



Evaluation ergonomique des options de spécification et de visualisation temporelle utilisées dans MADEUS

Mireille Bétrancourt, Anne Pellegrin

► **To cite this version:**

Mireille Bétrancourt, Anne Pellegrin. Evaluation ergonomique des options de spécification et de visualisation temporelle utilisées dans MADEUS. RR-3478, INRIA. 1998. <inria-00073211>

HAL Id: inria-00073211

<https://hal.inria.fr/inria-00073211>

Submitted on 24 May 2006

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.



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

*Evaluation ergonomique des options de
spécification et de visualisation temporelle
utilisées dans MADEUS*

Mireille Bétrancourt, Anne Pellegrin

N° 3478

Août 1998

THÈME 3



*R*apport
de recherche



Evaluation ergonomique des options de spécification et de visualisation temporelle utilisées dans MADEUSⁱ

Mireille Bétrancourt, Anne Pellegrin

Thème 3 – Interaction homme-machine,
images, données, connaissances
Action Airelle

Rapport de recherche n 3478

Résumé :

Pour un concepteur de documents multimédia, l'agencement des objets dans le temps est l'une des tâches les plus complexes. Pourtant, peu d'éditeurs supportent cette activité de manière satisfaisante. Un outil d'édition et de présentation de documents multimédia, MADEUS, est développé dans le projet OPERA pour assister le concepteur dans cette tâche. MADEUS utilise un langage de contraintes inspiré de la logique d'Allen [1] pour spécifier les relations temporelles entre objets. Une représentation graphique de l'espace de solutions est alors déduite de ces contraintes pour permettre à l'utilisateur de visualiser et de manipuler les relations temporelles entre objets dans le document. Ce rapport présente l'expérimentation qui a été menée auprès d'utilisateurs pour évaluer l'ergonomie des options de visualisation proposées dans MADEUS.

Mots-clés :

expérimentation ergonomique, document multimédia, édition, relations temporelles, visualisation, traitement cognitif.

ⁱ Environnement d'édition et de présentation de documents multimédia développé au sein du projet Opéra.

Ergonomic Evaluation of the Options of Specification and Temporal Visualization used in MADEUS

Abstract :

For a multimedia document designer, specifying the temporal structure of the document is one of the most complex tasks to perform. Yet, few editors offer a suitable assistance in this activity. An authoring and presentation environment for multimedia documents, MADEUS, was developed in the OPERA project that aimed to assist the designers in this task. MADEUS uses a constraint-based language inspired from Allen's operators [1], to specify the temporal relations between objects. A graphic representation is then deduced from the constraints, allowing the users to visualize and manipulate the temporal relations between objects in the document. This report describes the experiment that was carried out in order to evaluate the usability of the visualization options proposed in MADEUS.

Key words :

usability testing, multimedia document, authoring, temporal relations, visualization, cognitive processing.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| 1 Le contexte : l'édition et la manipulation des relations temporelle dans MADEUS..... | 6 |
| 1.1 L'édition de contraintes temporelles..... | 6 |
| 1.2 Des contraintes à la présentation..... | 7 |
| 1.3 La visualisation du scénario temporel..... | 8 |
| 1.4 Les questions ergonomiques..... | 10 |
| 2 Quelques éléments de théorie concernant le traitement cognitif des informations temporelles..... | 11 |
| 2.1 Diagramme et représentation mentale | 11 |
| 2.2 Recommandations pour la présentation de diagrammes | 11 |
| 3 Expérimentation..... | 12 |
| 3.1 Objectif | 12 |
| 3.2 Méthodologie..... | 13 |
| 4 Résultats | 15 |
| 4.1 Tâche 1 : Arbre d'opérateurs vs. texte de contraintes..... | 15 |
| 4.2 Tâche 2 : Contraintes vs. Vue scénario..... | 17 |
| 4.3 Tâche 3 : Visualisation statique et dynamique..... | 20 |
| 4.4 Tâche 4 : Lien entre spécification informelle et vue scénario..... | 22 |
| 5 Conclusion..... | 23 |
| 5.1 Synthèse et suggestions d'interface..... | 23 |
| 5.2 Poursuites de la collaboration | 25 |
| Références bibliographiques..... | 26 |
| Annexe 1 - Matériel et consignes utilisés | 27 |
| Annexe 2 - Résultats détaillés de la tâche 1..... | 33 |
| Annexe 3 - Résultats détaillés de la tâche 3..... | 34 |

Cette étude est le fruit d'une collaboration entre l'action "AIRELLE" (Représentation et Langage) et le projet "OPERA" (Outils pour les documents électroniques : Recherche et Applications). Elle a pour cadre l'élaboration de l'environnement d'édition et de présentation de documents multimédia, MADEUS, et porte plus précisément sur la spécification et la visualisation des relations temporelles du point de vue des processus cognitifs de l'utilisateur.

1 Le contexte : l'édition et la manipulation des relations temporelle dans MADEUS

La spécification des scénarios temporels dans les documents multimédia pose des problèmes nouveaux pour les outils d'édition. La nature dynamique des objets manipulés (tels que la vidéo et l'audio) ainsi que la définition de leur ordonnancement temporel empêche la fusion des phases d'édition et de présentation. Le principe statique du "wysiwyg" fort utile lors de l'édition d'un document classique ne peut donc s'appliquer à l'édition du scénario temporel des documents multimédia.

1.1 L'édition de contraintes temporelles

MADEUS [6, 7] utilise une approche déclarative avec contraintes : l'auteur spécifie ce qu'il souhaite obtenir comme placement temporel (par exemple, qu'une vidéo soit présentée après un texte et en même temps qu'un commentaire sonore) sans avoir à spécifier toutes les informations temporelles attachées à ces objets (instants de début et de fin, durée). Un scénario est donc défini par un ensemble de relations temporelles (avant, pendant, ...).

La description du scénario temporel est fondée sur les relations d'Allen [1]. Ce sont ces relations qui ont été utilisées dans l'étude expérimentale, mis à part la relation "overlaps" (voir Fig. 1). Trois relations supplémentaires exprimant des interruptions sont prévues, mais elles n'ont pas été étudiées ici.

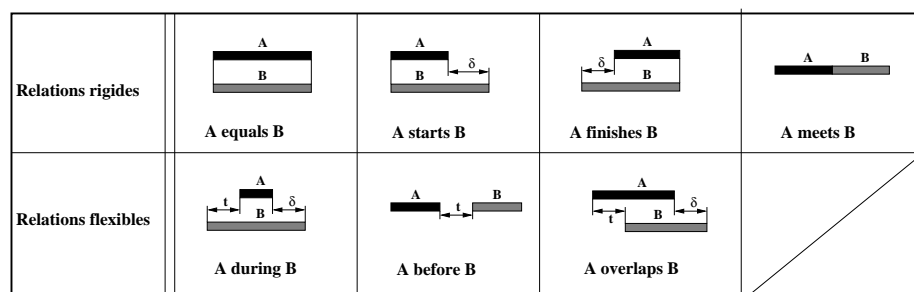


Figure 1 : Les relations d'Allen

Par rapport aux autres systèmes d'édition existant, la spécification par contraintes présenterait deux avantages :

- le langage de programmation que doit manipuler le concepteur étant proche du langage naturel, il serait *a priori* plus facile à apprendre que, par exemple, les spécifications plus formelles comme les arbres d'opérateurs ;
- la flexibilité : les durées ne sont pas spécifiées et les relations peuvent être flexibles. Par exemple, la contrainte "A avant B" ne spécifie pas de combien A précède B. En conséquence :
 - le concepteur n'a pas à calculer les durées et dates de démarrage des objets ;
 - il est possible de modifier la présentation en agissant sur une ou plusieurs contraintes, les solutions sont recalculées d'elles-mêmes.

1.2 Des contraintes à la présentation

A partir du texte de contraintes (ou source textuel) édité par l'auteur, le système MADEUS construit une solution de présentation qui respecte les contraintes contenues dans la spécification.

Ainsi, l'auteur dispose d'un côté d'une spécification qui est une représentation statique d'un ensemble d'informations locales (chaque relation n'implique que deux objets), tandis que la vue de présentation lui donne un comportement global possible (de l'ensemble des objets) résultant d'une exécution du scénario spécifié. Ce cycle "édition textuelle - présentation" pose de nombreux problèmes à l'utilisateur :

- l'exécution du document dans la vue présentation ne lui permet de visualiser qu'une solution, alors qu'une même liste de contraintes peut donner lieu à plusieurs solutions de présentation ;
- certaines contraintes entre objets peuvent être déduites
- l'auteur ne dispose dans la vue de présentation que d'une vue instantanée du comportement de son scénario : il n'a pas de vision globale des relations temporelles sur toute la durée de la présentation ;
- enfin, l'auteur ne disposant pas directement de fonctions d'édition de base sur la vue présentation (insertion/suppression d'objets ou de relations temporelles et spatiales, ...), il doit donc retourner en mode contraintes, où il n'a plus de vision directe du scénario temporel.

Pour répondre aux trois premiers problèmes, MADEUS propose à partir de la spécification en termes de contraintes une visualisation de l'espace des solutions déduit de ces contraintes, appelée *vue scénario*.

Quant au dernier problème, la solution proposée consiste à lier les deux vues scénario et textuelle de la façon suivante : lorsque l'auteur sélectionne un objet dans la vue scénario, les contraintes rattachées à cet objet se colorent dans la vue textuelle ; inversement,

lorsqu'une contrainte est sélectionnée dans la vue textuelle, les deux objets correspondant se colorent dans la vue scénario. Cette option, qui n'était pas encore complètement implémentée au moment de l'expérimentation, n'a donc pas été étudiée ici. A plus long terme, il est prévu que l'auteur puisse éditer directement dans la vue scénario, sans avoir recours à l'édition de contraintes.

