891	513	1375,08 F	
8	2	4789	568	0,00 F	
9	3	3569	456		

Figure 6-18

#### 2.5.1.1. LE CAS DE FLORENCE ET PHILOMENE : CONTRADICTION EN RAPPORT AVEC LE PROBLEME ET ANTROPOMORPHISME

Pour ces deux adultes, étudiantes en maîtrise de langues, il n'est pas possible qu'un client ait une facture nulle. Mais la vérification de la formule qu'elles ont effectuée pour la cellule L7C4, les conduit à la considérer aussi exacte pour L8C4. C'est cette contradiction et une interprétation très anthropomorphique du fonctionnement du dispositif qui vont leur créer le plus de difficultés.

Florence et Philomène viennent de décoder la formule en L7C4 et ont contrôlé le résultat calculé.

1. Philomène *attends s'il y a un zéro pourquoi ?*

2. Florence *il a été dispensé de facture... il a de la chance ...*
3. Philomène *pourquoi il y a un zéro oui ... c'est maintenant que j'y pense ...*
4. Florence *ben on va essayer de faire le calcul on va voir ce que ça fait on sait jamais ...*
5. Philomène *en faisant comme on a fait pour le client N°1 ?*
6. Florence *de toute façon ça donnera pas zéro c'est évident*
7. Philomène *c'est évident... il en a consommé moins ... à partir d'un certain tarif on paye pas ... je sais pas (elle rit) ...*
8. Observ *il a consommé quand même il doit payer*
9. Philomène *il y a une erreur alors ...*
10. Florence *oui mais on peut pas savoir si le gars fait des erreurs ...*
11. Philomène *fais déjà le calcul pour savoir ce qu'il devrait payer normalement...*
12. Florence *(avec la calculette : elles calculent de la même façon que pour le client 1 )... 1242,23*
13. Philomène *est ce que c'est logique ? il consomme moins de gaz et plus d'électricité ... ouais ça va*
14. Florence *ah oui ça serait normal...*
15. Philomène *pourquoi il y a un zéro... (20s)*
16. Florence *on va se mettre sur zéro on va bien voir...*
17. Philomène *comment il a...*
18. Florence *on va bien comprendre quand même... on va voir d'ailleurs là ce qu'il mettent... histoire de voir... (elle sélectionne L7C4)... d'accord...ouais bon c'est tout notre calcul, on va pas vérifier c'est ça ...*
19. Philomène *mais si ça doit être intéressant ...*
20. Florence *ça doit être bon... c'est automatiquement le calcul qu'on ... parce qu'il n'y a pas 46 manières de ...*
21. Philomène *mais si pourquoi ?*
22. Florence *ben ... oh ben ...*
23. Philomène *regarde LC... moins 2 fois L moins 5...*
24. Florence *attends regarde à quoi ça correspond... L...*
25. Philomène *ben LC...*
26. Florence *alors... moins 2... pfft... d'accord... multiplié par moins 5... tac tac tac ... moins 1... oui donc c'est ce qu'on a fait... plus...*
27. Philomène *LC moins 1*
28. Florence *LC moins 1... d'accord... multiplié par L moins 5... c'est ça ... ouais ben c'est le calcul qu'on a fait Philo...*
29. Philomène *attends et le moins 5 comment tu le fais ?*
30. Florence *ben si ça monte ... plus L ... tu montes Philo...*
31. Philomène *ouais plus...*
32. Florence *plus L moins 5... euh... C moins 3... 1,2,3,4,5... 1,23,... c'est ça plus le deuxième ... bon ben c'est juste c'est ça...*
33. Philomène *qu'est ce qu'on a fait comme calcul... maintenant mets toi sur zéro...*
34. Florence *(excédée)... c'est ce que je veux faire ... zéro... voilà ...*
35. Philomène *ah ben c'est le même calcul ... hein...*
36. Florence *il y a un problème... (5s)... comment ça se fait... qu'est ce que c'est que ce truc...*
37. Observ *c'est le même calcul... la même formule ?*
38. Philomène *enfin... la même formule... oui ... et on trouve zéro... apparemment c'est normal...*
39. Florence *ben non il y a une erreur... (20s)... [...]*
40. Philomène *ce qui est marrant c'est de savoir pourquoi ça fait zéro... apparemment pour l'ordinateur c'est juste ... faut voir pourquoi... bon parce que nous ça fausse tous nos calculs... si c'est nous qui empochons les sous... (elle rit)...*
41. Florence *ce qu'il faut savoir avant de chercher c'est ce qui est juste ... est-ce que c'est le zéro qui est juste et que cette formule s'applique pas ... ou que ...*



42. Philomène *ben non c'est pas zéro ! ... il faut comprendre pourquoi l'ordinateur pense que zéro c'est juste ...*

Ce protocole illustre les trois niveaux auxquels se situent les sujets :

- la signification au regard de la facturation
- le rôle joué par la formule
- l'interprétation anthropomorphique du fonctionnement du dispositif

En effet c'est d'abord le montant zéro à payer qui est mis en cause (1-2-3) et provoque un calcul avec la calculette "pour voir" (4-5-11-12-13-14). Florence et Philomène travaillent entièrement au niveau du sens de la valeur zéro dans le problème. Après leur vérification du montant à payer (12) elles sont conduites à analyser le calcul effectué dans le tableur : elles sélectionnent la formule ( 16 ) puis comparent les deux formules de L7C4 et L8C4. Florence ne veut même pas vérifier le calcul décrit par la formule (18), pour elle c'est le même. A l'incitation de Philomène elles comparent quand même les formules pour conclure que c'est le même calcul (35). Nous voyons ici un indice de l'obstacle important que représentent les connaissances algébriques des sujets. En effet la formule vérifiée en L7C4, identique à celle de L8C4, doit pour elles produire le même résultat (35-38). Pour elles, la formule est correcte mais le résultat trouvé par l'ordinateur ne peut pas être mis en doute (38-40-42). Elles interprètent même le travail de l'ordinateur en terme de pensée (42). Elles donnent ainsi au dispositif au delà d'une tâche d'exécution de calcul la capacité de l'interpréter par rapport à la situation. D'autres recherches ont déjà mis en évidence ce type de conceptions anthropomorphiques. (Dagdilelis et al 1990 ; Pea 1984). Nous les avons rencontrées à plusieurs reprises chez d'autres sujets.

Enfin, la contradiction entre l'analyse qu'elles font du résultat à trouver dans la facture et le calcul effectué par le tableur, qu'elles pensent correct aussi, les conduira à une mise en cause des références elles-mêmes.

#### 2.5.1.2. *CHEZ LES ELEVES : SIGNIFICATION PAR RAPPORT AU PROBLEME*

Tous les élèves prennent en compte le zéro au niveau de sa signification dans la facture, ils se situent au niveau du sens. Pour eux, il n'est pas vraisemblable qu'un client ne paye rien. Ainsi :

1. Cécile *ouais ... je sais pas un mec qui consomme tant et il paye rien !*
2. Ivan *il travaille à l'EDF lui !*
3. Observ *qu'est-ce qu'il s'est passé en réalité ?*
4. Ivan *et ben il a pas fait les bons calculs ... je pense que c'est pas la même formule qu'il doit y avoir ... ah si il y a la même formule !*

5. Cédric *ouais il devrait pas payer zéro francs*
6. Christine *oui ça va pas parce qu'il y a un ... il a quand même consommé ...oui ... le chiffre il doit être trop grand ?*
7. Stoyan *non ... déjà l'abonnement il doit payer ... alors ...*
8. Christine *sûrement qu'on a validé sans remettre et puis que ... sans remettre la formule ...*
9. Danielle *zéro c'est pas normal ! ça zéro, le zéro ... c'est pas logique ... on paye pas zéro ! ils nous donne jamais à payer zéro ! ça doit être la formule qui est fausse*

Nelly et Stephanie (élèves)

Nelly *c'est la même que celle d'en haut... pourquoi il trouve zéro alors...*

Chez tous les élèves à l'exception de Sylvain, c'est la présence de zéro qui est analysée comme invraisemblable en rapport avec la facturation. Ce n'est qu'ensuite qu'ils chercheront à distinguer le calcul décrit par la formule de la cellule L8C4 et le calcul correspondant au problème à résoudre. C'est l'existence de la formule qui sera mise en cause, ou l'absence de validation de la formule (Christine-8). Mais la principale difficulté provient de la conception de l'invariance de la formule que nous détaillons ici.

### 2.5.1.3. INVARIANCE DE LA FORMULE

Nous appelons ici invariance de la formule, au sens de la géographie en quelque sorte, la conception de la formule qui conduit les sujets à considérer qu'une formule produisant un résultat dans une certaine cellule doit produire ce même résultat dans les autres cellules où elle serait recopiée. Ainsi si une formule est correcte (au sens du problème) dans L7C4, elle devrait l'être aussi dans L8C4. Nous avons rencontré cette conception dans le protocole de Philomène et Florence ainsi que dans ceux que nous venons de donner pour les élèves.

Ainsi, pour Florence, Nelly ou Christine (élèves) tout se passe comme si la même formule (celle de L7C4) devait donner le même résultat<sup>1</sup> (dans L8C4), alors que dans le tableur une formule calcule avec des valeurs différentes suivant la cellule dans laquelle elle est implantée. Cette conception de l'invariance de la formule est présente chez beaucoup de sujets. Pour nous elle est directement issue du rôle que l'on fait jouer aux expressions en algèbre, puisque leur rôle est justement de décrire des calculs à partir de désignations explicitement indépendantes des valeurs qui peuvent leur être substituées. La complexité apportée par les références relatives dans le tableur tient ainsi en partie à la dépendance de la formule par rapport à un repère dépendant de la cellule où elle est implantée. C'est justement cette dépendance qui n'est pas prise en compte par beaucoup de sujets dans la

---

<sup>1</sup>C'est à dire le même nombre ou un nombre plausible.

feuille de calcul que nous leur avons proposé. Par exemple quand Ivan constate la présence de zéro il affirme : "*je pense que c'est pas la même formule qu'il doit y avoir ...*" Pour lui si la formule de L7C4 qu'il a vérifié est correcte, ce ne sera pas la même dans L8C4 puisque le résultat est faux. De même pour Florence et Philomène "*C'est la même formule et on trouve zéro*". Nous attribuons à cette conception de la formule, issue des connaissances des sujets en algèbre, un rôle important dans les difficultés qu'ils rencontrent dans la gestion des références relatives dans les feuilles de calcul liées.

## 2.5.2. DIFFICULTES LIEES A LA RECOPIE

Contrairement à la difficulté présentée par la présence de zéro que nous venons de dégager, la recopie de la formule de L7C4 dans la colonne 4 n'a été observée que chez les adultes (5 binômes sur 7) . De plus, ces binômes d'adultes correspondent à ceux qui ont sans doute le plus d'expérience dans l'utilisation du logiciel. La recopie d'une formule leur est familière mais uniquement dans des tableaux libres. Les problèmes qu'ils rencontrent dans la recopie les surprennent, ainsi Annie en parlant des fichiers qu'elle manipule dans son travail :

Annie                      *moi ça m'étonne parce qu'avec mon fichier je fais ça, je recopie vers le bas et ça marche ...*

Dans la mesure où la formule aura été vérifiée pour la première cellule, ils engageront une recopie dans la colonne qui produira un ensemble de résultats aberrants (messages d'erreurs #valeur, valeurs ... ) comme l'indique la figure 6-19.

### 2.5.2.1. LA MISE EN CAUSE DE LA RECOPIE

Cette contradiction conduit à une mise en cause de la recopie elle même qui n'aurait soit pas été bien réalisée par la machine, soit que l'option choisie de recopie ( vers le bas ou cellules dans la version PC) n'ait pas été la bonne.

#### 2.5.2.1.1. Le cas de Jean Michel : des erreurs d'édition

Le protocole suivant de Claude et Jean-Michel (adultes) atteste bien que ce n'est pas la formule qui est mise en cause mais plutôt une manipulation du logiciel, un choix de format, de type numérique ou de type de recopie.

L8C4		=LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]			
gaz elec-b					
	1	2	3	4	
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec	
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F	
3					
4					
5					
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom élec(KWh)	montant	
7	1	5891	513	1375,08 F	
8	2	4789	568	0,00 F	
9	3	3569	456	0,00 F	
10	4	1256	689	0,00 F	
11	5	2652	703	#VALEUR!	
12	6	4582	653	#####	
13	7	4528	865	#####	

Figure 6-19

Claude et Jean-Michel viennent de recopier la formule de L7C4 vers le bas et ont obtenu un écran semblable à celui de la figure 6-19.

1. Claude *qu'est ce que c'est ? ...*
2. Jean-Michel *c'est parce qu'il y a eu ... il y a pas une histoire aussi de ...*
3. Claude *il faut faire option calcul automatique ...*
4. Observ *qu'est ce qui vous surprend dans ce que vous avez obtenu ?*
5. Jean-Michel *euh... bon ... déjà on a pas partout la même chose ... valeur... je pense qu'il y a des opérations qui sont pas possibles ... par exemple quand il y a une division par un zéro des choses comme ça ... ça nous met ce type de formules il me semble... .. il n'y a pas une histoire de virgule ?*
6. Claude *format ?*
7. Jean-Michel *de format au départ ? la colonne elle était ?*
8. Claude *aah !*
9. Jean-Michel *non ? pour les virgules tout ça non ?... parce qu'il y a un ordre de calcul peut-être...*
10. Claude *Format L... pour voir les caractères ...(elle demande le nombre de caractères et obtient 20)*
11. Jean-Michel *non mais pourtant... colonne 4 ... A4...normalement on a des zéros quand on a pas les chiffres pour euh...*
12. Claude *format cellules ? (elle choisit<sup>1</sup> effectivement les options alignement-standard)[...]*

<sup>1</sup>Ces options d'édition sont propres à la version disponible sur compatibles-PC.

13. Claude *ce qu'on va regarder s'il y a la formule... voir si les formules ont bien été recopiées [...].*
14. Jean Michel *on va regarder pourquoi le premier ça l'a fait ...pourquoi ça a fait le bon calcul alors qu'apparemment c'est des chiffres qui sont sensiblement,... qui sont pas très différents ... il y a pas des chiffres très différents ...donc ça vient pas tellement des chiffres... ça vient certainement d'une mauvaise manipulation... ça a pas recopié ...*
15. Jean Michel *est-ce qu'on a bien mis recopier vers le bas la formule ? oui la formule...*
16. Observ *parce que vous pensez qu'il y a des recopies vers le bas qui ne recopient pas les formules.*
17. Jean Michel *oui quand on est en Alpha<sup>1</sup>...peut-être... on utilise des fois recopie vers le bas en alpha pour ...*
18. Claude *(refait une recopie vers le bas)... c'est pareil...*

Ensuite Claude fait une recopie avec l'option "recopie Cellules"<sup>2</sup>:

19. Claude *recopie ... cellules ...(elle indique L7C4... vers ...)...la ligne 7...*

Elle n'a pas plus de succès. Ils éditent ensuite dans L8C4 une formule en références relatives en indiquant les cellules avec les flèches du clavier :

20. Jean Michel *voilà ... alors là ça marche ... donc ça vient pas des chiffres, d'une incompatibilité ...de toute façon on pouvait s'y attendre parce que les chiffres sont sensiblement les mêmes ... euh... donc il y a avant... dans l'opération recopie il y a quelque chose à faire avant... parce que la colonne doit être euh.. formatée , je sais pas ; il doit y a quelque chose qui fait ...*
21. Claude *mais pourtant on a regardé, la colonne est formatée*
22. Jean Michel *essaye voir de faire recopie encore là dessus sur celle là ... mais ça refera pareil.. recopie vers le bas (ils recopient L8C4 )*
23. Claude *nombre de cellules ...*
24. Jean Michel *c'est plus la peine d'en mettre 32...31 [ils recopient 31 fois depuis L8C4 ].. pfft... tiens ça a changé des chiffres non ?*
25. Claude *non non c'est pareil ... (5s)*
26. Jean Michel *oui pourquoi ça recopie pas*

Claude et Jean Michel, devant les résultats obtenus envisagent le choix d'une option de calcul (3-9) , d'un type numérique (5) , d'un format (6-7). Claude agit sur les formats (12). Ils mettent ensuite en cause la recopie elle-même (13-14) et la recopie de la formule (15-17). Ils agissent sur le type de recopie (19). L'édition d'une formule correcte dans L8C4, mais toujours en références relatives les conduit à tenter de nouveau une recopie (20) mais sans succès. Finalement c'est plutôt la recopie qui est mise en cause que la

---

<sup>1</sup>Jean Michel fait référence ici au type "Alphanumérique". Sur la version pour Compatibles-PC, le type de la cellule doit être défini, soit Alpha ou Calcul . Les nombreuses erreurs que provoque le choix du type conduisent Jean-Michel à envisager que l'erreur trouverait là son origine.

