



Programme « Gestion des crises et des perturbations dans les transports - GO2 »

Convention de subvention 11-MT-PREDITGO2-3-CVS-051 2011

SUrDyn 2 : Signalétique d'Urgence Dynamique pour les usagers Sourds et Malentendants, vers une mise en application

Rapport final

Décembre 2013

Laurence Paire-Ficout, Aline Alauzet – Ifsttar / TS2 / Lescot

François Lefebvre-Albaret, Pascal Jobez – WebSourd

Jean-Michel Boucheix, Stéphane Argon – LEAD (Univ. de Bourgogne – CNRS UMR 5022)

Laurent Saby – Certu



Sommaire

Résumé court.....	1
Short abstract.....	1
Introduction.....	3
1 État de la question	3
2 Présentation du projet : objectif et méthodologie	7
3 Création des alternatives de couplage entre signeur virtuel et messages animés	8
3.1 Éléments théoriques disponibles.....	8
3.2 Conception des alternatives de couplage.....	10
3.3 Génération automatique des messages couples.....	11
3.3.1 Cahier des charges.....	11
3.3.2 Évolution et adaptation de Jade pour le projet	11
3.3.3 Premier bilan	12
4 Expérimentation en laboratoire	12
4.1 Questions de recherche.....	12
4.2 Méthodologie expérimentale	12
4.2.1 Protocole	12
4.2.2 Modes d'analyse des données	17
4.2.3 Hypothèses - Résultats attendus	17
4.3 Résultats.....	18
4.3.1 Déroulement des expérimentations.....	18
4.3.2 Caractéristiques des participants	18
4.3.3 Analyse de la tâche de compréhension	23
4.3.4 Analyse de la tâche de préférence.....	30
4.3.5 Analyse des trajectoires oculaires	33
5 Expérimentation en situation réelle	43
5.1 Objectifs	43
5.2 Méthodologie	43
5.3 Résultats.....	44
5.3.1 Déroulement de l'expérimentation	44
5.3.2 Synthèse des éléments recueillis.....	44
6 Synthèse des résultats SURDyn 2.....	49
7 Perspectives.....	54
7.1 Conclusion et perspectives sur l'analyse qualitative des trajectoires oculaires.....	54

7.2	Perspectives logicielles	55
7.2.1	Vers une intégration dans les systèmes d'informations automatisés	55
7.2.2	Transposition dans les systèmes embarqués	56
7.2.3	Conclusion sur l'aspect logiciel	57
7.3	Un passage sur Smartphone ?.....	57
	Conclusion.....	59
	Bibliographie.....	61
	Annexe 1 : Déroulement détaillé de l'expérimentation en laboratoire	65
	Annexe 2 : Grille pour le calcul du score détaillé de compréhension.....	67
	Annexe 3 : Fusions des trajectoires oculaires lors des pics de fixation	69
	Annexe 4 : Analyse des fixations des graphismes animés.....	73

RESUME COURT

L'objet du projet SURDyn 2 est la conception d'un système d'information visuel pour les voyageurs ayant un handicap auditif, dans les contextes de perturbation des réseaux de transport. Il est basé sur deux réalisations antérieures : l'avatar signant Jade destiné à informer les voyageurs en LSF, et un principe de traduction des messages sonores en messages graphiques animés (projet SURDyn). L'objectif du projet était de coupler ces deux approches de manière optimale, à la fois sur le plan logiciel et sur le plan de la compréhension des messages. Plusieurs alternatives de couplage des deux traductions ont été conçues sur la base d'une analyse de la littérature sur le multimédia et l'animation. Deux expérimentations ont été réalisées pour tester la compréhension de ces alternatives, l'une en laboratoire, l'autre en situation (gare de Toulouse). L'expérimentation en laboratoire a consisté à présenter les messages à deux groupes de personnes pratiquant la langue des signes : 60 personnes sourdes (âge moyen : 33,3 ; écart-type : 8,7 ans), et 24 personnes entendantes (âge moyen : 33,0 ; écart-type : 10,4 ans) pour tester à la fois la compréhension et l'acceptabilité des différents formats. Les premiers résultats ont montré que les messages couplés étaient très bien compris par les participants. Les données issues des scores de compréhension, de préférence et les données oculométriques tendent à montrer que le format 1) le mieux compris, 2) le plus apprécié des participants et 3) produisant les stratégies visuelles les plus adaptées est le format « Synchronisation par Bloc Intégré ». Ce format semble donc le plus adapté d'un point de vue ergonomique et cognitif. Il a ensuite été choisi pour les messages testés lors d'une expérimentation menée dans un environnement de gare, avec 6 personnes sourdes et 2 personnes entendantes, qui a montré que les messages pouvaient être transposés « grandeur nature ». Les participants ont su faire preuve d'une bonne adaptabilité en termes de décisions à propos de messages de perturbation concernant le train qu'ils étaient supposés prendre. L'ensemble des résultats débouche sur des préconisations ergonomiques pour la conception de messages visuels couplant l'avatar Jade et les animations graphiques SURDyn. Une poursuite auprès d'autres groupes de participants est actuellement menée.

SHORT ABSTRACT

The SURDyn 2 project aims at the design of a visual information system, dedicated to travellers with a hearing impairment, in transport systems' disruption contexts. It is based on two previously developed systems: the Jade signer avatar, which informs travellers in French Signs Language, and an animated graphical translation of sound messages (the SURDyn project). The objective is to couple these two approaches, in an optimal manner, both from a software point of view and for the messages understanding. The first phase of the project was the design of several coupling alternatives, on the basis of a literature review on multimedia design and animation about the principles which facilitate messages understanding. Two experiments were conducted to test the understanding of these alternatives, one in laboratory and the other in a train station. The laboratory experiment consisted in presenting coupled messages to two groups of people who use sign language: 60 deaf participants (mean age: 33.3; SD: 8.7 years) and 24 hearing persons (mean age: 33.0 ; SD:10.4 years) to test both understanding and acceptability of the different tested display formats. The first results showed that coupled messages were well understood by the participants. Data from scores of understanding, scores of preference and from eye tracking data suggest that the format who was 1) the best understood 2) the most well-liked and 3) giving rise to the most appropriate visual strategies is "Synchronizing by Bloc - integrated" format. So this format seems more appropriate from ergonomic and cognitive points of view. It has then been chosen for the messages that have been tested during an experiment conducted in a train station environment with 6 deaf and 2 hearing people. This experiment showed that the messages could be translated "real size". Participants have demonstrated a good adaptability in terms of decisions about disrupted messages on the train they were supposed to take. The overall results lead to ergonomic recommendations for the design of visual messages coupling Jade avatar and animated graphics. Another experiment with other groups of participants is being conducted at present.

INTRODUCTION

Le projet SURDyn2 a été retenu dans le cadre de l'appel à propositions du PREDIT GO2 concernant la gestion des crises et des perturbations dans les transports, publié en décembre 2010. Ce projet a répondu au volet de l'appel concernant le développement de nouvelles méthodes et outils pour l'utilisation d'un réseau en mode dégradé. Il visait en effet à permettre une meilleure information de l'ensemble des voyageurs subissant une perturbation, en proposant la conception d'un système d'information visuelle dédié aux voyageurs en situation de handicap auditif, notamment les personnes sourdes et malentendantes, afin de leur permettre d'accéder aux messages diffusés de manière sonore. L'objectif était de doubler ces messages sonores par une diffusion couplant une traduction en langue des signes française (LSF) émise par un avatar - une représentation graphique animée en 2D, d'apparence humanoïde, capable de communiquer en langue des signes - et une traduction en messages visuels (graphiques animées).

Cette recherche s'est appuyée sur les travaux réalisés antérieurement, d'une part dans le cadre du développement de l'avatar signant baptisé Jade, d'autre part dans le cadre du projet SURDyn. Ces différents travaux avaient permis de démontrer la faisabilité et la pertinence de chacun de ces deux modes de traduction pour la diffusion des messages aux voyageurs sourds et malentendants. L'objectif de leur couplage posait de nouvelles questions de faisabilité et de pertinence. En termes de faisabilité, la question était celle de la conception du couplage lui-même. Il s'agissait d'identifier les alternatives possibles pour ce couplage. En termes de pertinence, il s'agissait de tester la compréhension et l'acceptabilité de ces alternatives de couplage. La première étape du projet a donc consisté en premier lieu à concevoir les alternatives de couplage à tester, en s'appuyant notamment sur les données de la littérature portant sur les questions de partage attentionnel entre deux informations visuelles. La partie conception logicielle du projet a été menée en parallèle, avec la conception d'un système paramétrable de conception des alternatives de couplage.

Les seconde et troisième étapes ont consisté à tester expérimentalement la pertinence de chaque alternative de couplage des deux modes visuels. Deux séries d'expérimentations ont été conduites, l'une dans un contexte de laboratoire afin de déterminer l'alternative optimale à retenir et l'autre en situation plus écologique : expérimentation menée avec des personnes volontaires dans une gare.

Ce rapport final expose l'ensemble des travaux entrepris dans le cadre du projet SurDyn2, les résultats obtenus ainsi que les pistes de travail pouvant être envisagées.

1 ÉTAT DE LA QUESTION

Le projet SURDyn 2 est basé sur les recherches et les développements réalisés d'une part dans le cadre de la conception de l'avatar Jade, d'autre part dans le cadre du projet SURDyn.

Ces deux approches ont abouti à deux types de solution pour tenter de résoudre la situation de handicap majeure que rencontrent les personnes sourdes et malentendantes dans les transports (Saby, 2007). Celle-ci est liée à l'impossibilité d'accéder en temps réel aux messages d'urgence (évacuation) et de perturbation (retard, changement de quai, etc.), qui sont diffusés oralement par haut-parleurs dans les bâtiments liés aux transports

(infrastructures telles que les gares, les stations, les pôles multimodaux...). Un doublage écrit ne serait pas une solution suffisante, de nombreuses personnes sourdes ayant en effet des difficultés à comprendre le français écrit. D'où les solutions proposées avec l'avatar Jade (traduction en LSF) et les messages du projet SURDyn (traduction en messages graphiques animés).

L'avatar Jade (Figure 1) est actuellement présent dans plusieurs gares françaises. Ce système s'appuie sur un module de génération automatique d'énoncés en Langue des Signes Française (LSF) développé par WebSourd pour mettre en accessibilité les messages vocaux. Ce module peut s'interfacer soit avec le système CATI de la SNCF, soit avec une interface développée par WebSourd.



Figure 1 : L'avatar JADE développé par le LIMSI et Websourd

Le projet SURDyn (« Signalétique d'Urgence Dynamique pour les usagers sourds et malentendants ») est un travail de recherche soutenu par le PREDIT, réalisé de 2007 à 2009. Ce projet a permis de développer puis de tester expérimentalement un système innovant de signalétique visuelle permettant de relayer l'information sonore (Conte et al., 2009, Paire-Ficout et al. 2008, 2009, 2010a, 2010b, 2013). Le projet visait l'ensemble des personnes susceptibles de se retrouver en situation de handicap auditif, notamment dans les espaces de transport. Les personnes ciblées en premier lieu ont été les personnes sourdes et malentendantes, qui ont constitué le groupe avec lequel l'expérimentation a été menée. Mais ce handicap auditif peut concerner une population plus large. En effet, les personnes ne souffrant pas de troubles de l'audition, mais pouvant éprouver des difficultés à entendre correctement une information dans une ambiance sonore dégradée, peuvent aussi se retrouver en situation de handicap auditif. Les personnes étrangères ne connaissant pas la langue de diffusion ainsi que les personnes illettrées ou bien avec un handicap d'ordre cognitif sont également concernées dans la mesure où elles ont du mal à comprendre le message.

Cet objectif de mise en accessibilité des informations pour tous les voyageurs fait écho aux droits reconnus aux personnes handicapées : la loi du 11 février 2005 prévoit notamment que « l'information destinée au public dans les établissements recevant du public doit être diffusée par des moyens adaptés aux différents handicaps ». Or, peu de systèmes d'informations existants prennent en compte les besoins spécifiques de tous les sourds et des malentendants et de surcroît des personnes ne comprenant pas la langue de diffusion.

Dans le cadre de la recherche SURDyn, la faisabilité d'une traduction visuelle des messages sonores a été testée, tant du point de vue de la réalisation d'une traduction que de sa compréhension par différents types de personnes sourdes et malentendantes. La SNCF, bien que non partenaire du projet, a été sollicitée pour fournir la liste des messages sonores

de perturbations diffusés dans les gares, qui a été mise à la disposition du groupe projet. Cinq messages de sécurité et de perturbation ont été sélectionnés dans cette liste. Les messages de perturbation sont : le retard d'un train, le changement de voie pour le départ d'un train, la suppression d'un train et l'annonce d'une perturbation de la circulation de tous les trains. Le message de sécurité est l'annonce du passage d'un train (« Éloignez-vous de la bordure du quai »).

Pour la traduction visuelle de ces messages sonores, quatre formats graphiques ont été élaborés. L'objectif était de tester plusieurs formats mettant plus ou moins en jeu les techniques de l'animation, en s'appuyant sur les recommandations de la littérature (modèle des processus cognitifs en jeu dans la compréhension d'informations multimodales, Hegarty & Just, 1993 et Hegarty & Narayanan, 2002 ; modèle de traitement des animations, Lowe & Boucheix, 2008).

L'animation consiste en une présentation de séries d'événements visuels pour décrire un phénomène, une action. Son intérêt a été largement étudié, essentiellement dans le domaine de l'apprentissage (Bétrancourt, Tversky, & Morrison, 2002 ; Höffler & Leutner, 2007 ; Lowe, 1998 ; Schnotz & Lowe, 2008). Les principaux travaux ont montré que l'animation, de par son caractère dynamique, favoriserait la construction d'un modèle mental pour la compréhension de l'action ou pour la compréhension d'un principe technique (Boucheix, 2008 ; Kris & Hegarty, 2004 ; Lowe, 2003 ; Boucheix & Lowe, 2010).

La conception des messages visuels du projet SURDyn a également été réalisée avec la contribution de personnes sourdes et en cherchant à reprendre le plus possible de visuels standardisés voire normalisés lorsque c'était pertinent. La Figure 2 montre les cinq traductions de messages sonores en messages visuels du projet SURDyn (versions non animées).

Pour tester la compréhension des messages ainsi conçus, un échantillon de personnes sourdes a été constitué avec pour objectif de refléter la diversité de la population sourde et malentendante. Trois groupes de participants ont ainsi été soumis à un protocole expérimental visant à mesurer leur compréhension des messages et à recueillir leurs préférences vis-à-vis des formats : 36 personnes sourdes de naissance, 32 personnes devenues sourdes et 20 personnes âgées présentant une surdité liée à l'âge.

Ainsi, l'expérimentation conçue et réalisée dans le cadre du projet SURDyn a été menée de manière à déterminer : 1) la compréhension des messages visuels par un public diversifié de personnes sourdes, 2) le format le plus adapté, c'est-à-dire le plus compréhensible pour le public testé, 3) le format préféré par les participants parmi les quatre proposés.

Les résultats de l'expérimentation ont permis de conclure à la pertinence de cette nouvelle signalétique graphique et visuelle. En effet, trois messages sur cinq étaient compris à plus de 80 % par les participants : « retard », « changement de voie » et « suppression ». Les deux autres messages présentaient des erreurs de conception qui ont été identifiées. De manière générale, la compréhension des messages était proportionnelle à la fréquentation des transports ferroviaires : les personnes familiarisées avec les messages de perturbation ont eu plus de facilité à décoder les messages visuels, dans la mesure où elles disposaient déjà d'un « script » mental, un « scénario » à propos de ces événements de perturbation. Il est également apparu que le format animé facilitait grandement la compréhension. Il s'est révélé aussi le format préféré de la majorité des participants. Ce résultat s'accorde avec les

travaux qui montrent que l'animation guide les processus attentionnels et facilite le traitement de l'information imagée (Boucheix & Lowe, 2010). Enfin, la compréhension des messages variait selon le groupe : globalement les personnes âgées ont moins bien compris les messages visuels que les deux autres groupes.

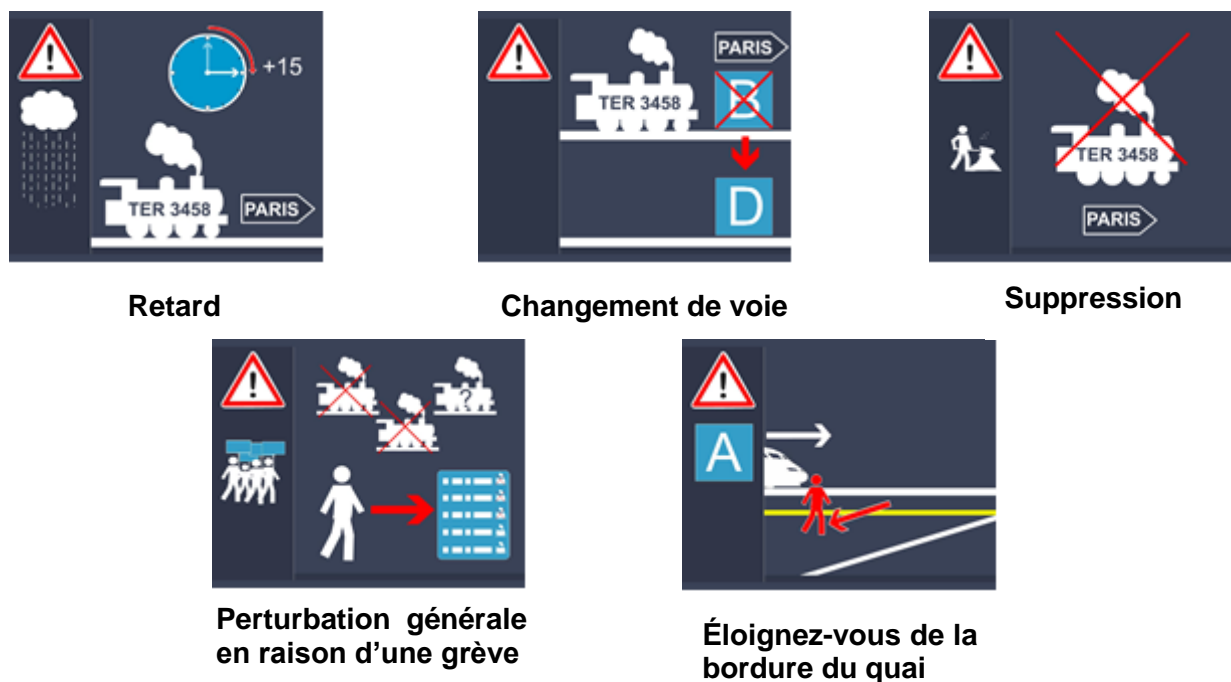


Figure 2 : Les cinq traductions de messages sonores du projet SurDyn

Un travail complémentaire réalisé dans le cadre du master 2 « Ingénierie des Apprentissages en Formation Professionnelle et Technologie » de l'Université de Bourgogne sous la direction de J-M. Boucheix du LEAD, Université de Bourgogne et L. Paire-Ficout de l'Ifsttar-Lescot (Groff, 2010), a permis de tester le matériel auprès d'un public jeune sans difficulté auditive et d'ajouter une analyse des mouvements du regard sur les messages proposés, à partir de recueils réalisés à l'aide d'un oculomètre. Globalement, il est apparu que la compréhension de ces jeunes participants entendants était assez proche de celle des personnes sourdes, l'animation étant toujours le format le mieux compris et préféré par rapport aux autres formats. L'enregistrement des mouvements oculaires pendant l'observation des messages a permis de mieux comprendre la façon dont l'observateur prélève l'information en fonction du format (Boucheix et al., 2010 ; Groff et al., 2011). Quand le message est présenté dans un format statique, la recherche visuelle est désorganisée, le regard s'arrêtant davantage sur les objets saillants du point de vue perceptif. L'animation quant à elle favorise l'enchaînement des informations, la recherche visuelle étant de fait plus structurée, guidée.

La conclusion principale de ces travaux en laboratoire menés avec le projet SURDyn est que les messages visuels animés peuvent constituer une signalétique efficace pour relayer les informations sonores d'urgence et de perturbation afin d'informer en temps réel les personnes sourdes et malentendantes ainsi que celles pouvant bénéficier d'un relais visuel des messages non compris dans la modalité auditive. Cette signalétique pourrait ainsi servir à un large public dans une perspective de langage « universel ».

Les visuels conçus ont fait l'objet d'un dépôt à l'INPI. La propriété intellectuelle appartient à l'Ifsttar.

2 PRESENTATION DU PROJET : OBJECTIF ET METHODOLOGIE

Les différents travaux menés jusque-là par les partenaires de l'équipe projet, qui visaient à traduire les messages sonores à destination des personnes qui ne les entendent pas, ont bien atteint leurs objectifs. En effet, le travail réalisé dans le cadre du projet SURDyn a permis de démontrer la faisabilité d'une traduction des messages sonores d'information voyageurs en messages visuels : un mode de traduction privilégiant l'animation est possible et compréhensible, notamment par les personnes sourdes ou malentendantes. En ce qui concerne le signeur virtuel Jade, sa conception et sa mise en place dans les gares SnCF répond bien au besoin de relais des informations sonores à destination des personnes maîtrisant la langue des signes.