1.3 La visualisation du scénario temporel

Le principe sur lequel repose la solution MADEUS est le suivant : visualiser un placement des objets qui respecte les contraintes du scénario, et donner la possibilité à l'auteur de déplacer les objets dans la limite autorisée par le scénario, afin de parcourir l'ensemble des placements possibles. Dans un premier temps, la flexibilité provient uniquement de celle des relations. Par conséquent, les objets sont ici considérés comme ayant une durée unique. Nous décrivons tout d'abord la représentation choisie pour visualiser une solution, ou vue scénario, puis nous présentons comment l'auteur peut accéder à l'espace de solutions du scénario.

1.3.1 Visualisation statique

Les objets de base sont représentés par des rectangles dont la longueur est proportionnelle à leur durée effective. Chaque type d'objet (vidéo, son, texte, image) est représenté par un motif discriminant (voir Fig. 2 & 3). Les objets sont placés sur des lignes horizontales qui représentent des axes temporels, le temps s'écoulant de gauche à droite. Les lignes donnent aussi l'intuition du déplacement temporel par un placement graphique horizontal des objets.

| | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Video1 <i>Starts</i> Texte1 | Image1 <i>Before(2)</i> Image2 |
| Video1 <i>Equals</i> Son1 | Text2 <i>During</i> Texte1 |
| Video1 <i>Before</i> Image1 | Text2 <i>Finishes</i> Image2 |
| Image1 <i>Starts</i> Text2 | |

Figure 2 : Exemple de vue textuelle de scénario temporel

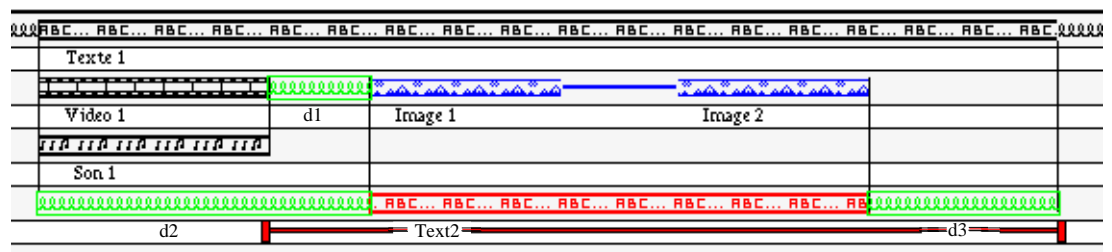


Figure 3 : Visualisation du scénario temporel de la Figure 2

Les contraintes introduisent trois types d'éléments dans la vue scénario :

- * Les traits horizontaux qui modélisent les délais fixes (Image1 before (2) Image2).
- * Les *ressorts* qui modélisent les délais flexibles (Vidéo1 Before Image1).
- * Les traits verticaux, qui représentent la contrainte de simultanéité de deux instants (Image1 Starts Texte2).

Le placement choisi essaie de minimiser la visualisation de fausses informations (pas d'alignement d'objets s'il n'est pas imposé par le jeu de contraintes) et la superposition des objets et des relations lors du placement vertical des objets. Seuls les objets dont la succession stricte a été définie sont disposés sur la même ligne.

La représentation explicite des objets, des contraintes et des délais introduits par ces contraintes a pour objectif de permettre une interprétation directe du scénario sans nécessairement avoir recours à la vue textuelle.

1.3.2 Interaction de l'utilisateur

Lorsque l'auteur sélectionne un objet en cliquant, deux informations supplémentaires apparaissent :

- L'objet se colore (en rouge), et les objets qui sont reliés à l'objet sélectionné par des contraintes rigides (induisant des délais non flexibles) sont colorés en bleu. Ces objets sont solidaires de l'objet sélectionné dans ses déplacements. Sur notre exemple de la Figure 3, c'est le cas des objets Image1 et Image2. Les intervalles qui jouent le rôle d'amortisseur entre les objets fixes et les objets qui bougent, appelés « ressorts » sont colorés en vert. C'est le cas des trois délais flexibles de notre exemple.

- Afin d'aider l'auteur dans le parcours de l'ensemble des solutions, l'intervalle de déplacement est visualisé de manière à ce qu'il puisse anticiper le comportement de l'objet qu'il manipule (critère de prévisibilité). Dans l'exemple de la Fig. 3, l'auteur a sélectionné l'objet Texte2. Un trait rouge apparaît sous la ligne où est placé l'objet sélectionné, indiquant ainsi sa latitude de déplacement. Ainsi, Texte2 est limité à sa gauche par la fin de Vidéo1 et à sa droite par la fin de Texte1.

1.3.3 Visualisation dynamique

L'idée majeure de la visualisation dynamique du scénario est d'offrir la possibilité à l'auteur de manipuler la vue scénario par déplacement des objets représentés dans cette vue. L'objectif est de permettre à l'auteur d'accéder à l'espace de solutions du scénario, grâce aux actions qu'il effectue sur cette vue.

L'auteur peut déplacer l'objet sélectionné dans tout son intervalle de validité, le système de visualisation mettant à jour au fur et à mesure du déplacement la représentation de la solution correspondante. Il est intéressant de noter que les limites de ce déplacement correspondent toujours à l'absorption complète d'un délai flexible du scénario. Par conséquent, l'auteur devrait comprendre facilement la raison d'un blocage.

1.4 Les questions ergonomiques

Cette étude répond à deux objectifs : d'un point de vue ergonomique, il s'agit de préciser les réactions des utilisateurs aux solutions proposées dans MADEUS ; d'un point de vue plus fondamental, l'objectif est d'étudier au travers de l'outil MADEUS comment un sujet humain raisonne et manipule les relations temporelles entre objets.

Pour répondre à ces préoccupations, une expérimentation a été menée :

- le premier groupe de sujets réalisait 4 tâches similaires à celles qu'un concepteur de document multimédia aurait à réaliser avec MADEUS ; plus précisément, ces 4 tâches permettaient d'évaluer l'utilisabilité de la spécification par contraintes et de la visualisation de ces contraintes ;
- le deuxième groupe de sujets réalisait une tâche dont l'objectif était de comparer la méthode de spécification par contraintes avec la méthode de spécification par arbre d'opérateurs, pour des utilisateurs qui ne sont pas forcément spécialistes en informatique.

Avant de présenter l'étude expérimentale, quelques précisions sur le vocabulaire qui sera utilisé tout au long de ce rapport :

- *spécification informelle* : ce que veut faire l'auteur, exprimée verbalement dans ce qui suit ;
- *texte source* : contraintes temporelles spécifiées entre les objets

Les contraintes spécifiées par l'auteur sont dites *explicites*, et les relations inférées des contraintes explicites sont appelées contraintes *déduites*. Les contraintes *fortes* ou *rigides* sont les contraintes n'introduisant pas de délai libre entre deux objets (Ex : meets).

- *vue textuelle* : fenêtre de présentation du texte source
- *vue scénario* : représentation graphique interactive qui permet de visualiser l'espace des solutions généré à partir des contraintes ;
- *présentation* : exécution d'une des solutions définie par la vue scénario présente à l'écran (présentation multimédia).

2 Quelques éléments de théorie concernant le traitement cognitif des informations temporelles

2.1 Diagramme et représentation mentale

Dans le domaine spatial, il a été montré que le sujet humain raisonne à partir d'une représentation mentale analogique, appelée modèle mental dont la structure refléterait la structure de la situation représentée [5]. C'est pourquoi la présence d'un schéma, qui facilite l'élaboration et le traitement de cette représentation analogique, améliore les performances de résolution de problèmes spatiaux.

Les relations temporelles et causales seraient codées spatialement dans la mémoire de travail [2]. En effet, Glenberg & Langston [3] ont montré que la compréhension d'un texte décrivant une procédure est améliorée par la présence d'un diagramme. De la même façon, les sujets comprennent mieux le fonctionnement de systèmes naturels lorsqu'ils sont accompagnés par un diagramme [8, 9].

Ainsi la recherche sur les modèles mentaux confirme l'hypothèse selon laquelle un diagramme faciliterait pour l'auteur le traitement de l'organisation temporelle d'un document.

2.2 Recommandations pour la présentation de diagrammes

La littérature sur le traitement cognitif des représentations graphiques fournit un certain nombre d'indications sur la façon de représenter les diagrammes.

Premièrement, la dimension temporelle est spontanément représentée de gauche à droite, conformément au sens de l'écriture occidentale. Des études sur les représentations graphiques des relations temporelles par des enfants de 3 cultures différentes (Anglais, Hébreu et Arabe) ont montré un effet du langage sur la représentation des concepts temporels. Les enfants de langue anglaise représentent les concepts temporels de gauche à droite alors que les enfants de langue arabe les représentent de droite à gauche [10].

De la même façon, les sujets sont meilleurs pour la résolution d'inférences sur les relations temporelles lorsque les diagrammes sont orientés de gauche à droite que lorsqu'ils sont orientés de droite à gauche. Dans une tâche de classification, Winn [11] a montré que les sujets qui avaient vu le diagramme orienté de gauche à droite avaient de meilleures performances que les sujets qui avaient vu le diagramme orienté dans le sens inverse (de droite à gauche). Winn conclut que les gens de langue anglaise lisent les diagrammes de la même façon qu'ils lisent leur langue, de gauche à droite et de haut en bas. Ainsi, les diagrammes qui ne sont pas orientés de cette façon seraient une source de difficulté dans le traitement des informations.