<sup>2</sup> Option de recopie de la version disponible sur compatibles-PC.

formule elle-même (26). Ce protocole est remarquable parce qu'il indique pratiquement tous les types de questions que se sont posés les binômes qui ont échoué dans les recopies de la formule en références relatives. Contrairement aux difficultés représentées par la présence du zéro dans L8C4, analysées plus haut, l'obstacle de la recopie conduit les sujets à situer le problème rencontré davantage au niveau du fonctionnement du logiciel que de la formule elle-même. Pour Claude et Jean-Michel ce sera une incitation de l'observateur à comparer les formules de L7C4 et de L8C4 (celle qu'ils ont éditée) qui leur permettra de dépasser le fonctionnement du logiciel et de rentrer dans une problématique plus algébrique en traitant de la désignation des cellules.

#### 2.5.2.1.2. *Le cas de Danielle et Jean : Recherche de compétences du dispositif*

Chez Danielle et Jean (Adultes) c'est aussi la recherche d'options du logiciel concernant la recopie qui apparaît :

1. Danielle *qu'est ce qu'il s'est passé là ? valeur c'est qu'il lui manque un truc là ... pour euh... pour pouvoir calculer...*
2. Jean *...tu veux dire ...*
3. Danielle *on va le ... bon allez... qu'est ce qu'il y a comme options ? est-ce qu'on se ballade dans les options pour voir...*
4. Jean *il faut peut-être qu'on réfléchisse deux minutes ...*
5. Danielle *non mais il faut recopier ce ... il faut que le même calcul...*
6. Jean *la cellule ... la formule*
7. Danielle *il faut que le même calcul... le calcul qui est fait il faut qu'il soit fait à nouveau là... (10s)...*
8. Observ *quand tu cherchais une option tu pensais à quoi ?*
9. Danielle *qui nous permette de faire le même calcul qui est fait là sur toutes les cellules ... mais bon est-ce que ça ...*
10. Observ *et ce valeur dont tu parlais tout à l'heure*
11. Danielle *c'est qu'il demande une valeur... il a pas pu calculer quelque chose*
12. Jean *ben il manque quelque chose*
13. Danielle *l'ordinateur a fait une erreur...*
14. Jean *qu'est ce que c'est cette formule ? (il a sélectionné L8C4) ... je voulais voir si c'était la même partout... si ça avait déjà bien recopié la formule ... la même formule... si cette formule ici on la retrouve là*
15. Danielle *oui*
16. Jean *là (L8C4)... ce que je veux savoir c'est si cette formule là c'est la même que il y a ... (il montre la ligne 7)*

Danielle cherche aussi des options particulière du logiciel (3), elle pensera même que l'ordinateur a fait une erreur(13). Jean vérifie que la recopie a bien été effectuée (14). Dans ce binôme, comme chez Jean-Michel et Claude c'est d'abord le logiciel, l'ordinateur et son fonctionnement qui sont mis en cause et non la formule. Jean entame ensuite une comparaison des formules (16) qui les mènera bien vers une disqualification de la formule en prenant en compte les références relatives.

Tous les binômes qui ont réalisé des recopies de la formule se poseront le même type de questions relativement au fonctionnement de la machine à l'exception de Christiane et Jocelyne qui identifient tout de suite l'origine de l'échec dans le type de formule recopiée.

Ces études de cas indiquent que les difficultés liées à la recopie que rencontrent les adultes sont dans un premier temps analysées comme des erreurs de manipulation ou l'emploi de commandes inadaptées. Les échecs rencontrés conduiront alors les sujets à une analyse de l'erreur et à la mise en cause des références relatives.

### 2.5.3. L'ANALYSE DE L'ERREUR ET LA DISQUALIFICATION DES REFERENCES RELATIVES

Quelle que soit l'origine de l'obstacle, tous les binômes, à l'exception de Jean-Michel et Claude (adultes), aidés par l'observateur, en viennent à disqualifier les références relatives comme outil de désignation pouvant permettre d'avoir la même formule dans L8C4 et L8C7. Cette disqualification est une première étape qui conduit les sujets à mettre en cause la conception d'invariance de la formule que nous avons décrite plus haut. Cette disqualification peut nécessiter un décodage complet de la formule en L8C4 mais peut aussi apparaître plus rapidement. Les protocoles que nous donnons ici illustrent les différents types de stratégies.

#### 2.5.3.1. DISQUALIFICATION DES REFERENCES RELATIVES

##### 2.5.3.1.1. Le cas de philomène et Florence : difficultés de comptage

Florence et Philomène (adultes) décodent la formule qui produit zéro dans la cellule

L8C4 :

1. Florence *ouais ... ben L ligne moins 5... tu remontes... hop... moins 2 colonnes ... à gauche ... regarde 1,2,3,4,5...*
2. Philomène *attends je compte 5... je me fous sur zéro et je compte 5...*
3. Florence *oui mais c'est juste*
4. Philomène *(déplace le curseur pour compter)... 1,2,3,4,5... c'est pour ça parce que là il n'y a pas de chiffres ... ben si tu fais moins 5...*
5. Florence *parce qu'à chaque fois qu'on descend d'un truc en fait il faut faire... il faut changer le... il faut changer la formule...*

Florence décode la formule (1) mais Philomène pour éviter les erreurs dans le décompte des cellules qu'elles ont déjà rencontrées déplace le curseur pour compter(4). Finalement elles identifient le problème lié à la position relative de la formule et des

données qui y interviennent et mettent ainsi en cause la formule implantée dans L8C4 (5). Pour ce binôme il y a eu plusieurs décodages de cette formule et plusieurs erreurs consécutives dans le décompte des lignes. Nous attribuons cette erreur en partie à la difficulté à compter les lignes dans le tableau de Multiplan sur PC puisqu'elles ne sont pas matérialisées sur l'écran. D'ailleurs Philomène est contrainte pour assurer son comptage de déplacer le curseur et de compter en s'aidant des déplacements qu'elle provoque elle-même avec le clavier.

### 2.5.3.1.2. Le cas de Joëlle et Yvette : une même formule

Joëlle et Yvette (Adultes) comparent les formules en L7C4 et L8C4

1. Joëlle *il me semble que c'est la même formule moi !*
2. Observ *Yvette n'a pas l'air d'accord ! est-ce que vous avez des raisons de penser que c'est la même ?*
3. Yvette *attendez ... c'est la même... mais justement ça va nous poser un problème... parce que ... là maintenant ça va plus nous correspondre à la ligne moins 5...*
4. Yvette *mais oui c'est ça ...*
5. Joëlle *ça va correspondre à la ligne moins 6... donc il faut peut-être qu'on change ... euh... parce que quand on était sur cette ligne là , les consommations... enfin les prix d'abonnements on se ... ça correspondait à la ligne moins 5... mais là on est descendu d'une ligne donc ça correspond à la ligne moins 6 maintenant... (5s)... donc il faut qu'on change ... à chaque fois ... parce que pour les colonnes ça peut ... ça ne change rien... on multiplie toujours les mêmes choses ... mais c'est à ce niveau là qu'il faut qu'on mette moins 6... remplacer chaque fois ligne moins 5 par ligne moins 6... chaque fois qu'on a ligne moins 5 !*

Pour Joëlle c'est le fait que ce soit la même formule qui pose problème en raison de la conception d'invariance de la formule (1) que Yvette remet en cause (3). C'est la comparaison des deux formules qui la conduit à disqualifier la formule de L8C4 puisqu'elle est située une cellule en dessous de L7C4. Joëlle indique les modifications qu'il faut apporter à cette formule pour qu'elle fasse le calcul prévu (5) mais en se plaçant toujours dans le contexte des références relatives.

### 2.5.3.1.3. Le cas de stephanie et Nelly : deux niveaux d'analyse

Nelly (élève) a découvert le rôle joué par les références relatives et cherche à l'expliquer à Stéphanie

1. Nelly *ah ben non regarde L 5 ... 1,2,3,4,5... ligne moins 5 ... moins 1 ... il y a rien ici je regrette ... mais je trouve rien ...*
2. Stéphanie *ben parce que ça se prolonge... c'est le prix il fait pas remettre à chaque fois le prix hein ...*



3. Nelly *ah non ... regarde, je te fais voir la case ... il y a rien dedans ... je te fais voir quelque chose , il y a quelque chose ... dans celle là il y a quelque chose et dans celle là il y a rien ...*
4. Stéphanie *mais on peut considérer que c'est comme ce qu'il y avait...*
5. Nelly *non on peut pas considérer , ça veut dire que la machine elle a recopié exactement la même formule et ça vaut pas parce que c'est pas les mêmes lignes... pour que ça soit juste là il faudrait que là t'as L 6 ... moins 1... que là tu as L6... moins L moins 6 parce que ça te ferai celle là ... ça donnerait cette ligne là, comme tu as moins 5 ça donne celle là... mais comme on est descendu d'un cran ... tu comprends ...*
6. Stéphanie *hum (pas convaincue) ...*
7. Nelly *celle qui est fausse on l'a marqué là (sur le brouillon ) ... celle là est juste mais celle là est fausse ... c'est la même formule que là haut ... faudrait tout recopier pareil mais chaque fois à la place de L moins 5 il faudrait L moins 6... et après L moins 7 ... moins 8...*

Dans ce binôme il y a conflit entre les deux élèves, elles ne se comprennent pas parce qu'elles travaillent à un niveau différent : Nelly décode la formule (1) et l'interprète en rapport avec les positions relatives (1-3-5-7) des cellules dans le tableau. Elle met en cause la localisation de la formule, alors que Stéphanie considère que la formule est la même (4) et qu'il n'y a pas besoin de chercher de nouveau à la comprendre. Nous interprétons aussi son attitude comme un indice de la conception invariante de la formule dont nous avons parlé plus haut.

#### 2.5.3.1.4. Les cas de Danielle et Christiane : mise en cause de la formule

La découverte de l'erreur est parfois très rapide dans la mesure où il y a tout de suite vérification de la formule comme a pu le faire Nelly : ce qui est mis en cause est la position relative des cellules comme pour Danielle (élève) :

- Danielle *ça doit être la formule qui est fausse ...alors même ligne, colonne moins deux ... c'est consommation gaz ... tiens si tu veux écrire ... s'il te plaît... c'est 4789... multiplié par ... moins 3 ... hé hé ça va nulle part ... moins un ça va là ... la formule est fausse ...*

C'est aussi le cas pour Christiane (adulte) qui après avoir recopié la formule de L7C4 en références relatives identifie tout de suite l'origine de l'erreur :

1. Christiane *c'est évident... c'est évident nos erreurs... on est cloches hein... tu sais pourquoi ? parce qu'on a raisonné que sur la ligne ... et après quand on remonte prendre la ligne ici... tout ça c'est zéro parce que tout ça c'est blanc... après il reprend les valeurs ... tu comprends ?... il prend la ligne de... de texte ici... c'est pour ça que il demande valeur... et après il prend ce chiffre là..... il le multiplie*
2. Jocelyne *hein... ah oui voilà ...*
3. Christiane *et nous on a raisonné sur la ligne, on a pas réfléchi...*
4. Observ *vous ne pouvez donc pas recopier cette formule ?*
5. Christiane *non ...*
6. Jocelyne *non parce que vous...*

7. **Christiane**     *non parce que ... tout ce qui concerne les prix unitaires et les abonnements il faut pas mettre les adresses relatives mais les adresses réelles... des cases qui les contiennent... vous comprenez ce que je veux dire quand je dis réelles ou relatives ?*

Christiane interprète les références absolues en terme d'adresses réelles. Elle fait ainsi appel à la désignation indépendante du lieu où elle apparaît que représentent les références absolues dans le tableau. Elle en déduira tout de suite une formule recopiable qu'elle éditera dans L8C4.

#### 2.5.3.1.5.     *Le cas de Sylvain : anticipation*

Pour Sylvain (élève) il y a même anticipation puisque qu'il prend en compte tout de suite le rôle joué dans les références relatives :

- Sylvain**           *ouais .....ouais mais ça marchera pas pour les autres cases aussi cette formule ... moi je vais pas me crever le cul... non parce que ... ça ça marchera pas pour toutes les cases alors moi je voudrais en faire une pour toutes les cases ... parce que comme ça m'embêtera pas ... normalement celle là elle est pas bonne si c'est la même ... (c'est la même : il le vérifie) ... je vais faire une formule qui marche pour toute les cases*

Il regarde la formule de L8C4 , vérifie que c'est la même mais a déjà anticipé que dans ce cas elle ne pouvait pas être bonne .

#### 2.5.3.2.     **DISQUALIFICATION DE LA RECOPIE**

Identifier le rôle des références relatives dans la recopie est une étape importante dans la résolution du problème. Elle conduit les différents binômes à remettre en cause la recopie de la formule qui leur est donnée. C'est le cas de Sylvain que nous venons d'évoquer. D'autres binômes l'ont aussi exprimé nettement.

##### 2.5.3.2.1.     *Le cas de Annie et Maryse : recherche d'une formule recopiable*

- Annie**            *et c'est pas possible de recopier parce que ça fait moins 5 et ça doit faire moins 6 pour remonter d'une case en plus...*

Ce qui les conduit à la recherche d'une formule recopiable.

Pour Maryse et Annie il y a aussi disqualification de la recopie :

- Maryse**          *moi je dirai que c'est moins 5, je sais pas comment tu y comptes...1,2,3,4,5.....donc là ça ferait... 1,2,3,4,5,6... mais on peut pas recopier il faut toujours se ... la taper quoi !*

Annie *oui mais c'est fastidieux ... ..bon...*

### 2.5.3.2.2. *Le cas de Cédric et Eyup : recopie et références relatives*

Cédric identifie clairement que la formule est recopiée à l'identique.

1. Observ *ton idée c'est d'écrire la formule pour chaque client ?*
2. Cedric *ouais on est obligé*
3. Eyup *on pourrait faire recopier vers le bas*
4. Cedric *ouais mais ça fera comme tout à l'heure ça recopiera LC moins 5...*
5. Observ *comment tu le sais...?*
6. Cedric *c'est normal ... elle recopiera LC moins 5, moins 3 ... et ça sera ici et ici , ça sera pareil que pour là ...*

Cedric disqualifie la recopie pour résoudre le problème malgré l'intervention d'Eyup. Ce protocole indique aussi que pour lui ce rejet de la recopie entraîne une édition des formules une à une. La disqualification de la recopie ne constitue qu'une première étape dans la réalisation de la tâche. Il faut, cette étape franchie, envisager encore la recherche d'une formule recopiable.

### 2.5.3.3. *RECHERCHE D'UNE FORMULE RECOPIABLE*

Cette recherche d'une formule recopiable est issue de la disqualification des références relatives dans la recopie précédente, que celle-ci provienne des difficultés liées au zéro ou de tentatives de recopie. Le cas de Maryse a déjà été évoqué au paragraphe précédent. D'autres binômes en arrivent aussi à exprimer une stratégie de recherche d'une formule recopiable. Ici la variable du nombre de clients doit jouer un rôle important. Nous avons vu, en effet, dans la situation équation (6-1), qu'en l'absence d'un nombre important de lignes, les stratégies s'orientent vers une édition des formules une par une.

Ainsi Ivan (élève) après une proposition d'éditer les formules une par une en vient à déplacer la tâche vers la recherche d'une formule recopiable :

Ivan *Il faut trouver un moyen pour que ... on puisse après faire recopier vers le bas ...*

Danielle (élève) en vient aussi à chercher une formule recopiable :

Danielle *oui mais il doit y avoir un moyen pour qu'on puisse recopier vers le bas ... que la formule ... .. comment est-ce qu'on pourrait faire ? (20s) ... eeh j'ai trouvé !*

C'est en posant le problème de la recopiabilité de la formule que Danielle découvre ensuite la possibilité de désigner des cellules avec des références absolues. Modifier le sens de la recherche vers une formule recopiable est de notre point de vue une étape décisive vers la construction de la formule. Tous les binômes n'explicitent pas, comme ceux-ci, leur intention de construire une formule recopiable mais implicitement c'est la direction dans laquelle tous travailleront.

#### 2.5.4. DIFFERENTES SOLUTIONS PROPOSEES

Une fois que la formule en références relatives de L7C4 et recopiée en L8C4 a été reconnue comme ne calculant pas correctement le montant du client N°2, il s'agit de découvrir un moyen de remplir le tableau. Nous présentons ici les diverses stratégies qui conduiront les sujets à construire une formule recopiable puisque le nombre de clients a été choisi suffisamment élevé pour éviter le recours à la construction des formules une par une.