Cependant, chacun de ces deux types de travaux mérite d'être complété. En effet, la traduction visuelle testée en laboratoire avec le projet SURDyn n'a pas encore été testée en situation réelle. Par ailleurs, Jade ne s'adresse qu'à une partie de la population concernée : les personnes maîtrisant la langue des signes et le français écrit. C'est pourquoi le projet SURDyn 2 se proposait de coupler ces deux modes de traduction de l'information sonore.

L'objectif du projet SURDyn2 était donc de proposer à terme un système qui doublerait les informations sonores diffusées en gare par une diffusion couplant une traduction en langue des signes française (Jade) et une traduction en messages visuels (messages graphiques animés SURDyn). Compte tenu de l'existant, trois types de questions se sont posées pour atteindre cet objectif :

- Quelle approche logicielle choisir pour « intégrer » les messages SURDyn au logiciel Jade ?
- Comment réaliser le couplage des deux modes de traduction de l'information sonore tant sur le plan spatial que sur le plan temporel ? Quel format de couplage choisir ?
- Comment tester la pertinence du couplage auprès des personnes sourdes et malentendantes ?

Les réflexions du groupe projet menées autour de ce questionnement l'ont conduit à adopter une approche articulée autour des principes suivants :

- pour la conception des formats de couplage :
 - s'appuyer sur les résultats de la littérature des domaines du multimédia et de l'animation et tenter d'appliquer les principes identifiés qui favorisent la compréhension des messages
 - concevoir différentes alternatives de couplage spatio-temporel respectant ces principes
- pour la conception du système :
 - réaliser un système paramétrable de conception des messages couplés préfigurant le système final et permettant une conception en essais-erreurs des alternatives de couplage
- pour le test auprès des personnes sourdes et malentendantes :
 - réaliser une première expérimentation en laboratoire permettant de tester auprès des personnes sourdes et malentendantes les différentes alternatives de couplage retenues préalablement, en termes de compréhension et d'acceptabilité,
 - réaliser une seconde expérimentation permettant de tester la compréhension du message en situation plus proche de la réalité.

3 CREATION DES ALTERNATIVES DE COUPLAGE ENTRE SIGNEUR VIRTUEL ET MESSAGES ANIMES

3.1 ÉLÉMENTS THÉORIQUES DISPONIBLES

L'objectif de cette partie est de faire un bilan des principes mis à jour dans les travaux sur le domaine de l'animation et du multimédia visant à identifier les meilleures formes de présentation de l'information. Ces travaux s'appuient sur (et parfois mettent en lumière) les processus cognitifs mis en jeu dans le traitement de l'information.

L'enjeu de la connaissance de ces principes ainsi que des processus cognitifs en jeu dans le traitement du multimédia est d'éviter des écueils dans la phase de conception et notamment de s'affranchir du risque de surcharger le système cognitif (la mémoire de travail). Bien que la situation soit un peu différente dans le cadre de notre travail par rapport aux données de la littérature, les principes généraux de fonctionnement et de précaution demeurent sensiblement les mêmes. La situation est différente notamment en ce qui concerne la nature des stimuli visuels : ici nous cherchons à créer un système composé d'une animation graphique associée à un avatar signant, qui lui aussi est animé. Cela constitue donc une double animation. La majeure partie des résultats exposés dans cette partie proviennent d'études ayant examiné l'effet de l'animation seule ou associée à du texte sur la compréhension ou l'apprentissage (multimédia).

Le point de départ est que le système cognitif humain possède différents sous-systèmes : des registres sensoriels (visuels, auditifs, olfactifs...), une mémoire de travail (dans laquelle sont intégrées les informations provenant des systèmes sensoriels et les connaissances préalables provenant de la mémoire à long terme) et la mémoire à long terme (Atkinson & Shiffrin, 1971, Baddeley, 1986, Mayer, 2001, 2005).

Dans le traitement d'une animation, on suppose qu'il existe une cascade de traitements, qui vont des traitements des traits perceptifs (les éléments composants l'objet) aux traitements sémantiques de plus haut niveau. Ces derniers correspondent à l'étape où l'observateur donne du sens à l'objet en se servant des éléments de connaissance qu'il a en mémoire à long terme pour bâtir un modèle mental.

La mémoire de travail occupe une place importante dans le traitement : c'est le lieu de convergence des informations et le lieu où s'élaborent les représentations et le modèle mental. Or, ce lieu de stockage temporaire est limité en capacité : si trop d'informations sont présentes et/ou animées en même temps, le système sature et le traitement ne peut aboutir.

Quels sont les grands principes identifiés dans les recherches portant sur le multimédia et l'animation ?

Principe 1 : Supériorité du multimédia

Il a été montré que texte et image associés favorisaient la compréhension par rapport à un texte seul ou une image seule (Mayer, 2001, 2005, Bétrancourt 2008).

Principe 2 : Éviter de surcharger une même modalité sensorielle, varier les modalités

Mayer (2001) a montré la supériorité de la condition [texte entendu + image] sur la condition [texte lu + image]. Dans la première condition, les deux modalités sensorielles sont différentes et se complètent, il n'y a pas de compétition entre elles. Le modèle mental résulte ainsi de l'intégration de ces deux modalités. Dans la condition [texte lu + image], le partage attentionnel est plus coûteux car il sollicite une seule modalité sensorielle. Par conséquent la

charge cognitive est plus importante lorsque les différentes informations sont données dans la même modalité (visuelle par exemple) car il y a un effet de saturation.

Principe 3 : Animation supérieure au statique (Hofler & Leutner 2007)

Plusieurs travaux ont montré qu'une présentation animée associée ou non à du texte était meilleure qu'une présentation statique, notamment quand il s'agit de traduire des notions techniques (fonctionnement d'une pompe, phénomènes météo...).

Principe 4 : Intérêt de l'interactif par rapport au non interactif : dépend de l'expertise et de l'objectif (Boucheix, 2005).

Une certaine forme d'interactivité peut être proposée (possibilité de faire des retours en arrière ou de choisir les durées d'exposition d'une étape d'observation) avec l'idée que cela peut améliorer la compréhension mais surtout l'apprentissage (la mémorisation des phénomènes). Les résultats montrent que cette forme d'interactivité est surtout utile aux experts, c'est-à-dire aux personnes qui ont déjà un bon niveau de connaissance du domaine. En effet, ces dernières parviennent à gérer les moments et les durées de leur interaction avec le système (contrôler la vitesse de défilement par exemple) en recourant à leurs connaissances antérieures. Lorsque ces connaissances sont absentes ou moins solides, dans le cas des novices par exemple, l'interactivité n'apporte aucun bénéfice.

De plus, il apparaît que l'interactivité ne favorise pas l'apprentissage : les traces en mémoire sont plus solides en l'absence d'interactivité car cela oblige à faire des traitements plus profonds. Par exemple, l'apprentissage des nœuds de marin est meilleur en condition d'interactivité que sans interactivité au moment de l'expérimentation, mais la mémorisation de la méthode est meilleure à long terme lorsqu'il n'y a pas eu d'interactivité.

Principe 5 : Intérêt de la contiguïté spatiale

Le traitement est favorisé quand le texte et l'animation sont spatialement proches (Moreno et Mayer, 1999, Mayer 2008). La proximité des stimuli visuels réduit les traitements inutiles, coûteux sur le plan cognitif.

Principe 6 : Intérêt de la contiguïté temporelle

Les travaux montrent qu'une présentation simultanée de l'animation avec le texte est préférable à une présentation successive (Mayer & Anderson, 1991, Mayer & Anderson, 1992, Mayer & Moreno, 1998). Une présentation simultanée minimise les temps de maintien d'une représentation en mémoire de travail. Cependant, ces résultats ne concernent qu'une catégorie de matériel, couplant une animation à du texte.

Principe 7 : Importance de la cohérence conceptuelle

Il importe que ce qui est présenté dans les différentes modalités soit cohérent. Des textes, images ou sons inutiles, superflus, étranges, non reliés, ou ambigus perturbent la compréhension (Mayer, 2003, 2005).

Principe 8 : Éviter trop de redondance

Le mot « redondance » est pris ici au sens de choses répétées de manière inutile. Moreno & Mayer (2002) ont montré que les personnes comprennent et apprennent mieux en condition d'animation associée à une narration qu'en condition d'animation associée à une narration et à un texte diffusé sur un écran. Quand les sources d'informations sont trop nombreuses, le risque de surcharge cognitive s'accroît et dégrade la compréhension et l'apprentissage.

Principe 9 : Influence des différences interindividuelles

Les connaissances préalables ainsi que les aptitudes visuo-spatiales peuvent être différentes selon les individus et influent grandement sur la compréhension de l'animation et du multimédia. Dans certaines études, ce sont ceux dont les habiletés visuo-spatiales sont les meilleures qui bénéficient le plus de l'animation. Et d'autres études montrent par ailleurs, que l'animation peut améliorer les performances d'individus à faibles habiletés visuo-spatiales. L'animation peut ainsi compenser l'inhabileté à inférer le mouvement (Höffler & Leutner, 2010, 2011). Elle peut également améliorer les performances d'individus ayant des connaissances préalables plus réduites (Mayer, 2001).

3.2 CONCEPTION DES ALTERNATIVES DE COUPLAGE

La première action du projet a consisté à concevoir des propositions de couplage en prenant en compte les données de la littérature et en respectant les principes de partage attentionnel entre plusieurs stimuli visuels.

Deux dimensions étaient à prendre en compte pour assembler les deux éléments visuels et animés, objets du couplage (Jade et messages animés) : la disposition spatiale et le séquençement temporel.

Selon les principes 5 et 6 exposés ci-dessus (partie 3.1), il est préférable pour la compréhension de favoriser la contiguïté spatiale ainsi que la simultanéité (contiguïté temporelle) des présentations. Mais ces principes ayant été établis à partir de modalités différentes des nôtres (texte associé à l'image), il est nécessaire d'en tester la pertinence dans notre cas. Cette vérification est d'autant plus nécessaire que l'application simultanée de ces deux principes n'est pas forcément pertinente, même si chacun d'eux est pertinent isolément. Enfin, selon le principe 2, la juxtaposition spatiale et/ou temporelle de nos deux modalités de même nature (visuel animé) peut conduire à un effet de saturation.

Les choix suivants ont par conséquent été faits :

- Prise en compte de deux paramètres : la contiguïté spatiale et la contiguïté temporelle
- Pour la contiguïté spatiale, définition de 2 modalités :
 - messages **juxtaposés** : les deux présentations gardent chacune leur logique propre et sont disposées côte à côte
 - messages **intégrés** : l'avatar et le message animé sont « mixés » dans un même espace
- Pour la contiguïté temporelle, définition de 4 modalités :
 - messages présentés en **alternance totale** (l'un puis l'autre)
 - messages présentés avec un **démarrage synchronisé** (puis se déroulant indépendamment l'un de l'autre)
 - messages présentés avec une synchronisation sémantique : synchronisation de sous-parties du message ayant la même signification - par exemple le panneau attention ou bien la pluie - appelées *blocs* sémantiques (modalité nommée **synchronisation par bloc**)
 - messages présentés avec une **alternance par bloc** : démarrage alterné des blocs sémantiques (bloc Jade puis bloc animation, ainsi de suite)

Les réalisations de formats correspondant à des combinaisons de ces deux paramètres sont présentées plus en détail dans la partie 4.

3.3 GENERATION AUTOMATIQUE DES MESSAGES COUPLES

Le but du projet étant de concevoir des messages qui puissent être transférés dans des établissements recevant du public, il était nécessaire de vérifier dès le début du projet que la génération automatique de ces messages était réalisable. Nous listons ci-après différentes problématiques auxquelles nous avons été confrontés lors de la réalisation du prototype de génération automatique.

3.3.1 CAHIER DES CHARGES

La première étape de l'adaptation de l'architecture du système Jade a consisté à définir un cahier des charges listant les principales fonctions à ajouter à celles déjà existantes. Nous listons ici les principaux ajouts :

- Incrustation d'éléments vidéo et image dans le rendu,
- Possibilité de modifier la position spatiale des éléments graphiques,
- Possibilité d'effectuer différents types de synchronisation temporelle des éléments graphiques avec les vidéos en LSF,
- Possibilité d'afficher un texte mobile à un emplacement quelconque de l'image (ex : numéro de train sur le dessin du train),
- Gestion et paramétrage des fondus enchaînés pour les apparitions/disparitions des éléments graphiques.

Nous avons opté pour une solution préservant la compatibilité de notre développement avec l'existant. Cela signifie que la SNCF pourrait utiliser le module de rendu spécifique ainsi que la base de données de SURDyn 2. Cette intégration sort du cadre du projet qui vise uniquement à valider la conception des messages, mais la contrainte que nous nous imposons garantit que les hypothèses de départ sont réalistes et compatibles avec un éventuel déploiement du produit pour le grand public.

Les solutions techniques retenues impliquent que les balises de synchronisation temporelles ainsi que les éléments graphiques puissent être gérés par le module de génération de message, comme les éléments vidéo utilisés actuellement par la SNCF. La différence de traitement se situe finalement uniquement dans le module de rendu.

3.3.2 ÉVOLUTION ET ADAPTATION DE JADE POUR LE PROJET

Dans le projet SURDyn 2, le but était de présenter de manière synchronisée ou non des animations en LSF et des messages sous forme graphique, tout en conservant des animations les plus proches possibles de celles créées dans le cadre du premier projet SURDyn, afin de permettre les comparaisons entre messages graphiques seuls et messages couplés avec Jade.

Les problèmes les plus importants à résoudre ont concerné la génération de nombres en langue des signes. Ce problème, par ailleurs déjà identifié lors de précédentes évaluations de Jade, a été réglé en améliorant la coarticulation des signes dans les 5 messages signés produits pour les évaluations en laboratoire.

En parallèle, la base de données de chiffres de WebSourd a été entièrement revue de manière à intégrer ce concept de coarticulation. Ceci a permis de conserver une coarticulation correcte dans l'expérimentation « en situation ».

D'autre part, les messages du premier projet SURDyn avaient tous un fond bleu foncé de couleur assez proche du vêtement de Jade. Dans un souci de cohérence maximale avec les animations initiales, nous avons souhaité conserver ce fond pour les expérimentations en laboratoire. Les infographistes de WebSourd ont donc proposé plusieurs habits différents pour que l'avatar se détache davantage du fond et que la compréhension de son propos en soit améliorée et un choix a été réalisé parmi ces propositions par le groupe projet.

3.3.3 PREMIER BILAN

Le prototype réalisé a permis de synthétiser l'ensemble des messages. Même si le paramétrage de l'application pour la création de nouveaux messages est relativement compliqué, cette étape était très importante pour prouver dès le début du projet que les résultats obtenus sur le message de synthèse seraient transférables dans une situation réelle dans des systèmes automatisés.

4 EXPERIMENTATION EN LABORATOIRE

L'objet de l'expérimentation en laboratoire était de déterminer quelle était la combinaison de couplage optimale entre le signeur virtuel Jade et les messages animés. Cela nécessitait de tenter de répondre à un certain nombre de questions de recherche, listées ci-dessous.

4.1 QUESTIONS DE RECHERCHE

Les principales questions de recherche que l'on a cherché à tester de manière expérimentale sont les suivantes :

- Sur le plan temporel, la compréhension est-elle meilleure lorsque les deux messages visuels sont présentés simultanément ou bien lorsqu'ils sont présentés de façon successive ?
- Sur le plan spatial, la compréhension est-elle facilitée quand les deux messages sont distincts l'un de l'autre (juxtaposés) ou au contraire entremêlés (intégrés) ?
- La compréhension est-elle facilitée lorsque contiguïté spatiale et contiguïté temporelle sont simultanément réalisées ?
- Comment l'observateur partage-t-il son attention entre les deux messages ?
- La pratique ou non de la langue des signes a-t-elle une influence sur ce partage attentionnel et à fortiori sur la compréhension des messages ?

Par ailleurs d'autres questions d'ordre plus général se posent :

- Jade, de par son caractère humanoïde a-t-elle un pouvoir d'attraction plus fort, du fait de sa saillance, que le message graphique animé ?
- Existe-t-il des couplages entre Jade et graphique animée qui soient à la fois efficaces du point de vue de la compréhension et agréables à regarder ?

4.2 MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

4.2.1 PROTOCOLE

Population

Quatre groupes de personnes ont été ciblés pour l'expérimentation en laboratoire (cf. Tableau 1).

	Signants	Non signants
Sourds	60	60
Entendants	60	60

Tableau 1 : Caractéristiques des groupes prévus pour l'expérimentation en laboratoire

Soit :

- 120 personnes sourdes ou malentendantes dont 60 pratiquant la langue des signes (niveau minimum B1¹) et 60 ne la pratiquant pas ou peu (niveau inférieur à B1) âgées de 18 à 50 ans recrutées sur trois sites différents : Toulouse, Lyon, Paris, Toulon, Saint-Etienne,
- 120 personnes entendants, dont 60 pratiquant la langue des signes (niveau minimum B1) recrutées sur les différents sites précités et 60 ne la pratiquant pas ou peu (niveau inférieur à B1), âgées de 18 à 50 ans, représentant le groupe contrôle, recrutées à l'université de Bourgogne (Dijon).

Critères d'inclusion pour le groupe des personnes sourdes ou malentendantes :

- sourds ou malentendants pratiquant la langue des signes (niveau minimum B1 au référentiel européen)
- vue correcte ou corrigée
- signature du consentement

Critères d'exclusion pour le groupe des personnes sourdes :

- personnes ayant participées au 1er projet SURDyn (région de Lyon principalement) et à l'expérimentation de Jade (région de Toulouse principalement)
- troubles visuels ou neurologiques
- refus de signature du consentement

Recrutement des participants : réseaux de connaissance et annonces déposées sur le site Jobsourd et le groupe de discussion Deaf France.

Lieux des expérimentations : Université de Dijon, Ifsttar-Bron, locaux de WebSourd à Toulouse et Paris ainsi qu'à Toulon et Saint-Etienne (Centre de formation « Signes et Formation » et Institut de jeunes Sourds « Plein Vent »).

Le projet d'expérimentation en laboratoire a fait l'objet d'une demande d'avis auprès du CERB (Comité d'Ethique pour les Recherches Biomédicales). Ce comité veille à ce que les grands principes pour la protection des personnes qui se prêtent à des expérimentations soient respectés. Le dossier a reçu une réponse favorable le 24/06/2012.

Matériel

Les mouvements des yeux du participant sont enregistrés à l'aide du système d'oculométrie Tobii pendant la totalité de l'expérimentation, de manière à savoir exactement où et à quel moment son regard est dirigé.

¹ Le niveau B1 correspond aux compétences suivantes : maîtrise fonctionnelle de la Langue des Signes Française ; communiquer en Langue des Signes dans la majorité des situations ; participer à une conversation avec plusieurs interlocuteurs à un rythme normal.

L'expérimentation utilise les cinq messages conçus au cours du premier projet SURDyn, auxquels a été ajouté l'avatar Jade qui délivre le même message. Les trois messages « changement de voie - retard - suppression d'un train » gardent leur forme initiale, de manière à pouvoir comparer les scores de la présente étude à ceux de l'étude antérieure. Quelques modifications ont été apportées aux messages « éloignez-vous de la bordure du quai » et « perturbation-grève ». Ces deux derniers messages avaient été moins bien compris que les trois précédents et des erreurs de conception avaient été identifiées.

Pour la « traduction Jade » mise au point pour chaque message SURDyn, le doublage du message écrit, présent dans la version initiale de Jade a été supprimé et ce pour plusieurs raisons. Les données de la littérature précisent que la redondance n'est pas bénéfique pour la compréhension et que le partage d'attention doit être le plus réduit possible. De plus, il a été constaté que les personnes sourdes préféraient l'alternance texte écrit / avatar, certaines étant gênées par la présence de l'écrit. Pour finir, notre souci était de savoir si les personnes comprenaient le message via Jade et/ou les messages SURDyn. La présence du texte aurait donc induit un biais expérimental.

En revanche, nous avons décidé de placer certains éléments de texte (par exemple les noms de villes, numéros des trains) en complément du message signé, afin notamment de pallier au problème des signes de villes non standardisés, dans un objectif d'homogénéisation des durées des deux formats de message (signé et graphique animé).