Deuxièmement, pour être efficaces, les diagrammes doivent faciliter trois processus cognitifs mis en oeuvre dans les activités d'apprentissage [9] :

- ils doivent guider le sujet vers les passages pertinents et agir comme une mémoire externe ;
- ils doivent aider le sujet à organiser leurs idées dans une structure cohérente ;
- ils doivent faciliter l'intégration de la nouvelle représentation aux connaissances existantes dans la mémoire à long terme, principalement grâce aux métaphores et aux analogies.

Bien que le processus d'édition d'un document ne soit pas un processus d'apprentissage, nous considérons ces trois propriétés comme pertinentes dans le mesure où le processus d'édition nécessite quand même l'élaboration et le traitement d'un modèle mental en mémoire de travail.

Concernant la représentation de la flexibilité, et contrairement au langage naturel qui est non déterministe, une représentation graphique des relations temporelles est nécessairement déterministe : par exemple, la contrainte « A before B » précise la relation qualitative (avant) mais permet à l'intervalle de temps entre A et B de prendre plusieurs valeurs (nul, inférieur ou supérieur à la durée des objets, etc...). Une représentation graphique instancierait forcément cet intervalle. Ainsi si le sujet raisonne à partir de la liste de contraintes, il doit générer un ensemble de valeurs possibles, même qualitatif comme dans l'exemple précédent et les garder en mémoire. A cet égard, la représentation graphique choisie pour représenter la flexibilité permet d'avoir un seul objet en mémoire pour accéder à l'ensemble des solutions. En effet, Hegarty [4] a montré la difficulté pour les sujets de se représenter mentalement le mouvement simultané de plusieurs objets.

3 Expérimentation

3.1 Objectif

L'objectif de cette expérimentation est de répondre aux quatre questions suivantes :

- la spécification des relations temporelles par contraintes est-elle plus facile à utiliser que la spécification par arbre d'opérateurs ?
- l'utilisateur peut-il facilement décoder les relations temporelles entre objets à partir de l'observation de la vue scénario ? parvient-il notamment à retrouver le texte de contraintes sous-jacent ?
- parvient-il à inférer l'espace de solutions à partir de l'observation de la vue scénario ?
- parvient-il à accéder par manipulation aux différentes solutions ?

3.2 Méthodologie

La procédure, le matériel et les consignes sont présentés en détail en annexe 1. Les sujets se répartissent en 2 groupes : le premier groupe a réalisé les tâches 1 à 4 et le groupe 2 a réalisé seulement la tâche 1.

3.2.1 Participants

Pour le groupe 1, 11 personnes ont participé volontairement à cette expérience, dont 8 hommes et 3 femmes. Tous sont de niveau d'études supérieures, et 7 ont reçu une formation avancée en informatique. Leur âge varie de 27 à 37 ans.

Pour la tâche 1, un deuxième groupe de 11 sujets différents est utilisé. Il y a 5 hommes et 6 femmes, de niveau d'études supérieures dont 7 en informatique. Leur âge varie entre 24 et 33 ans.

3.2.2 Matériel

Tâche 1 : deux textes de spécification informelle de présentation (Cf. annexe 1), chaque sujet ne voyant qu'un texte, et chaque texte étant utilisé un nombre de fois équivalent pour les deux groupes (arbres et contraintes, Cf. procédure).

Tâche 2 : deux scénarios, chacun étant décliné en un texte de contraintes et une vue scénario. Les deux scénarios sont le symétriques l'un de l'autre, de telle sorte que les contraintes correspondantes soient équivalentes. Chaque sujet voit les deux scénarios, l'un en contraintes, l'autre en vue scénario, et l'ordre des deux scénarios est contrebalancé entre les sujets.

Tâche 3 : deux vues scénarios présentées sur écran et manipulables.

Tâche 4 : un texte de spécification informelle de présentation, et 4 vues scénarios sur papier dont une seule correspond exactement à la spécification informelle, que ce soit pour l'instance présentée ou l'espace de solution auquel on pourrait accéder par manipulation.

3.2.3 Procédure

Après avoir reçu une brève présentation de l'outil, chaque participant (du groupe 1) réalisait successivement quatre tâches, correspondant à des situations qu'un concepteur de documents multimédia rencontrerait dans son activité. La figure 4 présente la procédure suivie.

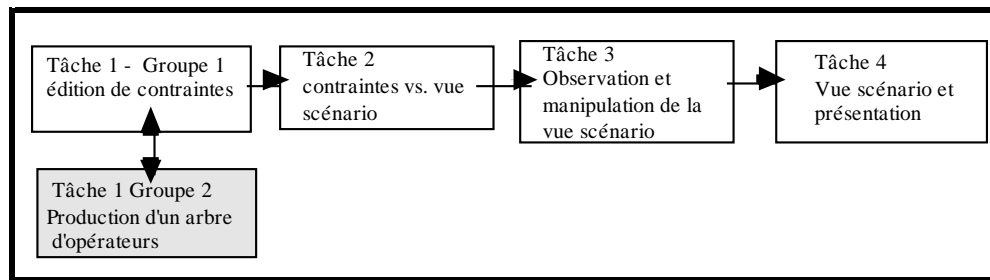


Figure 4 : Procédure suivie pour l'expérience.

La première tâche se situe dans l'objectif de comparer la méthode de spécification par contraintes et la méthode de spécification par arbres. Le premier groupe de sujet devait éditer la liste des contraintes à partir de la spécification informelle d'une présentation. Le deuxième groupe de sujets devait produire l'arbre d'opérateur à partir de la même spécification informelle. Chaque groupe se voyait expliquer la méthode correspondante auparavant.

La deuxième tâche a pour objectif de comparer le raisonnement sur la présentation multimédia à partir de la liste des contraintes et à partir de la vue scénario. Après avoir expliqué en détail le langage de contraintes, l'expérimentateur présentait au sujet un texte de contraintes et lui demandait de décrire par écrit la présentation correspondante. Le sujet était autorisé à produire un dessin pour s'aider. L'expérimentateur posait ensuite trois questions relatives à cette présentation. Le sujet devait justifier chacune de ses réponses. Dans un deuxième temps, l'expérimentateur présentait au sujet une vue scénario en lui expliquant rapidement ce que représentaient les différents éléments de la vue. Comme pour les contraintes, le sujet devait décrire par écrit la présentation correspondante et répondre à trois questions sur la présentation.

La troisième tâche a pour but d'évaluer les options de représentation graphiques et de manipulation choisies pour la vue scénario. A partir d'une vue scénario présentée à l'écran, le sujet devait répondre à plusieurs questions, posées par écrit, en deux temps : tout d'abord sans manipuler la vue scénario puis en la manipulant. La manipulation devait permettre au sujet de confirmer ou d'infirmer sa première réponse. L'expérimentateur demandait ensuite au sujet de générer le texte de contraintes sous-jacent à cette vue scénario. Cette deuxième tâche était réalisée sur deux vues scénario différentes.

L'objectif de la quatrième tâche est d'évaluer la correspondance pour l'utilisateur entre la vue scénario et la présentation qui en découlerait. Un texte décrivant une présentation multimédia était donné à lire au sujet. Une vue scénario était ensuite présentée sur papier et

le sujet devait dire si la présentation déterminée par cette vue correspondrait à ce qui est décrit dans le texte, à deux niveaux : au niveau de la solution instanciée par l'état sur papier de la vue scénario, et au niveau de l'espace de solutions auquel on pourrait accéder par manipulation. Quatre vues scénario sont ainsi évaluées par le sujet.

Pour chaque tâche, le temps passé par le sujet pour réaliser la tâche ainsi que le nombre d'erreurs étaient notés par l'expérimentateur. De plus, le sujet évaluait le degré de difficulté de chaque tâche ainsi que son degré de certitude par rapport à sa réponse sur une échelle non graduée.

4 Résultats

Les résultats sont présentés tâche par tâche de manière détaillée. A la fin de chaque tâche, une synthèse des résultats est proposée.

N.B. : La vérification statistique, une analyse de variance, permet de fixer le seuil de risque que l'on prend pour étendre les résultats observés sur l'échantillon de l'expérience à l'ensemble de la population. Le seuil de risque maximum choisi est ici de 5% (ou $p < .05$).

4.1 Tâche 1 : Arbre d'opérateurs vs. texte de contraintes

Rappelons que pour cette tâche, les sujets du groupe 1 (contraintes) sont comparés aux sujets du groupe 2 (arbres d'opérateurs). Le tableau 1 récapitule la fréquence de productions exactes, le temps moyen, la certitude et la difficulté moyenne pour chaque méthode de spécification des relations temporelles. Le détail des résultats pour chaque sujet est donné en annexe 2.

Tableau 1 : Fréquence de productions exactes, temps moyen et écart-type, certitude et difficulté moyenne pour chaque méthode de spécification des relations temporelles.

| | Fréquence BR | Temps | Difficulté (0-1) | Certitude (0-1) |
|--------------------|--------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
| Contraintes | 45 % | 5'45" (<i>ET = 100 s.</i>) | .335 | .75 |
| Arbre d'opérateurs | 45 % | 8'34" (<i>ET = 340 s.</i>) | .556 | .57 |

4.1.1 Exactitude de la spécification produite et type d'erreur

Dans le groupe 1, 5 sujets sur 11 ont écrit un texte de contraintes correct, c'est-à-dire correspondant au texte de présentation fourni. De même, 5 sujets sur les 11 sujets du groupe 2 ont produit un arbre d'opérateurs correct.

En ce qui concerne la programmation par contraintes, les erreurs commises sont de 3 types :

- Inversion du sens de meet (3 sujets) ;
- Utilisation de before à la place de meet (3 sujets) ;
- Utilisation d'une contrainte incorrecte pour illustrer la relation entre deux objets (6 sujets).