##### 2.5.4.1. FORMULES ECRITES UNE PAR UNE

7 binômes sur les 13 proposeront d'abord d'écrire une formule sur chaque ligne. Parmi eux tous les élèves (5/6) sauf le binôme Sylvain -Vincent et deux binômes d'adultes sur 7. Mais aucun n'ira jusqu'à réaliser ce travail. Tout au plus deux binômes écriront quelques formules dans les premières cellules "pour voir". Ainsi la variable du nombre de clients sur laquelle nous avons joué a-t-elle rempli le rôle que nous lui avons attribué dans la construction de la situation.

Ainsi Annie propose d'écrire les formules une par une :

1. Annie *moi je la recopierai la formule... je referais ... un gros boulot peut-être... je recopierai la formule en positionnant le curseur... sur les cellules que je veux...*

Annie, après avoir rencontré les difficultés liées à la présence du zéro, a recopié vers le bas la formule de L7C4 en L8C4 et L9C4 elle obtient zéro dans chacune de ces cellules. Elle propose alors d'éditer les formules une par une. En fait le binôme s'engagera dans une autre voie, sans doute en raison de l'ampleur de la tâche que représente cette stratégie.

Nous avons déjà donné, dans ce chapitre (5-3-2-2), le protocole de Cédric qui envisage d'écrire les formules une à une. L'obstacle principal est le nombre d'abonnés contrairement à la situation "équation" (Séance 10 : enseignement) que nous avons déjà décrite dans ce chapitre (§1).

Voici par exemple le protocole de Cécile et Ivan qui met en évidence l'influence du nombre de clients.

Cécile *et bien on se casse pas la tête, à chaque fois on refait le même cinéma, tous seuls...*  
Ivan *ben ... là ça serait plutôt se casser la tête ...*  
Observ *pourquoi ?*  
Ivan *parce que ... ça dépend combien il y a d'abonnés ...*  
Cécile *s'il y a beaucoup de clients ...*

Nous ne détaillons pas ici tous les protocoles où apparaissent des propositions analogues. Notons simplement que ce genre de stratégies a été envisagé par presque tous les élèves alors que seuls deux binômes d'adultes l'ont évoquée.

#### 2.5.4.2. MODIFICATION AUTOMATIQUE DE LA REFERENCE RELATIVE (COMPTEUR)

5 binômes sur 13, après avoir disqualifié les références relatives pour obtenir une recopie proposent une solution qui créerait une modification automatique des références relatives. Chaque fois l'observateur est intervenu pour rejeter la possibilité de faire cette opération dans le cadre de Multiplan.

##### 2.5.4.2.1. Le cas de Maryse et Annie : "un petit compteur"

1. Maryse *moi je sais pas j'aurais fait encore des super crochets puis j'aurais... et puis ; attendez... plus ... gna gna ... multiplié par ... colonne*
2. Annie *mais la formule pour la première cellule elle est bonne... donc les crochets ...*
3. Maryse *voilà mais là après j'aurais... il faudrait enlever euh... pour qu'il aille prendre ses données là...*
4. Observ *enlever quoi ?*
5. Annie *la mettre L moins 6 au lieu de L moins 5 c'est ça que tu veux ?*
6. Maryse *non ! il faudrait une sorte de petit compteur qui s'enlèverait chaque fois ...*
7. Annie *un petit compteur !... (elle rit) ... que ça se fasse automatiquement ...*
8. Maryse *ben écoute ça ferait moins 6 pour les lignes ... pas pour les colonnes ... tout pour les lignes je ferai un petit compteur...*
9. Observ *celui qui a fabriqué le logiciel n'a pas prévu ... on ne dispose pas de ce petit compteur...*

Annie envisage d'abord d'utiliser une syntaxe particulière avec des crochets, mais elle ne parvient pas à la définir (1). Elle propose alors la création d'un petit compteur qui incrémenterait automatiquement la référence relative à la ligne pour chaque client. (7). Cette proposition revient à envisager une construction automatique des formules en références relatives telles qu'elles ont déjà décrites sur chaque ligne.

Dans cette construction d'un compteur tout se passe comme si les sujets voulaient faire prendre en compte par le logiciel un ensemble de formules qu'elles savent construire une par une. Pour nous c'est une stratégie qui se rattache ainsi à la construction des formules une par une. Elle ne marque pas de progrès décisif dans la construction d'une solution mettant en œuvre un système de références différent.

#### 2.5.4.2.2. *Le cas de Maurice : appel à des fichiers*

On peut noter aussi la proposition de Maurice :

Maurice *ce nombre là , comment on peut le transformer en quelque chose qu'on peut incrémenter chaque fois ... qu'on ait pas à rajouter à chaque fois une valeur ... (10s)... que ça soit  $n+1, n+2...$ (50s).. si on peut pas on peut faire appel aux fichiers... on peut considérer que c'est un fichier ... qu'on va chercher quelque part... chaque fois... plutôt que d'aller chercher une case... une série de cases...(5s) non ? plutôt que d'aller chercher une case qui s'éloigne à chaque fois d'un point. on va aller chercher un élément de fichier... je ne saurais pas faire la manip... mais ...*

Cette proposition relève de la même stratégie qui consiste à trouver un moyen d'éditer automatiquement la formule en références relatives.

#### 2.5.4.3. *REFERENCES ABSOLUES*

Les références absolues constitue une solution pour désigner les cellules contenant les abonnements et les prix unitaires. 10 binômes sur 13 retiendront cette solution dont 3 avec une aide de l'observateur. L'ensemble de la situation interview (cible-gaz-elec) était d'ailleurs construit pour que les deux types de références (absolues et relatives) soient rencontrés par les sujets avant d'aborder la situation Gaz-elec.

##### 2.5.4.3.1. *Le cas de Christiane et Jocelyne : un système mixte de références*

Christiane (adultes) propose tout de suite une formule en mélangeant les références relatives et absolues dans la cellule L8C4 pour la recopier ensuite, c'est ce qu'elle explique à Jocelyne :

1. Christiane *tu te remets sur le client 2 et puis on va la construire la formule de toute façon hein...*
2. Jocelyne *ben tu vas la construire à chaque fois ?*
3. Christiane *non on va la construire là et puis on la recopiera ... on va la construire ici en faisant attention de prendre les adresses relatives pour tout ce qui est sur les lignes ... mais de prendre les adresses absolues pour tout ce*

*qui est là haut ... tu vois parce que par rapport aux lignes ... c'est des ... c'est des cases qu'on peut pas ... c'est toujours la même ...*

Jocelyne ne comprenant pas l'explication de Christiane, celle-ci recommence :

4. Christiane *tu as vu quand on a décortiqué la formule comment ça se passe ... par exemple on prend la consommation ici... on la multiplie par le prix unitaire qui est là haut... bon... quand tu es ici... pour faire ta formule de calcul... tu lui dis ... la même ligne colonne moins 1 par exemple ...*
5. Jocelyne *la ligne moins 2...*
6. Christiane *c'est d'accord... ça marche... quand tu prends ici... tu dis ligne moins 5 ça marche mais dès que tu tombes en dessous ...*
7. Jocelyne *mais à chaque fois ça avance ... ça j'ai compris ... et comment que tu vas faire après ...*
8. Christiane *maintenant pour éviter de dire ligne moins 5... on va dire toujours ligne 2 colonne 4... ça va toujours indiquer 0,59...*
9. Jocelyne *ah oui ... ça y est j'ai compris ... bon...*

Jocelyne s'inquiète d'avoir à éditer les formules une par une (2), mais l'explication de Christiane (3) atteste de la construction d'une formule avec un système mixte de références. Jocelyne a bien identifié l'origine de l'erreur provenant des références relatives (7) , mais l'obstacle qu'elle rencontre est la construction d'une formule contenant les deux types de références. Il ne suffit pas de changer de références puisque l'utilisation de références absolues uniquement ne résout pas non plus le problème. La prise en compte du rôle de chaque type de références dans la construction d'une formule recopiable est une difficulté pour plusieurs sujets comme Jocelyne.

#### 2.5.4.3.2. *Le cas de Nelly : "directement dans la colonne"*

Nelly (élève), après avoir disqualifié les références absolues rapidement ne parvient pas à construire une formules recopiable. L'observateur lui donnera des indications portant sur la désignation des cellules comme il le fera pour d'autres binômes:

1. Observ *est-ce que tu connais plusieurs façons d'écrire les cellules ?*
2. Nelly *comment ça plusieurs façons ?*
3. Observ *plusieurs façons de désigner les cellules ...*
4. Nelly *ben au lieu de taper dedans en mettant égal ... on l'écrit euh... L11C4...*
5. Observ *comme c'est écrit là haut ? (de l'écran)*
6. Nelly *on va pas dedans je pense*
7. Observ *quelle est la différence ?*
8. Nelly *ça va directement dans la colonne ... Ah voila ce qu'il faut faire ... regarde on fait ça ...*

Nelly édite ensuite une formule avec des références absolues.

#### 2.5.4.3.3. *Le cas de Stoyan et Christine : "directement dessus"*

L'observateur suggère aussi à Christine et Stoyan (élèves) de rechercher d'autres désignations :

1. Observ *est-ce que vous connaissez plusieurs moyens de désigner les cellules ? (10s : ils se regardent dubitatifs) ... dans Cible vous avez pourtant vu deux façons de désigner les cellules différentes*
2. Stoyan *disons L8 colonne 4... (il montre la référence de la cellule active dans le coin haut-gauche du tableau)...*
3. Observ *tu penses qu'on peut les appeler comme ça ?*
4. Stoyan *on peut dire moins 1... L8C4 moins 1... c'est à dire une colonne avant...*
5. Observ *c'est une écriture différente de celle ci...?*
6. Stoyan *non elle est pareille*
7. Christine *c'est pareil seulement elle est pas entre parenthèses ...*
8. Observ *ça veut dire quoi qu'elle est pas entre parenthèses*
9. Christine *ça veut dire qu'on va directement dessus, qu'on part pas de ...*
10. Stoyan *qu'on part pas d'elle ...*

#### 2.5.4.3.4. *Le cas de Sylvain et Vincent : une formule mixte tout de suite*

Pour Vincent et Sylvain (élèves) par contre la solution est rapidement trouvée :

1. Sylvain *ligne moins 2... non c'est bon pourquoi je mets ligne ... LC (clavier)... voila ... moins 2... (clavier)... fois ... (clavier)... alors ça fois ça fois ...*
2. Vincent *là tu vas refaire la même truc que là !*
3. Sylvain *fois L 2 ... non ! tu mets des références absolues pour ça !*

Sylvain construit tout de suite une formule qui mélange des références absolues et relatives . Il travaille seul mais la question de Vincent indique que si celui-ci a déjà disqualifié une formule avec des références relatives, en revanche, il n'a pas encore envisagé une formule contenant encore les références relatives comme celle que construit Sylvain (LC[-2]).

#### 2.5.4.3.5. *Le cas de Danielle : tout en références absolues*

Danielle(élève) utilise des références absolues tout de suite en faisant référence aux désignations qu'elles a rencontrées dans la situation "cible" (interview):

1. Danielle *... eeh j'ai trouvé !*
2. Christelle *une inspiration ...*
3. Observ *tu peux expliquer avant de commencer*



4. Danielle *au lieu de prendre les formules comme ça on prend les colonnes ... par exemple au lieu de prendre les formules comme ça on prend les colonnes ... par exemple ça ... c'est ... non ça va pas ... comment c'était...*
5. Observ *c'était quoi cette idée ? tu peux expliquer davantage*
6. Danielle *au lieu de mettre la formule des colonnes et des lignes , on met juste ce qu'il y a marqué là ... (elle montre la référence absolue de la cellule active qui se trouve en haut et à gauche du tableau).*
7. Christelle *L8C4*
8. Danielle *oui*

Danielle a de la difficulté à expliciter ce qu'elle veut faire, elle fait peut-être allusion à la tâche qu'elle vient de faire dans Cible2 où la formule s'écrivait avec des références absolues (4) . Elle finira par utiliser la référence absolue de la cellule active qui est toujours visible dans le tableau. Mais pour elle ce sont toutes les références qui doivent être changées. Elle édite alors dans L8C4 la formule de la figure 6-20, puis la recopie vers le bas et obtient toujours 1242,23 dans la colonne 4.

gaz elec-b					
	1	2	3	4	5
1	abonn gaz	abonn. elec	P.U Gaz	P.U. elec	
2	160,49 F	28,27 F	0,15 F	0,59 F	
3					
4					
5					
6	N° Client	consom gaz(KWh)	consom elec(KWh)	montant	
7	1	5891	513	1375,08 F	
8	2	4789	568	1242,23 F	
9	3	3569	456		
10	4	1256	689		
11	5	2652	703		
12	6	4582	653		
13	7	2578	855		

	3	4
1	P.U Gaz	P.U. elec
2	0,15	0,59
3		
4		
5		
6	consom elec(KWh)	montant
7	513	=L8C[-2]*L[-5]C[-1]+L8C[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]
8	568	=L8C2*L2C3+L8C3*L2C4+L2C1+L2C2

Figure 6-20 (valeurs et formules)

1. Christelle *il me semblait que ça ferait ça parce qu'obligatoirement tu prends ces colonnes là... donc obligatoirement ça marche pas ... là elle reprend obligatoirement elle prend cette ligne et cette colonne ... ça change pas, ça prend pas les autres nombres ...*
2. Danielle *ouais c'est pareil que tout à l'heure ...*
3. Christelle *ça prend toujours pareil voila [...]*
4. Observ *cette formule là... la première ... qui donne 1375,08, on ne peut pas la recopier ... pourquoi ?*

5. Dan *parce qu'on prend les références ...*
6. Observ *elle ne marchent pas toutes, où est-ce qu'il n'y en a que certaines qui ne marchent pas ...*
7. Dan *ben ...*
8. Observ *quand tu as regardé la première formule tout à l'heure tu as dit elle est pas bonne parce que ça tombe en dehors .. mais est-ce qu'ils tombaient tous en dehors ?*
9. Christelle *non !*
10. Dan *je sais pas*
11. Christelle *non je pense pas...il y avait que ceux là qui tombaient en dehors ... ces deux là ...*
12. Observ *Dan donc il faut mettre la moitié des uns la moitié des autres...*
13. Christelle *parce que là, ça c'est toujours pareil , ils sont toujours pris par rapport au...*

Danielle et Christelle ont construit une formule en utilisant seulement des références absolues. C'est le seul binôme qui réalisera une formule de ce type. Elles restent ensuite bloquées et l'observateur les incitera à regarder si toutes les références sont incorrectes. Ce binôme largement aidé par l'observateur a de la difficulté à construire une formule avec un système mixte de références. La découverte de la nécessité de mélanger est finalement faite par Danielle (12). Notre analyse a priori envisageait cette stratégie que nous avons rencontrée plusieurs fois dans la situation "équation" (S10, équation) déjà décrite plus haut. C'est sans doute la nature de la situation proposée ici qui a provoqué son peu d'apparition. En effet l'analyse préalable de la formule nécessitée par l'obstacle de la recopie incite les sujets à une prise en compte du rôle des références relatives dans cette feuille de calcul. Celles-ci ne conviennent pas uniquement en raison du décalage de la formule sur chaque ligne de la colonne 4 par rapport aux données de la ligne 2. Mais l'analyse de la formule réalisée par les élèves met aussi en évidence la pertinence des références relatives pour la désignation des consommations sur chaque ligne.

#### 2.5.4.3.6. *Le cas de Jean-Michel : absence de distinction entre les systèmes de références*

Dans le binôme de Claude et Jean-Michel (Adultes) , la construction d'une formule réalisée par Claude pose des difficultés à Jean-Michel :

Claude écrit la formule suivante sur son papier :

$$(L2C1) + (L2C2) + (L2C3)*(LC-2) + (L2C4)*(LC-1)$$

Elle explique ensuite à Jean-Michel qui n'a pas participé à la construction de cette formule.

1. Claude *moi je crois qu'on a pas écrit la formule d'une bonne façon ...*

2. Jean-Michel *ah bon ?*
3. Claude *oui ... il me semble hein ... on va voir ...*
4. Observ *fais le ...*
5. Claude *on va voir hein ...*
6. Observ *qu'est ce que c'est cette formule ?*
7. Claude *ben ligne 2 colonne 1 plus ligne 2 colonne 2... c'est plus ça là... plus ligne 2 colonne 3 multiplié par ligne ligne colonne moins 2... la même ligne moins 2...*
8. Observ *mais alors ça change de système d'écriture ici ?*
9. Jean-Michel *tu te prends là par rapport à la cellule de référence ?*
10. Claude *si chaque fois ... chaque fois si c'est bon là... ligne 2...*
11. Jean-Michel *ça il va te le traduire tu veux dire que tu vas aller te positionner là dessus... et puis il va te le traduire en moins ...*

La formule proposée par Claude posera au moment de l'édition des problèmes en raison de la syntaxe adoptée pour les références relatives. Mais Claude a bien voulu écrire des références relatives comme l'atteste sa description (7). Elle construit ainsi une formule qui mélange deux types de références (10). Par contre les interventions de Jean-Michel indiquent qu'il n'a pas encore pris en compte le rôle des deux systèmes de références dans la formule écrite par Claude.