Les cinq messages couplés ont ainsi été conçus selon les deux paramètres précédemment évoqués en partie 3.2 - la contigüité spatiale et la contigüité temporelle - ainsi :

- la **contigüité spatiale**, avec deux modalités :
 - message Jade et message SURDyn **juxtaposés** (cf. un exemple en Figure 3) : le cadre du message SURDyn est placé au plus près de l'espace de signation, de manière à permettre une alternance rapide et efficace entre les deux.
 - message Jade et message SURDyn **intégrés** (cf. un exemple en Figure 4) : les éléments du message SURDyn sont disposés autour de Jade, avec l'idée que la proximité peut favoriser l'intégration sémantique et donc la compréhension.



Figure 3 : Format juxtaposé du message couplé « changement de voie »



Figure 4 : Format intégré du message couplé « suppression »

- la **contigüité temporelle**, avec quatre modalités :
 - **alternance totale** : le message est diffusé dans les deux présentations (Jade et SURDyn) de façon successive, dans sa totalité (en contrebalançant l'ordre : 50 % Jade en premier et 50 % inversement). Ce format a été conçu avec l'idée d'éviter la surcharge cognitive que produiraient deux animations fonctionnant en même temps.
 - **démarrage synchronisé** : démarrage en même temps des deux modes de diffusion, puis le plus rapide se termine et reste affiché une seconde, puis le plus lent se termine et reste affiché une seconde, puis nouveau démarrage synchronisé. Ce format a été conçu afin de tester la pertinence d'un rapprochement temporel dans le déroulement du message. Cela permet que chaque message se déroule à son rythme propre.
 - **alternance par bloc** : démarrage alterné des blocs : bloc Jade puis bloc animation ainsi de suite (contrebalancement blocs par blocs), cf. Figure 5.



Figure 5 : Ordre de déroulement des blocs sémantiques pour « Alternance par Bloc »

- **synchronisation par bloc** : démarrage en même temps de tous les blocs sémantique du message et recalage au fur et à mesure de manière à ce que tous les blocs sémantiques démarrent en même temps (cf. Figure 6). Correspondance bloc par bloc dans chaque présentation (Jade et SURDyn). Ce format a été conçu de manière à voir si une forte synchronisation temporelle entre les deux modes de présentation favorise la compréhension, si la prise d'information alternée est possible et bénéfique.



Figure 6 : Ordre de déroulement des blocs sémantiques pour « Synchronisation par Bloc »

Quelle que soit la modalité de présentation, la taille des éléments ainsi que le temps d'exposition du message sont identiques.

Les messages sont présentés dans un ordre aléatoire, mais chaque participant voit les cinq messages dans un seul format de présentation (par exemple [juxtaposé - alternance totale] ou [intégré - synchronisé]). Compte tenu du nombre important de conditions que le plan expérimental exigeait - imposant un nombre de participants non atteignable dans le temps imparti - nous avons fait le choix de ne pas tester toutes les modalités. Ainsi les modalités « alternance totale juxtaposée » et « alternance totale intégrée » ainsi que les modalités « démarrage synchronisé juxtaposé » et « démarrage synchronisé intégré » n'ont pas été testées. Six listes ont ainsi été constituées, contenant chacune cinq messages présentés dans une même modalité (soit 30 réalisations différentes de formats couplés).

En résumé, le Tableau 2 récapitule les 2 variables étudiées ainsi que les 6 formats résultants, avec le nombre de participants associés, pour un groupe donné. Les 4 groupes de participants sont distribués de la même façon entre les formats. Le plan d'expérience prévoit donc 60 personnes par groupe, 10 par format.

	juxtaposé	Intégré
Alternance totale	10	NON
Démarrage synchronisé	10	NON
Alternance par bloc	10	10
Synchronisation par bloc	10	10

Tableau 2 : Récapitulatif des 6 formats étudiés et distribution pour chaque groupe de 60 participants

Procédure

○ **Expérimentateur**

Profil : Il a une bonne connaissance de la langue des signes et s'exprime en langue des signes et/ou en français oral en fonction des préférences linguistiques des participants.

Mission : L'expérimentateur a la responsabilité de l'application du protocole auprès des personnes sourdes. Il a suivi une formation à l'outil Tobii de manière à pouvoir calibrer l'oculomètre en toute autonomie. Il contacte les personnes sourdes par les moyens de communication adaptés (sms, skype, ooVoo...).

○ **Déroulement de l'expérimentation**

Dans chacun des sites, une salle permet d'assurer une passation individuelle de l'expérimentation pour chaque participant. L'ordinateur portable pilotant l'oculomètre Tobii est placé sur une table et le participant est assis sur une chaise à une distance de 60 cm. Les échanges sont filmés.

Le déroulement résumé est le suivant :

- Accueil, exposé des informations et des consignes
- Calibrage du système d'oculométrie
- Épreuve de compréhension : le participant voit 2 fois chacun des 5 messages dans un même format et explique à chaque fois ce qu'il a compris

- Épreuve de préférence : le participant voit successivement plusieurs paires de présentation d'un même message dans 2 formats différents. Pour chaque paire il indique le format qu'il préfère.

Le déroulement détaillé de l'expérimentation en laboratoire figure en annexe 1

4.2.2 MODES D'ANALYSE DES DONNEES

Le codage des réponses aux messages ainsi que celui des mouvements des yeux sont prédéfinis en amont (grilles de codage).

Les variables dépendantes recueillies sont :

- la réponse à la tâche de compréhension d'un message
- le temps de traitement du message
- le temps de fixation de chaque élément pertinent (oculomètre)
- le temps de fixation de chaque élément saillant (oculomètre)
- le nombre de saccades oculaires d'un message à l'autre (alternance entre message SURDyn et Jade) (oculomètre)

Les variables indépendantes sont :

- la contigüité spatiale
- la contigüité temporelle
- la fréquence d'utilisation des transports
- la pratique de la langue des signes

Analyse statistique : utilisation de tests de comparaison de moyenne (t de Student) pour comparer les effets des différentes variables étudiées et comparaison de distributions de variables (tests du Chi2) ; utilisation d'analyses de variances (ANOVA) dans le but d'étudier les influences respectives de la contigüité spatiale et de la contigüité temporelle et de leurs interactions sur la compréhension des messages, afin de mettre en évidence le couplage le plus adapté.

4.2.3 HYPOTHESES - RESULTATS ATTENDUS

Les hypothèses émises à partir des questions de recherche énoncées plus haut sont que :

En intégrant spatialement et en synchronisant les informations, on facilite la prise d'information et donc :

- nous attendons de meilleures performances de compréhension et une préférence d'une part pour les formats synchronisés par rapport aux formats alternés et d'autre part pour les formats intégrés par rapport aux formats juxtaposés,
- nous attendons que le format qui intègre les informations spatialement et synchronise les différentes parties du message soit le mieux compris et le préféré,
- nous attendons que les stratégies visuelles soient plus efficaces (meilleure sélection de l'information et moins d'errance visuelle) lorsque l'on combine l'intégration spatiale et la synchronisation des informations.

Nous nous attendons à observer un effet d'attraction de Jade, du fait de son caractère humanoïde (conforme à la littérature) et du fait de son caractère plus animé que les messages.

Les analyses des scores de compréhension et de préférence ainsi que celles des données oculométriques nous permettront de répondre à ces hypothèses.

4.3 RÉSULTATS

4.3.1 DEROULEMENT DES EXPERIMENTATIONS

L'expérimentation en laboratoire a été réalisée dans un premier temps entre le 15/11/2012 et le 15/02/2013, sur les sites de Lyon-Bron, Toulouse et Paris, en ne ciblant pas les personnes entendant non signantes. Le manque de participants a conduit à refaire une deuxième série de recueils, réalisée entre le 15/06/2013 et le 15/09/2013, à Lyon-Bron, Toulon et Saint-Etienne.

Ont ainsi participé à l'expérimentation 95 personnes, dont 60 personnes sourdes signantes, 24 personnes entendant signantes et 7 personnes sourdes non signantes, auxquelles s'ajoutent 4 participants entendants non signants (initialement recrutés comme « signants » mais ayant finalement un niveau de pratique de la LSF inférieur au niveau requis pour être considéré comme appartenant au groupe des « signants »). La Figure 7 fournit la répartition des 95 participants selon les 6 formats testés.

Sourds signants	juxtaposé	Intégré	Sourds non signants	juxtaposé	Intégré
Alternance totale	12 / 10	NON	Alternance totale	3 / 10	NON
Démarrage synchronisé	9 / 10	NON	Démarrage synchronisé	0 / 10	NON
Alternance par bloc	9 / 10	9 / 10	Alternance par bloc	1 / 10	2 / 10
Synchronisation par bloc	11 / 10	10 / 10	Synchronisation par bloc	1 / 10	0 / 10
Entendants signants	juxtaposé	Intégré	Entendants non signants	juxtaposé	Intégré
Alternance totale	7 / 10	NON	Alternance totale	1 / 10	NON
Démarrage synchronisé	5 / 10	NON	Démarrage synchronisé	1 / 10	NON
Alternance par bloc	3 / 10	1 / 10	Alternance par bloc	0 / 10	2 / 10
Synchronisation par bloc	4 / 10	4 / 10	Synchronisation par bloc	0 / 10	0 / 10

Figure 7 : Répartition finale des 95 participants à l'expérimentation en laboratoire selon les formats de couplage

4.3.2 CARACTERISTIQUES DES PARTICIPANTS

Le Tableau 3 donne l'ensemble des caractéristiques des participants à l'expérimentation en laboratoire ; le groupe des entendants non signants n'est pas représenté dans le tableau car son effectif (4 personnes) est trop faible.

	Sourds signants n=60	Entendants signants n=24	Sourds non signants n=7
	Age moyen (écart-type)	33,3 (8,7)	33,0 (10,4)
Age (min-max)	16-55	19-61	30-58
Sexe (n)			
hommes	32	3	1
femmes	28	21	6
Statut auditif (n)			
Malentendants	10		3
Sourds	50		4
Moyens d'expression (n)			
Oral	5	2	5
LSF	26	0	0
Les deux	25	22	2
Age survenue surdité (n)			
Moins de 3 ans	51		2
Entre 4 et 50 ans	7		5
Appareillage auditif (n)			
Oui	26		6
Non	34		1

Tableau 3 : Caractéristiques des participants à l'expérimentation en laboratoire

Le groupe des sourds signants est composé en grande majorité de personnes dont la surdité est précoce, survenue avant l'âge de 3 ans. Ils communiquent majoritairement en LSF ou sont bilingues (LSF et oral) et plus de la moitié n'utilise pas d'appareil auditif. Les personnes sourdes non signantes sont plutôt des personnes dont la surdité est arrivée plus tardivement, après l'âge de 3 ans et qui communiquent davantage oralement (5 sur 7).

Le groupe de sourds non signants étant réduit en effectif, il ne fera l'objet d'aucune analyse statistique dans la suite de ce travail. Le recrutement des personnes entendantes non signantes n'était pas l'objectif premier de ce projet PREDIT. Il fait l'objet d'un travail de recherche dans le cadre d'un master 2 durant l'année universitaire 2013-2014.

Comparaison des participants signants sourds vs entendants

Les deux échantillons (Sourds signants vs Entendants signants) sont composés différemment en termes de répartition hommes/femmes (plus de femmes pour les entendants, (*test du Chi2*, $p < 0,01$)). Par contre, l'âge moyen dans les deux groupes de personnes signantes est très proche. Il est légèrement plus élevé dans le groupe des personnes sourdes non signantes mais la différence n'est pas significative.

Les deux échantillons sont comparables en termes de situation professionnelle (Figure 8).

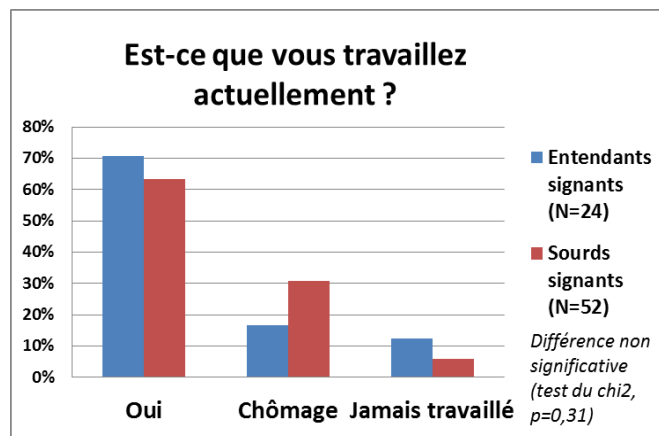


Figure 8 : Situation professionnelle pour les participants signants, sourds vs entendants

La fréquence d'utilisation des trains est un paramètre important à prendre en compte, car nous avons montré lors du premier projet SURDyn qu'il avait une influence sur la compréhension des messages (comme mentionné plus haut) - une plus grande fréquence d'utilisation augmentant logiquement la compréhension. Les deux groupes comparés ici sont équivalents du point de vue de la fréquence d'utilisation des trains, comme le montre la Figure 9.

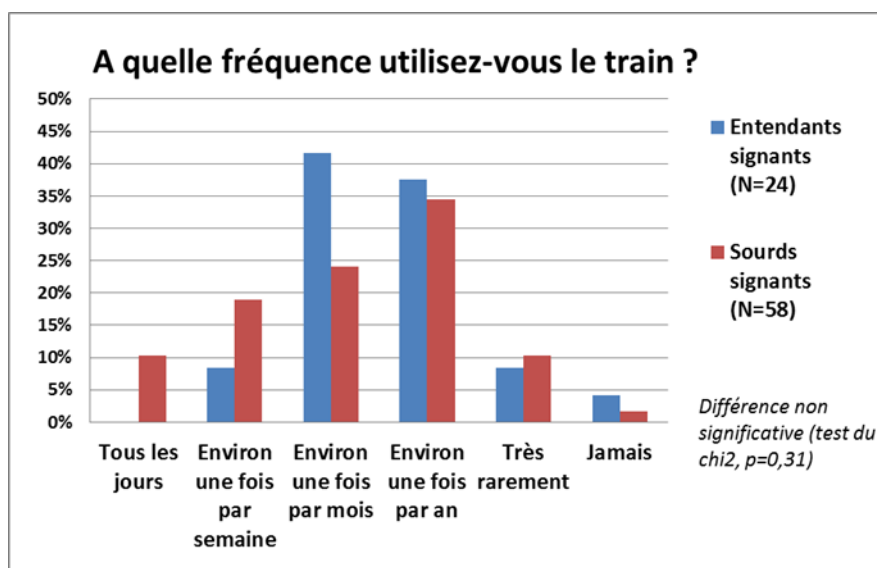


Figure 9 : Fréquence d'utilisation des trains pour les participants signants sourds vs entendants

Par contre, les deux groupes ne sont pas du tout équivalents du point de vue des difficultés rencontrées dans l'usage des transports, comme on pouvait s'y attendre. En effet, on voit (Figure 10) que les participants sourds signants rencontrent plus souvent des difficultés dans l'usage des transports que les participants entendants signants, et qu'ils sont significativement plus nombreux que les participants entendants signants à avoir déjà rencontré de manière générale des problèmes d'accès à l'information dans les gares ou les trains, et plus spécifiquement des problèmes d'accès aux informations traduites avec les messages testés dans cette expérimentation.

De même, de manière non surprenante, on constate que les participants sourds signants rencontrent plus de difficultés pour lire et comprendre des informations écrites en langue

française que les participants entendants signants (Figure 11). C'est notamment le cas pour la lecture des recettes de cuisine, des journaux et des romans, activités pour lesquelles les participants sourds signants sont significativement plus nombreux à déclarer des difficultés ; par contre, comme les participants entendants signants, ils sont très peu nombreux à avoir des difficultés de lecture pour les horaires de train (Figure 12).

La fréquence d'utilisation des ordinateurs était également susceptible d'avoir une influence sur la perception des messages diffusés sur écran. La comparaison de ce paramètre entre les participants signants entendants et sourds montre qu'il n'y a pas du tout de différence significative entre eux sur ce paramètre (Figure 13). Pour ce qui concerne les activités pratiquées sur ordinateur (ou objet connectable), on constate une différence significative entre les deux groupes pour deux activités : l'activité sur les réseaux sociaux ou les forums de discussion, ainsi que la lecture des journaux en ligne (Tableau 4). Les participants sourds signants sont en effet significativement plus nombreux à être actifs sur les réseaux sociaux, et légèrement plus nombreux (différence significative au seuil de 5 %) à lire les journaux en ligne (Figure 14).

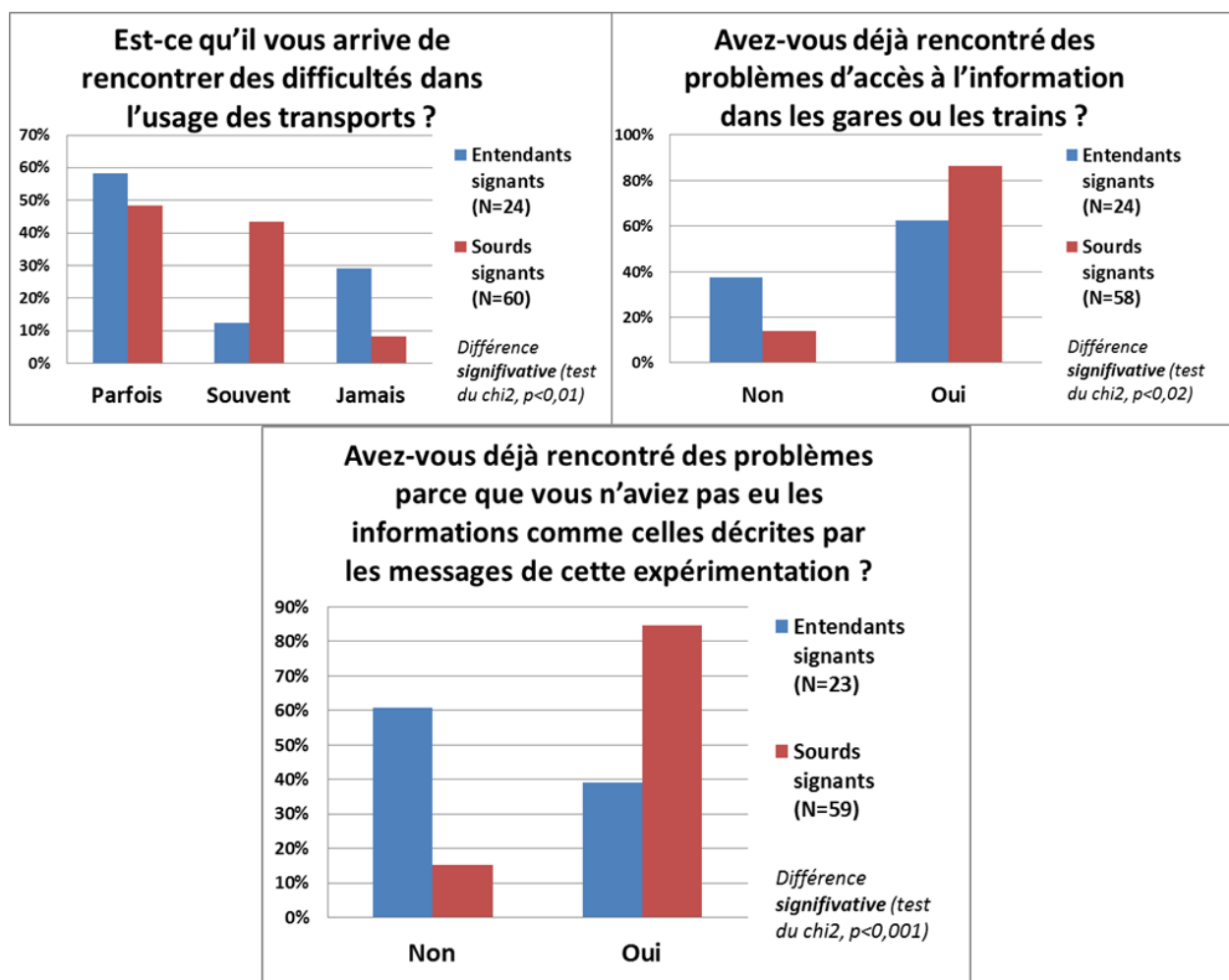


Figure 10 : Difficultés dans l'usage des transports pour les participants signants, sourds vs entendants

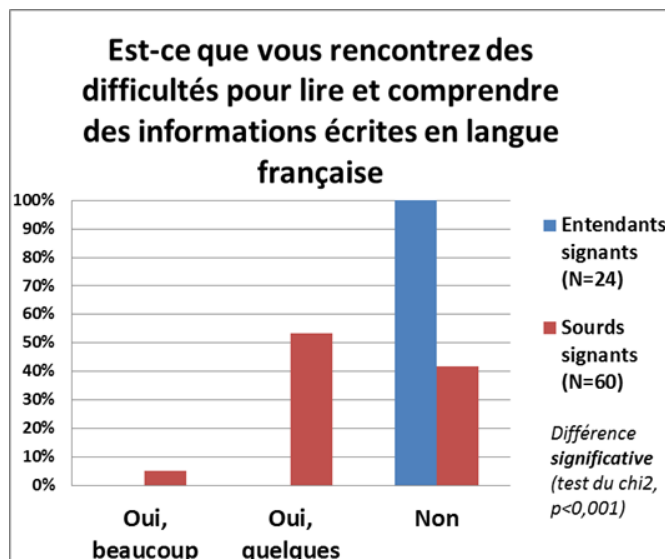


Figure 11 : Difficultés pour lire et comprendre les informations écrites pour les participants signants, sourds vs entendants