Pour les arbres d'opérateur, nous pouvons distinguer trois types d'erreurs :

- des erreurs de hiérarchie : le type de hiérarchie utilisé par l'arbre d'opérateur n'a pas été compris par le sujet (6 sujets) ;
- des erreurs de temps : les temps des différents objets n'ont pas été placés ou calculés correctement (3 sujets) ;
- des erreurs de placements d'objets : les objets sont placés en opérateurs au même niveau que les opérateurs par et seq (2 sujets).

4.1.2 Temps de réalisation

Les sujets du groupe 1 ont mis en moyenne 345 secondes (5'45'') pour réaliser le texte de contraintes, alors que les sujets du groupe 2 ont mis en moyenne 514 secondes (8'34'') pour réaliser l'arbre d'opérateurs. Mais la variabilité entre les sujets est forte, et cette différence n'est pas statistiquement significative ($F(1,20) = 2.51$, non significatif).

La variabilité entre les sujets est reliée en grande partie à l'exactitude de leur production. Les sujets qui ont rédigé un texte de contraintes correct ont mis en moyenne 285 secondes (4'45'') alors que les sujets qui ont réalisé un texte de contraintes incorrect ont mis en moyenne 395 secondes (6'35''). Dans le groupe 2, le temps moyen mis par les sujets qui ont produit un arbre correct est de 289 secondes (4'49'') contre 702 secondes (11'42'') pour les sujets qui ont fait des erreurs.

4.1.3 Evaluation subjective

Degré de certitude Concernant la certitude évaluée par les sujets par rapport à leur production, les sujets du groupe 1 sont en moyenne plus sûrs (.74 sur 1)ⁱⁱ que les sujets du groupe 2 (.57), mais cette différence n'est pas statistiquement significative ($F(1,20) = 2.01$, non significatif).

Quel que soit le groupe, les sujets qui ont réalisé une production correcte sont en moyenne plus sûrs que les sujets qui ont fait des erreurs (contraintes : .82 contre .69 ; arbres : .80 contre .38).

ⁱⁱ La certitude est notée sur une échelle de 0 à 1 avec 0 pas sûr et 1 très sûr.

Degré de difficulté La production du texte de contraintes est évaluée comme moins difficile à réaliser ($m = .33$) que la production d'un arbre d'opérateurs ($m = .56$)ⁱⁱⁱ, cette différence étant statistiquement significative ($F(1,20) = 4.6, p < .05$).

Les sujets qui ont réalisé une production correcte évaluent la tâche comme moins difficile en moyenne que les sujets qui ont fait des erreurs, mais ceci uniquement dans le groupe arbres (contraintes : .34 contre .36 ; arbres : .41 contre .67).

En résumé :

Contraintes et arbres d'opérateurs donnent lieu au même pourcentage de bonnes réponses. Cependant, l'arbre d'opérateurs est plus long à réaliser. En outre, il est jugé significativement plus difficile à produire que le texte de contraintes et les sujets du groupe arbre d'opérateurs sont moins sûrs de leur réponse que les sujets du groupe texte de contraintes. Bien que plutôt favorables à la programmation par contraintes, les résultats observés ne peuvent être validés statistiquement. Une deuxième expérimentation plus approfondie serait donc nécessaire.

4.2 Tâche 2 : Contraintes vs. Vue scénario

Le tableau 2 récapitule les résultats quantitatifs observés pour cette tâche.

Tableau 2 : Performances dans les descriptions (pourcentage de descriptions correctes et temps moyen) et dans les questions (nombre de réponses correctes sur 3 et temps de réponses (moyenne et écart-type).

| | Description | | Questions | | Difficulté (0-1) |
|---------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| | % correct | Temps | N correct | Temps | |
| Contraintes | 36 % | 526 s <i>ET = 216</i> | $m = 1.91$ <i>ET = .83</i> | $m = 66.27$ <i>ET = 56.89</i> | .38 |
| Vue scénario | 82 % | 256 s <i>ET = 116</i> | $m = 2.73$ <i>ET = .47</i> | $m = 32.81$ <i>ET = 23.29</i> | .19 |

Description de la présentation correspondante Une description est considérée comme exacte si elle correspond à une exécution possible du scénario. Le fait que la flexibilité ne soit pas indiquée n'est pas comptée comme une erreur pour évaluer les descriptions. Ainsi, bien qu'autorisés à produire un dessin, seuls 36 % des sujets (4) firent une description correcte à partir de la liste des contraintes, contre 82 % (9) des sujets à partir de la vue scénario.

ⁱⁱⁱ La difficulté est notée sur une échelle de 0 à 1 avec 0 pas difficile et 1 très difficile.

En outre, les sujets mirent significativement moins de temps pour décrire la présentation à partir de la vue scénario (256 s.) qu'à partir de la liste des contraintes (526 s.), ($F(1,10) = 11.66, p < .01$).

En ce qui concerne les types d'erreurs commises à partir de la liste de contraintes, deux sujets (suj. 3 et 7) ont fait une traduction de chaque contrainte, et leur description ne présente donc pas un ordre chronologique déterminé entre les objets. Le sujet 3 a néanmoins produit un dessin exact, mais le sujet 7 n'a pas produit de dessin. Quatre autres types d'erreurs ont été relevés :

- 2 sujets (suj. 9 et 6) ont commis une erreur dans le sens des arguments de "meets" ;
- 1 sujet (4) a interprété "before" comme un "overlap" : A commence avant le début de B et finit avant la fin de B ; l'erreur est perceptible dans le dessin seulement ;
- suj. 1 : suppression de la flexibilité de fin du "during" (description seulement) ;
- suj. 11 : inférence erronée liée à la non prise en compte de la durée des objets.

A partir de la vue scénario, seuls deux sujets ont commis des erreurs, et celles-ci sont liées à l'interprétation des ressort. Le sujet 4 a ignoré dans sa description les ressorts de fin. Le sujet 7 a fait une lecture "locale" : il n'a décrit que les relations deux à deux entre objets (d'ailleurs pas dans l'ordre chronologique), ce qui l'a mené à des incohérences. Par exemple sur le scénario « Formes » (cf. annexe 1), il a considéré que Triangle vert pouvait démarrer juste après le Carré Bleu puisqu'il y avait un ressort entre les deux, sans voir que Carré Rouge était nécessairement entre les deux.

Questions sur les relations temporelles Trois questions ont été posées pour la liste de contraintes et la vue scénario, et donc les performances sont notées de 0 (aucune réponse correcte) à 3 (trois bonnes réponses).

Le nombre de réponses correctes est significativement plus élevé lorsque les sujets répondent à partir de la vue scénario que lorsqu'ils répondent à partir du texte de contraintes ($F(1,10) = 7.64, p < .05$). En outre, les sujets répondent plus rapidement à partir de la vue scénario, mais la différence n'est pas statistiquement significative ($F(1,10) = 3.2, NS$). Il est à noter que le dessin produit par le sujet lors de la description lui était laissé.

Par ailleurs, les sujets jugent que les deux tâches (description et réponse aux questions) sont plus difficiles à accomplir à partir des contraintes qu'à partir de la vue scénario, la différence

étant significative ($F(1,10) = 13,4$, $p < .005$, sans interaction). Néanmoins, les deux tâches sont jugées plutôt faciles, puisque la difficulté moyenne est inférieure à .50.

Analyse des dessins 10 sujets sur 11 ont fait un dessin pour les contraintes et pas pour la vue scénario. Le sujet restant n'a pas fait de dessin pour les contraintes (2 erreurs sur 3 questions) mais a recopié le dessin pour la vue scénario en rajoutant les temps.

8 sujets sur les 10 qui ont produit un dessin l'ont orienté horizontalement de gauche à droite, les 2 autres sujets l'ayant orienté verticalement de haut en bas. L'un de ces deux sujets (suj 11) a représenté la succession des événements, en marquant d'un point le démarrage d'un objet (la fin n'étant indiquée que pour un seul objet). L'autre sujet (suj 1) a traduit graphiquement chaque contrainte dans l'ordre dans lequel elles étaient données.

Les 8 sujets qui ont orienté leur dessin horizontalement ont représenté les objets par des traits ou barres dont la longueur est approximativement proportionnelle à la durée. Les relations temporelles entre objets sont représentées par leur relations spatiales, en deux dimensions. 2 sujets ont placé un seul objet par ligne (Suj 8 et 3), les 6 autres ont aligné les objets successifs (mais cette règle n'est pas suivie systématiquement). Un sujet (suj 5) a représenté les contraintes fixes de démarrage et de fin entre objets par des traits verticaux pleins. Un autre sujet (suj 3) a représenté toutes les contraintes de début et de fin par des traits verticaux en pointillés.

Indication de la flexibilité dans les dessins et les descriptions Dans les dessins, 4 sujets ont représenté la flexibilité : 2 ont indiqué les objets en pointillés (suj 2 et 6), 1 en mettant des espaces entre les objets pour les délais flexibles (suj 5), et 1 autre en remplissant ces espaces de pointillés (suj 10). Les autres sujets ont collé les objets successifs, même lorsque la contrainte admettait un délai flexible ("before").

En ce qui concerne les descriptions, il est plus difficile de déterminer si les sujets ont rendu compte de la flexibilité, dans la mesure où le langage est la plupart du temps non spécifique pour décrire les relations temporelles : par exemple, "avant" ne spécifie pas de combien est l'intervalle ou même s'il peut varier.

Ainsi, 5 sujets ne rendent pas compte explicitement de la flexibilité des relations, ni à partir des contraintes, ni à partir de la vue scénario. Les descriptions produites sont tout de même indéterminée, dans la mesure où les sujets utilisent les expressions verbales indéterministes comme "pendant", "avant", "après", etc. Celles-ci sont utilisées conjointement avec d'autres expressions déterministes pour les relations fortes ("en même temps", "immédiatement après").