La formule utilisant des références mixtes a été utilisée par la plus grande partie des binômes, sans doute en raison de la conception de la situation. La prise en compte des deux types de références a été faite par la plupart des binômes ( sauf Danielle et Christelle (élèves) ) bien que l'observateur soit intervenu dans 3 binômes d'élèves en situation de blocage, pour qu'ils envisagent de travailler au niveau des désignations de cellules.

#### 2.5.4.4. UTILISATION DE NOMS

La désignation par nom a été proposée par deux binômes d'adultes sur 7 et 1 binôme d'élèves sur 6. Les adultes ont eu l'occasion de rencontrer ce type de désignation dans leur formation mais ce n'est pas le cas des élèves. Nous voyons là un transfert des usages de l'algèbre où la désignation d'une variable se fait de cette façon. D'autant plus que dans le cas de l'algèbre la désignation est invariante dans la mesure où une valeur donnée à la variable apparaît dans toutes les occurrences de celle-ci. Cependant la faible utilisation de ce type de désignation ne donne pas d'indication vraiment significative.

##### 2.5.4.4.1. Le cas de Danielle et Jean : adressage relatif

Jean et Danielle (Adultes) pour éditer une formule recopiable choisiront des noms et prendront en compte les contraintes qui amènent à l'utilisation d'un système mixte de références : Voici leur protocole

1. Danielle *ici... dans cette cellule ... comment on la calcule... il faut ligne courante ... (1375,08)... moins colonne 2... par colonne 2... colonne moins 2...*
2. Jean *oui ça multiplié par ça donc...*
3. Danielle *et après multiplié par ...*
4. Jean *plus ça multiplié par ça ...*
5. Danielle *c'est à dire ligne courante encore et colonne moins 1...*
6. Jean *ensuite plus ... il faut aller chercher là...*
7. Danielle *oui mais moi ces nombres je veux pas les mettre sous forme d'adressage relatif...*
8. Jean *j'ai bien compris de façon à ... ce qu'ensuite il ait...*
9. Danielle *à ce niveau...là il y a pas de problème pour prendre ces deux... en fonction du curseur j'ai l'impression...*
10. Jean *tandis que ceux là de toute façon on peut... il faut bien les laisser où ils sont ...*
11. Danielle *oui, oui... déjà ça je le laisse (LC(-2) )... Ligne et colonne moins 2... multiplié par L moins 5 ... ça c'est quoi ça déjà ... c'est le gaz ... ça donc ça le nommer...*
12. Observ *et puis qu'est ce que tu ferais dans la formule ?*
13. Danielle *nommer... oui je l'appelle là avec son nom... je sais pas si c'est possible*
14. Observ *oui*
15. Danielle *après plus ici ...*
16. Jean *idem... consommation*
17. Danielle *ligne colonne moins ...*
18. Jean *plus ça (il montre sur l'écran) ...*
19. Danielle *on laisse L C moins 1... et je change à nouveau ça ...*
20. Jean *on donne un autre à nom à PU*
21. Danielle *ouais... plus ça et ça aussi je le change et ça aussi ( elle montre les abonnements) ...*

Danielle et Jean ont bien identifié que les éléments invariants sur chaque ligne ne doivent pas être désignés à l'aide de références relatives (7). La solution proposée par Danielle est de nommer les cellules (11-13). La construction de sa formule prend en compte le rôle et la position de chaque valeur dans le tableau lié. Elle construit bien une formule avec un système mixte de références. Son travail est d'ailleurs réalisé à partir d'une formule en références relatives où elle garde ce qui peut rester ainsi et change ce qui fait référence à la ligne 2.

#### 2.5.4.4.2. le cas de Cédric et Eyup : utiliser des lettres

Cédric et Eyup (élèves) évoquent les lettres comme celles que l'on emploie dans le calcul algébrique pour désigner des variables.

1. Cedric *c'est bête qu'on puisse pas rentrer des lettres dans les calculs !*
2. Observ *qu'est ce que tu veux faire ?*
3. Cedric *au lieu de mettre ça, on mettrait PU electricité et ça nous prendrait le prix de l'electricité ...*
4. Observ *tu veux essayer sur une formule ?*
5. Cedric *ouais mais ça va nous mettre valeur !*
6. Cedric *je vais essayer là ... (il selectionne L10C4 )*

7. Observ *tu mettrais PU electricité à la place duquel ?*  
 8. Cedric *du prix ! (il tape PUElec dans la formule et obtient le message #NOM)...ouais ça nous met nom !*  
 9. Observ *c'est une bonne idée et celui qui a fabriqué le logiciel a eu cette idée... (il leur montre comment définir un nom pour donner du sens à ce qu'il vienne de faire et leur demande de faire la même chose pour les autres )*  
 10. Cedric *PUGaz... (il selectionne le nom) et là il faut que je mette PUGaz... (à la place de 0,16 dans la formule de L10C4) (il le tape) abonnement gaz (il garde les noms par défaut et édite la formule de L10C4 avec tous les noms ) ...*  
 11. Observ *c'est fini ou pas ?*  
 12. Cedric *ouais ! ah non, il faudrait recopier vers le bas ! (il le fait) ... et voila*

La proposition de Cédric (1) est pour nous directement issue de ses connaissances algébriques. Le seule question qu'il se pose concerne la capacité du logiciel à comprendre la formule qu'il édite. Il prévoit d'ailleurs un message d'erreur retourné par la machine (5). L'aide de l'observateur s'est d'ailleurs limitée à la définition des noms. C'est cependant le seul élève qui fera ce type de proposition.

### 3. CONCLUSION

Cette tâche centrée sur la construction d'une formule recopiable dans une feuille de calcul liée nous a permis de mettre en évidence la nécessité d'une analyse du rôle de chaque type de références dans la feuille de calcul. Les stratégies d'écriture automatique des références, à l'aide de la souris, ne permettent pas de résoudre la tâche proposée. Les stratégies développées par les sujets ont bien été construites ainsi que nous l'avions prévu à partir des difficultés que constituait soit la recopie d'une formule en références relatives soit la présence du zéro dans une facture. Nous avons pu observer une nette différence à ce niveau entre les élèves et les adultes que nous attribuons à la pratique plus grande de ces derniers dans l'utilisation de Multiplan. Les adultes rencontrant des difficultés de recopie ont souvent mis en cause le fonctionnement du logiciel. Les élèves ayant pour leur part traité le problème du zéro au niveau de sa signification dans la facture.

Les procédures de résolution de la tâche sont toutes passées par une analyse de la formule et du système de références utilisé conduisant à une disqualification des références relatives pour l'écriture de la formule. Mais cette disqualification n'est qu'une étape dans la résolution. La tâche doit être reconnue comme la construction d'une formule recopiable dans une feuille de calcul liée qui conduit à une modification d'une partie des références. La difficulté majeure apparaît dans la construction d'une formule utilisant des références mixtes et les échecs à ce niveau sont importants.

**Zéro** : difficultés lié à la présence de zéro dans L8C4

**Rec** : difficultés en recopiant la formule

**Pb rec** : mise en cause de la recopie

**a Rel** : mise en évidence du problème posé par les références relatives

**1-1** : proposition d'editer les formules une par une

**comp** : construction d'un compteur

**RA** : choix d'une désignation par références absolues

**Nom** : choix d'une désignation par nom

	zéro	Rec	Pb rec	a RL	1-1	comp	RA	Noms
Jean-Michel Claude		■	■	●			■	
Maryse Annie	■	■	■	■	■	■	■	
Philomène Florence	■			■	■	■	■	
Joëlle Yvette		■	■	■				
Jocelyne Christiane		■		■			■	
Jean Danielle		■	■	■				■
Annie Maurice	■			■		■		■
Sylvain Vincent	■			■			■	
Christine Stoyan	■			■	■		●	■
Ivan Cécile	■			■	■	■	●	
Danielle Christelle	■			■	■		■	
Nelly Stephanie	■			■	■	■	●	
Cédric Eyup	■			■	■			■

● intervention de l'observateur

Figure 6-21

Pour nous les difficultés rencontrées dans la résolution de la tâche de recopie d'une formule dans un tableau lié ont deux origines principales :

- la première est d'origine didactique puisque l'apprentissage à l'utilisation du tableur utilise exclusivement des tableaux libres avec une édition des références avec la souris. Ce mode de fonctionnement induit une règle d'action qui lie l'écriture des références à une action de désignation des cellules à l'aide de la souris (ou du curseur dans le cas des compatibles PC). Il induit aussi une absence de contrôle des références qui provient à la fois de la complexité de l'écriture et d'une édition des formules "monstrative" où l'action prend le pas sur l'analyse des formules.

- la deuxième provient des connaissances algébriques des sujets et de la conception d'invariance d'une formule. Les nombreuses observations relatées attestent la présence de cette invariance qui peut s'exprimer de la façon suivante : une formule réalisant un calcul correct dans une cellule doit fournir un résultat correct pour le même calcul dans une autre cellule.

Ce type de problème de recopie dans les tableaux liés est souvent une difficulté rencontrée par les utilisateurs dans la construction de leurs feuilles de calcul. Il a d'ailleurs été rencontré par les adultes dans leur travail et 2 d'entre eux l'ont évoqué à l'occasion de l'interview.

Ainsi Joëlle : *"moi j'ai déjà eu ce problème en faisant des stat ... mais justement j'ai pas réussi à le résoudre ..."*

ou Jean *je me suis fait piéger souvent là dessus*

A la fin de l'interview, les problèmes de recopie restent entiers pour certains sujets. Par exemple Jean-Michel qui s'interroge sur les tableaux où la recopie est possible et celle où elle ne l'est pas en évoquant une feuille de calcul qu'il a réalisé :

Jean-Michel *par exemple j'ai un fichier, j'ai une colonne Homme, une colonne Femme... et j'ai total... dans total... j'ai fait homme... je suis allé sur homme dans une cellule ... la première ... nombre d'hommes plus nombres de femmes en étant positionné au départ dans Total ... moi je pensais que mon fichier quand j'allais le compléter au fur et à mesure... en mettant des chiffres ça allait automatiquement me redonner le total ... ça va pas marcher ?*

Pour lui la distinction entre tableaux libres et tableaux liés n'est pas encore faite. Nous avons encore là un indice de la difficulté que représente la construction d'une formule recopiable dans un tableau lié. Ce protocole atteste qu'ici la difficulté n'est pas encore résolue.

# Conclusion

Comme conclusion de cette étude, nous allons essayer de montrer quelles réponses elle apporte aux questions initiales.

## 1. RAPPEL DES QUESTIONS INITIALES

Le tableur est un outil trop récent pour que nous puissions déjà disposer d'études didactiques qui prennent en compte les connaissances en jeu dans cet environnement de calcul. C'est cependant un outil puissant qui peut apporter des moyens efficaces pour permettre aux élèves d'étudier tout un ensemble de concepts mathématiques. Par contre, les quelques expériences tentées par des enseignants (Maraninchi, 1986 ; David, 1986) ont mis en évidence les difficultés rencontrées pour l'appropriation de cet outil.

### 1.1. CONSTRUCTION D'UNE FEUILLE DE CALCUL

Notre étude porte tout d'abord sur la construction d'une feuille de calcul par des utilisateurs débutants. Il s'agit à ce niveau de mettre en évidence les obstacles liés à cette construction . Il s'agit notamment :

1•des obstacles liés à l'édition d'une formule construite à l'aide de références relatives. En particulier le problème des syntaxes de l'algèbre et du tableur qui se mêlent et le problème lié à l'utilisation d'un système de références dépendant de la cellule où est installée la formule.

2•des obstacles présentés par la priorité que le tableur accorde aux résultats manifesté par la présence de valeurs dans les cellules au détriment des formules qui les produisent.

3•des obstacles concernant la construction de formules qui nécessitent l'emploi de plusieurs systèmes de désignations des cellules comme dans les feuilles de calcul liées.



## 1.2. DE L'ARITHMETIQUE A L'ALGEBRE

L'ensemble des contraintes liées à la construction de connaissances opératoires dans l'environnement du tableur nous conduit à étudier également de quelle façon se fait le passage d'une conception arithmétique du tableur où apparaissent seulement des relations entre des nombres à une conception algébrique où les cellules sont considérées comme des variables intervenant dans les formules de calcul.

## 1.3. CONCEPTS INFORMATIQUES : ITERATION ET REPLICATION

Enfin une dernière question touche à l'environnement de programmation que constitue le tableur. Il s'agit notamment de l'étude de concepts présents dans le tableur qui relèvent de la dimension informatique. Comme l'itération a déjà fait l'objet de plusieurs études portant sur différents environnements informatiques, nous avons pu étudier le cas particulier de l'itération dans la cadre du tableur Multiplan en tentant une approche comparée. Nous avons aussi pu étudier les rapports qu'entretiennent le concept de réplication, spécifique du tableur, et l'itération. Il s'agit ici de reconnaître quels liens entretiennent dans l'environnement du tableur ces deux constructions de calculs à réaliser de manière répétitive. Notamment est-ce que les obstacles liés à la construction de l'invariant sont de même nature ?

## 1.4. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Nous avons abordé ces questions avec un public d'adultes que l'on peut qualifier de "non-expert" et un public d'élèves à la fin de la scolarité obligatoire (Classe de troisième : c'est-à-dire fin de la scolarité obligatoire). Ceci à travers des études de cas d'élèves pendant un enseignement (15 heures) et une autre étude de cas d'élèves du même type et d'adultes dans une interview en situation de résolution de problème. Cette dernière devant permettre de comparer deux populations sensiblement distinctes du point de vue de la proximité de l'apprentissage des concepts algébriques.

## 2. LES RESULTATS DE L'ETUDE

L'analyse des observations recueillies permet de mettre en évidence un ensemble de résultats qui éclairent les difficultés rencontrées par les utilisateurs débutants dans l'apprentissage à l'utilisation d'un tableur.

### 2.1. CONSTRUCTION D'UNE FEUILLE DE CALCUL

#### 2.1.2. OBSTACLES LIES A L'EDITION D'UNE FORMULE ET DES REFERENCES RELATIVES.

L'appropriation des références relatives ne va pas de soi. La facilité de l'édition automatique, qui utilise la souris pour désigner les cellules intervenant dans une formule, ne doit pas cacher les réelles difficultés rencontrées dans l'interprétation des références produites par la machine, nécessaire au contrôle des formules produites. La rapidité de construction des premières feuilles de calcul ne doit pas masquer les difficultés sous-jacentes qui persistent après plusieurs heures de formation. Les difficultés que rencontrent les élèves au cours de la formation trouvent leur origine dans :

-la complexité de l'écriture de la formule. En effet une expression qui pourrait s'écrire  $a+b+px+qy$  à l'aide du symbolisme usuel en algèbre élémentaire devient par exemple dans le tableur  $LC[-2]*L[-5]C[-1]+LC[-1]*L[-5]C+L[-5]C[-3]+L[-5]C[-2]$ . (interview : Chapitre 2). Cette complexité perturbe notamment les connaissances liées aux priorités des opérations qui sont mal reconnues dans le type d'écriture produit par le tableur avec des références relatives.

-le rôle de la cellule active comme origine du repère qui est également la source d'importantes difficultés pour les débutants. Nous avons pu retrouver des lectures de formules déjà relevées dans nos travaux précédents (Capponi & Balcheff (89)) où le décodage est réalisé en partant de la cellule active puis pour les cellules suivantes de la dernière cellule décodée. Tout se passe comme si la lecture se faisait en passant successivement d'une cellule à l'autre à mesure que le décodage est effectué. D'une manière générale la présence d'un repère variable crée des difficultés importantes qui n'apparaissent pas avec des références absolues.

-les lettres L et C intervenant dans les formules prennent souvent pour les élèves une signification en rapport avec la tâche en cours et servent ,par exemple, à désigner des éléments en jeu dans le problème à résoudre comme le côté d'un carré pour C ou la longueur d'un rectangle pour L.

-le fractionnement des références dans la lecture. En effet, la complexité de l'écriture des désignations à l'aide des références relatives conduit les débutants à interpréter par exemple la référence  $L[-1]C[+1]$  comme  $L[-1]C+1$  où le dernier nombre "+1" devient un terme du calcul au lieu d'une caractéristique liée à la référence.