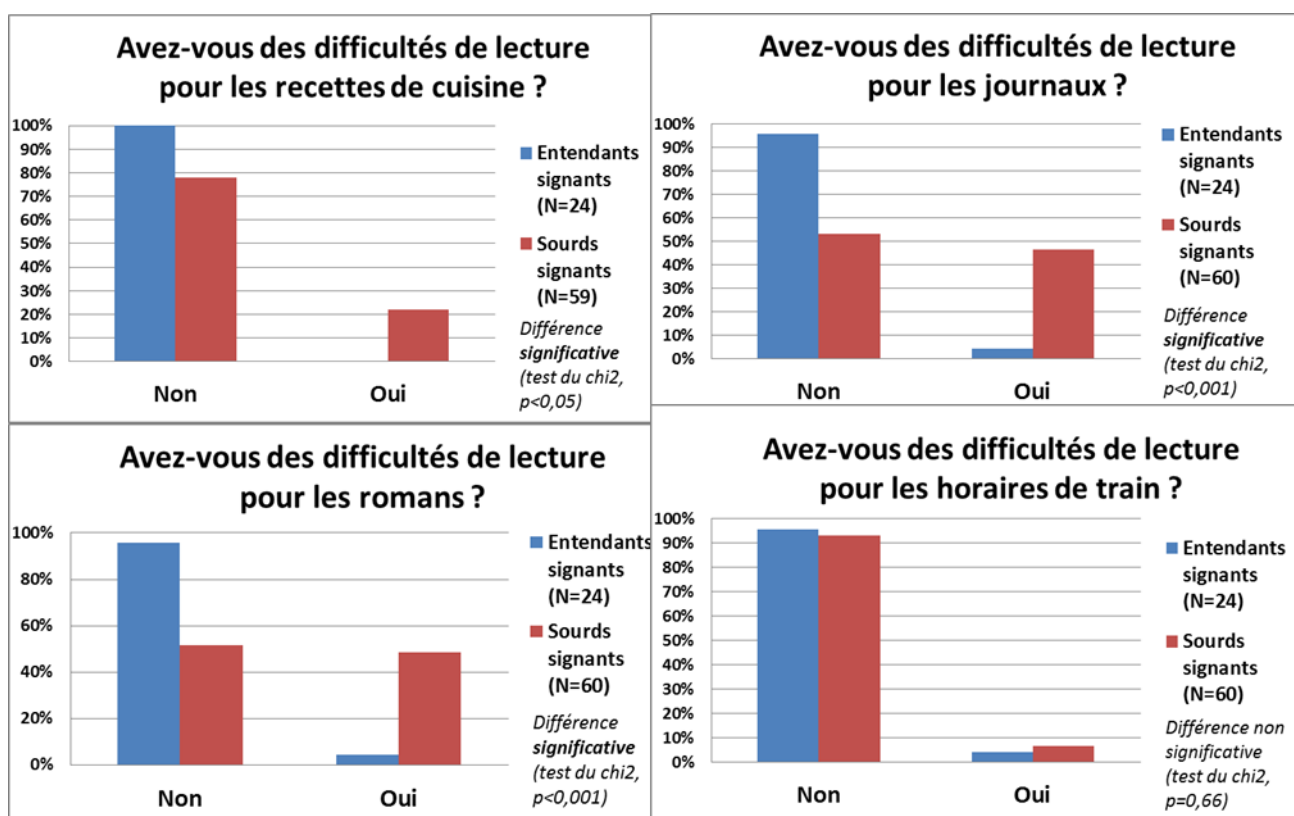


Figure 12 : Types de difficultés de lecture pour les participants signants, sourds vs entendants

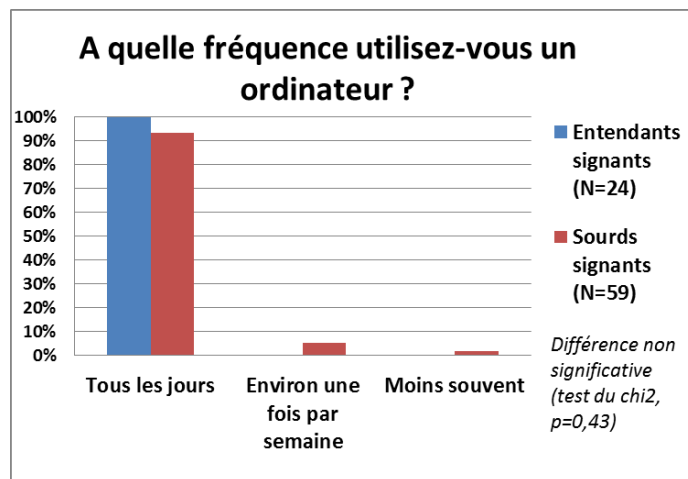


Figure 13 : Fréquence d'utilisation d'un ordinateur pour les participants signants, sourds vs entendants

Q22 - Quelles sont vos activités lorsque vous utilisez un ordinateur (ou une tablette ou un téléphone portable connectable à internet) ?	
Diff. Sourds/Entendants	Activité
NS	Q22_1 - Je regarde des vidéos
NS	Q22_2 - Je recherche des informations sur Internet
NS	Q22_3 - J'utilise ma messagerie électronique
S	Q22_4 - Je suis actif sur les réseaux sociaux ou dans les forums de discussion
NS	Q22_5 - J'utilise le traitement de texte
NS	Q22_6 - Je joue à des jeux
S	Q22_7 - Je lis les journaux en ligne
NS	Q22_8 - J'utilise des logiciels spécifiques (par exemple pour le traitement d'images)
NS	Q22_9 - Je programme (avec des langages de programmation)

Tableau 4 : Activités pratiquées sur ordinateur pour les participants signants, sourds vs entendants

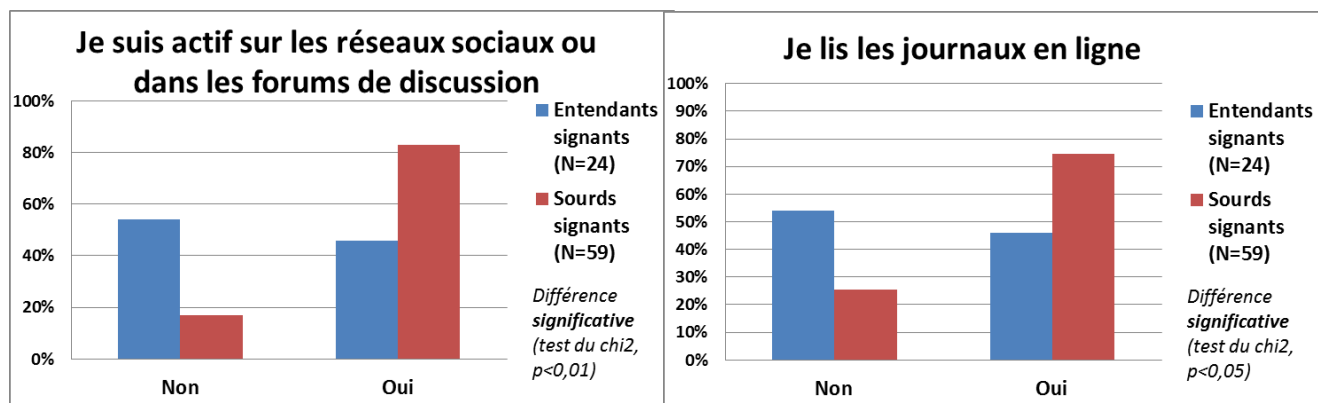


Figure 14 : Activités sur les réseaux sociaux et lecture de journaux en ligne pour les participants signants, sourds vs entendants

4.3.3 ANALYSE DE LA TACHE DE COMPREHENSION

Méthode de calcul des scores

Les cinq messages ont fait l'objet de deux codages, le premier est qualifié de binaire le second de détaillé.

Le codage binaire consiste à attribuer la note « 0 » quand le message est jugé non compris ou « 1 » quand il est compris, c'est-à-dire quand l'idée principale était précisée : retard, changement de quai, suppression du train, éloignement de la bordure, consultation des trains sur le panneau d'affichage en raison de mouvement de grève. Un score total sur 5 (somme des cinq messages) était alors calculé pour chaque participant.

Le codage détaillé (calculé selon la grille de codage figurant en annexe 2) consiste à attribuer une note à chaque élément rapporté. Ce score total pour les cinq messages est sur 27,5. Ce score est beaucoup plus exigeant par rapport au score binaire puisqu'il comptabilise l'ensemble des éléments cités (attention, en raison de la pluie,...) et non pas seulement l'unité principale de sens.

Comme les participants voyaient deux fois les messages, deux codages ont été calculés, l'un pour la première visualisation, l'autre pour la seconde visualisation.

Compréhension globale des messages

Le Tableau 5 présente les résultats de compréhension en score binaire pour l'ensemble des participants et pour chacun des groupes. Le Tableau 6 présente les résultats en score détaillé.

Premièrement, on constate que les scores de compréhension sont particulièrement élevés pour l'ensemble des participants. Ce premier résultat montre que les messages conçus sont bien adaptés.

Deuxièmement, il apparaît que les scores de compréhension se différencient très peu entre les deux groupes : les performances des sourds s'avèrent significativement meilleures en score binaire lors de la deuxième visualisation comparativement à celles des entendants (en gras dans le Tableau 5), ($t(1,76)=2,1$; $p=0,033$). Mais aucune autre différence significative n'apparaît entre les deux groupes.

	Score binaire 1^{ère} visualisation /5 <i>moyenne (écart-type)</i>	Score binaire 2^{ème} visualisation /5 <i>moyenne (écart-type)</i>	Comparaison de moyennes <i>p (t*)</i>
Tous les participants n=95	4,48 (0,69)	4,83 (0,45)	0,000 (t=-5,44)
Sourds signants n=60	4,59 (0,59)	4,96 (0,19)	0,000 (t=-4,96)
Entendants signants n=24	4,46 (0,78)	4,79 (0,51)	0,017 (t=-2,56)
Sourds non signants n=7	4,00 (0,89)	4,00 (0,89)	-

*t de Student

Tableau 5 : Scores binaires moyens de compréhension pour l'ensemble des participants et pour chacun des groupes (1^{ère} et 2^{ème} visualisations)

	Score détaillé 1^{ère} visualisation /27,5 <i>moyenne (écart-type)</i>	Score détaillé 2^{ème} visualisation /27,5 <i>moyenne (écart-type)</i>	Comparaison de moyennes <i>p (t*)</i>
Tous les participants n=95	21,36 (4,13)	22,49 (3,97)	0,000 (t=-5,28)
Sourds signants n=60	22,02 (4,34)	22,49 (4,36)	0,001 (t=-3,45)
Entendants signants n=24	20,84 (3,09)	22,79 (3,49)	0,001 (t=-3,82)
Sourds non signants n=7	19,67 (3,80)	22,17 (2,29)	-

*t de Student

Tableau 6 : Scores détaillés moyens de compréhension pour l'ensemble des participants et pour chacun des groupes (1^{ère} et 2^{ème} visualisations)

Troisièmement, pour les deux types de scores calculés (binaire et détaillé), on constate une augmentation significative du score de compréhension entre la première et la seconde visualisation et ce quel que soit le groupe. Cela signifie que la seconde visualisation permet aux participants de mieux comprendre ou de compléter ou ajuster les informations par rapport à la première visualisation.

En termes de recommandation de conception, la seconde visualisation est importante. Il est donc important de permettre plusieurs visualisations successives des messages.

Les scores de compréhension particulièrement élevés que nous avons enregistrés peuvent sans doute s'expliquer par le bon niveau de langue des signes des participants. Peut-être ceux-ci s'appuient-ils principalement sur Jade pour accéder à la signification des messages ; l'analyse de leurs réponses au questionnaire post-test permet de moduler cette hypothèse.

En effet, deux questions posées aux participants à l'issue des tests de compréhension et de préférence portaient respectivement sur ce qui, entre Jade et les graphismes animés, avait le plus aidé le participant pour comprendre les messages, et sur une éventuelle gêne liée au couplage (cf. Figure 15). L'analyse des réponses à la question sur l'aide montre que pour la majorité des personnes signantes, c'est la réponse « les deux » qui l'emporte (pour près de 70 % des participants dans chacun des deux groupes), et que Jade seule n'est donc pas l'élément que les participants jugent le plus aidant pour la compréhension, contrairement à l'hypothèse émise ci-dessus². Par ailleurs, la comparaison entre les deux groupes de personnes signantes montre que les participants sourds signants ont été légèrement plus nombreux à déclarer avoir été plus aidés par Jade pour comprendre les messages et les participants signants entendants par les graphismes animés - mais globalement, les deux distributions ne sont pas significativement différentes. Enfin, la comparaison entre les participants signants sourds et entendants pour ce qui concerne la gêne due au couplage, montre que dans les deux groupes, la proportion de personnes se déclarant gênées est de l'ordre de 30 à 40 % (différence non significative).

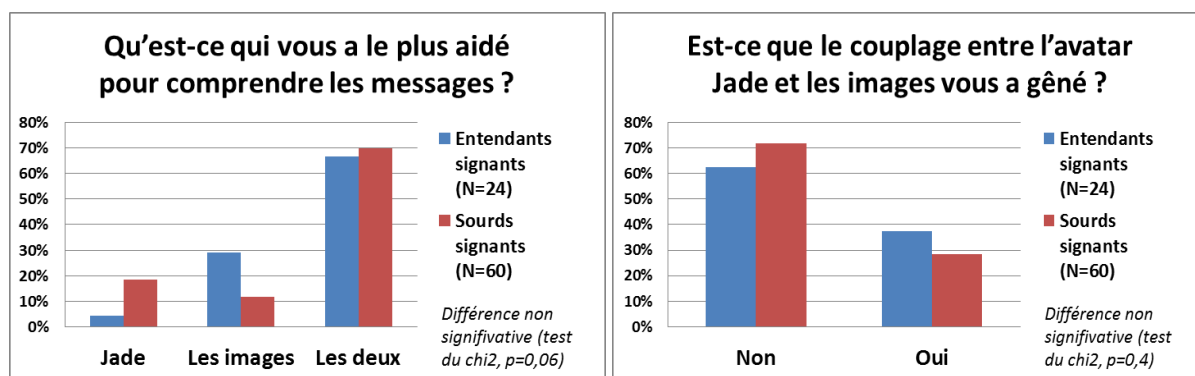


Figure 15 : Aide et gêne due au couplage pour les participants signants, sourds vs entendants

² On ne peut pas systématiquement interpréter cette réponse "Les deux" comme un avis positif sur le couplage ; en effet, un croisement entre les deux questions (sur l'aide et sur la gêne) montre que 16 personnes sur les 58 ayant répondu "Les deux" à la question sur l'aide ont déclaré avoir été gênées par le couplage (4/16 pour les entendants signants et 12/42 pour les sourds signants).

Influence de la fréquence d'utilisation des transports ferroviaires

Comme dans les travaux précédents nous avons mis en évidence le rôle majeur du facteur « fréquence d'utilisation des transports ferroviaires » notamment sur la compréhension des messages graphiques animés (SUrDyn1), nous avons cherché à voir si son influence était toujours aussi présente avec les messages couplés (Animation graphique et Jade).

Les résultats (cf. Tableau 7) ne montrent aucune influence significative de ce facteur fréquence d'utilisation des trains : les usagers fréquents n'ont pas une meilleure compréhension des messages que les usagers plus occasionnels.

Les messages sont donc compréhensibles par des personnes signantes, quelles que soient la fréquence à laquelle ils utilisent les transports ferroviaires.

	Usagers fréquents n=44	Usagers occasionnels n=39	Comparaison de moyennes p (t^*)
Score binaire 1 ^{ère} visualisation /5	4,54 (0,68)	4,48 (0,68)	ns
Score binaire 2 ^{ème} visualisation /5	4,83 (0,49)	4,86 (0,42)	ns
Score détaillé 1 ^{ère} visualisation /27,5	21,20 (4,75)	21,92 (3,11)	ns
Score détaillé 2 ^{ème} visualisation /27,5	22,30 (4,77)	22,89 (2,97)	ns

*t de Student

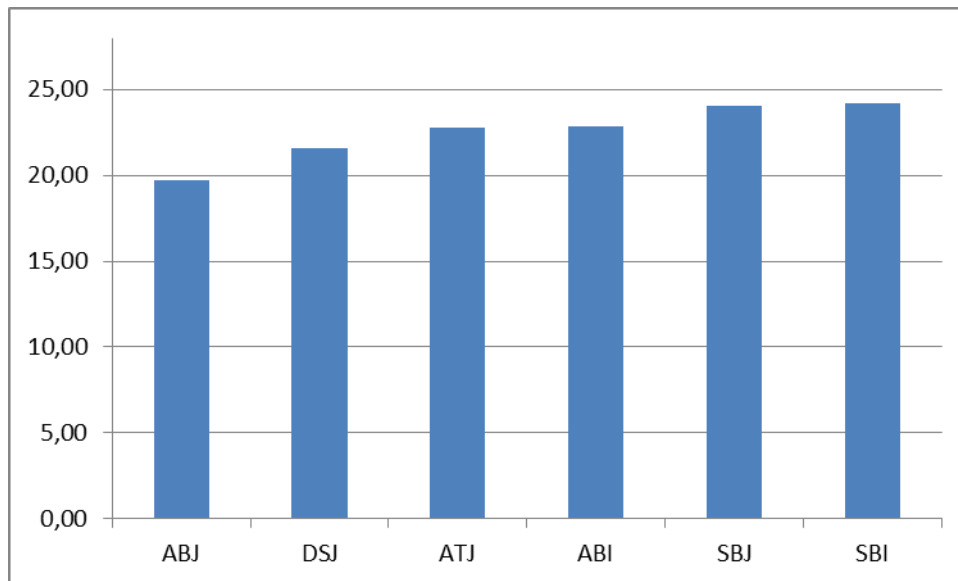
Tableau 7 : Scores binaires et détaillés moyens de compréhension selon la fréquence d'utilisation des transports ferroviaires

De la même manière, nous avons mis en évidence que la pratique de l'ordinateur était associée à la compréhension des messages graphiques animés dans les travaux précédents. Il s'avère que tous les participants de cette étude sauf un se sont déclarés des utilisateurs réguliers de l'ordinateur. Cela ne permet donc pas d'étudier un éventuel rôle de ce facteur.

Influence du format de présentation

Ces analyses concernent seulement le groupe de Sourds signants car c'est le seul groupe pour lequel toutes les modalités de formats ont été testées. Pour le groupe des Entendants signants, certaines modalités ne sont pas suffisamment représentées pour donner lieu à des analyses.

D'emblée, on ne peut pas dire qu'il y ait un format qui l'emporte réellement sur un autre (Figure 16), car du point de vue statistique, les différences ne sont pas significatives. Le format ABJ apparaît néanmoins le moins bien compris et les deux formats qui sont le plus compris sont les formats SBI et SBJ.



ABJ : Alternance par Bloc Juxtaposé ; DSJ : Démarrage Synchronisé Juxtaposé ; ATJ : Alternance Totale Juxtaposé ; ABI : Alternance par Bloc Intégré ; Synchronisation par Bloc juxtaposé ; Synchronisation par Bloc Intégré

Figure 16 : Scores détaillés moyens de compréhension (sur 27,5) par format, pour les sourds signants, n=60, 2^{ème} visualisation

De plus, l'analyse des réponses des participants aux questions post-tests indique que parmi les personnes qui se sentent gênées par le couplage Jade-messages animés 85% (soit 22/26) le sont dans le cas d'un format juxtaposé alors que seulement 15% (soit 4/26) le sont dans le cas d'un format intégré.

En résumé, sur le plan temporel la synchronisation par blocs semble plus favorable, tandis que sur le plan spatial il y a plus de participants se déclarant gênés dans le mode juxtaposé que pour le mode intégré.

Analyse des scores de compréhension pour chaque message

Il s'agit cette fois-ci d'étudier l'influence du message sur la compréhension. Afin de ne pas alourdir le document, nous n'avons pas procédé à une présentation systématique de tous les scores mais nous nous sommes concentrés uniquement sur le score détaillé à la seconde visualisation. Il apparaît que l'analyse entre ces différents scores (binaire ou détaillé 1ère vs 2^{nde} visualisation) converge dans le même sens.