Parmi les 6 sujets qui ont rendu compte de la flexibilité, 3 l'ont fait pour la vue scénario seulement, 2 pour les contraintes seulement et un seul pour contraintes et vue scénario. Les marqueurs de la flexibilité utilisés sont les suivants : “délai ?”, “pause ?”, “pas forcément immédiatement”, quelques instants après”, ”au plus tard”, “on ne sait pas trop quand”, “peut-être”, “sans précision du délai”, “un temps indéfini plus tard”.

En résumé :

Plus de sujets produisent une description exacte de la présentation correspondante à partir de la vue scénario par rapport à la liste de contraintes (82 % contre 36 %). Ils sont en moyenne deux fois plus rapides avec la vue scénario, cette différence étant statistiquement significative. En ce qui concerne les questions sur les relations temporelles entre objets, les réponses des sujets sont significativement plus correctes à partir de la vue scénario qu'à partir de la liste de contraintes. Ils sont également plus rapides, mais la différence n'est pas significative. Enfin, ils jugent la tâche significativement plus facile à réaliser à partir de la vue scénario.

Plus qualitativement, 4 sujets sur les 11 ont utilisé un marqueur spécifique pour représenter graphiquement la flexibilité. Dans les descriptions, 6 sujets ont explicitement indiqué la présence de délais flexibles.

4.3 Tâche 3 : Visualisation statique et dynamique

Les questions posées aux sujets étaient du type “cette situation peut-elle être atteinte dans cette vue ?” (Cf. Annexe 1). Les sujets devaient tout d'abord répondre en regardant la vue sans la manipuler (visualisation statique), puis vérifier leur réponse en manipulant la vue scénario (visualisation dynamique). En cas de réponse positive, il devait donc atteindre par manipulation la situation décrite.

Deux niveaux de question étaient posées aux sujets :

- les questions nécessitant une manipulation simple pour atteindre la solution : Questions 1,2,4 scénario 3, et questions 1 et 2 scénario 4 ;
- les questions nécessitant une manipulation complexe (nécessitant de déplacer des objets intermédiaires) pour atteindre la solution : Question 3 scénario 3 et Question 3 scénario 4.

4.3.1 Questions à manipulation simple

5 erreurs seulement ont été commises, représentant un taux d'erreurs de 9%, et commises par 3 sujets (5, 7 et 9). Trois sont des erreurs de jugement sur la possibilité d'une situation (les sujets pensent que la manipulation est impossible alors qu'elle l'est), et deux sont des

erreurs de justification sur une situation impossible. Le détail du type d'erreur est donné en annexe 3.

4.3.2 Questions à manipulation complexe

Pour la première question de ce type (Question 3 scénario 3), 8 sujets sur les 11 ont la bonne réponse sans manipuler. Les trois autres sujets (Sujets 6,7,9) basent leur réponse sur la longueur apparente du ressort suivant Texte1, à partir de laquelle ils calculent le déplacement maximum possible de Texte 1. Leur interprétation est que la fin maximale de Texte1 ou du document a été fixée par ailleurs, comme en témoigne la longueur finie du ressort.

En manipulant, tous les sujets expérimentent un blocage de la manipulation de l'objet "Texte1".

- Pour les trois sujets mentionnés précédemment, ce blocage confirme leur réponse sans manipuler.
- Trois autres sujets finissent par trouver la solution en manipulant (S 1, 10 et 11), entre 30 secondes et 2 minutes.
- Les 5 sujets restants en déduisent que la manipulation est finalement impossible et interprètent cela par l'existence d'une contrainte matérialisée par les ressorts avant et après Texte 1, soit de fin (S 3), soit de durée totale du document (S 2, 8, 11), soit sur le démarrage de Texte1 ou du document (S 4 et 10). Il est intéressant de constater que les sujets font cette hypothèse alors qu'aucune des contraintes qui leur ont été présentées ne leur permettent de spécifier les instants de début ou de fin du document.

Pour la question 3 scénario 4, sans manipuler, un seul sujet pense que la manipulation est impossible (S 6, à cause de la fin de Objet 7). Quatre sujets (S 3, 4, 6, 7) émettent un doute quant à la "longueur maximale" du ressort, c'est-à-dire qu'ils imaginent que le ressort pourrait être limité à une longueur "x", que rien en visualisation statique ne leur permet d'évaluer.

En résumé

Dans la plupart des cas, les sujets répondent correctement aux questions à manipulation simple. Tous les sujets ayant commis des erreurs les rectifient d'eux-mêmes lors de la manipulation.

Quant aux questions à manipulation complexe, 8 sujets répondent correctement à la première question de ce type sans manipuler, mais seulement 3 atteignent la solution par

manipulation. Un seul sujet échoue à la deuxième question de ce type, avec et sans manipulation.

4.3.3 Transformation en contraintes de la vue scénario 3

Il était demandé au sujet de retrouver la liste des contraintes correspondant aux deux scénarios manipulés. Néanmoins, pour le scénario 4, cette transformation n'a pas été demandée à deux sujets dont les temps de passation excédait 1h30. C'est pourquoi seule la transformation en contraintes du scénario 3 a été analysée.

6 contraintes permettent d'aboutir à la vue scénario 3. Les résultats sont les suivants (voir liste détaillée des erreurs en annexe 3) :

- 1 sujet n'a pas compris le concept de contraintes et a traduit toutes les relations entre objets.
- Les erreurs observées sont très variées, mais la plus fréquente est l'omission de la contrainte "Image 1 before Image 2" (5 sujets). En effet, la représentation du délai fixe (une "trait horizontal" entre deux objets) n'avait pas été explicitée, car elle correspond en général à une contrainte où le délai est spécifié (par exemple, "A before (2) B").
- 1 seul sujet a la liste exacte, 1 a la liste exacte plus une redondante, 1 autre a oublié la contrainte "Image 1 before Image 2" (sans commettre d'autres erreurs).

En résumé

Seuls trois sujets sur 11 parviennent à donner une liste de contraintes qui corresponde à la vue scénario. Un sujet n'a pas compris la spécification par contraintes, et les 7 sujets restants font en moyenne 1,6 erreurs (une contrainte à la place d'une autre ou une contrainte supplémentaire).

4.4 Tâche 4 : Lien entre spécification informelle et vue scénario

Tous les sujets ont répondu correctement pour les 4 vues scénarios sur papier, que ce soit pour l'instance représentée ou l'espace de solutions. Néanmoins, trois sujets ont émis des réserves concernant l'éventuelle présence d'un ressort réduit à 0 dans la vue scénario 4. De fait, en visualisation statique, un ressort "écrasé" n'apparaît plus.

5 Conclusion

5.1 Synthèse et suggestions d'interface

5.1.1 Spécification par contraintes vs. spécification par arbres d'opérateurs

Indépendamment d'un taux de réponses justes équivalent dans les deux groupes de sujets, la spécification par contraintes est jugée plus facile à comprendre et à utiliser que la spécification par arbre d'opérateurs. En outre, la plupart des erreurs commises avec les contraintes pourraient probablement être évitées par la présence de la palette d'opérateurs graphique, illustrant chaque contrainte (inversion de "meet", mésinterprétation du "before", etc.). Ces graphiques avaient été supprimés ici car nous souhaitions étudier le type de représentations graphiques spontanément produites.

Quant à la transformation d'une vue scénario en contraintes (tâche 3), elle n'est exacte que pour 27% des sujets, mais le nombre d'erreurs commis est en moyenne faible. En outre, dans l'activité réelle, l'auteur aurait visualisé le résultat de la programmation qui lui aurait permis de déceler les erreurs. Lorsque le développement de MADEUS le permettra, il sera donc utile de prévoir une tâche similaire, mais où l'auteur puisse observer le résultat sur la vue scénario. Cela permettra de tester également l'interaction entre les vues textuelle et scénario (option qui n'était pas opérationnelle au moment du test), où la sélection d'une contrainte sur la vue textuelle est accompagnée de l'activation de l'élément correspondant sur la vue scénario. De plus, il faudrait éventuellement prévoir d'ajouter des contraintes (comme "overlap"), plutôt que d'utiliser la liste minimale.

5.1.2 Visualisation statique et dynamique

- La métaphore du ressort semble appropriée, puisque avant même d'avoir manipulé, les sujets sont à même de prévoir le comportement des objets. Les barres verticales fixes sont également bien interprétées. Cependant, les sujets appliquent la métaphore du système mécanique complètement, et par conséquent :
 - ils peuvent prêter au ressort une longueur intrinsèquement limitée (cf. Tâche 3 scénario 4) ; ce point devra donc être éclairci dans la documentation ou le tutoriel ;
 - ils s'attendent à ce que le système réagissent à la manipulation comme un système mécanique, et sont donc surpris par le blocage "indirect" des objets.

Suggestion : en manipulation, adopter une solution qui soit cohérente avec les réactions d'un système mécanique : par exemple, ralentir le mouvement de la souris lorsque plusieurs objets sont déplacés en même temps, pour simuler le retour d'effort, et permettre le groupement réversible d'objets pour que le ralentissement de la souris ne devienne pas

gênant. Une autre solution serait de signaler à l'utilisateur quelle est la raison du blocage (si le système est capable de le détecter automatiquement).

- Les ressorts précédent ou suivant un objets sont interprétés comme des contraintes de démarrage et de fin du document, bien qu'aucune des contraintes qui n'a été présentées aux sujets ne permette de faire ça.

Suggestion : supprimer ces ressorts qui ne correspondent pas à une contrainte spécifiée dans le source et dont une extrémité n'est pas délimitée.

- La "barre rouge" qui symbolise l'intervalle de déplacement de l'objet peut ne correspondre ni à l'intervalle de déplacement effectivement atteint par manipulation simple (incohérence dynamique), ni à la longueur du ou des ressorts entourant l'objet (incohérence visuelle). C'est le cas pour l'objet Texte1 de la vue scénario 3 et l'objet O7 de la vue scénario 4. Cette barre masque d'ailleurs le nom de l'élément sélectionné.