D'autre part, l'existence et la localisation d'une formule ne sont pas toujours reconnues. En particulier le fait que le résultat produit dans une cellule est nécessairement associé à une formule implantée dans la cellule où ce résultat est affiché. (Chapitre 3). Pour certains élèves "c'est inscrit dans le programme de l'ordinateur" sans que la localisation de la formule soit identifiée. En liaison avec ce type de problème, nous avons rencontré, de manière fréquente, une conception de la formule que nous n'avions pas mis en évidence dans notre analyse a priori . Il s'agit de la **reversibilité** qui consiste à attribuer à une formule la capacité à fournir des résultats dans une autre cellule que celle où elle est implantée. C'est le fonctionnement même du logiciel qui est remis en cause par ce type de conception.

## 2.2. DE L'ARITHMETIQUE A L'ALGEBRE

La formule permet de passer d'un simple tableau de nombres à une feuille de calcul dans la mesure où celle-ci réactualise le tableau pour chaque modification d'une valeur. Le rôle que joue la formule dans ce processus dynamique n'est pas facilement reconnu par les utilisateurs débutants. Nous avons en particulier noté une persistance de descriptions de type arithmétique, souvent associées, d'ailleurs, à une description en langue naturelle, au détriment de l'apparition d'une conception algébrique de la formule comme élément générant les feuilles de calcul (Chapitre 3) . L'utilisation du tableur soit comme un lieu où poser des nombres calculés ailleurs, soit comme une simple calculatrice atteste de la difficulté pour les élèves d'accéder à une conception générale de la formule. Nous avons pu le mettre en évidence, par exemple, dans la construction de formules du type :  $= 106*22$  (Chapitre 5).

D'une manière générale, la mise en place de formules dans le logiciel ne va pas de soi et la distance est grande de la description en langue naturelle à l'implantation d'une formule dans le tableur.

Pour étudier les conceptions de la formules développées par les sujets , nous avons aussi tenté d'analyser les modèles mobilisés par des débutants pour décoder une formule . Il ressort de notre étude une utilisation plus marquée chez les adultes que chez les élèves de descriptions utilisant un symbolisme algébrique et une forte apparition de modèles post-arithmétiques où des nombres sont "marqués" à l'aide de soulignements ou d'encadrements pour identifier leur rôle dans le calcul comme coefficient ou variable. (Chapitre 3).

Par ailleurs, en fournissant des formules avec une écriture utilisant les notations de l'algèbre nous avons pu mettre en évidence leur implantation dans le tableur par les élèves, sans aucune modification . Tout se passe alors comme si le dispositif avait la capacité d'interpréter ces écritures pour effectuer le calcul. D'une manière plus générale, on retrouve ici des résultats de recherches (Rouchier 1987) où il a été relevé que les utilisateurs débutants attribuent fréquemment au dispositif informatique une capacité à interpréter des instructions qu'ils fournissent. Il s'agit ici d'une conception anthropomorphique du fonctionnement du dispositif.

### 2.2.1. PRIORITE ACCORDEE AUX RESULTATS

L'affichage des résultats dans les cellules constitue une des caractéristiques importantes du tableur. Il conduit souvent les élèves à considérer la feuille de calcul comme un simple lieu où poser des nombres, qui dans certains cas seront calculés à la main et recopiés dans les cellules au lieu d'être affichés comme des résultats produits par une formule. (chapitre 5).

Cette affichage prioritaire des valeurs conduit même à des conceptions de la formule où celle-ci peut dépendre des valeurs contenues dans les cellules qui y font références. Nous avons ainsi pu mettre en évidence une conception *pré-algébrique de la formule* . Nous entendons par là que des données intervenant comme élément neutre d'une opération donnée ne sont pas prises en compte dans la construction de la formule. (Chapitre 5).

L'ensemble des résultats liés à la distinction entre tableau de nombres et feuille de calcul nous conduit dès lors à schématiser les différents niveaux observés à l'aide du tableau de la figure 7-1 :

Tableau	I tableau	nombres	arithmétique
	II tableau généralisé	description en langue naturelle des "calculs sur les nombres"	arithmétique
Tableur	III feuille de calcul	description de relation algébrique entre les cellules (lieux géographiques)	algèbre
	IV feuille de calcul "généralisée"	description fonctionnelle , les cellules sont des variables	algèbre

Figure 7-1

L'étude que nous avons menée nous conduit à conclure que II et III sont opératoires pour le tableur alors que rares sont les sujets qui peuvent être considérés disposant du niveau IV. L'état II peut être considéré en quelque sorte comme *post-arithmétique* et III comme *pré-algébrique*.

### 2.2.2. FORMULES MIXTES DANS DES FEUILLES DE CALCUL LIEES

Une partie de notre étude s'est intéressée à des types de feuilles de calcul que nous avons appelées liées, dans la mesure où la recopie des formules par les options automatiques de recopie "recopie vers le bas" (ou à droite) nécessite la construction de formules utilisant à la fois des références relatives et des références absolues (ou des noms). Dans ce type de situation les utilisateurs sont conduits à une construction mettant en œuvre des connaissances sur la désignations des cellules ainsi que le rôle que joue chacune de ces désignations. C'est là encore une tâche qui met en jeu des concepts qui relèvent typiquement de l'algèbre.

Nous avons pu montrer que la construction de telles formules constitue une réelle difficulté pour des débutants dans la mesure où elle les conduit à remettre en cause les options de recopie du tableur qu'ils utilisent habituellement dans la construction des feuilles de calcul.

La résolution de problème où apparaît cette difficulté conduit à une mise en cause de la recopie puis à une disqualification des références relatives comme seul système de références. La construction d'une formule utilisant un double système de références est une difficulté importante qui conduit à l'échec plus de la moitié des sujets avec lesquels nous avons mené cette étude.

### 2.3. CARACTERES INFORMATIQUES

Le tableur se prête bien à la construction de formules conduisant à une sorte "d'itération déroulée" que nous avons appelée **réplication** dans la mesure où une même formule répliquée dans un ensemble de cellules produit une suite récurrente, chaque résultat étant obtenu à partir du précédent à partir de cette même formule. L'étude de la construction d'une tel modèle par des élèves nous a conduit à identifier deux types de difficultés déjà relevées dans d'autres recherches à propos de l'itération et qui concernent : l'initialisation du processus et la découverte de l'invariant.

La réplication apparaît cependant comme plus facilement disponible chez les élèves que l'itération proprement dite dans la mesure où la planification de l'ensemble du processus n'est pas nécessaire pour la mise en place qui peut se faire par étapes. La réplication facilite le découpage de la tâche pour la découverte de l'invariant. Elle peut se construire par étapes successives en produisant les résultats intermédiaires qui ne sont pas directement accessibles dans une itération. C'est en quelque sorte le "déroulement" des valeurs qui permet une explicitation plus aisée de l'invariant.

Par contre la mise en place d'une itération utilisant le compteur d'itération fourni par Multiplan avec la fonction NBITER() constitue une réelle difficulté pour les élèves. Nous avons retrouvé de nombreuses analogies avec les observations relevées par d'autres chercheurs dans d'autres environnements informatiques comme Pascal avec des élèves de niveau scolaire proche. En particulier dans la construction de la somme de 300 entiers l'apparition de stratégies "locales" comme l'additions d'entiers consécutifs a déjà été signalée par Rouchier et Rogalski. (Rouchier et al (1983)).

Par ailleurs, dans Multiplan l'utilisation de formules du type SOMME(LC+1) atteste de la capacité attribuée au dispositif par les débutants d'interpréter des tâches non complètement explicitées.

Une utilisation de la réplication, en place de l'itération, pour traiter le problème de la somme des 300 entiers atteste aussi d'une plus grande disponibilité de la première au regard de la seconde.

### 3. LES AUTRES TABLEURS

Nous ne pouvons terminer ce travail sans remarquer la place importante que nous avons donnée au système de références spécifique de Multiplan. Une grande partie des observations que nous avons pu faire sont liées à la syntaxe particulière utilisée dans ce logiciel. Mais l'étude a mis aussi en évidence des caractéristiques qui sont communes à tous les tableurs. Nous ne reviendrons pas sur l'évolution d'une conception arithmétique vers une conception algébrique. En revanche il est intéressant de montrer que les solutions apportées par les concepteurs de logiciels comme Excel ou Lotus 1 2 3 pour la désignation des cellules ne résout les difficultés de désignation que de manière superficielle. Pour notre part les difficultés liées au système de référence sont masquées et reportées à un autre niveau. Etudions un exemple avec Excel<sup>TM1</sup> pour illustrer notre propos.

L'addition des cellules de la colonne 1 est effectuée sur l'exemple de la figure 7-2 à l'aide de la formule  $A2+A3+A4+A5$  dans la cellule A6. Cette notation apparemment absolue est en réalité relative par recopie puisque la copie à droite de cette formule dans la cellule B6 : donne la formule  $B2+B3+B4+B5$ .

			Feuille d		
	A	B		A	B
1			1		
2	45	89	2	45	89
3	56	12	3	56	12
4	78	45	4	78	45
5	12	32	5	12	32
6	191	178	6	=A2+A3+A4+A5	=B2+B3+B4+B5
7			7		

Figure 7-2

D'une manière générale, le logiciel recopie en modifiant les références. Il serait intéressant d'étudier les difficultés que représente la transformation de la formule ainsi réalisée par le logiciel. Ici la recopie produit une autre formule puisque les désignations sont différentes contrairement à ce qui se passe dans Multiplan avec des références relatives. Par ailleurs se pose alors le problème d'une désignation indépendante de la position et qui se conserve par recopie. Nous en avons vu la nécessité dans le chapitre

<sup>1</sup>Excel est une marque déposée de la Société Microsoft .

**6. Excel, utilise des notations comme \$A\$2 pour désigner de manière absolue la cellule A2. Les difficultés que nous avons analysées dans la construction de formules utilisant un double système de références ne nous semblent pas de nature différente dans un logiciel comme Excel. Pour nous il ne s'agit pas de difficultés provenant des notations utilisées mais nous les interprétons plutôt comme des problèmes sémantiques. La simplicité de la notation utilisée par Excel permet par contre une lecture plus facile des formules éditées de manière automatique et par conséquent facilite le contrôle des formules éditées par des utilisateurs débutants.**





## BIBLIOGRAPHIE

**Arad O.S** 1986, The spreadsheet : solving word problems **The computing teacher** dec-jan 86-87 pp 13-15.

**Assude T.** 1989, Racines carrées, conceptions et mise en situation d'élèves de quatrième et de troisième, **Petit x**.

**Barthet M.F.** 1983, Conception d'une interface Homme-machine. **Ergonomie de la condition du travail** pp 18-29

**Bisseret.** 1983, Essor d'une psychologie ergonomique pour l'informatique. **Travail Humain** T 46 N°2.

**Bonar, Soloway E.,** 1985, Preprogramming knowledge : a major source of misconceptions in novices programmes. **Human-computer Interaction**,1, 133-161.

**Booth L.** 1984b, **Algebra : Children's strategies and errors**, Windsor : NFER-Nelson Pub. Cie LTD

**Booth L.** 1984a, Erreurs et incompréhensions en algèbre élémentaire **petit x** N°5 pp 5-17 IREM Université de Grenoble 1.

**Brousseau G.** 1986, **Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques** Thèse d'état Université de Bordeaux 1.

**Brown J.M.** 1986, Spreadsheets in the classroom **The computing teacher** Dec-jan 86-87 pp 8-12.

**Capponi B., Balacheff N.** 1989, Tableur et Calcul Algébrique **Educational studies in mathematics** 20 : 179-210

**Catterall P.** 1985, Spreadsheets patterns **Micromath** winter 1985 pp 14-15.

**Catterall P.** 1986, More mathematics with Multiplan **Micromath** summer 1986 pp 26-28.

**Catterall P. Lewis R.** 1985, Problem solving with spreadsheets **Journal of computer assisted learning** 1 167-169

**Chevallard Y.** 1984, Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège. **Petit x** N°5 pp51-94. IREM Université Joseph Fourier Grenoble .

**Chevallard Y.** 1989, Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège. **Petit x** N°19 IREM Université Joseph Fourier Grenoble .

- Collectif 1988-a, L'ergonomie des logiciels , un atout pour la conception des systèmes informatiques** Documentation Française Par le groupe du programme "technologie emploi et travail " et le groupe Bull
- Collectif 1988-b, Le tableur et ses applications en classe Bulletin d'informatique pédagogique CRDP Académie de Rouen N°13 Juin 1988**
- Conne F. 1985, Calculs numériques et calculs relationnels dans la résolution de problèmes d'arithmétique Recherches en didactique des mathématiques vol 5 N° 3 pp 269-332**
- Corkill D., Robinson N., 1988, Using Spreadsheets to solve a mathematical problem, micromath \_spring 1988.**
- Cosavella G. 1988, Ergonomie et didactique des logiciels , Eléments à propos de Multiplan sur TO9+ et Macintosh. Mémoire de DEA, Université Joseph Fourier Grenoble 1.**
- Dagdilelis V., Balacheff N., Capponi B. à paraître Mise en œuvre de l'itération par des élèves novices dans deux contextes différents.**
- David J.P. 1986, Tableur et pédagogie CIAP Université Grenoble 1.**
- Delannoy C. 1986, Initiation à Multiplan Eyrolles.**
- Dribin C.I. 1985, Spreadsheets and performance \_The computing teacher june 1985.**
- Floyd B.D., Pyun J., 1986 , Errors in spreadsheet uses (Tech. Rep.). New York : New york University, Graduate School of Business administration.**
- Gaud et Al 1987, Calcul littéral au collège Publication de l'IREM de Poitiers**
- Guiraud P. (1971) La sémiologie PUF.**
- Habasque G. 1985, Multiplan sur Macintosh Sybex Paris.**
- Hoc J.M., Mendelsohn P. 1987, Les langages informatiques dans l'enseignement Psychologie Française Décembre 1987 tome 32-4**
- Kieran C. , Filloy . E . Y 1990, The learning of School Algebra from a psychological Perspective. Mathematics and cognition. Cambridge Academy Press (à paraître)**
- Kieran C. 1981, Concepts accociated with the Equality symbol Educational Studies in Mathematics 12 , 317-326.**
- Laborde C 1977, Relations arithmétiques -aspect statique -aspect dynamique. Conférence of the international Groupe of Psychology of Mathematical Education Utrecht 1977.**
- Laborde C, Balacheff N, Mejias B 1985, Genèse du concept d'itération : une approche expérimentale Enfance n° 2-3 pp 223-240**
- Liegeois G 1985, Multiplan\_ Marabout.**

**Lindsay P.H., Norman D.A. 1980, Traitement de l'information et comportement Humain - une introduction à la psychologie . Editions Etudes vivantes Montréal-Paris.**

**Manuel Microsoft Multiplan 1984, Version française pour Apple Macintosh Version 1.02.**

**Maraninchi JB, Favre Nicolin R, 1986, Tableur et pédagogie de l'informatique CRDP 11 Bd Gl Champon Grenoble.**

**Maruez T, Gysel P 1983, Multiplan . L'ordinateur individuel N°47.**

**Meißner H. 1987, Recherches sur les processus d'apprentissage en mathématiques en lianson avec l'utilisation de calculettes et d'ordinateurs. Actes du premier colloque Franco-Allemand de diadactique des mathématiques et de l'informatique. La Pensée Sauvage Grenoble, 283, 293.**

**Mejias B. 1985, Difficultés conceptuelles dans l'écriture d'algorithmes itératifs chez des élèves de collège Thèse de troisième cycle Université Grenoble 1.**

**Olson J., Nilsen E., 1988, Analysis of the cognition involved in spreadsheet software interaction. Human-computer interaction. 1987-88, 3, 309-349.**

**Osta I. 1988, L'ordinateur comme outil d'enseignement. Une séquence didactique pour l'enseignement du repérage dans l'espace à l'aide d'outils graphiques Thèse Université Joseph Fourier Grenoble 1**

**Pea R.D. 1984, Language-independent conceptual "bugs" in novice programming . Journal of educational computing research, special issue on "novice programming" 1-12.**

**Peasey D. 1985, Using spreadsheet programs in mathematics education Micromath spring 85**

**Rapport de recherche 1984, Signification et fonctionnement des concepts informatiques chez l'élève en interaction avec la formation des connaissances mathématiques et physiques. GRECO thème II pp 52-60.**

**Richard 1983, Logique du fonctionnement et logique d'utilisation. INRIA Rapport de recherche N°202 p 20.**

**Rogalski J. 1985, Alphabétisation informatique, problèmes conceptuels et didactique. Bulletin Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public N° 347.**