La Figure 17 présente les performances de compréhension d'après le score détaillé de compréhension à la deuxième visualisation (ramené sur 1 sur le graphique³). La Figure 18 compare ces performances pour les deux groupes de personnes signantes. Le niveau de compréhension ne diffère d'un groupe à l'autre pour aucun des messages (le score total pour chaque message variant de 4,5 à 6, les analyses ont été réalisées sur les valeurs centrées réduites).

³ Tous les messages n'ayant pas le même score détaillé de compréhension total (cf. la grille de codage en Annexe 2), nous les avons rapportés sur 1 pour pouvoir les représenter sur le même graphique.

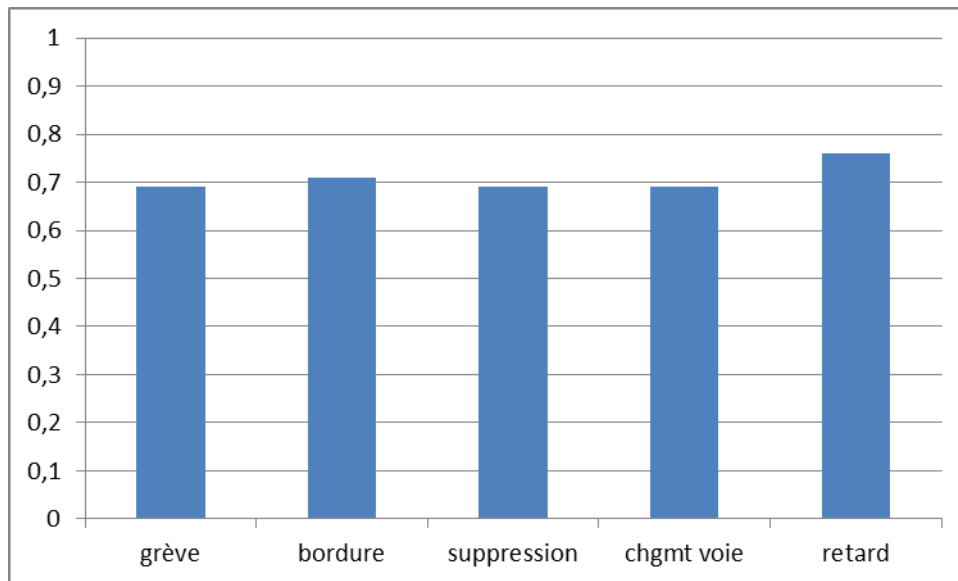


Figure 17 : Scores détaillés moyens de compréhension (centrés réduits), par message, pour l'ensemble des participants sourds et entendants, 2^{ème} visualisation

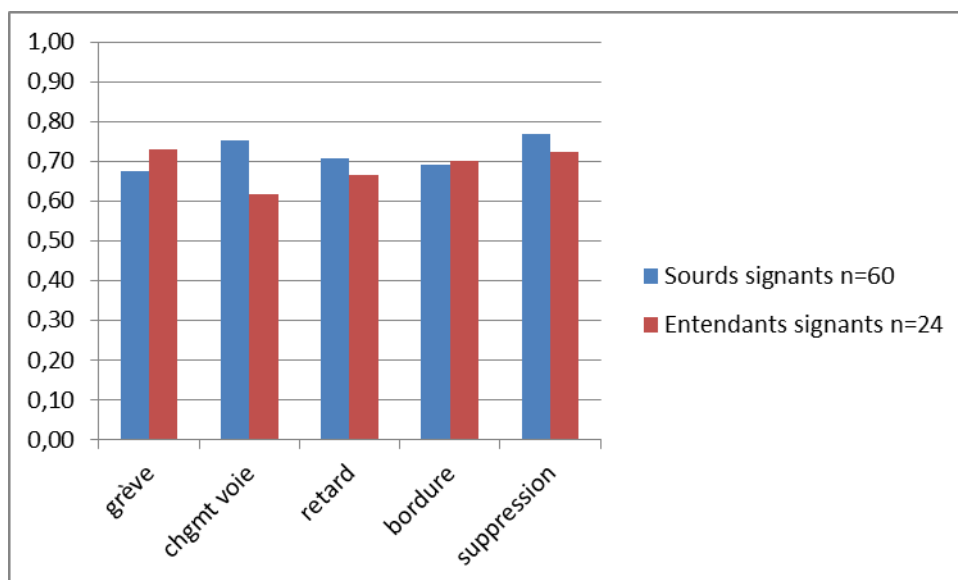


Figure 18 : Scores détaillés moyens de compréhension (centrés réduits), par message, pour les sourds et les entendants signants, n=84, 2^{ème} visualisation

Si l'on observe plus finement les scores détaillés obtenus lors de la deuxième visualisation, il apparaît en complément que pour le groupe des sourds signants :

- le message *retard* est significativement mieux compris que le message *grève* ($t=2,54$; $p=0,014$)
- le message *suppression* est significativement mieux compris que le message *grève* ($t=2,49$; $p=0,016$)
- le message *changement de voie* est significativement mieux compris que le message *retard* ($t=2,13$; $p=0,037$)
- le message *suppression* est significativement mieux compris que le message *passage d'un train* ($t=2,44$; $p=0,018$)
- le message *suppression* est significativement mieux compris que le message *changement de voie* ($t=2,31$; $p=0,029$)
- le message *retard* est significativement mieux compris que le message *passage d'un train* ($t=-2,56$; $p=0,013$)

Si l'on regarde plus finement les scores détaillés à la seconde visualisation, il apparaît pour les entendants signants :

- le message *changement de voie* est significativement mieux compris que le message *grève* ($t=2,67$, $p=0,014$)
- le message *retard* est significativement mieux compris que le message *grève* ($t=2,21$, $p=0,037$)
- le message *changement de voie* est significativement mieux compris que le message *passage d'un train* ($t=-2,11$, $p=0,046$)
- le message *retard* est significativement mieux compris que le message *passage d'un train* ($t=-2,10$, $p=0,047$)

Bien que les scores de compréhension soient particulièrement élevés et peu discriminants au niveau global, des différences significatives apparaissent cependant entre les différents messages : le message de grève est notamment significativement moins bien compris que la plupart des autres messages.

Influence de l'ajout de la langue des signes aux animations graphiques

La Figure 19 propose un parallèle entre les scores binaires moyens de compréhension à la seconde visualisation (en %) pour chaque message, recueillis dans la précédente étude SURDyn 1 auprès de 36 personnes sourdes signantes (moy. âge = 33,0, sd = 13,9) et ceux de SURDyn 2 (moy. âge = 33,3, sd = 8,7) pour le groupe des sourds signants.

Il est tout d'abord intéressant de noter que l'âge moyen est très proche entre ces deux groupes. De plus, on remarque une très nette progression entre les performances de compréhension de SURDyn 1 où seuls les graphiques animés étaient présents et celles de SURDyn 2 qui proposaient le couplage entre Jade et les animations graphiques. Notons que le message qui bénéficie le plus de cet apport est le message de « perturbation générale en raison de mouvements de grève » : il passe de 35 à 96 %.

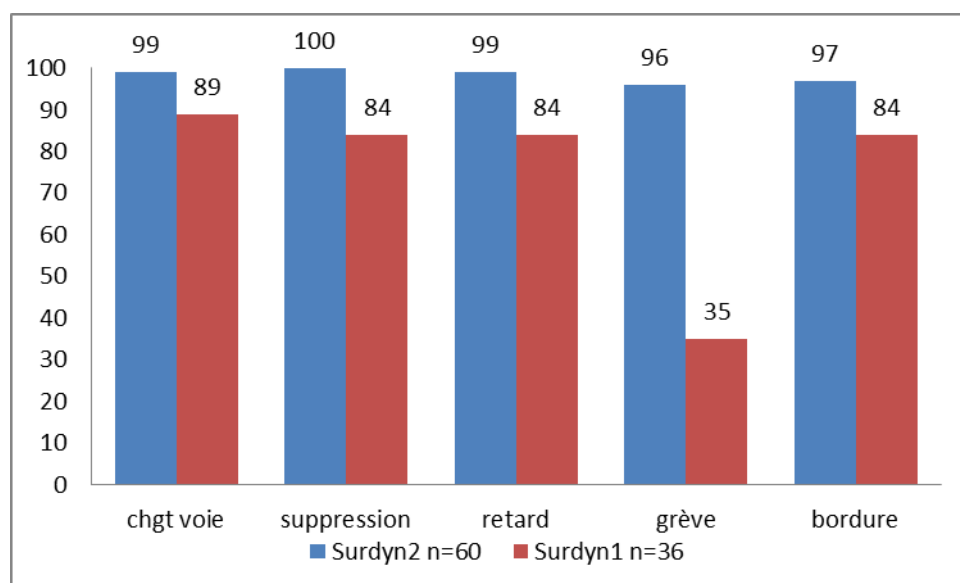


Figure 19 : Pourcentages moyens de compréhension pour SURDyn 1 et SURDyn 2 (score binaire, seconde visualisation) pour les sourds signants

4.3.4 ANALYSE DE LA TACHE DE PREFERENCE

La tâche de préférence consistait à présenter au participant des paires d'un même message dans deux formats différents. La préférence du participant était recueillie pour chaque paire. Le nombre de paires présentées a tout d'abord été de 9, puis est passé à 13 lorsqu'à l'issue des traitements des premiers passages, le constat a été fait que certaines présentations manquaient.

Dans un premier temps, les résultats bruts des différentes comparaisons de paires sont présentés, puis deux autres analyses sont proposées :

- la première utilise uniquement le résultat des comparaisons (relations d'ordre) pour émettre des hypothèses d'ordre général sur les facteurs qui influencent la perception des messages.
- la deuxième utilise l'ensemble des résultats de la tâche de préférence et permet d'attribuer un score à chaque modalité de présentation des messages en utilisant l'algorithme développé par Bradeley, Terry et Luce (Bradley & Terry, 1952; Luce, 1959) pour l'exploitation de résultats de comparaison de paires. Cette deuxième méthode permet d'affiner l'analyse obtenue précédemment en classant notamment les facteurs par ordre d'importance.

Les personnes non signantes étant très peu nombreuses dans l'échantillon des participants, le choix a été fait de ne conserver que les personnes signantes, et de ne pas distinguer les personnes sourdes des personnes entendantes. Le petit effectif des personnes entendantes ne permet pas une analyse séparée. L'analyse est donc menée à partir des résultats obtenus avec les personnes signantes ayant réalisé la tâche de préférence.

Résultats bruts

Les résultats bruts des comparaisons de paires sont présentés dans le Tableau 8.

	Paire1	Paire2	Paire3	Paire4	Paire5	Paire6	Paire7	Paire8	Paire9	Paire10	Paire11	Paire12	Paire13
1 ^{er} format	DSJ	ATJJP	ABJJP	ATJJP	ATJPJ	ATJJP	ATJPJ	ABJJP	ABJPJ	SBI	SBJ	ABJPJ	ABJJP
Effectif préf..	10	40	29	6	11	20	9	36	31	13	23	17	24
2 ^e format	SBJ	ATJPJ	SBJ	ABJJP	DSJ	DSJ	ABIPJ	ABJPJ	ABIPJ	DSJ	SBI	SBJ	ABIJP
Effectif préf..	18	28	40	22	57	49	18	33	38	15	45	52	44
Effectif total	28	68	69	28	68	69	27	69	69	28	68	69	68
% du format préféré	64	59	58	79	84	71	67	52	55	53	66	75	65

Tableau 8 : Résultats bruts des comparaisons de paires

ABJ : Alternance par Bloc Juxtaposé ; DSJ : Démarrage Synchronisé Juxtaposé ; ATJ : Alternance Totale Juxtaposé ; ABI : Alternance par Bloc Intégré ; Synchronisation par Bloc Intégré ; Synchronisation par Bloc juxtaposé – L'extension JP signifie que Jade précède les graphique animés, l'extension PJ les graphiques précèdent Jade dans l'alternance temporelle.

La ligne « Effectif total » indique le nombre de comparaisons effectuées pour chaque paire. Ce nombre diffère selon les paires car chacun des participants n'a pas eu à examiner toutes les paires proposées, celles-ci étant réparties aléatoirement entre plusieurs listes prédéfinies, qui n'ont pas toutes pu être utilisées. Chaque colonne du tableau correspond à une comparaison entre deux formats. La ligne « 1er format » indique le nom de la première

modalité de format proposée dans la paire ; la ligne suivante « Effectif préf. » indique le nombre de participants qui l'ont préférée. La ligne « 2e format » correspond à la seconde modalité de la paire et est suivie du nombre de participants qui l'ont préférée (« Effectif préf. »). Pour une paire (colonne) donnée, l'effectif le plus élevé est indiqué en rouge. La dernière ligne du tableau indique en rouge aussi, le pourcentage du format préféré dans la paire.

Analyse des relations d'ordre

Dans un premier temps, nous adoptons une représentation des résultats de la tâche de préférence sous la forme d'un graphe orienté où chaque flèche représente une relation de préférence (cf. Figure 20). Ainsi, une flèche pointant de la modalité A vers la modalité B indiquera que B est préféré à A. Pour alléger les notations dans l'analyse qui suit, nous noterons $B > A$.

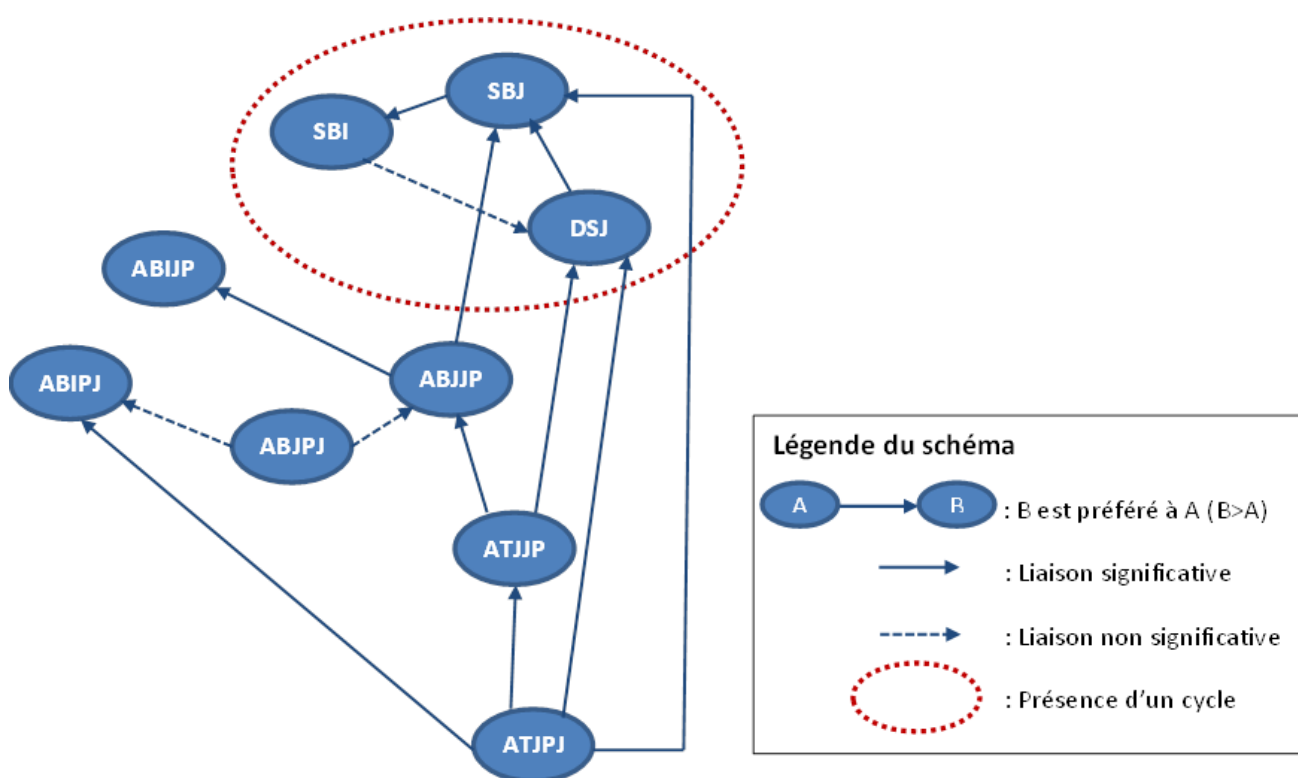


Figure 20 : Graphe des préférences entre formats

Avant toute interprétation, il y a lieu d'être particulièrement vigilant sur le résultat de ces comparaisons lorsque les deux modalités sont choisies quasiment le même nombre de fois. En raison du faible nombre de comparaisons effectués, cela entraîne souvent des résultats de comparaison peu significatifs. On peut d'ores et déjà préciser que les comparaisons ABJJP/ABJPJ, ABJPJ/ABIPJ et SBI/DSJ donnent des résultats peu significatifs.

Alors qu'on s'attendrait à une transitivité dans les résultats de la tâche de préférence (si $A > B$ et $B > C$, alors $A > C$), nous notons la présence d'un cycle que nous avons mis en évidence par une ellipse rouge qui met justement à mal cette hypothèse. Ceci pourrait s'expliquer par la taille de l'échantillon.

A la vue d'un tel graphique, il est possible de dégager les facteurs suivants qui peuvent influencer la préférence :

- L'ordre de présentation Jade puis Pictogramme est préféré à l'ordre de présentation Pictogramme puis Jade car ABJJP>ABJPJ et ATJJP>ATJPJ
- La modalité Intégrée est préférée à la modalité Juxtaposée car SBI>SBJ et ABIJP>ABJJP
- La Synchronisation par Bloc est préférée à l'alternance par bloc car SBJ>ABJJP et SBJ>ABJPJ (car SBJ>ABJJP et ABJJP>ABJPJ)
- La Synchronisation par Bloc est préférée à l'alternance totale car SBJ>ATJJP (SBJ>ABJJP>ATJJP) et SBJ>ATJPJ
- L'alternance par bloc est préférée à l'alternance totale car ABJJP>ATJJP

Notons toutefois que dans le raisonnement précédent, nous faisons une hypothèse implicite que les variables de synchronisation, d'ordre de présentation et de contigüité spatiale agissent indépendamment les unes des autres sur la préférence des participants.

Analyse par score

Pour confirmer cette première analyse, nous attribuons un score à chaque modalité à partir de la tâche de comparaison en utilisant l'approche de Bradeley-Terry-Luce [BTL] (Bradley & Terry, 1952; Luce, 1959)⁴ ce qui nous permet d'aboutir aux scores figurant dans le Tableau 9.

	SBI	SBJ	DSJ	ATJJP	ATJPJ	ABIJP	ABIPJ	ABJJP	ABJPJ
Score	0,72617	0,56976	0,35451	-0,8239	-1,1506	0,76932	-0,2874	0,16319	-0,321

Tableau 9 : Scores associés aux formats de couplage selon l'approche de Bradeley et al.

Les scores semblent indiquer que la modalité préférentielle des participants signants est la modalité ABIJP (Alternance par Bloc, Intégrée, Jade puis Pictogramme). En réalité, il y a lieu d'être extrêmement prudent sur l'interprétation de ce score, tant il peut être influencé par un simple changement portant sur une comparaison. A titre indicatif, il suffit de modifier la préférence d'un sujet dans la tâche 13 (cf. Tableau 8) pour que la modalité SBI (Synchronisation par Bloc Intégrée) apparaisse finalement comme la préférée de la majorité des participants. A cette étape de l'analyse, nous pouvons au plus émettre l'hypothèse que la meilleure modalité se trouvera parmi SBI, SBJ, DSJ et ABIJP.

Pour essayer de mesurer plus précisément l'influence de chaque facteur, nous calculons la différence de score engendrée par le changement de paramètre (synchronisation, ordre de présentation et contigüité spatiale) en prenant séparément chaque paramètre. Nous notons S_{xxx} le score de la modalité xxx .

Influence de la contigüité spatiale :

$$\Delta_{ij} = ((S_{sbi} - S_{sbj}) + (S_{abijp} - S_{abipj}) + (S_{abjpp} - S_{abjpp})) / 3 = 0,2654$$

Influence de l'ordre d'alternance :

$$\Delta_{jppj} = ((S_{atjpp} - S_{atjpp}) + (S_{abjpp} - S_{abjpp}) + (S_{abijp} - S_{abipj})) / 3 = 0,5681$$

Influence de la synchronisation temporelle :

$$\Delta_{sab} = ((S_{sbi} - S_{abijp} / 2 - S_{abipj} / 2) + (S_{sbj} - S_{abjpp} / 2 - S_{abjpp} / 2)) / 2 = 0,5670$$

$$\Delta_{abat} = ((S_{abjpp} - S_{atjpp}) + (S_{abjpp} - S_{atjpp})) / 2 = 0,9083$$

⁴ Le modèle BTL est souvent appliqué aux données de comparaison par paires lorsque l'on souhaite ordonner les préférences. (Cf. http://en.wikipedia.org/wiki/Pairwise_comparison).

A partir des résultats qui précèdent, nous pouvons émettre l'hypothèse que les facteurs influençant la tâche de préférence sont par ordre d'importance décroissant : la synchronisation temporelle, l'ordre d'alternance et la contigüité spatiale.