Suggestion : déplacer la barre rouge sous la vue scénario et non sous les objets et préciser son rôle.

- Si les objets sont des vidéos, les limites des objets se confondent avec le motif de sorte que la limite des objets ne se perçoit plus.

Suggestion : la limite des objets (vidéos en l'occurrence) doit apparaître même en visualisation statique. L'une des solutions est de changer le motif choisi pour les vidéos.

- Les ressorts réduits à 0 disparaissent totalement en visualisation statique.

Suggestion : laisser une "trace" verte du ressort même en visualisation statique.

- Dans la "règle" de mesure du time-line, les chiffres correspondent à des intervalles et non à des points précis, ce qui n'est pas la notion de mesure usuelle.

Suggestion : affecter chaque chiffre à une graduation et non à un intervalle.

5.2 Poursuites de la collaboration

La synthèse de ces résultats ouvre la voie à deux nouvelles expérimentations.

D'une part, la comparaison entre la spécification par arbres d'opérateurs et la spécification par contraintes pourrait être approfondie en apportant les modifications suivantes :

- utiliser les mêmes sujets pour les deux méthodes de spécification, puisque les différences entre les sujets sont très importantes ;
- utiliser la liste complète des contraintes ;
- utiliser la palette d'opérateurs graphiques permettant d'illustrer les contraintes ;
- retravailler les deux textes de spécification informelle utilisés : éliminer toute ambiguïté et les rendre équivalents ;
- en plus de la spécification informelle, faire également produire liste de contraintes et arbres d'opérateurs à partir d'une présentation multimédia effective.

La deuxième expérimentation suggérée serait une poursuite de l'évaluation de MADEUS, sur un prototype plus complet, dans les objectifs suivants :

- évaluer les options de visualisation statique et dynamique modifiées ;
- tester l'interaction entre vue textuelle et vue scénario, notamment pour évaluer la difficulté en situation de la spécification par contraintes.

Dans cette perspective, cette expérimentation aurait alors pour participants la population ciblée par l'outil MADEUS (les concepteurs de document multimédia). De même la tâche serait encore plus proche de l'activité d'un concepteur, ou en d'autres termes réaliserait la conception d'un document multimédia de A à Z.

Références bibliographiques

- [1] Allen, J. F. (1983). Maintaining Knowledge about Temporal intervals. *CACM'*, 26 (11), 832-843.
- [2] Baddeley, A. (1993). *La Mémoire humaine. Théorie et pratique*. Grenoble : Presse Universitaire de Grenoble, 1993, 547 p.
- [3] Glenberg, A. M. & Langston, W. E. (1992). Comprehension of illustrated text : Pictures help to build mental models. *Journal of Memory and Language*, 31,129-151.
- [4] Hegarty, M. (1992). Mental Animation: Inferring Motion From Static Displays of Mechanical Systems. *Journal of Eperimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 5, 1084-1102.
- [5] Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental Models: Toward a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [6] Jourdan, M., Layaïda, N., Sabry-Ismail. L. & Roisin. C. (1997). An Integrated Authoring and Presentation Environment for Interactive Multimedia Documents. *Proceedings of the 44th Conference on Multimedia Modelling*, World Scientific Publishing, Singapore, 18-19 November 1997.
- [7] Jourdan, M., Roisin, C. & Tardif, L. (1997). User Interface of a new generation of authoring environment of multimedia documents. *Proceeding of the Third ERCIM Workshop on User Interfaces for All*, Strasbourg (France), 3- 4 November 1997.
- [8] Kieras, D. (1992). Diagrammatic displays for engineered system: effects on human performance in interacting with malfunctioning systems. *International journal of Man-Machines Studies*, 36, 861-895.
- [9] Mayer, R.E. (1989). Models for understanding, *Review of Educational Research*, 59 (1), 43-64.
- [10] Tversky, B., Kugelmass, S. & Winter, A. (1991). Cross-Cultural and Developmental Trends in Graphic Productions. *Cognitive Psychology* 23, 515-557.
- [11] Winn, W. (1982) The role of diagrammatic representation in learning sequences, identification and classification as a function of verbal and spatial ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 19 (1), 79-89.

Annexe 1 - Matériel et consignes utilisés

Présentation de MADEUS

“L’expérience à laquelle vous participez se situe dans le cadre de l’élaboration d’un environnement d’édition et de présentation de documents multimédia. Cette application permet à un concepteur de composer un document multimédia en spécifiant le positionnement spatial et temporel des objets. La conception d’un document multimédia est constituée d’une phase où l’auteur organise les objets (vidéo, texte, image, son...) dans l’espace (définitions des placements à l’écran des objets et de leur dimension) et d’une phase où il les organise dans le temps (définitions des instants de démarrage des objets et de leur durée).

Nous nous intéresserons ici à l’aspect temporel. nous allons vous proposer de réaliser plusieurs tâches qu’un concepteur de documents multimédia pourrait avoir à faire.”

Tâche 1 - Spécification par contraintes vs. par arbres d’opérateurs

Matériel :

- deux spécifications informelles, chacune utilisée un nombre équivalent de fois pour chaque groupe et chaque sujet n’en voyant qu’une ;
- feuille d’évaluation de la difficulté et de la certitude.

Consignes groupe 1 (contraintes)

“Une méthode pour spécifier les relations temporelles utilise une programmation à base de contraintes, telles que « A précède B », « A commence en même temps que C », etc... Voici la liste des contraintes, que je vais vous demander de lire attentivement. dites-moi quand vous avez fini de les lire.”

L’expérimentateur s’assure que le sujet lit bien les contraintes et les a comprises.

Voici un exemple :

Ex : A et B s’affichent en même temps. C commence quand B finit. Le document dure 20 secondes , A dure 8 sec. et B dure 10 sec

A starts B

B meets C.

“L’ordre des contraintes n’a pas d’importance et la durée des objets ne doit pas nécessairement être précisée. Des questions sur ces contraintes ?”

Consignes groupe 2 (arbres)

Il existe une méthode, nommée arbre d’opérateurs, qui spécifie les relations temporelles entre objets grâce à deux opérateurs Par et Seq. “X Par Y” signifie que les deux objets X et Y démarrent en même temps, et “X seq Y” signifie que Y suit X.

Il peut y avoir plus de deux objets pour un même opérateur. Le tout est arrangé dans un arbre hiérarchique. La durée des objets de base (X, Y ici) doit être indiquée. La durée d’un objet composé (avec l’opérateur Par ou l’opérateur Seq) est définie par les deux règles suivantes :

- O = Seq O finit quand finit Y

$$\begin{array}{c} / \quad \backslash \\ X \quad Y \end{array}$$

- O = Par O finit quand le plus long de X ou Y finit.

$$\begin{array}{c} / \quad \backslash \\ X \quad Y \end{array}$$

Voici un exemple.”

Ex : A et B s’affichent en même temps. C commence quand B finit. Le document dure 20 secondes, A dure 8 sec. et B dure 10 sec.

$$\begin{array}{c} \text{Seq} \\ / \quad \backslash \\ \text{Par} \quad C \\ / \quad \backslash \\ A \quad B \\ 8 \quad 10 \end{array}$$

Ici, l’objet composite A Par B finit à 10.

Suite consignes pour les deux groupes :

“Je vais vous donner un texte, décrivant un document multimédia. Vous devez générer le texte de contraintes qui permet d’aboutir à cette présentation. Vous disposez du lexique des contraintes sur cette feuille, et la liste des objets vous est donnée en fin. Chercher à être le plus rapide possible, mais privilégiez l’exactitude à la vitesse. Vous avez au maximum 10 mn.”

L’expérimentateur note le temps nécessaire, puis fait évaluer au sujet son degré de certitude sur ce qu’il a produit ainsi que le degré de difficulté.

Texte 1 - C.V. animé (spécif. informelle 1)

On veut présenter la vidéo (Vid) d’une personne en même temps qu’une série de trois photos, de telle sorte que la vidéo démarre lorsque la 1ère photo (P1) est affichée, et que la vidéo s’arrête lorsque la troisième photo disparaît (P3). La 2ème photo (P2) apparaît juste après la fin d’affichage de la première, et la troisième juste après la fin d’affichage de la deuxième. Lorsque la vidéo est terminée, le texte du CV (CV) de la personne apparaît accompagné d’une musique de fond (M) qui se termine lorsque le CV disparaît.

Objets :

P1

P2

P3

Vid : 30 secondes

CV

M : 15 secondes.

Texte 2 - Carte de vœu animé (spécif informelle 2)

L’image d’un Père Noël (PN) est présentée pendant toute la durée de la carte : elle est affichée dès le début et sa fin coïncide avec la fin du dernier objet. . En même temps que s’affiche l’image du Père Noël apparaît le texte “Joyeux Noël” (JN) accompagné d’une musique (MN), suivi du mot “Et” (Et), puis le texte “Bonne Année” (BA) accompagné d’une deuxième musique (MBA).

Objets :

PN

JN

Et

BA

MN : 15 secondes

MBA : 10 secondes

Tâche 2 - Texte de contraintes ou vue scénario

Matériel :

- deux scénarios à partir desquels on a un texte de contraintes et une vue scénario, donc C1 et VS1 correspondant au scénario S1 (formes), et C2 et VS2 correspondant au scénario S2 (“paysage champêtre”), présentés sur papier puisque le sujet ne doit pas manipuler la vue scénario.

- une feuille avec l’échelle pour l’évaluation de la difficulté ;

- une feuille par question pour le sujet ;

- une feuille pour noter les réponses pour l’expérimentateur.