**Rogalski J. 1987, Les représentations mentales du dispositif informatique. Actes du premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique. La Pensée Sauvage . Grenoble. 235-45.**

**Rogalski J. Vergnaud G. 1987, Didactique de l'informatique et acquisitions cognitives en programmation. Psychologie Française 32-4, 267-274.**

**Rouchier A. et al 1983, Concepts informatiques et programmation, une première analyse en classe de seconde des lycées. \_CEPCL, PARIS IREM d'Orléans**

**Rouchier A. 1984, Informatique et didactique de l'informatique Actes de la troisième école d'été de didactiques des mathématiques. Institut IMAG Université Joseph Fourier Grenoble .**

**Russel J.C. 1987, Probability Modeling with a spreadsheet The computing Teacher novembre 1987 pp 58-60.**

**Samurçay R, 1985a, Signification et fonctionnement du concept de variable informatique chez des élèves débutants Educational studies in mathematics 16 1985 143-161**

**Samurçay R, 1985b, Learning Programming : constructing the concept of variable by beginning students. Proceedings of the ninth International Conference for Psychology of Mathematics Education Vol 1 pp 77-82 Utrecht Pays Bas. State University of Utrecht.**

**Samurçay R, 1987, Plans et schémas de programmes . Psychologie Française 32-4, 261-266.**

**Scapin. 1986, Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine . Rapport technique INRIA N°77.**

**Shinners-Kennedy D. 1986, Using Spreadsheets to teach computer science ACM vol 1986 SIGCSE Bulletin pp 264-270.**

**Soloway E., Ehrlich K., 1984, Empirical studies of programming knowledge IEEE Transactions of software engineering\_Vol SE-10 .N°5 septembre 1984 pp 595-609**

**Soper J., Lee M. 1987, 'what if?' calculations with spreadsheets Micromath spring 87**

**Sutherland R. 1987, What are the links between variable in logo and variable in algebra Recherches en didactique des mathématiques vol 8 N° 1-2 pp 103-130**

**Sutherland R 1987, A study of the use and understanding of algebra related concepts within a Logo environment In J.C. Bergeron, N Hercovics, C, Kieran Eds° Proceedings of the Eleventh International Conference for Psychology of Mathematics Education pp 241-247 Montreal : Université de Montréal.**

**Sutherland R. ; Hoyles C 1986, Logo as a context for learning about variable Proceedings of the Tenth International Conference for Psychology of Mathematics Education pp 301-306 London : University of London, Institute of Education .**

**Tennent R. D.** 1981, **Principles of programming languages**  
Prentic-Hall international 1981

**Thiriez H, Santraille G.** 1985, **Multiplan pour Macintosh** PSI.

**Thomas, M ; Tall, D.** 1986, The value of the computer in learning Algebra concepts. **Proceedings of the Tenth International Conference for Psychology of Mathematics Education** . University of London, Institute of Education . 313-318

**Valentin A, Lucongsang R.** 1988, **L'ergonomie des logiciels**  
Collection outils et méthodes Editions de l'ANACT (Agence Nationale pour l'amélioration des conditions de travail).

**Vergnaud G,** 1981, Quelques orientations théoriques et méthodologiques  
**Recherche en didactique des mathématiques 2-2**

**Vergnaud G,** 1988, Long terme et court terme dans l'apprentissage de l'algèbre. **Actes du premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique.** La Pensée Sauvage . Grenoble. pp 198-99.



# **Annexe 1 :Description des tâches données aux élèves (enseignement)**

## **SEANCE 2<sup>1</sup>**

### **OBJECTIFS**

Il s'agit de la première séance où les élèves utilisent le dispositif. L'objectif est :

-de familiariser les élèves aux principaux aspects de la communication avec le dispositif. Ouvrir et enregistrer des fichiers. Utiliser les périphériques d'entrée : clavier et souris. Cette communication prend un sens à travers l'action qu'ils mèneront, problématisée dans l'environnement de Multiplan.

-de faire éditer par les élèves, dans Multiplan, des textes, nombres et formules.

-d'utiliser deux fois le premier tableau construit en modifiant uniquement les valeurs numériques données dans le premier. Il s'agit ici de l'utilisation du recalcul pour donner au tableur sa dimension de générateur de tableaux.

### **DESCRIPTION DE LA TACHE**

Les élèves devront

-Charger le système et ouvrir l'application Multiplan.

-Editer dans Multiplan les textes et nombres du tableau suivant :

---

<sup>1</sup> A la première séance, après le cours du professeur avec une démonstration d'édition de formules, une grève d'électricité a obligé à interrompre la séance. C'est donc au cours de la séance 2 que pour la première fois les élèves éditent eux mêmes une feuille de calcul.



	Français	math	hist-géo	anglais	moyenne
Septembre	15	7	12	8	
octobre	10	13	13	10	
novembre	11	12	10	12	
décembre	12	8	6	6	
janvier	11	12	4	14	
février	8	16	12	13	
moyenne					
minimum					
maximum					

-Editer les formules permettant de calculer des moyennes, minima et maxima des listes de notes, en ligne et en colonne. Ces formules seront éditées en utilisant les fonctions intégrées au logiciel avec l'option **coller une fonction** .

-Utiliser le même tableau pour calculer les moyennes d'un autre élève.

-Enregistrer les deux fichiers sans écraser le premier.

### SEANCE 3

#### OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT

Il s'agit dans cette séance :

-de faire éditer par les élèves une formule n'utilisant pas de fonctions à coller comme à la séance précédente et de leur faire utiliser la recopie vers le bas.

-de faire utiliser par les élèves les actions de sélection et de tri pour tirer des renseignements d'un tableau de données .

-de récupérer des informations sur le niveau d'appropriation par les élèves de la notion de références relatives et de leur conception du caractère générique d'un tableau de Multiplan. Du point de vue de la recherche c'est cette situation qui présente pour nous le plus d'intérêt.

#### DESCRIPTION DE LA TACHE

La séance se divise en deux parties que nous analyserons séparément.

## **MARCHE COMMUN**

La première appelée **marché commun** correspond aux deux premiers objectifs que nous avons cités. C'est une activité de familiarisation avec de nouvelles fonctionnalités du logiciel : Essentiellement la sélection d'une zone et la recopie vers le bas. Mais la nécessité de problématiser l'utilisation de la sélection nous a conduit à l'utiliser à travers des actions de tri pour classer les pays de la communauté Européenne suivants plusieurs critères. Les élèves utilisent un fichier enregistré par le professeur sur leur disquette.

## **VETEMENTS**

Cette activité est réalisée sans l'ordinateur, sous la forme d'un questionnaire sur papier. Elle joue un rôle d'évaluation et permet au professeur de récupérer des informations sur les connaissances des élèves à la fin de cette séance.

### *Analyse a priori*

Notre analyse a priori se construit sur les observations d'une situation presque identique de la pré-expérimentation de 1986. La familiarité que chaque élève peut avoir avec le logiciel joue un rôle dans la réalisation de la tâche. Nous devons tenir compte des difficultés techniques rencontrées au cours de la première séance de 1987 dont la conséquence sera une absence de travail sur l'ordinateur pour les élèves. Ce n'est pas le cas en 1988 où les élèves ont disposé de davantage de temps pour manipuler le dispositif avant la présente situation. Enfin le travail des étudiants se situe, contrairement à celui des élèves, quelques mois après la fin de l'apprentissage. Nous attendons de ces questionnaires une mesure des connaissances l'apprentissage terminé.

### *Le problème*

Le problème consiste à calculer le prix de plusieurs articles de vêtements connaissant leur prix unitaire et leur quantité. Nous avons choisi un problème très simple pour que tous les élèves auxquels nous l'avons proposé puissent définir les relations entre les grandeurs apparaissant dans la situation. La première phase du travail est

simplement un contrôle de la capacité des élèves à définir et expliciter ces relations. Ensuite tout doit être traité par les élèves dans le cadre de la syntaxe de Multiplan. Dans un premier temps la formule fournie dans la barre d'édition doit être décodée pour identifier les relations qu'elle définit entre les grandeurs. Dans un deuxième temps nous demandons de coder dans le symbolisme de Multiplan la relation entre les cellules qui correspond au calcul qu'ils ont eux mêmes effectué au début.

### *une situation sans ordinateur*

Le problème posé hors d'interactions possibles avec le dispositif informatique évite le recours à des procédures de type essai-erreur et des modifications locales, et ad-hoc, de la formule qui seraient validées par le seul fait que le résultat calculé (par la machine) serait correct. L'élaboration d'une formule donnant un résultat exact nécessite la compréhension des références relatives mais également la syntaxe propre à Multiplan.

A la fin de cette troisième séance, en 1987, aucun élève n'utilise les références relatives pour contrôler une formule, nous avons vu que les seules interventions sur la formules concernent les erreurs de parenthèses signalées par la machine ou le professeur. Par contre les élèves sont tous capables d'éditer une formule simple, éventuellement en l'effaçant pour recommencer en cas d'échec. Supprimer le dispositif, c'est contraindre les élèves à passer par une compréhension de la signification de la formule apparaissant dans la barre d'édition.

### *Références relatives et absolues*

Les élèves pourraient utiliser des références absolues pour désigner les cellules. Leur utilisation, plus familière aux élèves, fournirait une formule exacte. Pour bloquer cette utilisation, nous avons simulé un découpage de la feuille pour la recoller en se décalant par rapport aux lignes et colonnes de la feuille de calcul. De plus nous avons fait disparaître dans la partie gauche de la barre d'édition la référence absolue de la cellule active. La partie découpée ne peut donc pas être reliée au repère absolu de la feuille de calcul. Seules restent disponibles les références relatives pour définir des relations entre les cellules de la partie découpée qui interviennent dans le problème. Nous avons signalé en 1986 chez certains élèves une erreur liée aux références relatives consistant à ne pas prendre pour chacun des termes intervenant dans la formule la même cellule comme origine du repère. (Capponi, Balacheff 1989). Nous pensons retrouver une interprétation de ce type. Nous pensons aussi rencontrer des élèves incapables de donner une

signification aux références relatives, notre observation nous donnera des indications sur le type de difficultés rencontrées.

### *Le choix des données*

Dans la construction de la formule, nous avons pu observer en 1986 ce que nous appelons une *conception pré-algébrique*. Nous entendons par là que les données intervenant comme élément neutre d'une opération ne sont pas prises en compte dans la construction de la formule. Il s'agit dans le problème proposé ici du nombre de pantalons : 0 ou du nombre de manteau : 1. Ces nombres peuvent provoquer la construction de formules ou les grandeurs correspondant à 0 et 1 n'apparaîtront pas. Ce type de conception fournit des formules fausses puisque avec la modification du nombre de manteaux ou de pantalons le prix total calculé sera inexact. Nous pensons rencontrer des formules présentant ce caractère pré-algébrique.

### *Dispositif expérimental*

Cette situation a été utilisée à trois reprises :

-En 1987 nous l'avons donnée aux élèves pendant une vingtaine de minutes à la fin de la séance 3 dans les mêmes conditions que l'enseignement c'est-à-dire un observateur pour les binomes et un enregistrement au magnétophone.

-Nous l'avons proposée aux élèves dans des conditions identiques en 1988, mais nous ne disposons pour cette année ni d'observateurs, ni d'enregistrement au magnétophone, mais seulement des documents remplis par les élèves. Compte tenu de l'absence d'activité des élèves à la première séance de 1987, cette tâche a été réalisée après deux heures de travail sur multiplan en 1987 et après 4 heures de travail en 1988. Nous pensons que c'est un élément important dans l'analyse des observations.

-En 1989, nous avons donné ce travail à une centaine d'étudiants de deuxième année de sciences économiques à l'Université de Grenoble. Nous leur avons donné à remplir le document, comme un questionnaire en dehors de toute autre activité sur Multiplan. Ces étudiants avaient bénéficié pendant l'année scolaire d'un enseignement de Multiplan dans un environnement de compatibles PC pendant une dizaine d'heures.

*Documents élèves séance 3:*

**Marché commun**

• Sur la disquette MULTIPLAN tu trouveras un fichier appelé **Marché commun**.  
Ouvre le .

• Tu observes les 12 pays du marché commun avec leur population, leur superficie en km<sup>2</sup>.

Calcule leur densité de population en habitants par km<sup>2</sup>.

• En utilisant l'option trier de MULTIPLAN indique ci-dessous les 5 pays les plus peuplés, les cinq pays les plus vastes et les cinq pays ayant la plus forte densité de population.

**Les cinq pays les plus peuplés:**

**Les cinq pays les plus vastes :**

**Les cinq pays à la plus forte densité de population :**

• Calcule la population totale de la communauté européenne et sa superficie.  
Déduis-en la densité de population de la communauté européenne.

## Vêtements

**N'utilisez pas l'ordinateur pour cette activité**

La figure représente un morceau d'une feuille de calcul de MULTIPLAN.

La cellule active contient le prix total à payer pour les achats indiqués.

🍏 **Fichier Edition Sélection Format Options Calcul**

L1C1: =L[-4]C[-1]\*L[-2]C+L[-2]C[-1]\*L[-3]C+L[-3]C[-1]\*L[-4]C

Sans titre				
	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				
		article	prix unitaire	quantité
		chemise	123	4
		manteau	1350	1
		pantalon	236	0
			total	5036

•Contrôlez le résultat affiché en calculant le prix total à la main. Ecrivez ci-dessous le résultat que vous trouvez.

Dans la barre d'édition, vous pouvez voir la formule qui a permis de calculer le prix total affiché.

•Indiquez ici ce que calcule cette formule.

•Indiquez quelle formule mettre dans la cellule active pour obtenir le résultat désiré.

Image de l'écran d'une partie du fichier "marché commun" fourni sur la disquette à chaque binôme.

L3C4		Marché commun 87		
1	2	3	4	5
1	PAYS	POPULATION	SUPERFICIE(km2)	DENSITE H/km2
2				
3	ALLEMAGNE	61 310 000	248 587	
4	BELGIQUE	9 890 000	30 513	
5	DANEMARK	5 096 000	43 080	
6	ESPAGNE	37 110 000	504 750	
7	FRANCE	52 920 000	551 602	
8	GRANDE BRETAGNE	55 937 000	244 035	
9	GRECE	9 280 000	131 944	
10	IRLANDE	3 200 000	70 282	
11	ITALIE	56 450 000	301 262	
12	LUXEMBOURG	356 800	2 586	
13	PAYS BAS	13 940 000	36 854	
14	PORTUGAL	9 800 000	92 000	
15				

## SEANCE 4

### FICHES DE PAYE.

#### *1-DESCRIPTION DE LA SITUATION*

Il s'agit ici de la dernière situation du cycle d'initiation, elle vise à faire éditer, par les élèves une feuille de calcul pour établir des feuilles de paye simplifiées. Ils doivent remplir à l'aide de leur modèle une dizaine de feuilles de paye dont les paramètres sont fournis. Nous fournissons en annexe le document donné aux élèves. Le professeur après avoir expliqué la façon d'établir une feuille de paye donne aux élèves un temps de travail sans l'ordinateur pour réfléchir à l'organisation de leur travail et régler les problèmes de calculs qui se poseraient. Les élèves travaillent ensuite jusqu'à la fin de la séance sur l'ordinateur et recopie les résultats obtenus sur des imprimés vierges qui leur sont fournis

Fiches élèves :

#### **Activité 5 : Feuilles de paye**

Aujourd'hui vous êtes les trésoriers de la maison des jeunes "Le rossignol".

Cette maison des jeunes organise de multiples activités qui sont animées par un personnel spécialisé qui perçoit un salaire chaque mois.

Le salaire de chaque animateur dépend :

- du nombre d'heures de travail
- du tarif horaire ( celui-ci dépend de la qualification de l'animateur)
- d'une prime (dépendant de l'activité)
- d'une indemnité (pour les déplacements et les frais divers).

**Vous devrez établir les feuilles de paye de 10 animateurs sur le modèle de celle de Gilbert que nous vous proposons ci-dessous.**



BULLETIN DE PAYE		MAISON DES JEUNES LE ROSSIGNOL	
JANVIER 87			
NOM :	GILBERT	ACTIVITE :	LUCCO
NOMBRE HEURES	11		
SALAIRE HORAIRE	135		
PRIME	255		
INDEMNITES	323		
		+	
SALAIRE BRUT			1 485,00 F
RETENUES	taux(%)		
SS maladie	5,5		81,68 F
SS vieillesse	4,7		69,80 F
ASSEDIC	1,72		25,54 F
BASE IMPOSABLE			1 562,99 F
NET A PAYER			1 885,99 F

Les seules informations nécessaires pour établir la feuille de paye de chaque animateur sont celles des cellules sélectionnées (en noir sur le dessin : **11, 135, 255, 323** ).