4.3.5 ANALYSE DES TRAJECTOIRES OCULAIRES

Deux approches utilisant les données oculométriques sont présentées successivement. La première concerne l'analyse des temps de fixations oculaires en étudiant plus précisément le temps passé sur les éléments du design visuel selon les formats des messages. Cela permet de comprendre ce que les participants regardent le plus attentivement en fonction du format de présentation, ce qui permet également de faire des hypothèses sur les stratégies d'appréhension des messages.

La seconde approche concerne les saccades ou les transitions entre les différents éléments composant le design visuel. Cela permet de déterminer à quel moment les participants passent d'un élément à l'autre (de Jade aux éléments graphiques et vice-versa). Cela permet aussi de faire des hypothèses sur les formats les plus adaptées pour une meilleure prise d'information.

Analyse des temps de fixations oculaires

Cette partie des résultats qui concerne l'analyse des temps de fixations des mouvements oculaires ne concerne que les 44 participants à la première série de recueils (la seconde phase est en cours d'analyse). La répartition de ces participants dans les différentes conditions expérimentales est énoncée dans le Tableau 10.

	Sourd					Entendant			
	LSF+		LSF-			LSF+		LSF-	
	J	I	J	I		J	I	J	I
AT	13		2		AT	7		1	
DS	5		0		DS	3		0	
AB	0	0	0	0	AB	0	0	0	0
SB	3	5	0	0	SB	3	2	0	0

Tableau 10 : Répartition des 44 premiers participants (28 sourds et 16 entendants) dans les différentes conditions expérimentales

Construction des aires d'intérêt pour l'analyse des fixations oculaires

Pour analyser les mouvements des yeux, nous avons construit, avec le logiciel Tobii Studio, des aires d'intérêt (AOI). Celles-ci correspondent à une délimitation de la scène visuelle afin de ne s'intéresser qu'aux mouvements effectués par les yeux dans cet espace.

Nous avons donc choisi de différencier plusieurs éléments des scènes visuelles : tout d'abord l'avatar Jade (entouré en rouge sur les deux formats présentés sur la Figure 21) et le graphisme (entouré en vert sur la Figure 21). Chacun de ces deux éléments a été décomposé en plusieurs éléments. Pour Jade, nous avons créé quatre AOI : la tête, le buste,

le côté droit et le côté gauche. La partie graphisme est décomposée en deux parties : l'avertissement et l'animation. Ces différentes zones figurent en coloré sur la Figure 21.

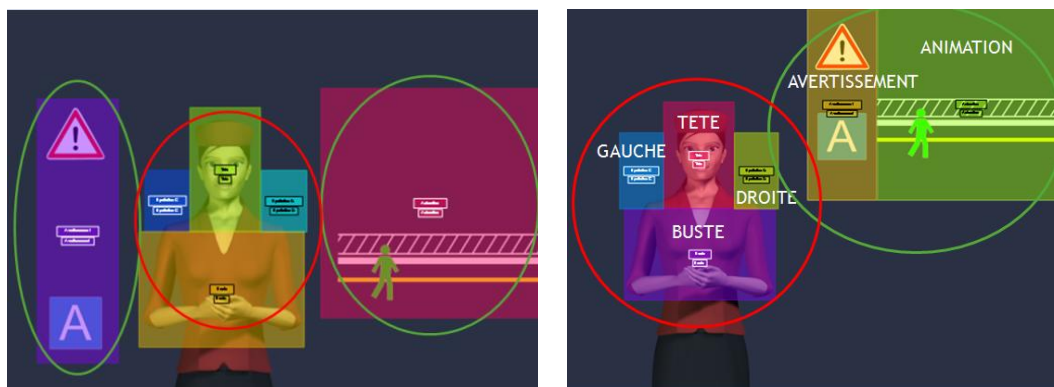


Figure 21 : AOI pour le format intégré (à gauche) et le format juxtaposé (à droite)

Résultats des temps de fixations

Les résultats concernent la durée des fixations oculaires sur les AOI, soit le temps que les participants passent à regarder l'avatar et les graphismes animés. Compte tenu du fait que les durées de présentation varient selon le format (par exemple le format alterné est plus long puisqu'il implique la présentation successive de Jade puis des animations ou inversement, cf. Tableau 11) nous avons rapporté le temps de fixation sur la durée totale de présentation du message.

Nous nous sommes d'abord intéressés aux effets simples du groupe (entendants versus sourds), du format du message, puis aux effets du type de message, ainsi que du couplage avatar / graphismes animés, pour finir par l'interaction entre le format et les deux AOI se rapportant à l'avatar Jade d'une part et à l'animation graphique d'autre part.

La Figure 22 illustre la différence de temps de fixation entre les participants sourds et entendants. Les personnes sourdes passent plus de temps à regarder les éléments pertinents de la scène visuelle que les personnes entendants ($F(1,40)=4,68$; $p<0,05$).

De plus, on constate que les participants ont passé plus de temps à regarder le message quand l'avatar et les graphismes animés sont synchronisés plutôt que quand leur diffusion est alternée (Figure 23) ($F(1,40)=4,68$; $p<0,05$). Cela pourrait s'expliquer par le fait que lorsque l'avatar et l'animation sont en alternance totale, l'attention est moins maintenue sur la deuxième modalité de présentation, et par conséquent les temps de fixation sont réduits. Par exemple, un participant signant qui voit tout d'abord l'avatar, le comprend en totalité ou partiellement et a donc moins besoin de maintenir son attention sur le message animé qui délivre ensuite le même contenu.

Messages	Présentation	temps (sec)	Messages	Présentation	temps (sec)
Changement voie	ABI JP	26	Grève	ABI JP	23
	ABI PJ	26		ABI PJ	23
	ABJ JP	26		ABJ JP	23
	ABJ PJ	26		ABJ PJ	23
	ATJ JP	28		ATJ JP	25
	ATJ PJ	28		ATJ PJ	25
	DSJ	14		DSJ	12
	SBI	14		SBI	12
	SBJ	14		SBJ	12
Retard	ABI JP	30	Suppression train	ABI JP	26
	ABI PJ	30		ABI PJ	26
	ABJ JP	30		ABJ JP	26
	ABJ PJ	30		ABJ PJ	26
	ATJ JP	32		ATJ JP	28
	ATJ PJ	32		ATJ PJ	28
	DSJ	16		DSJ	14
	SBI	16		SBI	14
	SBJ	16		SBJ	14
Bordure de quai	ABI JP	21			
	ABI PJ	21			
	ABJ JP	21			
	ABJ PJ	21			
	ATJ JP	23			
	ATJ PJ	23			
	DSJ	11			
	SBI	11			
	SBJ	11			

Tableau 11 : Durée totale de chaque message en fonction de son format

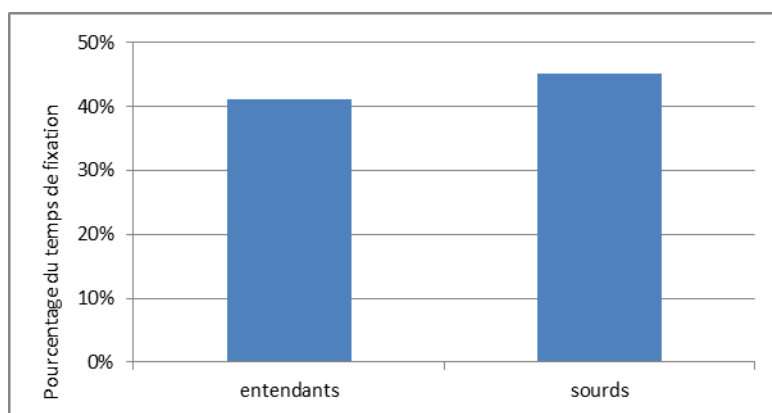


Figure 22 : % de temps moyen de fixation passé à regarder l'avatar et les graphismes par les sourds (n=28) et les entendants (n=16)

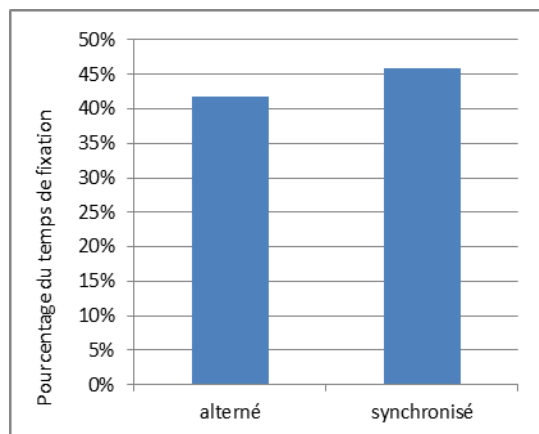


Figure 23 : % de temps moyen de fixation passé à regarder l'avatar et les graphismes selon le format alterné versus synchronisé (n=44)

En comparant les temps de fixation sur l'avatar et les animations graphiques, nous constatons que l'avatar est regardé plus longuement (Figure 24) ($F(1,40)=184,84$; $p<0,01$). Cependant cet effet de l'attractivité de l'avatar varie en fonction du format (Figure 25) ($F(1,40)=131,80$; $p<0,01$). En effet, en modalité synchronisée, les participants regardent davantage Jade que les graphismes animés. Ceci semble aller dans le sens de l'attractivité du caractère humanoïde de Jade. Ceci dit, tous les participants excepté un, maîtrisaient la langue des signes. Nous devrions observer d'autres résultats avec le groupe contrôle d'entendants ne maîtrisant pas la langue des signes : des temps plus élevés de fixation sur les animations sont à prévoir.

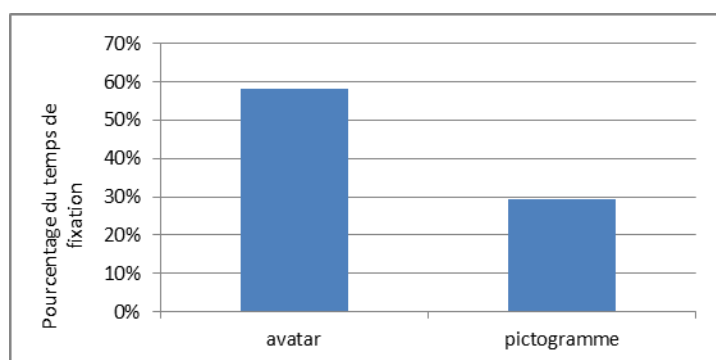


Figure 24 : % de temps moyen de fixation passé à regarder l'avatar et l'animation graphique

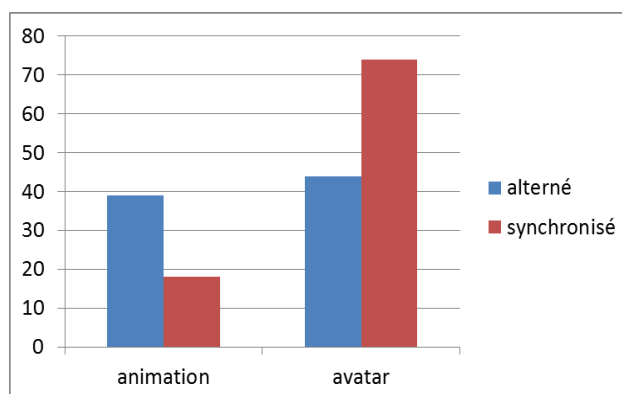


Figure 25 : % moyen de temps de fixation en fonction du format (animé vs synchronisé) et selon le message (Jade vs animation graphique)

Analyse des transitions oculaires

Nous proposons ici une analyse complémentaire de l'analyse des temps de fixations des trajectoires oculaires exposée dans la partie précédente qui met davantage l'accent sur le déroulé temporel de la trajectoire oculaire.

En raison du faible effectif des groupes de participants non signants, l'analyse présentée ici ne porte que sur les participants signants, entendants et sourds.

Stratégies visuelles des messages en format synchronisé

Nous avons choisi de focaliser notre analyse sur les modalités SBI et SBJ (Synchronisation par Bloc Intégré / Juxtaposé). Comme les informations sont systématiquement diffusées simultanément en LSF et avec les animations graphiques, le participant se trouve face à un dilemme qui le conduit à privilégier à chaque instant une modalité.

Comme les différences de stratégies visuelles entre sourds et entendants sont loin d'être significatives et reproductibles, nous choisissons d'analyser l'ensemble de la population signante disponible.

Le diagramme de la Figure 26 donne une vision synthétique de ce qui se passe lorsque les participants regardent un message. Nous avons choisi pour cette illustration le message « perturbation générale pour cause de grève », mais le résultat obtenu est très proche de celui des autres messages du projet.

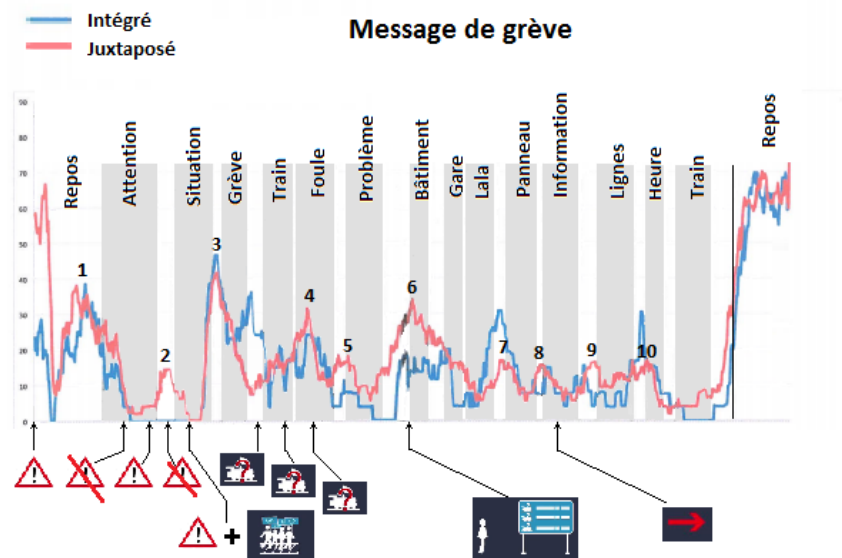


Figure 26 : Vision synthétique de la stratégie de lecture – message grève, formats intégrés et juxtaposés

Les courbes bleue et rouge représentent, en fonction du temps, la part de personnes fixant les graphiques animés dans les messages ayant respectivement la modalité intégrée et la modalité juxtaposée. Pour déterminer ce ratio, nous avons utilisé un partitionnement simpliste de l'espace du message en bandes verticales : la bande verticale autour du signeur virtuel correspond à la région d'intérêt associée au signeur virtuel, le reste de l'image

correspond à une fixation des graphiques animés. Les zones grises du diagramme correspondent aux signes réalisés par le signeur virtuel et les interstices entre ces bandes grises correspondent aux transitions entre les signes. En dessous du diagramme, nous indiquons les instants d'apparition des graphiques animés. Un graphique barré d'un trait rouge indique sa disparition.

A chaque pic de fixation des graphiques, nous associons un numéro. En annexe 3, figurent les impressions d'écran de la fusion des trajectoires oculaires des différents participants ayant fixé le message à ces instants.

A partir du diagramme de la Figure 26, nous inférons le comportement suivant des participants :

- Durant les premiers instants avant que le signeur virtuel n'apparaisse, les participants fixent majoritairement le centre de l'écran. Cela explique pourquoi au moment où le signeur apparaît, la part des participants qui ne regardent pas le signeur virtuel est plus importante pour la modalité juxtaposée (où le signeur virtuel se trouve sur le côté de la vidéo) que pour la modalité intégrée (où le signeur virtuel se trouve au centre de l'écran).
- Après l'apparition du panneau attention, on observe un premier pic de fixation (pic 1) qui est moindre pour sa deuxième apparition (pic 2) et même inexistant pour la modalité intégrée.
- Après l'apparition du graphisme faisant référence à la grève, les participants semblent attendre la fin du signe [situation] pour pouvoir porter leur attention sur le graphisme (pic 3).
- Les trois trains agrémentés d'un point d'interrogation apparaissent l'un après l'autre en dégradé progressif et la proportion des participants qui les regardent augmente progressivement jusqu'à atteindre un maximum (pic 4).
- Les participants profitent ensuite des transitions entre les signes [Foule] et [problème] (pic 5), et [problème] et [Bâtiment] pour fixer les « trains incertains ».
- Ensuite, c'est toujours entre l'effectuation des signes que les pics de fixation des graphismes ont lieu (pics 7 à 10).
- Enfin, lorsque Jade arrête de signer, plus de 70 % des participants effectue un balayage global sur l'image.

Ainsi, l'un des principaux enseignements que nous pouvons tirer d'une telle analyse est que, loin d'adopter une stratégie qui consiste à regarder les images dès leur apparition, les participants tentent d'optimiser leur temps d'attention de manière à regarder les animations graphiques pendant les transitions entre les signes.

Différences entre modalité intégrée et modalité juxtaposée

Lorsque l'on examine le graphique de la Figure 26, il apparaît que les va-et-vient du regard des participants entre Jade et les animations graphiques est plus important pour la modalité intégrée que pour la modalité juxtaposée. Cependant, cette impression peut aussi être due au fait que dans le cas de la modalité intégrée, une trajectoire oculaire allant de la zone de

graphismes à gauche du signeur à la zone de graphismes à droite du signeur survole nécessairement le signeur virtuel.

Nous avons réitéré l'analyse que nous présentions pour le message de grève pour les autres messages SURDyn 2 (à l'exception du message de retard que nous n'avons pas pu traiter par manque de temps) afin de tenter de dégager des différences systématiques entre les modalités intégrées et juxtaposées. Dans les faits, bien que les différences de stratégies soient évidentes, nous ne notons pas d'écarts systématiques en termes de part de participants fixant les graphismes animés ou en termes de délais entre l'apparition des graphismes animés et les pics de fixation.

En fait, lorsqu'on regarde les différences graphique par graphique, c'est la distance entre la tête du signeur virtuel et le graphique concerné qui semble être déterminante. Paradoxalement, les graphiques ne sont pas forcément plus proches de la tête dans la modalité intégrée. Il suffit pour s'en convaincre de regarder la Figure 27. Pour être indépendant vis-à-vis de la résolution d'affichage, nous choisissons d'exprimer les distances relativement à la hauteur de la présentation.

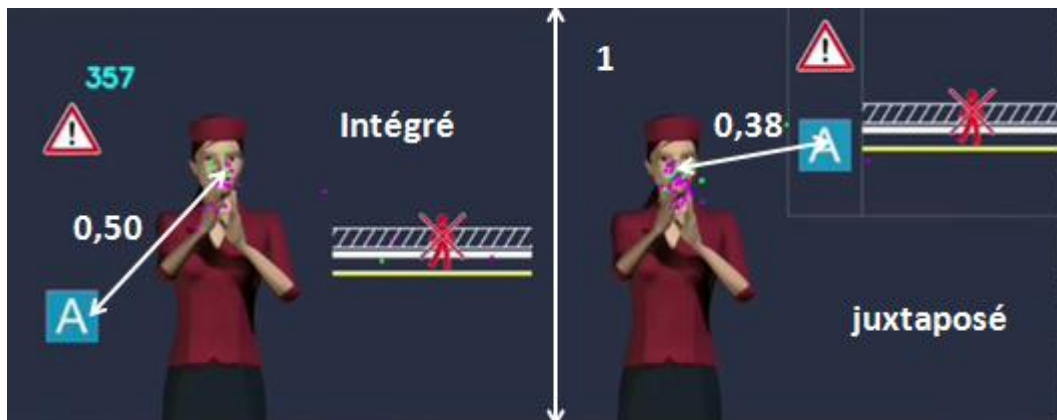


Figure 27 : Distances entre la tête du signeur virtuel et les graphismes animés

Dans les formats couplés que nous avons analysés, nous avons la chance d'avoir plusieurs fois les mêmes graphismes à des positions différentes par rapport à la tête. Nous notons donc pour chaque format la distance relative entre la tête et le graphique, la hauteur du pic de fixation (c'est-à-dire combien de personnes au maximum fixent les graphismes en même temps), la modalité et le type de graphique. Les résultats chiffrés de cette analyse figurent en annexe 4.

Nous représentons ces données sur le diagramme de la Figure 28 qui présente les pics de fixation en fonction de la distance entre la tête et les animations graphiques en présentant de couleur différente les données associées à chaque graphique.