Contrebalancé entre les sujets, les deux scénarios (formes et paysage) sont présentés soit en contraintes, soit en vue scénario.

a) Contraintes :

“Je vais vous présenter un texte de contraintes, qui ne correspond à aucune des présentations dont vous avez lu la description précédemment. Vous devez décrire par écrit la présentation correspondante. Vous disposez de feuilles et de crayon et vous avez la possibilité de faire des brouillons (*ou de faire un dessin ?*) pour vous aider. Vous avez 10 minutes au maximum.”

L’expérimentateur donne le texte et déclenche le chrono. Après que le sujet a produit une description, on lui fait juger sur une échelle non graduée la difficulté de la tâche. On lui laisse sa description et la liste de contraintes et on lui fournit les questions par écrit une par une, en lui disant

“Vous devez maintenant répondre à plusieurs questions en justifiant votre réponse, sachant que les durées des objets sont celles indiquées. Vous avez au maximum 2 mn. Dites-moi quand vous avez une réponse définitive.”

L’expérimentateur déclenche le chrono quand il donne la question et l’arrête quand le sujet dit connaître la réponse. La certitude du sujet pour chaque réponse est notée.

b) Compréhension de la vue scénario

“Voici une représentation graphique d’un texte de contraintes, différent de celui que vous venez de décrire. C’est un exemple fictif. L’échelle temporelle va de gauche à droite, les barres sont les objets, les traits entre objets sont les contraintes de début et fin entre objets, les ressorts représentent les délais flexibles et les traits droits des délais fixes. Je vais vous présenter une vue scénario et vous devrez décrire par écrit la présentation correspondante. Vous disposez de feuilles et de crayon et vous avez la possibilité de faire des brouillons pour vous aider. Vous avez 5 minutes.”

Après que le sujet a produit une description, on lui fait juger sur une échelle non graduée la difficulté de la tâche. On lui retire sa description et on lui fournit les questions par écrit une par une, en lui disant la même chose que précédemment.

Scénario Formes

- Texte de contraintes :

Carrébleu before Trianglevert
 Carrébleu meets CarréRouge
 CarréRouge before TriangleVert
 RondRouge during Carrébleu
 EtoileJaune meets RondRouge

Objets :

| | |
|--------------|---------|
| Carrébleu | 6 sec. |
| TriangleVert | 10 sec. |
| CarréRouge | 8 sec. |
| RondRouge | 4 sec. |
| EtoileJaune | 5 sec. |

- Vue scénario (reproduction)



- Questions :

“Sachant que les durées des objets sont celles indiquées :

1. Le triangle vert peut-il apparaître avant la disparition du rond rouge ?

Rep : non car RR ne peut pas finir après CB et que TV est obligatoirement après CB.

2. le triangle vert peut-il apparaître 2 secondes après le carré bleu ?

Rep : Non car carré rouge est entre carré bleu et triangle vert, et carré rouge dure 8 secondes. Donc 8 secondes au min. sépare TV et CB.

3. le carré bleu peut-il commencer avant le rond rouge ?

Rep : Oui, car RR est pendant CB (et que EJ et CB ne sont pas reliés).

Scénario “Paysage”

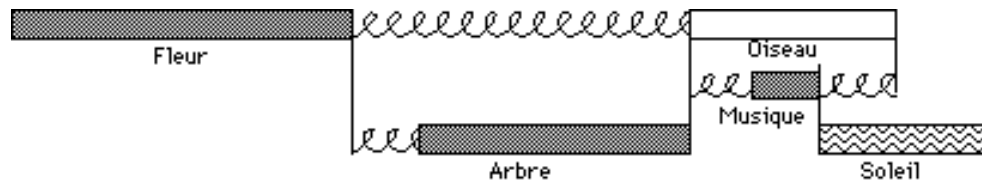
- Texte de contraintes :

Music meets Soleil
 Fleur before Oiseau
 Arbre meets Oiseau
 Fleur before Arbre
 Music during Oiseau

Objets :

| | |
|--------|---------|
| Music | 4 sec. |
| Soleil | 5 sec. |
| Fleur | 10 sec. |
| Oiseau | 6 sec. |
| Arbre | 8 sec. |

- Vue scénario (reproduction) :



- Questions :

“Sachant que les durées des objets sont celles indiquées :

1. La musique peut-elle commencer avant la disparition de la fleur ?

Rep. 1. non car M ne peut pas commencer avant l’oiseau et que l’oiseau est obligatoirement après la fleur.

2. l’oiseau peut-il apparaître 2 secondes après la fleur ?

Rep : Non car arbre est entre fleur et oiseau, et arbre dure 8 secondes. Donc 8 secondes au min. sépare l’oiseau de la fleur.

3. l’oiseau peut-il disparaître après la fin de la musique ?

Rep. 3. Oui, car la musique est pendant l’oiseau (et que soleil et oiseau ne sont pas reliés).

Tâche 3 - Compréhension de la vue scénario, manipulation comprise

L’expérimentateur explique comment la vue scénario représente l’espace de solutions dans la vue scénario et comment la manipuler.

Rque : L’expérimentateur peut expliquer sur la vue scénario papier de la tâche précédente.

“La vue scénario représente non seulement une solution possible, mais également permet d’accéder par manipulation à toutes les solutions possibles pour un texte de contraintes donné. Lorsque l’on saisit un objet avec la souris, tous les objets qui sont reliés à lui par des contraintes non flexibles prennent la même couleur et se déplacent avec lui. Les contraintes non flexibles entre objets sont représentées par des traits verticaux. On peut manipuler le début ou la fin des objets, mais par leur durée absolue. Quand on ne peut déplacer un objet sans violer une contraintes, la manipulation est bloquée. Parfois, le déplacement d’un objet nécessite de déplacer un autre objet avant. La tâche qui suit a pour objectif de vous faire découvrir la manipulation d’une vue scénario.”

Matériel :

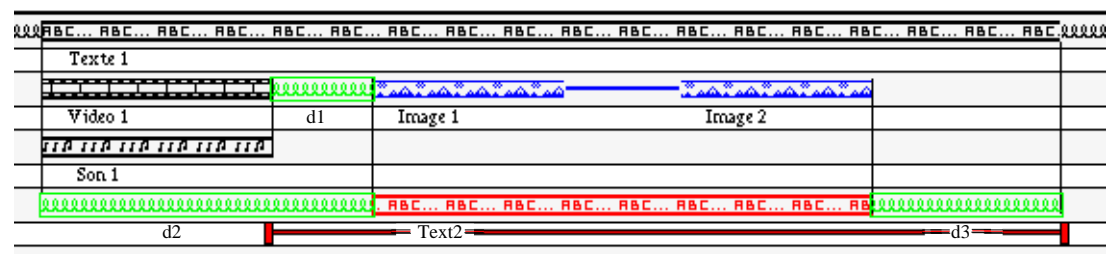
- deux vues scénario manipulables : S3 et S4, présentées successivement. Les textes sources ne sont pas fournis.

- deux vues scénario S’3 et S’4 sur papier, S’4 étant déductible de S4 par manipulation, et S’3 n’étant pas déductible de S3.

- une feuille par question pour le sujet

- une feuille de réponse pour l’expérimentateur avec deux lignes de réponse par question : sans manipuler et en manipulant, et les temps correspondants, plus l’échelle du degré de certitude.

a) Première vue scénario S3



• Questions

“Je vais vous présenter une vue scénario, et je vais vous poser des questions dessus. Plus précisément, je vous présenterai une question sur papier, vous la lisez bien puis vous regardez la vue scénario et vous me dites quand vous pensez connaître la réponse. Vous répondez d’abord sans manipuler la vue scénario, puis en manipulant. Vous pouvez donner la même réponse ou changer. Si votre réponse est oui, vous devez en manipulant atteindre la solution correspondante.

Vous devez essayer de justifier votre réponse le plus précisément possible. Vous avez au maximum deux minutes par question (2 mn sans manip et 2 mn en manip.), au-delà desquelles on passe à la suivante. Est-ce compris ? N'oubliez pas de me dire quand vous pensez avoir une réponse définitive.”

L'expérimentateur donne la question et enclanche le chronomètre. Il stoppe le chrono quand le sujet dit avoir sa réponse. L'expérimentateur note la réponse et demande au sujet d'indiquer oralement son degré de certitude sur une échelle de 1 (pas sur du tout) à 4 (sur).

Liste des questions :

1. Est-ce que Text 2 peut commencer avant la fin de son 1 ?

Rep. Non car Text2 commence en même tps que Image 1, et Image 1 commence forcément après Video 1 qui finit en même tps que Son 1.

2. Est-ce que Image 2 peut finir en même temps que Text1 ?

Rep. Oui, car Image 2 finit en même tps que T2 et que rien ne contraint Text 2 à finir avant.

3. Est-ce que Texte 1 peut démarrer à 12 ?

Rep. oui, car rien ne contraint la date de début du scénario. En déplaçant d'abord Text2 vers la gauche, puis en déplaçant Texte 1.

• Vue scenario dérivable ou non :

“Je vais vous présenter une vue scenario sur papier et vous devez me dire si elle peut être dérivée par manipulation de la vue scenario sur écran. Vous répondez d'abord sans manipuler, puis en manipulant, comme précédemment. Si votre réponse est oui, vous devez atteindre la solution décrite en manipulant.”

L'expérimentateur présente S'3, où la fin du bloc « Image1 - Image2 -Text2 » est à droite de la fin de « Texte1 ».