Elles changent pour chaque animateur.

Les autres nombres de la fiche de paye sont :

- soit les taux de calcul des retenues (**5,5; 4,7; 1,72**) qu'on suppose identiques pour chaque fiche de paye. Ils sont inscrits sur la feuille de Gilbert.
- soit ces nombres sont calculés par multiplan .

Voici comment sont calculés les différents éléments de cette feuille.

**Le salaire brut (1485,00F)** est le produit du nombre d'heures par le salaire horaire.

**Les retenues**

-SS maladie (81,68F)

-SS vieillesse (69,80F)

-ASSEDIC (25,64 F )

sont calculées à partir de ce salaire brut . Ce sont des pourcentages de ce salaire avec les taux indiqués.

**La base imposable (1562,99)** est obtenue en enlevant ces retenues au salaire brut et en ajoutant le montant de la prime.

**Le net à payer (1885,99)** est la somme de la base imposable et des indemnités.

**Votre travail consiste à créer dans Multiplan une feuille de calcul sur le modèle de celui qui est présenté. Vous utiliserez ensuite cette feuille de calcul pour remplir les fiches de paye des animateurs dont la liste est donnée ci-dessous.**

Ÿ Remplissez les fiches de paye vierges qui vous sont fournies.

Ÿ "Enregistrez-sous" chaque fiche de paye.

Fiches de paye à établir

animateur	activité	mois	nbH	sal hor	prime	indemn	à payer
Annie	hand ball	décembre	15	98,00 F	230	145	
Ernest	ski	décembre	25	126,00 F	650	420	
Fabien	karaté	janvier	12	126,00 F	150	0	
Benoit	escalade	septembre	15	85,00 F	0	625	
Sébastien	natation	octobre	15	158,00 F	350	256	
Sébastien	natation	novembre	23	158,00 F	175	320	
Fabien	karaté	décembre	14	126,00 F	150	0	
Annie	hand ball	janvier	22	106,00 F	320	145	
Ernest	ski	janvier	33	135,00 F	680	478	
Marc	guitare	janvier	16	165,00 F	0	78	
Nestor	danse	janvier	12	85,00 F	0	0	

BULLETIN DE PAYE		MAISON DES JEUNES LE ROSSIGNOL	
NOM :	.....	ACTIVITE :	.....
NOMBRE HEURES	.....		
SALAIRE HORAIRE	.....		
PRIME	.....		
INDEMNITES	.....		
SALAIRE BRUT	.....		
RETENUES	taux(%)		
SS maladie	5,5		
SS vieillesse	4,7		
ASSEDIC	1,72		
NET IMPOSABLE	.....		
net a payer	.....		

## SEANCE 5

### AIRES ET PERIMETRES :

#### *1.1. OBJECTIFS ET DESCRIPTION DE LA SITUATION*

La situation aire et périmètre prend place dans l'ensemble de la séquence pour permettre à l'enseignant d'évaluer le degré d'appropriation du système de références relatives par les élèves. Il s'agit de confronter de nouveau les élèves à un décodage de références relatives en dehors des interactions avec le logiciel pour éviter les feed-back qui ne permettent pas de mesurer les difficultés rencontrées par les élèves dans ce type de tâche. Cette activité n'est pas seulement une évaluation proposée par l'enseignant, elle lui permet d'intervenir dans les groupes pour que les élèves donnent une signification au codage des formules en liaison avec la situation proposée.

Le travail proposé est réalisé sans l'ordinateur.

### TABLES NUMERIQUES : REPLICATION

#### *OBJECTIFS ET DESCRIPTION DE LA SITUATION*

Il s'agit de faire construire par les élèves un tableau de nombres comprenant un grand nombre de cellules et mettant en évidence le caractère dynamique de Multiplan : c'est-à-dire la possibilité d'obtenir par la modification d'une cellule une réactualisation complète des valeurs affichées dans le tableau. Cette possibilité de Multiplan représente une économie importante qui peut être reconnue par les élèves et donc qui peut justifier leur investissement dans la résolution du problème qui est proposé. La mise en œuvre d'un modèle répliatif est nécessaire ici et nous voulions proposer une situation où les élèves soient confrontés à sa mise en place.

La tâche consiste à construire un outil permettant d'obtenir des tables de valeurs numériques donnant sur une même page une liste d'entiers consécutifs, leurs carrés, leurs cubes et leurs racines carrées. Par exemple la table représentée par la figure 1 est obtenue en écrivant 1500 dans la cellule L2C1, ce qu'on peut observer dans la barre d'édition qui contient alors un nombre et non une formule .

Nous avons montré aux élèves, sur un Macintosh, le produit fini qu'ils devaient réaliser : nous avons pour cela produit devant eux plusieurs tables numériques en modifiant seulement le nombre de la cellule L2C1 sans qu'ils aient la possibilité de voir les formules qui permettaient ce fonctionnement. Nous avons voulu éviter en procédant ainsi que les élèves se contentent de saisir les entiers de la colonne 1 au clavier, l'un après l'autre, et obtiennent une table de valeurs «fixe».

Nous attendions des élèves qu'ils construisent un tableau dont un extrait est représenté par la figure suivante (il s'agit ici des formules de calcul qu'une option du logiciel permet d'afficher dans les cellules à la place des valeurs calculées) .

Les relations entre les cellules étant définies correctement, le contenu d'une table est déterminé par la donnée du premier nombre, ici 1500 . En modifiant seulement ce nombre on obtient une table différente.

L2C1		1500		
TABLE				
	1	2	3	4
1		CARRES:	CUBES:	RACINES CARREE
2	1500	2250000	3375000000	38.729833462074
3	1501	2253001	3381754501	38.742741255621
4	1502	2256004	3388518008	38.755644750152
5	1503	2259009	3395290527	38.76854394996
6	1504	2262016	3402072064	38.78143885933
7	1505	2265025	3408862625	38.794329482541
8	1506	2268036	3415652216	38.8072215927984

Figure 1

**Fichier Edition Sélection Format Options Calcul**

L: C :      =L[-2]C\*L[-1]C[+1]

**Sans titre**

	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
	RECTANGLES	A	B		
	longueur	23	26		
	largeur	25	31		
	AIRE				
	PERIMETRE				

**1** Ces formules sont-elles correctes ?  
Indiquer le calcul qu'elles font.  
Répondez dans le cadre ci-dessous

**2** Inscrite dans ces cadres les formules pour l'aire et le périmètre du rectangle B.

Tables numériques : Fiche élève

- Vous allez construire une feuille de calcul comme celle que l'on vient de vous montrer sur l'ordinateur.

Il s'agit d'une feuille de calcul qui permet d'imprimer des "tables numériques" avec le carré, le cube et la racine carrée de 42 entiers consécutifs. (42 est le nombre de lignes sur une feuille de papier placée dans l'imprimante)

-Chaque table sera obtenue à partir de la même feuille de calcul en donnant seulement le premier nombre de la colonne de gauche (la cellule active dans l'exemple ci dessous).

🖱 Fichier Edition Sélection Format Options Calcul

L2C1	50
------	----

Sans titre

	1	2	3	4
1		CARRES	CUBES	RACINES CARREES
2	50	2500	125000	7,0710678118655
3	51	2601	132651	7,1414284285428
4	52	2704	140608	7,211102550928
5	53	2809	148877	7,2801098892805
6	54	2916	157464	7,3484692283495
7	55	3025	166375	7,4161984870956
8	56	3136	175616	7,4833147735479
9	57	3249	185107	7,549744750707

## SEANCE 6

### EXAMEN.

Il s'agit d'une séance d'attente qui a permis de faire travailler les élèves sur des formules produisant un booléen. En effet la signification accordée à "Faux" dans le travail sur l'itération au cours de la pré-expérimentation a été un obstacle dans la construction de la condition d'arrêt pour l'itération à la séance consacrée à ce sujet. Cette séance est aussi une séance d'attente dans la mesure où les élèves partant en vacances la semaine suivante, il était peu opportun de séparer les deux séances sur l'itération par une période de congés. Cette séance n'a pas été exploitée dans le travail que nous avons mené ici.

**Examen : Fiche élève :**

**Examen**

Sur votre disquette vous trouverez un fichier appelé **examen** .

-Ouvrez ce fichier pour faire le travail de cette activité .

Les élèves ont passé un examen avec trois matières : Mathématiques , Français et Anglais . Ils ont aussi une note d'orthographe-présentation . Pour réussir cet examen un élève doit obtenir une note supérieure ou égale à 10 .

•1- Calculez la note moyenne obtenue par chaque élève avec les coefficients indiqués ci-dessous pour chaque note :

<b>note</b>	<b>coefficient</b>
math	3
français	3
anglais	2
orth-présent	1

Reportez ces moyennes sur la liste que l'on vous a donnée.

•2- Utilisez une condition portant sur cette moyenne pour inscrire dans la colonne 7 : VRAI si l'élève a réussi et FAUX si l'élève a échoué .

•3- Ecrivez ici la liste des élèves ayant réussi l'examen en les classant par ordre de mérite.

•4- Quelle note de présentation aurait du obtenir Gudule pour réussir l'examen ? Expliquez comment vous répondez à cette question.

•5- - Donnez la liste des élèves qui n'auraient pas pu réussir avec seulement une meilleure note en orthographe-présentation .

Indiquez aussi en détail comment vous faites pour répondre à cette question.



	MATH	FR	ANG	OR-PRE	MOY	REUSSI
ARMAND	12	12	15	12		
ARNOLPHE	10	13	12	15		
BABETTE	8	2	12	14		
BEATRICE	2	10	14	9		
CALIXTE	10	7	6	10		
CHARLES	7	7	8	15		
DINO	11	3	10	20		
EDITH	15	15	13	14		
ELIE	12	12	13	13		
EVARISTE	6	14	12	15		
GASTON	4	8	8	16		
GUDULE	8	11	10	9		
GUSTAVE	12	13	14	6		
JULES	14	14	9	14		
MARIUS	13	5	7	8		
OLIVE	8	12	5	7		
SAM	7	8	12	19		
SIDONIE	7	15	12	5		
THEODULE	9	6	10	4		
TIMOTHEE	12	12	12	16		
URSULE	5	13	9	15		
VICTOR	15	3	10	3		
ZOE	3	9	12	5		

## SEANCES 7 ET 8

### OBJECTIF ET DESCRIPTION

L'objectif des 2 séances que nous décrivons maintenant était un enseignement de l'itération dans l'environnement de Multiplan. Nous y avons consacré deux séances.

Dans un cours, le professeur a présenté une situation de "calcul circulaire<sup>2</sup>", c'est à dire une feuille de calcul où il existe des formules qui se font mutuellement référence. Nous avons décrit dans l'analyse conceptuelle ce type particulier de fonctionnement du dispositif. Le contenu du cours donné par le professeur est donné en annexe. L'ensemble de l'étude comporte deux situations :

- la construction d'un générateur d'entiers qui comporte une seule cellule dans laquelle il faut générer la suite des entiers.

- le calcul de la somme des 300 premiers entiers

L'étude de la deuxième situation a commencé à la première séance et s'est poursuivi pendant toute la deuxième.

### GENERATEUR D'ENTIERES

#### *DESCRIPTION*

Le professeur a montré aux élèves sur le dispositif ce qu'ils devaient réaliser. Perceptivement c'est une cellule (ici L3C2 figure 2) dans laquelle se déroule la suite des entiers avec simultanément sur l'écran une fenêtre d'itération avec son compteur qui s'affiche.

---

<sup>2</sup>C'est la terminologie employée par le concepteur qui parle de calcul et de références circulaires

Sans titre					
	1	2	3	4	5
1					
2					
3			49		
4					
5	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; background-color: #cccccc;">Itération</div> <p>Nombre d'itérations: 47</p> <div style="float: right; border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">Annuler</div> </div>				
6					
7					
8					

Figure 2

A la suite de cette première tâche, le professeur fait un bilan de la tâche sur le générateur d'entiers. Il prend appui sur cette activité pour montrer aux élèves les problèmes et les moyens de les résoudre à propos de l'initialisation et du contrôle du nombre d'itérations. Il fait une démonstration sur la machine pour exposer la mise en œuvre sur le dispositif. Puis donne la fiche de tâche sur le calcul de la somme des 300 premiers entiers.

#### Générateur d'entiers: Fiche élève

Trouvez un moyen de construire dans une cellule de MULTIPLAN un générateur d'entiers comme celui que nous vous avons montré.

Vous pouvez utiliser cette feuille comme brouillon.

#### Sommes d'entiers : Fiche élève

Construire un moyen de calcul de la somme des 300 premiers entiers : c'est à dire de la somme  $1+2+3+4+5+ \dots +299 + 300$ .

Vous pouvez utiliser cette feuille comme brouillon.

**Somme des 300 premiers entiers (suite)**

**Les références circulaires**

le commande                    **itérer**

la fenêtre d'itération

les commandes                **calculer automatiquement**

**calculer sur ordre**

**calculer maintenant**

la fonction **NBITER()** pour contrôler le nombre d'itérations et la commande **tester la convergence**.

Pour résoudre le problème de la somme des 300 premiers entiers commencez par compléter le tableau suivant :

entier n	somme jusqu'à n	opérations effectuées
1	1	
2	3	1+2
3	6	.....
4	.....	.....
5	.....	.....
6	.....	.....
7	.....	.....
8	.....	.....
9	.....	.....
10	.....	.....
11	.....	.....
12		

## SEANCE 9 : CARRÉS MAGIQUES

### OBJECTIF :

Il s'agit tout d'abord de faire implanter dans le tableur un modèle algébrique, présenté à l'aide des notations classiques. Le problème consiste à gérer l'expression des relations entre les deux cellules et le statut particulier des deux valeurs qui génèrent le tableau. Il s'agit ensuite, dans la course de carrés d'utiliser au mieux le tableur comme un outil. Ce type de tâche donne des indications sur le niveau d'appropriation.

Après une première construction de formules de la somme sur deux carrés magiques on donne le travail suivant aux élèves :

### Carrés magiques : Fiche élève

Pour construire des carrés magiques, il existe divers procédés.

Voici l'un d'eux :

On choisit comme on veut les deux entiers  $a$  et  $b$  (voir figure) et on remplit les autres cases à l'aide des expressions fournies.

$a$	$a+14$	$b$	$a+3$
$b-2$	$a+5$	$a+6$	$a+8$
$a+7$	$b-4$	$a+10$	$a+4$
$a+12$	$a+2$	$a+1$	$b+2$

On obtient ainsi un générateur de carrés magiques à 16 cases.

• Construis ce générateur dans Multiplan.

Comment peux-tu être sûr(e) qu'il produit bien des carrés magiques ?

• Recopie sur la feuille spéciale 4 carrés magiques que tu construiras avec le générateur.  
Inscris aussi pour chaque carré les sommes des lignes, colonnes et diagonales.

### **La course des carrés**

Régle du jeu:

• Chaque équipe doit construire le plus possible de carrés magiques fabriqués avec le générateur et dont la somme est 100.

• Les carrés doivent être

- recopiés sur les feuilles numérotées.
- enregistrés sur la disquette .

**Bonne Chance**

## **SEANCE 10 : EQUATIONS**

### **OBJECTIF**

Il s'agit dans cette séance d'utiliser le tableur pour résoudre des équations que l'on ne sait pas résoudre, du moins à ce niveau, par un procédé d'approximations successives.

La tâche comporte l'implantation dans Multiplan d'un tableau lié, avec les problèmes de recopie qui en résulte.

### **EQUATIONS : FICHE ELEVE**

On va ici utiliser Multiplan pour résoudre des équations que l'on ne sait pas résoudre facilement. On pourra ainsi trouver des valeurs approchées des solutions avec la précision que l'on souhaite.

Exemple : résoudre l'équation  $2x^2+4x-9 = 0$  en donnant des encadrements à  $10^{-2}$  des solutions.

Pour réaliser ce travail, on va calculer plusieurs valeurs de la fonction

$$f(x) = 2x^2+4x-9 .$$

On cherchera à trouver des valeurs de  $x$  qui ont une image "proche" de 0.

Pour cela on construit dans Multiplan un tableau comme celui de la figure 1.