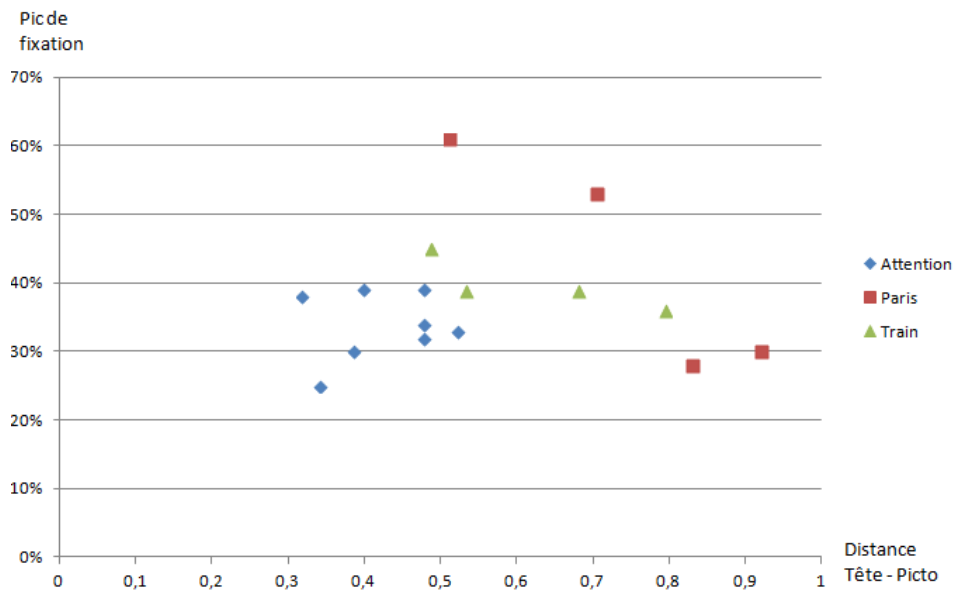


Figure 28 : Pics de fixation en fonction de la distance tête-graphisme

Il y a lieu de rester prudent dans l'interprétation des données en raison de la quantité limitée de données dont nous disposons. Cependant, il semblerait qu'il y ait une conjonction de deux phénomènes :

- 1) Les panneaux « attention » ont une signification quasiment immédiate, leur présence est systématique dans tous les messages et leur place est relativement proche de la tête. Ils semblent être légèrement plus fixés au fur et à mesure de leur éloignement de la tête. A-t-on là, un effet d'une vision périphérique qui ne serait mobilisable que dans le cas d'un graphisme proche de la tête ? Une étude plus approfondie serait nécessaire pour confirmer ces résultats.
- 2) En revanche, pour les symboles plus éloignés de la tête comme le « train » qui comporte également un numéro qu'il faut lire et l'inscription du panneau « Paris », les pics de fixation semblent être de moins en moins grands au fur et à mesure de l'éloignement entre la tête de l'avatar et les graphismes. Cela pourrait selon nous avoir plusieurs origines :
 - a) Lorsque l'animation graphique est plus éloignée du signeur virtuel, il n'y a matériellement plus assez de temps pour faire un va-et-vient entre le graphisme et le signeur virtuel et les participants se concentrent donc sur la LSF.
 - b) Lorsque l'animation graphique est plus éloignée, le fait de décrocher de la LSF pour aller la voir demande du temps et le décrochage est différé. Dans ce cas, cela impliquerait que le temps moyen de fixation du graphisme par participant, sommé sur l'ensemble du message, devrait être peu dépendant de l'éloignement entre la LSF et le graphisme.
 - c) L'attraction des graphisme est moindre lorsqu'ils sont éloignés du point fixé par le participant (en l'occurrence, le visage).

Ici aussi, des expériences complémentaires seraient nécessaires pour confirmer ces observations.

Retours des participants

Au-delà des informations quantitatives que nous tirons des résultats de la tâche de comparaison, nous souhaitons lister ici un certain nombre de remarques qui nous ont été faites durant les visualisations des formats couplés (que ce soit d'ailleurs au cours de la tâche de préférence ou non) et qui nous permettent de nous éclairer sur les préférences des personnes maîtrisant la LSF pour l'un ou l'autre des formats.

Plusieurs suggestions nous ont été faites lors des expérimentations en situation :

- « *C'est très appréciable d'avoir une synchronisation entre les signes et les pictogrammes correspondants, un décalage me gênerait.* » (Personne entendante non signante).
 - Cela plaide pour la modalité synchronisée par bloc.
- « *Je souhaiterais que les images soient affichées légèrement après la LSF pour pouvoir davantage me concentrer sur la LSF.* » (Personne sourde signante).
 - Cela plaide pour une formule entre la synchronisation par bloc et l'alternance Jade - animation graphique)
- « *A la fin du message par pictogramme, je souhaiterais qu'il s'immobilise quelques instants.* » (Personne sourde signante)
 - En raison de la différence de durée entre le message sous forme de graphismes animés de Surdyn I et la vidéo en LSF, cette immobilisation des animations du message en graphismes intervient dans la modalité DSJ.

Analyse complémentaire sur la comparaison entre les stratégies visuelles d'un signeur virtuel vs signeur réel

Les mouvements oculaires des participants ont été enregistrés pendant qu'ils visualisaient les consignes formulées par un signeur réel affiché en vidéo. Le cadrage de la vidéo et l'habillement du signeur ont été choisis de manière à maximiser la similarité avec le signeur virtuel des montages SURDyn 2. Bien que les messages de consignes ne soient pas identiques aux messages SURDyn 2 dans leur contenu, on peut tout de même faire un certain nombre d'observations sur les stratégies de lecture des vidéos.

D'un point de vue spatial, on observe que les zones de fixation des participants sont les mêmes sur le signeur réel et sur le signeur virtuel. Cela est très visible sur les représentations en carte de chaleur (cf. Figure 29). On observe globalement que le regard des participants se focalise principalement autour de la tête, et qu'une zone correspondant à la zone d'épellation (à droite du visage du signeur dans le repère du signeur) est également fréquemment fixée.

Ce résultat est d'une importance capitale, car il met en évidence la richesse du signeur virtuel en expression faciale. En effet, lorsqu'un signeur virtuel a trop peu d'expressions du visage, les participants focalisent leur attention sur les mains du signeur (WebSourd 2011, partie 3.1.2).

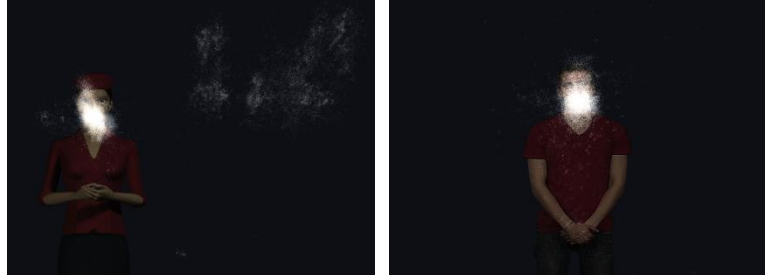


Figure 29 : Comparaison des zones de fixation pour un signeur réel (à droite) et virtuel (Jade à gauche)

Pour aller plus loin dans l'analyse, nous observons qualitativement les moments auxquels sont effectués les décrochages du regard de la tête vers les mains. Nous notons que ce décrochage se produit dans les cas suivants, que ce soit pour le signeur virtuel ou pour le signeur réel :

- Au début et à la fin des vidéos (lorsque le signeur est statique)
- Pendant les épellations et les chiffres (voir le cas de Jade sur la Figure 30)
- Dans les signes effectués loin de la tête
- Dans les structures de transfert (Cuxac, 2000)

Les décrochages semblent être plus fréquents pour les entendants signants que pour les sourds signants. Cependant, on ne peut exclure le fait que cette différence de focalisation soit due à une variabilité de niveau de LSF, les entendants signants de notre échantillon ayant en moyenne un niveau de LSF plus faible que les sourds signants.

Les sourds et plus particulièrement les sourds oralistes semblent plus fixés sur la bouche.



Figure 30 : Points de fixation du regard lors de réalisation d'un chiffre par Jade

Nous retrouvons ainsi un certain nombre de résultats déjà disponibles dans la littérature pour des vidéos de signeurs réels, et montrons qu'ils sont également valables pour des signeurs virtuels :

- Les participants fixent principalement le milieu de la tête d'un signeur lorsqu'ils regardent la vidéo (Muir et al. 2003).
- Les personnes débutantes en langue des signes effectuent plus souvent des décrochages. Les structures utilisant des classificateurs⁵ sont des moments privilégiés de

⁵ Un classificateur est un élément de la grammaire LSF servant à désigner une forme spatiale ou un objet, rappelant au mieux l'objet ou le personnage qu'il désigne (« classifier predicate » en anglais).

décrochage. Plus généralement, le participant suit le regard du signeur présent dans la vidéo (Emmorey et al. 2009).

5 EXPERIMENTATION EN SITUATION REELLE

5.1 OBJECTIFS

L'expérimentation en laboratoire ayant permis d'évaluer la compréhension des différents messages couplés, de recueillir les préférences des personnes participantes ainsi que les stratégies de lecture des messages, l'objectif de l'expérimentation en situation réelle a été de tester leur acceptabilité dans des conditions les plus proches possibles d'une vraie situation de réception des messages par un voyageur circulant dans une gare. Plus précisément, il s'agissait de tester l'influence de facteurs liés à la situation réelle sur la compréhension des messages : le fait pour la personne d'être « en situation de déplacement » dans une gare, l'espace public, la présence d'autres voyageurs, l'ambiance sonore, les variations d'éclairage, L'objectif était également d'évaluer l'acceptabilité d'un tel mode de diffusion de l'information.

Cette transposition en situation réelle nécessitait d'adapter le mode de diffusion des messages, car leur diffusion sur des écrans aurait nécessité une plus ample collaboration avec la SNCF qui n'a pas pu être organisée dans ce contexte. Le choix a donc été fait de diffuser les messages sur une tablette confiée aux personnes volontaires pour l'expérimentation. Ce choix de faire parvenir l'information directement à la personne via un support mobile préfigure de futures implantations sur téléphones portables. L'idée était toutefois de conserver dans un premier temps une taille de diffusion suffisante (tablette avec un écran de 23 cm) pour pouvoir diffuser les messages avec les formats ayant été testés en laboratoire sur écran d'ordinateur. Le transfert sur téléphone mobile nécessite en effet un autre type de réflexion sur le format du message à diffuser en fonction de la taille de l'écran de diffusion.

Pour le choix des messages à tester en situation écologique, ce sont les messages « changement de voie », « retard » et « annulation » qui ont été utilisés, car ce sont ceux qui avaient été les mieux compris. Pour le choix du format, le format « SBI » (Synchronisé par Blocs Intégré) a été retenu, car à l'issue des premiers résultats de l'expérimentation en laboratoire, c'est celui qui apparaissait à la fois comme le mieux compris et l'un des préférés.

5.2 MÉTHODOLOGIE

C'est la gare ferroviaire de Toulouse qui a été choisie pour la mise en situation. Deux types de personnes étaient ciblées : les personnes sourdes ou malentendantes signantes et les personnes entendant non signantes.

Un protocole expérimental détaillé a été conçu. Il est résumé ici :

Phases de l'expérimentation

1. Explications, consignes et mise en situation

Le participant est informé du but de l'expérimentation (test d'un système d'information visuelle) et de la manière dont va se dérouler l'expérimentation. Des consignes génériques lui sont données (dont « tenir la tablette horizontale et à deux mains »).

2. Familiarisation avec les messages

Les messages « perturbation due à un mouvement de grève » et « éloignez-vous de la bordure du quai » sont utilisés dans cette phase.

3. Réalisation de la tâche prescrite

Démarrage devant le panneau d'affichage. On communique au participant le numéro, l'horaire et la destination d'un train (réellement affiché en gare) afin qu'il commence à s'acheminer vers le quai correspondant. Au bout de quelques minutes (nombre variant suivant la configuration), il reçoit sur la tablette le message de *changement de voie* qui lui indique une nouvelle voie sur laquelle il doit se rendre. Quelques minutes plus tard, le message *d'annulation* du train lui est envoyé.

Les actions du participant sont observées et chronométrées, son cheminement est retranscrit (par un expérimentateur/observateur).

4. Debriefing au cours duquel le participant répond à quelques questions et livre ses impressions à propos de l'expérimentation et des messages.

Matériel

Les messages apparaissent sur l'écran d'une tablette tactile. Un vibreur est connecté à la tablette de manière à prévenir la personne qu'une information lui parvient.

Recueils expérimentaux

- Informations sur le participant : caractéristiques en termes d'audition, maîtrise de la LSF et du Français, habitudes en matière de transports et pour l'utilisation de l'outil informatique.
- Descriptif du parcours effectué, décrit de manière textuelle, avec recueil associé des éléments de contexte et des réactions du participant.
- Ressenti du participant lors de l'expérimentation et suggestions d'amélioration exprimées (phase de débriefing).

5.3 RÉSULTATS

5.3.1 DEROULEMENT DE L'EXPERIMENTATION

Les expérimentations ont eu lieu entre le 14 et le 16 octobre 2013 dans un contexte de mouvement social des TER Midi-Pyrénées. Ce facteur imprévu a engendré une grande variabilité dans les situations observées puisque les participants ont été confrontés à des piquets de grève, du tractage de manifestants et une présence policière importante durant les parcours dans la gare. Ces conditions expérimentales tout à fait dans l'esprit de notre projet de production d'informations dans les « situations de crise » explique que certains messages initialement préparés avec de vrais numéros de trains en partance se sont révélés non directement réalistes en situation.

Au total, 8 personnes ont participé à cette expérimentation en situation, dont 6 personnes sourdes ou malentendantes et 2 personnes entendantes.

5.3.2 SYNTHÈSE DES ÉLÉMENTS RECUEILLIS

Les analyses croisées des différents parcours et des réactions des participants nous permettent de proposer plusieurs pistes d'amélioration et d'utilisation des messages en vue

d'une utilisation grand public. Dans cette synthèse, nous montrons d'abord comment les messages du projet SURDyn 2 ont été utilisés en conjonction avec l'environnement, avant de proposer des pistes concrètes pour leur intégration dans des dispositifs fixes ou mobiles.

Stratégie de lecture

D'une manière générale, d'après les entretiens de debriefing une à deux visualisations du message ont été nécessaires pour comprendre les messages. La première servait à comprendre le sens global (par exemple : changement de voie, suppression de train). La seconde servait à vérifier que le message avait été bien compris et à vérifier les informations de voie ou de numéro de train.

Tous les participants ont compris sans problème le message et la plupart a même assuré n'avoir eu besoin que d'une visualisation. Cependant, la stratégie de lecture variait en fonction des compétences linguistiques des participants :

- Pour les personnes sourdes, majoritaires dans l'expérimentation, le message en LSF était la plupart du temps regardé en premier et les graphiques servaient à vérifier la bonne compréhension du message durant la ou les visualisation(s) ultérieure(s).
- Pour les personnes entendantes, les graphiques étaient utilisées en première lecture, puis la LSF était prise en compte dans un second temps, plus comme un sujet de curiosité. La présentation simultanée des graphiques et des signes correspondant a été appréciée par l'une des personnes entendantes, qui était en apprentissage de la langue des signes.

Rappelons que les messages présentés étaient en modalité intégrée, avec le signeur virtuel affiché au centre de l'image et les animations graphiques affichées autour. Plusieurs critiques ont été formulées à l'encontre du mode de présentation retenu :

- Pour l'un des participants sourds signants (qui a effectué la pré-expérimentation), les images agissaient comme distracteur et ce participant aurait souhaité que ces graphiques animés soient affichés légèrement après le début du signe, de manière à ce que l'œil ne soit pas attiré automatiquement par l'animation.
- Pour l'un des participants entendant, le signeur virtuel et les animations graphiques auraient dû être plus clairement séparés, avec éventuellement des plages de couleur de fond différentes pour matérialiser les modalités différentes.

En ce qui concerne la taille des éléments, plusieurs participants ont émis le souhait d'agrandir les graphiques ainsi que la taille du signeur virtuel, en soulevant la question des personnes malvoyantes ou sourdes et malvoyantes (par exemple, les sourds atteints du syndrome d'Usher).

Interaction avec l'environnement

La grande différence de cette expérimentation en situation avec l'expérimentation en laboratoire est l'interaction avec l'environnement. Nous distinguons ici les problématiques relatives au partage attentionnel et celles relatives aux manipulations effectuées par le participant pendant le parcours entre les différents objets transportés.

Partage d'attention

En ce qui concerne le partage attentionnel, le message en lui-même, dans sa bi-modalité suppose de regarder alternativement la LSF ou les animations d'image. Dans un contexte réel, les informations doivent être agrégées aux autres informations disponibles. Nous en dressons ci-après une liste (certainement non-exhaustive), en nous basant sur nos observations :

- Message en LSF sur la tablette
- Message sous forme d'animations sur la tablette
- Billet de train
- Panneaux d'affichages de départ et arrivée de train
- Panneaux d'orientation (de repères ou de voie par exemple)
- Signaux sonores
- Configuration du lieu (par exemple trains qui sont en train de circuler, travaux)
- Autres voyageurs statiques ou en mouvement
- Smartphone (pour vérifier l'horaire de train, envoyer des SMS ou jouer)

En général, que ce soit pour les participants sourds ou entendants, la réception du message se passe en plusieurs phases :

- Durant la première phase, mobilisant certainement le plus d'attention, le participant s'immobilise et fixe le message. Il s'isole au moins mentalement des autres signaux visuels et sonores de la gare. Comme le message arrive quel que soit l'endroit où le participant se trouve, cela peut même présenter un certain danger. On peut ici citer l'exemple d'une personne sourde pendant la pré-expérimentation, qui se trouvait en bordure de quai et qui n'avait pas vu un train venir alors qu'il fixait la tablette. Tout au plus observe-t-on un partage d'attention à la fin du message entre la tablette et le billet de train pour vérifier la concordance des numéros de train.
- Durant la seconde phase, le participant est le plus souvent en mouvement et effectue un va et vient du regard entre la tablette et l'environnement qui peut être composé de panneaux d'orientation (le participant cherche la voie indiquée par le message), de panneaux d'informations sur les départs (que ce soit d'ailleurs des écrans digitaux ou des inscriptions imprimées).
- Une fois ces deux phases effectuées, le message graphique disparaît ou bien n'est plus pris en compte par le participant. Dans cette phase, certains participants ont effectué une recherche plus approfondie d'information : par exemple une vérification de l'horaire sur une application mobile ou bien une demande d'information à un agent.
- Finalement, le participant se rend au lieu désiré (quai, banc, accueil ...) en utilisant uniquement les panneaux d'orientation et en étant plus vigilant à son environnement.

Manipulation d'objets physiques

Revenons ici sur la problématique de la manipulation d'objets physiques. Nous avons observé durant tout le parcours des participants les objets qu'ils manipulaient. A titre indicatif, mentionnons pêle-mêle les sacs, bouteilles d'eau, smartphones, écharpes, manteaux, billets de train ... auxquels il faut naturellement ajouter la tablette. Il va de soi que la situation expérimentale était réductrice car dans la réalité, il faudrait également ajouter les bagages voire les enfants dont il faut tenir la main, comme nous l'a fait remarquer l'un des participants.

Dans de telles conditions d'encombrement, la tablette s'est montrée souvent inadaptée en termes de forme et il n'est pas étonnant que la consigne de tenir la tablette horizontale et à deux mains pendant tout le parcours n'ait été respectée par aucun des participants.

Notons la situation très fréquente où le participant tenait la tablette d'une main et le billet de train de l'autre de manière à pouvoir effectuer un croisement d'information, ce qui posait en plus du problème d'encombrement un problème d'espace pour pouvoir mettre la tablette et le billet côte à côte.

Se posait également le problème de lâcher temporairement les autres objets lorsqu'un message survenait. Citons à titre d'exemple l'un des participants qui commençait à prendre en main sa bouteille d'eau pour se désaltérer lorsqu'il a dû soudainement reboucher sa bouteille et la tenir sous son bras pour pouvoir regarder le message.

Dans le cas des personnes sourdes signantes, le fait d'immobiliser les deux mains empêche l'expression par la LSF.

En raison de l'encombrement, le vibreur dont nous nous sommes servi pour alerter de l'arrivée de messages pouvait être placé dans un sac, une poche de manteau, une poche de pantalon ou derrière la tablette, à la convenance du participant. Alors que tous les participants soulignaient la puissance du signal vibrant durant la présentation du protocole, il n'était pas perçu lorsqu'il était placé dans des sacs où des manteaux ne communiquant pas suffisamment les vibrations au corps. De plus, en raison du déplacement à pied, plusieurs participants ont eu du mal à ressentir les vibrations pendant qu'ils marchaient.

Retour sur la structure du message

Ce que disent les participants

Enthousiastes dans un premier temps sur les informations qui sont communiquées dans leur langue, les participants sourds signants ont vite mis l'accent sur plusieurs faiblesses de la structure du message qui apparaissent lors d'une utilisation concrète en gare :

- L'information principale arrive au bout de très longtemps. Dans le cas présent, nous avons choisi des messages d'annulation, de changement de voie et de retard ; or les informations importantes (graphiques : annulé, nouvelle voie, temps de retard) arrivaient systématiquement en dernier (notons que c'était également le cas pour les messages en langue des signes). De plus, étant donné que nous avons pris le parti de ne diffuser aux participants que les messages concernant leur train, la première partie du message précisant le numéro du train et sa destination s'avéraient non-informative.
- Par conséquent, les informations importantes sont proportionnellement celles qui s'affichent le moins longtemps. A titre indicatif, le graphique correspondant à la voie 1B s'affiche moins de 4 secondes alors que le panneau attention qui n'a finalement que peu de valeur informative s'affiche pendant l'ensemble de la durée du message.
- Une fois que le message est terminé, l'ensemble des informations disparaît, il ne faut donc compter que sur sa propre mémoire.