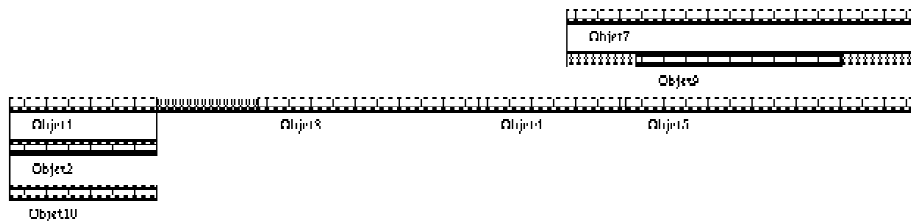
Rep. S'3 est non dérivable car Text 2 ne peut pas finir après Text1

• Transformer en contraintes

On redonne au sujet la liste des contraintes.

“Vous devez à présent essayer de composer le texte de contraintes qui définirait cette vue scenario. Vous n'avez pas à donner la liste des objets. vous avez au maximum 10 mn”

b) La même procédure est répétée avec la deuxième vue scenario S4



• Questions

“Je vais maintenant vous poser des questions sur une autre vue scenario. Comme précédemment, dites moi quand vous pensez avoir une réponse définitive. Vous devez d'abord répondre aux questions sans manipuler, puis en manipulant.

L'expérimentateur pose les questions en chronométrant comme précédemment.

Liste des Questions :

Sachant que les durées des objets sont celles indiquées :

- L'objet 9 peut-il commencer avant le début d'O4 ?

Rep. Non, car O7 et O5 finissent en même temps, O5 commence juste après et O9 ne peut commencer avant O7, dont la durée est telle que O7 ne peut pas être avant O4

- L'objet 9 peut-il commencer avant 15

Rep. : oui, en déplaçant O3 à gauche avant O9

- L'objet 9 peut-il finir après 27 ?

Rep. : oui, en déplaçant le groupe O3 à droite, puis O9.

• Transformer en contraintes

“Vous devez à présent essayer de composer le texte de contraintes qui définirait cette vue scenario. Vous n'avez pas à donner la liste des objets. vous avez au maximum 10 mn”

Tâche 4 - Lien spécification informelle de la présentation-> scénario

Matériel :

- un texte décrivant une présentation, SI3
 - 4 vues scénario S5 à S8 (sur papier car une seule instance) dont une seule correspond à la présentation SI3. Elles sont présentées dans le même ordre pour tous les sujets.

“Je vais vous présenter un texte décrivant une présentation, comme vous en avez vu pour la première tâche. Lisez-le attentivement et dites-moi quand vous avez bien compris (vous n’avez pas à le retenir par cœur!).”

On laisse le sujet lire, au max 5 min. Quand il se dit prêt, on lui demande “Des questions sur ce texte ?”

“Je vais vous présenter une vue scenario, et vous devez me dire si oui ou non elle peut correspondre à la présentation décrite dans le texte. Attention, je vous poserai la question en deux temps :

- d’abord, vous devez répondre sur la vue telle qu’elle apparaît sur le papier, C’est-à-dire, si on jouait le document avec cette vue-ci, est-ce que ça donnerait ce qui est spécifié dans le texte ?

- ensuite, vous répondrez sur l’espace de solution à laquelle cette vue pourrait donner accès. en manipulant. C’est-à-dire, toutes les solutions auxquelles cette vue scenario donnent accès permettraient-elle de réaliser une présentation qui corresponde à ce qui est spécifié dans le texte ?

Est-ce que vous comprenez cette distinction ? Si la réponse est non, vous devez justifier votre réponse le plus précisément possible. Vous pouvez relire le texte avant de répondre. Vous verrez successivement plusieurs vues, et plusieurs peuvent correspondre. Vous avez 2 min. au maximum par vue. N’oubliez pas de m’indiquer-moi précisément quand vous avez une réponse définitive. Allons-y pour la première vue scenario et la première question : si on jouait le document avec cette vue-ci, est-ce que ça donnerait ce qui est spécifié dans le texte ?”

Quand le sujet est prêt, on lui présente la première vue scenario en déclenchant le chrono. L’expérimentateur arrête le chrono quand le sujet dit connaître la réponse, et note la réponse et justification.

“Maintenant, toutes les solutions auxquelles cette vue scenario donnent accès permettraient-elle de réaliser une présentation qui corresponde à ce qui est spécifié dans le texte ? Indiquez-moi quand vous avez une réponse définitive.”

On attend que le sujet regarde la vue scenario avant de déclencher le chrono. L’expérimentateur arrête le chrono quand le sujet dit connaître la réponse, et note la réponse et justification.

Ensuite, on passe à la vue scenario suivante.

“Voici maintenant une 2ème vue scenario, et vous devez me dire si oui ou non elle peut correspondre à la présentation décrite dans le texte. N’oubliez pas que vous devez d’abord répondre sur la vue telle qu’elle apparaît sur le papier, et non sur l’espace de solution à laquelle elle pourrait donner accès. Indiquez-moi quand vous avez une réponse définitive.”

Etc. pour les 4 vues scenario.

Spécification informelle carte de vœux animé (SI3)

Le document commence par l’apparition d’un texte « Joyeux Noël » accompagné d’une musique. Ces deux éléments sont suivis du mot « et ».

Pendant l’apparition du mot « et » un « 1998 » apparaît puis disparaît avant la fin ou exactement à la fin de « et ». De plus une image du père Noël est présentée dès que le mot « et » est affiché. Cette image doit disparaître avant la fin ou exactement à la fin du document mais après la fin de l’affichage du mot « et ». Lorsque le mot « et » disparaît, le texte « Bonne Année » apparaît accompagné d’une musique.

Un fond imagé (paysage d’hiver) accompagne tout le document, c’est à dire apparaît en même temps que le texte « Joyeux Noël » et disparaît en même temps que disparaît le texte « Bonne Année ».

Annexe 2 - Résultats détaillés de la tâche 1

Tableau 1 - Résultats du groupe 1 : Textes de contraintes

| Sujets | Exactitude | Temps | Type d'erreurs | | |
|--------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| | | | Inversion du sens de meet | before à la place de meet | Contrainte incorrecte |
| 1 | Faux | 4'43'' | | | * |
| 2 | Juste | 6'05'' | | | |
| 3 | Juste | 3'32'' | | | |
| 4 | Faux | 5'41'' | * | | * |
| 5 | Faux | 5'10'' | | * | * |
| 6 | Faux | 7'12'' | | * | * |
| 7 | Faux | 8'30'' | * | | * |
| 8 | Juste | 6' | (*) ¹ | | |
| 9 | Juste | 3'49'' | | | |
| 10 | Juste | 4'20'' | | | |
| 11 | Faux | 7'55'' | | * | * |
| Total | 5 Juste 6 Faux | 5'45'' | 3 | 3 | 6 |

1 : le texte de contraintes est considéré comme juste indépendamment de l'inversion du sens de meet.

Tableau 2 - Résultats du groupe 2 : Arbres d'opérateurs

| Sujets | Exactitude | Temps | Type d'erreurs | | |
|--------|-------------------|---------------|----------------|--------------------|----------|
| | | | Hierarchie | Objet en opérateur | Temps |
| 1 | Faux | 20' | * | * | |
| 2 | Faux | 7'50'' | | | * |
| 3 | Juste | 3'43'' | | | |
| 4 | Juste | 4'45'' | | | |
| 5 | Faux | 18'22'' | * | | |
| 6 | Faux | 7' | * | | |
| 7 | Juste | 2'39'' | | | |
| 8 | Faux | 10' | * | | * |
| 9 | Juste | 8' | | | |
| 10 | Faux | 7' | * | * | * |
| 11 | Juste | 5' | | | |
| Total | 5 Juste 6 Faux | 8'34'' | 5 | 2 | 3 |

Annexe 3 - Résultats détaillés de la tâche 3

- Type d'erreurs pour les questions à manipulation simple (BR = Bonne Réponse)

Scénario 3, Question 1

2 échecs sans manipuler, mais BR avec manipulation.

- Suj 5, 7 : "Oui, car le ressort avant T2 va jusqu'au milieu de Son 1" (le sujet ne tient pas compte de la contrainte entre Image1 et video 1).

Scénario 4, Question 1

2 échecs de justification, mais BR après manipulation.

- Suj 5 "Non, car O9 limité à 16 sec" (= fin perçue de O7), mais BR après manipulation

- Suj 9 "Non car O1 ne peut pas se déplacer à droite de plus de 2 et ça ne suffit pas." (le sujet n'a pas perçu que tout le groupe O3-4-5 pouvait se déplacer librement vers la droite.

Scénario 4, Question 2

1 échec, mais BR après manipulation.

Suj 7 "Non car O9 est dépendant de O7 qui commence à 16" (le sujet ne voit pas que O9 peut se déplacer si on déplace l'ensemble O3-4-5).

- Transformation en contraintes

Sujet 1 : Liste exacte, plus une contrainte redondante (Texte1 starts Son1)

Sujet 2

- "Video1 before Texte2" au lieu de "Video1 before Image1"

- il manque "Image 1 before Image2".

Sujet 3

- "Video1 starts Son1" au lieu de "equal"

- il manque "Image 1 before Image2".

Sujet 4 : Liste exacte

Sujet 5 : "Son1 during Video1" au lieu de "equal"

Sujet 6

- il manque "Texte2 during texte1"

- En plus : "Texte1 starts Son1"

- "Image 1 before Image2" a été mis puis barré.

Sujet 7

- A mis des "during" pour qualifier la plupart des relations et a cherché à décrire l'ensemble des relations possibles entre objets ;

- 2 relations justes

Sujet 8

- "Video1 starts Son1" au lieu de "equal"

- il manque "Image1 before Image2".

Sujet 9 : il manque "Image1 before Image2".

Sujet 10 : il manque "Video 1 before Image1".

Sujet 11

- Liste exactes plus 3 supplémentaires (inexactes) : "Image1 during Texte1", "Image2 during Texte1", "Image2 during Texte2".