L2C5		=2*LC[-1]^2+4*LC[-1]-9			
<b>Sans titre</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>variation</b>	<b>1</b>		<b>x</b>	<b>f(x)</b>
<b>2</b>				<b>0</b>	<b>-9</b>
<b>3</b>				<b>1</b>	<b>-3</b>
<b>4</b>				<b>2</b>	<b>7</b>
<b>5</b>				<b>3</b>	<b>21</b>
<b>6</b>				<b>4</b>	<b>39</b>
<b>7</b>				<b>5</b>	<b>61</b>
<b>8</b>				<b>6</b>	<b>87</b>
<b>9</b>				<b>7</b>	<b>117</b>

Figure 1

Dans la colonne 4 :

-on choisit le contenu de L2C4 comme l'on veut

-les autres valeurs de  $x$  sont calculées à partir du contenu de la cellule L2C4 en ajoutant à chaque ligne le nombre contenu dans la cellule L1C2. Dans la colonne 5 on calcule les images correspondant aux valeurs de la variable apparaissant sur la même ligne dans la colonne 4.

Dans l'exemple de la figure 1, en observant les nombres de la colonne 4, on note que  $f(x)$  est égal à zéro pour une valeur de  $x$  comprise entre 1 et 2 puisque :

<b>x</b>	<b>f(x)</b>
↓	↓
1	-3
2	7

figure 2

On sait donc que l'une des solutions est :  $1 < x < 2$ .

Il faut maintenant chercher une valeur approchée plus précise de cette solution.

Pour cela on peut choisir différemment le contenu de la cellule L2C4 pour modifier le point de départ des calculs, et le contenu de la cellule L1C2 pour modifier l'écart entre deux valeurs successives de la variable comme dans l'exemple ci-dessous.

	1	2	3	4	5
1	variation	0,1		x	f(x)
2				1	-3
3				1,1	-2,18
4				1,2	-1,32
5				1,3	-0,42
6				1,4	0,52
7				1,5	1,5
8				1,6	2,52
9				1,7	3,58
10				1,8	4,68
11				1,9	5,82
12				2	7

On observe ici que c'est pour  $1,3 < x < 1,4$  que  $f(x)$  devient égal à 0.

On continue pour trouver un encadrement de  $x$  à  $10^{-2}$  près:

	1	2	3	4	5
1	variation	0,01		x	f(x)
2				1,3	-0,42
3				1,31	-0,3278
4				1,32	-0,2352
5				1,33	-0,1422
6				1,34	-0,0488
7				1,35	0,045
8				1,36	0,1392
9				1,37	0,2338
10				1,38	0,3288
11				1,39	0,4242
12				1,4	0,52



Ce tableau permet de dire que  $f(x)$  s'annule pour  $1,34 < x < 1,35$ . On obtient ainsi un encadrement à  $10^{-2}$  près de l'une des solutions de l'équation  $f(x) = 0$  avec  $f(x) = 2x^2 + 4x - 9$ .

Remarque: Cette équation a une deuxième solution que l'on peut rechercher de la même façon.

- Construis dans Multiplan un tableau qui te permettra de refaire la recherche décrite dans les pages précédentes.

Tu t'assureras que ta feuille de calcul permet d'obtenir les mêmes résultats que ceux des exemples donnés.

- Recherche ensuite la deuxième solution de l'équation  $2x^2 + 4x - 9 = 0$ .

Tu donneras un encadrement à  $10^{-2}$  près de cette solution.

Utilise cette feuille comme Brouillon et pour écrire tes résultats.

- Trouve des encadrements à  $10^{-3}$  près des deux solutions de l'équation :

$$x^2 - 8x + 13 = 0$$

Utilise cette feuille comme Brouillon et pour écrire tes résultats.

- Fais le même travail avec l'équation :

$$x^3 - 16x^2 + 66x - 56 = 0 \quad (3 \text{ solutions réelles})$$

Utilise cette feuille comme Brouillon et pour écrire tes résultats.

- Fais encore le même travail avec l'équation :

$$x^4 - 4x^3 - 48x^2 - 12x + 80 = 0 \quad (4 \text{ solutions réelles})$$

Utilise cette feuille comme Brouillon et pour écrire tes résultats.

## **ANNEXE 2 :SITUATION INTERVIEW : ANALYSE A PRIORI DES SITUATIONS DE L'INTERVIEW**

L'interview que nous avons réalisée à la fin de la formation pour les élèves et les adultes comportait trois temps que nous avons appelés cible 1, cible2 et Gaz-elec. La dernière est décrite dans le chapitre 6.

### **SITUATION CIBLE 1**

#### ***OBJECTIFS***

Dans cette situation on cherche à identifier 3 éléments :

- Le rôle que les sujets attribuent à une formule dans le tableur
- le niveau d'analyse d'un formule écrite avec des références relatives
- le niveau d'utilisation du tableur pour résoudre une tâche

#### ***DESCRIPTION DE LA SITUATION***

Sur l'écran de l'ordinateur les sujets disposent du tableau de la figure 4:

Fichier Edition Sélection Format Options Calcul					
L1C1					
cible1-a					
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4	2				
5	5			22	
6	6				
7					
8					

Figure 4

La consigne est la suivante :

*"Sur l'écran on voit un tableau avec 4 nombres. 22 est calculé à partir des trois données 2,5 et 6.*

*Remplacez ces trois nombres respectivement par 3,6,7 , observez que 22 est remplacé par 28 .*

*Comment choisir ces trois nombres pour obtenir 100 à la place de 22 ou 28 dans la cellule L5C4 "*

### Construction de la consigne et dévolution de la tâche

Une pré-expérimentation a fait sentir la nécessité de donner en même temps que le tableau (fichier Multiplan) une consigne qui permette d'identifier le rôle des différentes cellules. La modification demandée des nombres de la colonne 1 provoque le recalcul de la cellule L5C4. Ceci doit permettre à l'utilisateur de déduire que les cellules L4C1,L5C1 et L6C1 ne contiennent pas de formules et que la cellule L5C4 en contient une .

### VARIABLES DE COMMANDES DE LA SITUATION

La Formule contenue dans L5C4 est affichée ici dans la barre d'édition (Figure 5).

L5C4		=L[-1]C[-3]*3+LC[-3]*2+L[+1]C[-3]				
cible1-a						
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
4	2					
5	5					
6	6					
7						
8						

Figure 5

1-Les contenus initiaux des 4 cellules sont entiers (la consigne ne donne pas d'indications supplémentaires sur le type de nombre "utilisables")

2-Dans le tableau fourni la cellule active est L1C1 de façon à ce que la barre d'édition ne contienne ni nombre, ni formule. (La recherche et l'affichage de la formule, invisible au départ et au cours des premiers changements dans la colonne 1, peut se faire de deux façons :

-soit par un affichage de l'ensemble des formules du tableau à l'aide de l'option "afficher les expressions" du menu "options"

-soit en sélectionnant la cellule L5C4 ce qui fait apparaître la formule dans la barre d'édition comme dans la figure 5)

3-La formule utilise seulement des références relatives

4-La position relative des 4 nombres est choisie

-pour faire apparaître dans les références relatives (de la formule placée en L5C4) à la fois des nombres positifs et négatifs pour les lignes et une référence ne contenant aucun coefficient numérique pour la ligne (LC[-3])

- pour que les références des lignes et des colonnes ne contiennent pas les mêmes nombres (décalage de trois colonnes C1 et C3).

5-La formule ne contient que des additions

6-Il y a 3 termes exactement et chaque nombre intervient une seule fois

7-les coefficients sont de petits nombres pour les deux premiers (3 et 2) et le dernier est 1 pour induire une stratégie de résolution d'accès facile.

## **ANALYSE A PRIORI DES STRATEGIES**

**S1** Les sujets mènent une recherche empirique à partir des modifications provoquées par les modifications des nombres de la colonne 1. La formule n'intervenant pas dans cette procédure.

**S2** Il y a prise en compte de la formule de la cellule L5C4 comme description du calcul réalisé par la machine et décodage de cette formule, mais recherche empirique sans l'utiliser. Le décodage de la formule peut lui même être un obstacle pour certains binômes, mais il devrait pouvoir être surmonté en raison du nombre réduit de cellules et de la nature de la relation.

**S3** Il y a décodage de la formule et identification du rôle des coefficients 2,3 et 1 suivie d'une recherche empirique utilisant l'analyse de la formule :

-soit en prenant en compte les modifications dues au facteurs 2 et 3

-Soit en ajustant le contenu de L6C1 à l'aide du résultat fourni dans la cellule cible (L5C4)

**S4** Les sujets réalisent une analyse algébrique du problème (équation) mais la recherche reste "extérieure", c'est-à-dire n'utilise pas Multiplan (seulement pour valider le résultat, éventuellement).

**S5** Les sujets implantent une formule dans une des cellules de la colonne 1 pour ajuster le contenu arbitraire des deux autres.

## **SITUATION CIBLE 2**

### **OBJECTIFS**

Cette situation est articulée avec la précédente.

Le problème à résoudre est le même mais le tableau proposé est construit selon une modalité différente.

Il s'agit ici d'identifier :

-l'accès à une formule en dehors de la fenêtre de l'écran et qui ne peut pas être atteinte par hasard.

-le décodage d'une formule écrite avec des références absolues;

-le niveau d'utilisation de la formule, notamment le codage et la transformation éventuelle de l'expression à l'aide d'outils de l'Algèbre comme la simplification de l'expression.

## DESCRIPTION DE LA SITUATION

Le tableau apparaissant à l'écran (Figure 6) est le même que dans cible 1, à l'exception des données numériques .

🍏 **Fichier Edition Sélection Format Options Calcul**

L5C4		=L[+227]C[+56]			
cible 2-b					
	1	2	3	4	
1					
2					
3					
4	2				
5	3				10
6	4				
7					+
8					

Figure 6

La consigne est aussi la même que dans cible 1.

*"Sur l'écran on voit un tableau avec 4 nombres. 10 est calculé à partir des trois données 2,3 et 4 .*

*Remplacez ces trois nombres respectivement par 3,6,7 , observez que 22 est remplacé par 28 .*

*Comment choisir ces trois nombres pour obtenir 100 à la place de 10 dans la cellule L5C4 "*

Mais la formule de la cellule L5C4 est très différente. Elle contient (Figure 7) la formule  $L[+227]C[+56]$  qui fait référence à la cellule L232C60 du tableau. Cette

dernière cellule contenant la formule suivante que l'on peut voir dans la barre d'édition de la Figure 7.

cible 2-b				
	59	60	61	62
228				
229				
230				
231				
232		10		
233				
234				
235				

Figure 7

#### VARIABLES DE COMMANDE DE LA SITUATION

-la disposition des 4 nombres visibles à l'écran au début est la même que dans cible 1.

-La cellule L5C4 contient une formule en références relatives qui recopie le contenu d'une autre cellule sans calcul.

-Les références relatives de cette formule contiennent des nombres d'un autre ordre numérique (227 et 56 ) que dans le précédent tableau.

-la formule de L232C60 est écrite avec des références absolues contrairement à celle de cible 1.

-cette formule contient 4 termes alors qu'il y a 3 cellules concernées.

-l'ordre des cellules n'est pas le même que celui où elle apparaissent en colonne dans le tableau

-Il y a des coefficients négatifs choisis de façon que la fonction de 3 variables construite soit décroissante par rapport à la première cellule.

-les coefficients sont situés tantôt devant tantôt derrière les variables

## **ANALYSE A PRIORI DES STRATEGIES**

**S1 Recherche empirique à partir des modifications provoquées par les modifications des nombres de la colonne 1. Cette stratégie peut éventuellement prendre son origine dans l'impossibilité de décoder la formule de L5C4 .**

**S2 Décodage de L5C4 et recherche sans la découvrir de la cellule de référence. Les nombres utilisés dans les références sont suffisamment grand pour sortir du domaine numérique ordinaire d'une formule "classique ". Il y a là un obstacle situé à deux niveaux :**

**-la nature de la formule qui ne présente aucun calcul faisant référence aux cellule de la colonne 1.**

**-l'identification de cellules éloignées dans le tableau où l'on peut trouver des indications concernant le travail en cours**

**-l'utilisation de références relatives qui oblige à calculer le décalage par rapport à la cellule active située en L5C4 , puisque la recherche dans le tableau se fait de façon absolue. (que ce soit une recherche manuelle ou automatique à l'aide de la commande "Vers")**

**S3 découverte de la formule de L232C60 et décodage.**

**Les types de décodages sont un indice de l'utilisation des outils algébriques , on peut s'attendre à :**

**-des décodages du type algébrique classique avec des variables littérales x,y.....**

**-des décodages géographiques avec l'utilisation de schémas**

**-des decodages n'utilisant que des valeurs numériques avec éventuellement des marquages des coefficients et des contenus de cellules.**

**le type de décodage induira éventuellement des transformations algébriques de la formule obtenue pour en simplifier l'utilisation dans la résolution du problème.**

**les stratégies de résolution une fois le décodage effectué dépendront du niveau de transformation de la formule on peut assister à**

**-des recherches empiriques ,**

**-des travaux de caractère algébrique sur des données numériques (mise en facteur, simplifications)**



-des résolutions purement algébriques avec recherche de contenus de cellules à l'aide d'équations

S4 la stratégie la plus élaborée pouvant apparaître est l'implantation d'une formule dans une des cellules de la colonne 1 pour faire ajuster automatiquement le contenu arbitraire des deux autres cellules.

UNIVERSITE DE GRENOBLE I

COMPOSITION DU JURY

Nom : ... CAPPONI .....  
Nom d'épouse : .....  
Prénom : ... Bernard .....  
Numéro d'étudiant : ... 78.01442 .....

SOUTENANCE DE THESE


(1) Thèse de l'Université Joseph Fourier

PROPOSITION DU JURY

	<u>Nom</u>	<u>Titre</u>	<u>Fonction et lieu d'exercice</u>
<u>Président</u>	<u>LABORDE Jean-Marc</u>	<u>Direct. de Recherches CNRS</u>	<u>Directeur LSD IMAG</u>
<u>Membres</u>	<u>BALACHEFF Nicola</u>	<u>" " "</u>	<u>IRPEACS LYON</u>
	<u>GRAS Rific</u>	<u>Professeur à l'Université</u>	<u>IRMAR Rennes</u>
	<u>ROGALSKI Tomasz</u>	<u>Direct. de Rech. CNRS</u>	<u>UBO 1292 Psycho. Cognitive</u>
	<u>EBERHARD Madelaine</u>	<u>Maître de Conférences</u>	<u>LSD 2 UJF</u>
	.....	.....	.....

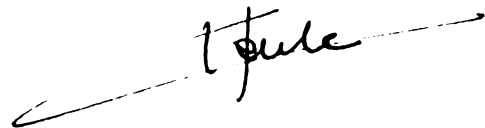
Grenoble, le 29/11/90.

Le Directeur de Thèse

  
N. Boulard

Grenoble, le 29.11.90

Le Responsable de la Formation



(1) Indiquer s'il s'agit d'une thèse de 3ème Cycle, d'une thèse de Docteur Ingénieur, d'une thèse de l'Université Joseph Fourier (Grenoble I) ou du diplôme supérieur de recherches.



De la lecture des rapports de :

- M<sup>me</sup> ROGALSKI *Tamara*

et

- M<sup>me</sup> GRAS *Régis*.

Il ressort que rien ne s'oppose à la soutenance de la thèse de :

M<sup>me</sup> CAPPONI *Bernard*.

devant un jury comprenant (1) :

- M LABORDE *Jean-Marc*. Directeur de Recherches CNRS LSD2 IMAG UJF
- M BALACHEFF *Nicolas* " " " IRPEACS LYON
- M GRAS *Régis*. Professeur d'Université. IRMAR Rennes
- M<sup>me</sup> ROGALSKI *Tamara* Directeur de Rech. CNRS URA1297
- M<sup>me</sup> EBERTHARD *Madeleine* Maître de Conf. LSD2 UJF.
- M

conforme à l'arrêté du 5 juillet 1984.

Le Chargé de Mission aux  
Etudes Doctorales de l'U.J.F.

*avis favorable*

*le 29.11.90*

**GUY PERRIER**  
Responsable des  
Etudes Doctorales  
GREN

(1) Indiquer grade, fonction, université.





## **Résumé**

**L'apprentissage des tableurs par des utilisateurs débutants, élèves de la fin de la scolarité obligatoire ou adultes du secteur tertiaire, pose un certain nombre de problèmes liés aux concepts algébriques en jeu, en particulier dans les formules du tableur. L'utilisation de références relatives crée notamment des obstacles importants.**

**L'objet de ce travail est d'étudier la contextualisation des connaissances algébriques de ces utilisateurs dans un tableur. Nous avons particulièrement étudié le cas de Multiplan™. Nous avons ainsi pu mettre en évidence certains des obstacles que présente l'apprentissage à l'utilisation de ce type de logiciels. Nous avons également étudié la mise en œuvre de processus itératifs dans un tel environnement et étudié les aspects spécifiques concernant l'«itération déroulée» (réplication).**

**Mots clés : Tableur, Multiplan, Algèbre, Arithmétique, Didactique des mathématiques, Didactique de l'informatique, Progiciel.**