Pour être exhaustif, ajoutons quelques critiques supplémentaires sur le rythme des animations qui est un peu haché pour un participant et pour lequel les chiffres sont signés trop lentement. Un autre participant a pointé une incohérence au niveau des syntaxes spatiales des messages concernant les changements de voie (utilisation de l'axe horizontal pour la LSF et de l'axe vertical pour l'image).

Quelques propositions d'amélioration

Il faut mettre en regard ces critiques avec le processus de lecture des messages que nous avons décrit plus haut (lecture du message, concordance avec le billet, recherches d'informations complémentaires).

Plusieurs propositions faites par les participants semblent aller dans la même direction et donneraient une réponse satisfaisante à ces critiques :

- L'un d'eux a suggéré de ne jouer l'animation des graphiques que la première fois et de figer l'image les deux fois suivantes.
- L'autre a suggéré de laisser persister l'information sous forme de graphiques après la dernière diffusion, à la manière d'un « mémo » dont il pourrait se servir comme support de communication partagé pour communiquer avec un agent de la SNCF.

Ces deux propositions tout à fait complémentaires nous semblent donner une solution à l'ensemble des problèmes mentionnés précédemment et en gardant dans un premier temps le mouvement des graphiques qui permet de rendre les messages plus compréhensibles (cf. conclusions du projet SURDyn 1).

De plus, pour faciliter la comparaison avec les données du billet, nous proposons d'afficher dès le début, par exemple en bas du message et en gras la (ou les) destination(s) du train ainsi que son (ses) numéro(s).

Reste une critique formulée par plusieurs participants : il faudrait que le message précise finalement où aller. Cela pose problème car ce type d'information n'est pas présent dans les messages vocaux et cette proposition irait donc dans le sens d'une information différenciée en fonction du public. Or le principal motif de satisfaction des participants était précisément que nos messages étaient une transposition exacte de l'information diffusée vocalement dans la gare.

Adéquation de la tablette à l'application

Une telle application sur tablette serait-elle adaptée à un usage en gare ? Même si la tablette présente l'avantage d'avoir une large zone d'affichage qui permet un relatif confort de lecture, nombre de remarques nous permettent de conclure que le dispositif est inadapté.

Au-delà de l'encombrement que nous avons déjà évoqué, il faut souligner le désagrément d'être obligé de prendre connaissance du message visuel dans un lieu non choisi. Ceci pose plusieurs problèmes qui ont été mentionnés par les participants :

- Dans des zones de passage, la tablette pourrait être facilement volée
- Dans ces mêmes zones, il n'est pas forcément confortable de s'arrêter pour prendre connaissance du message au vu et su de tous.
- L'avertissement n'est pas forcément senti, surtout lorsque le participant est en mouvement.
- Le fait de focaliser son attention sur un message visuel rend moins vigilant aux dangers extérieurs et en particulier aux trains.
- Les zones trop lumineuses ne conviennent pas bien à regarder le message sur la tablette car le message manque de luminosité et la tablette engendre des reflets.

Toutes ces observations plaident donc pour un système d'avertissement qui soit à la fois moins encombrant et avec lequel l'utilisateur peut choisir l'instant de visualisation des messages.

6 SYNTHÈSE DES RESULTATS SURDYN 2

Les résultats présentés dans ce rapport ne concernent pas la totalité des groupes initialement prévus. Ils concernent principalement les échantillons des personnes sourdes (n=60) et entendantes (n=24) qui maîtrisent la langue des signes. Les sourds inclus dans l'étude sont comparables aux entendants concernant leur situation professionnelle, leur pratique avec l'ordinateur et la fréquence avec laquelle ils utilisent les transports ferroviaires. En revanche, les sourds sont globalement plus en difficultés avec le français écrit que les entendants, ils se déclarent également plus en difficulté dans les transports et notamment pour accéder aux informations en temps réel. Ces résultats confirment donc qu'il existe une vraie problématique en termes d'accessibilité pour les personnes sourdes dans les transports.

L'objectif de nature ergonomique est atteint : il s'avère que les personnes ayant une bonne maîtrise de la langue des signes ont fait preuve d'une très bonne compréhension des messages combinant l'avatar Jade et les messages graphiques de SURDyn1. C'est un résultat important qui permet de valider le matériel couplé que nous avons conçu. Les personnes sourdes signantes ont des taux de compréhension très élevés à la fois sur les scores binaires (notés « compris » dès l'instant où l'idée principale était appréhendée) et sur les scores détaillés (notés plus finement sur toutes les notions rapportées, par exemple « attention », « le train », « retard »...). Ce score détaillé s'était avéré plus discriminant dans les études précédentes (Paire-Ficout et al., 2013) et avait permis de faire émerger l'influence de certains facteurs (fréquence d'utilisation des transports ferroviaires, format de présentation, pratique ou non de la langue des signes, de l'ordinateur...). Par exemple, nous avons pu montrer que la fréquence d'utilisation des transports ferroviaires jouait un rôle important sur la compréhension des messages graphiques animés, nous avons également mis en évidence la supériorité du format animé sur des formats plus statiques. Ici dans cette étude, les scores (tant binaires que détaillés) ne se sont pas montrés suffisamment discriminants, rendant de fait difficile l'analyse de l'influence de ces différents facteurs. Il est vrai que les contextes de présentation entre SURDyn 1 et SURDyn 2 sont bien différents : dans SURDyn1, seule l'animation était présente et le participant ne disposait d'aucun support ni visuel ni signé. Dans SURDyn 2, le participant disposait d'une traduction en LSF comparable à un texte à lire. Les forts taux de réussite et l'absence de discrimination entre les groupes et les formats s'expliquent donc par ce constat.

Nous avons conçu un plan expérimental en vue de connaître le meilleur agencement spatial et temporel des messages couplés. Jade était soit au centre des graphiques animés (mode intégré) soit séparée (mode juxtaposé) et les deux présentations se déroulaient soit l'une après l'autre (mode alterné) soit en même temps (mode synchronisé). Six formats ont été conçus et testés auprès des deux groupes de 60 sourds signants et 24 entendants signants. Il en ressort que, comme les scores sont très élevés et peu discriminants, un format dominant n'a pas pu être dégagé de manière statistique. Il apparaît néanmoins que numériquement parlant le format le moins adapté est le format « Alternance par Bloc Juxtaposé » et que les formats qui l'emportent, bien que les différences ne soient pas significatives sont « Synchronisation par Bloc Intégré » et « Synchronisation par Bloc Juxtaposé ». Ces résultats, bien que non définitifs car ils ne concernent qu'une partie des groupes et restent fragiles compte tenu de l'absence de différence statistique, sont néanmoins en accord avec les résultats obtenus dans la tâche de préférence dans laquelle on présentait aux participants le même message dans deux formats différents. Le format

« Synchronisation par Bloc Intégré » s'avère être le format préféré. Dans le questionnaire post-test, les participants se disent moins gênés par la présence conjointe de Jade et des graphiques animés dans le mode intégré que dans le mode juxtaposé.

Une chose peut être affirmée au terme de ce travail : les personnes sourdes et entendant qui signent composent avec la présence cumulée de Jade et des messages graphiques. Les résultats à partir des données oculométriques et des réponses aux questionnaires montrent que les participants s'appuient davantage sur Jade pour comprendre le message mais qu'ils complètent également les informations en consultant les animations graphiques (notamment pour ce qui est des informations textuelles). La plupart des participants déclarent s'aider à la fois de Jade et des graphiques animés.

Le mode intégré l'emporte sur le mode juxtaposé

Nous avons fait l'hypothèse que Jade allait avoir un pouvoir d'attraction plus important que les graphiques animés du fait de sa saillance (Jade est plus dynamique dans son animation par rapport aux graphiques). C'est en effet ce que l'ensemble des résultats mettent en évidence, pour ces deux groupes de personnes maîtrisant la langue des signes. Si Jade est traitée en priorité, de façon préférentielle et naturelle, les graphiques animés servent d'appoint, ils constituent une source d'information complémentaire. Ceci est surtout vrai lorsque l'information est proche spatialement : dans le cas des formats intégrés spécialement. L'information complémentaire est située dans le prolongement de Jade et permet à l'observateur de l'englober avec un léger déplacement du regard. Lorsque Jade et les graphismes sont à distance, la possibilité d'alterner entre les deux designs de manière efficace est plus réduite. D'un point de vue cognitif, le mode intégré semble donc plus adapté car il permet d'optimiser la prise d'information conjointe des deux designs visuels ; en d'autres termes le partage attentionnel entre les deux supports est facilité quand le format est intégré. En termes de confort pour l'observateur, c'est aussi ce format intégré qui semble le plus plébiscité par les participants testés (tâche de préférence). Ces résultats sont en accord avec la littérature et notamment avec les travaux de Moreno et Mayer (1999) et Mayer (2008) qui ont montré que la proximité des stimuli visuels réduisait les traitements inutiles, coûteux sur le plan cognitif.

En analysant plus finement les stratégies oculaires, il apparaît que les participants optimisent leur prise d'information d'un design à l'autre (de Jade aux graphismes animés) en regardant les graphismes pendant les transitions entre les signes, c'est-à-dire quand il y a une toute petite pause entre deux signes. Logiquement, plus la distance entre les deux éléments à consulter est réduite, plus la prise d'information est efficace.

Le mode synchronisé l'emporte sur le mode alterné

Bien que l'on n'ait pas enregistré de différence significative au niveau du score de compréhension entre les différents formats à la tâche de compréhension, il apparaît que les formats synchronisés (exception faite du format DSJ) donnent lieu à des scores plus élevés et sont également davantage appréciés par les participants. Le mode synchronisé semble donc largement mis en avant par les participants qui le citent comme le plus adapté à la compréhension.

Quel serait le meilleur format pour les personnes signantes ?

A l'issue des différentes analyses de la tâche de préférence, il est assez délicat de déterminer le meilleur format. S'il est clair qu'il ne sera ni de type « Alternance totale », ni dans l'ordre Animation puis Jade, il est en revanche plus difficile de trancher entre les modalités ABI-JP, SBI, SBJ et DSJ. On se retrouve d'ailleurs devant le même dilemme en passant par des relations d'ordre ou des scores calculés avec la méthode BTL.

L'analyse de l'influence des différents facteurs sur la tâche de comparaison conduirait à penser que c'est le format Synchronisé par Bloc Intégré qui serait préférée par la majorité des personnes signantes. Etant donné le peu de résultats dont nous disposons, nous nous refuserons à prendre ce raccourci en pointant les avantages et les inconvénients de chaque format du point de vue des personnes signantes, sachant qu'il est probable que les préférences varient beaucoup d'un sujet à l'autre :

- Le mode intégré présente l'avantage de faciliter la navigation du regard entre le signeur virtuel et les pictogrammes
- Le mode juxtaposé permet de mieux séparer les deux modalités de présentation et de mieux concentrer son attention sur une modalité sans se laisser distraire par l'autre.
- La synchronisation permet d'avoir un affichage simultané des différentes modalités pour exprimer un concept mais l'affichage des images ne permet pas de bien se concentrer sur la LSF.
- L'alternance par bloc permet en permanence de pouvoir recouper l'information en LSF par de l'image, mais présente les inconvénients d'être plus longue et d'avoir un rythme plus haché dans la LSF.
- Le démarrage synchronisé fait perdre l'avantage de la synchronisation, mais permet d'avoir une image statique figée de l'ensemble des graphismes en fin de diffusion du message, ce qui facilite la consolidation de l'information.

Finalement, on peut faire l'hypothèse que la modalité de format optimale pour le public signant n'est pas dans notre liste initiale et combinera habilement ces différents avantages.

En se basant sur les constats précédents, on peut imaginer une nouvelle proposition de format adapté à un public de personnes signantes : une modalité intégrée dont les blocs sont synchronisés, mais où l'image s'affiche en fondu enchaîné une seconde après la vidéo. A la fin du message, l'ensemble des pictogrammes se figent pendant quelques instants de manière à ce qu'une personne qui aurait regardé uniquement l'avatar pendant le message puisse ensuite effectuer une lecture synthétique du message sous forme de pictogrammes.

Quelles hypothèses pour les non signants et/ou entendants ?

La grande question reste maintenant de savoir comment les personnes qui ne signent pas traitent et reçoivent ces messages couplés et si elles ne sont pas perturbées par la présence de Jade, qui ne transmet aucune information pertinente pour eux, mais qui pour autant occupe une place centrale dans le design, de par son caractère très dynamique et attractif du fait de son caractère humanoïde. Les résultats actuels ne permettent pas de répondre à cette question car ce groupe n'a pas encore été testé. Néanmoins, des données sont en

cours de recueil, dans le cadre d'un master 2 de Psychologie : 60 participants entendants et non signants sont actuellement testés avec un protocole identique.

Plusieurs hypothèses peuvent d'ores et déjà être avancées. Nous pouvons nous attendre à ce que les performances de compréhension des personnes non signantes soient plus faibles (du fait que ces personnes n'aient pas à leur disposition un modèle de lecture aussi « compréhensible » que les signants). Nous pouvons également nous attendre à trouver des différences de stratégies dans l'exploration visuelle du design couplé : si nous avons observé peu de transitions pour les experts en langue des signes entre Jade et les graphiques animés, ces derniers restant davantage fixés sur Jade, il se peut que pour les non signants, on observe des comportements oculaires différents, avec un nombre de transitions (de saccades) beaucoup plus élevé entre Jade et les animations graphiques. En effet, du fait du caractère saillant de Jade, le regard devrait être attiré par le signeur virtuel au détriment de l'animation graphique qui est moins saillante. Le couplage serait dans ce cas contre-productif. Mais il est également possible que cet effet de « flou » se produise temporairement lors de la première visualisation du message et qu'une fois familiarisés au design, les stratégies de prise d'information des participants s'améliorent. Il sera particulièrement intéressant de comparer les stratégies selon les différents modes (intégré ou juxtaposé) pour ce groupe de non signants.

Influence de la seconde visualisation

La tâche de compréhension a aussi permis de montrer que les performances augmentaient de manière significative entre la première et la seconde visualisation du message. Dans cette tâche, les participants devaient décrire ce qu'ils comprenaient des messages présentés successivement et deux fois chacun. Les descriptions fournies étaient à chaque fois consignées et codées ultérieurement. Lors de la deuxième visualisation, les participants étaient invités à compléter, s'ils le souhaitaient, leur description. En général, le sens premier était fourni dès la première visualisation et lors de la seconde, ils fournissaient des détails supplémentaires (n° du train, lieu de destination...) qu'ils n'avaient soit pas vus, soit pas pu citer lors de la première visualisation. Mais dans d'autres cas, ce n'est que lors de la seconde visualisation que tous les éléments constitutifs du message étaient intégrés et compris réellement.

Ces observations sont également à rapprocher des données qualitatives obtenues à partir de l'expérimentation en situation dans laquelle les participants étaient immergés en gare de Toulouse et avaient pour consigne de prendre un train dont le départ était annoncé sur le panneau d'affichage. Ils devaient aussi réagir aux différentes consignes transmises au moyen d'une tablette. Ces consignes correspondaient aux messages de perturbation testés préalablement lors de l'expérimentation en laboratoire (changement de quai, retard, suppression). Le format qui avait été retenu est le format SBI (Synchronisation par Bloc Intégré).

Bien que seul un petit nombre de personnes ait été testé et que ces résultats ne soient pas généralisables, il apparaît que les stratégies de compréhension déclarées par les participants s'apparentent à celles que l'on a pu observer en laboratoire. D'une manière générale, une à deux visualisations du message ont été nécessaires pour comprendre les messages. La première servait à comprendre le sens global (par exemple : changement de voie, suppression de train). La seconde servait à vérifier que le message avait été bien compris et à vérifier les informations de voie ou de numéro de train.

Retombées majeures pour la conception de designs visuels et perspectives

Les recommandations en termes de conception ne sont pas généralisables pour l'instant, car le recueil se poursuit pour inclure de nouveaux groupes de personnes.

D'ores et déjà, il est cependant possible de dire que le design conçu convient aux personnes sourdes, malentendantes et entendanttes qui connaissent la langue des signes. Leur taux de compréhension est très élevé. Ces personnes étant les plus difficiles à atteindre, nous avons fait le choix de les tester en priorité. Mais il est bien évident que ces personnes ne sont pas les seules à être concernées par un tel dispositif qui viendrait compléter les informations sonores dans les transports. Les personnes entendanttes qui n'auraient pas entendu le message, les personnes étrangères ou présentant un handicap mental ou cognitif pourraient également tirer profit d'un tel système de communication. C'est pourquoi, il est prévu d'élargir l'étude à d'autres populations. Dans l'immédiat, un groupe de personnes entendanttes est en cours d'inclusion. Cette étape, une fois finie, nous permettra de valider de façon plus robuste la validité de notre dispositif ergonomique.

Le format le plus adapté du point de vue cognitif (attentionnel) et du confort semble se dessiner vers un format intégré et synchronisé. Ces résultats provisoires méritent d'être complétés avec les données ultérieures.

Au-delà de ces premiers résultats, une réflexion pourra être menée pour une adaptation de ces messages à des systèmes mobiles (smartphones) car les attentes de la part des personnes déjà testées et interviewées sont importantes. Il apparaît qu'une demande d'un design non prévu dans notre plan d'expérience pourrait être une solution pertinente pour combiner astucieusement les graphismes et l'avatar Jade. Du fait du caractère labile des informations provenant de Jade et des graphismes animées, il pourrait être souhaitable que le graphisme persiste à l'écran de manière stable. La rémanence de ces informations permettrait une vérification, ou une prise d'information des éléments secondaires. La première visualisation permettrait l'appréhension de l'idée principale (retard, changement de quai...) et la seconde visualisation ainsi que le maintien à l'écran sous forme statique des graphismes permettraient l'appréhension des éléments factuels tels que le numéro, la destination du train etc.

Au-delà de l'étude ergonomique des nouveaux messages conçus dans le cadre de ce travail, nous avons également pu mettre en évidence le fait que la stratégie d'appréhension d'un avatar signant était tout à fait comparable à celle d'un signeur humain grâce à la comparaison faite avec un signeur qui délivrait les consignes en langue des signes. Les zones où se portait le regard de l'observateur sont vraiment identiques : le visage est la zone où convergent la majeure partie des fixations.

Pour finir, il est à noter que les participants ont pu exprimer leur enthousiasme face à un tel dispositif d'alternative aux messages sonores ce qui encourage la poursuite de ces travaux dans une perspective d'application à la fois aux transports ferroviaires mais aussi à une extension à d'autres systèmes de transports (aéroport, métro...).

7 PERSPECTIVES

7.1 CONCLUSION ET PERSPECTIVES SUR L'ANALYSE QUALITATIVE DES TRAJECTOIRES OCULAIRES

Le projet SURDyn 2 a permis de collecter des données de suivi du regard inédites par leur qualité, leur quantité et leur précision.

Alors que les premières, études mentionnant une fixation des sujets lisant une vidéo en langue des signes sur la tête des signeurs datent de plus de 30 ans déjà (Baker 1978), les campagnes de mesures du regard à l'aide de dispositifs de suivi du regard en temps réel appliquées aux langues des signes sont relativement récentes (Emmorey 2009, Muir 2003) et ne portaient jusqu'ici au maximum que sur une dizaine de sujets.

En ce qui concerne le regard d'un sujet qui essaie de comprendre un message articulant un message en LS avec des graphiques animés, nous avons montré que, confronté à une présentation simultanée d'une même information sous forme évanescente (le signe en LS disparaît une fois qu'il a été effectué) et à une information permanente (le graphique reste affiché jusqu'à la fin du message), une part significative des sujets effectuent une véritable optimisation de leur partage attentionnel pour lire les animations graphiques entre la lecture des signes effectués par le signeur virtuel, ou bien une fois que le signeur virtuel est retourné à sa position de repos.

De nombreuses questions demeurent à propos des paramètres qui gouvernent cette stratégie :

- A quel point est-elle dépendante de la maîtrise de la LSF par les sujets, de leur « statut auditif », de leur stratégie consciente ?
- Est-ce que dans le cas d'un graphisme évident à comprendre, la vision périphérique peut suffire à en comprendre le sens ?
- Malgré l'optimisation des décrochages oculaires, le fait d'aller voir un graphique n'entraîne-t-il pas une compréhension dégradée du message en LSF et en particulier du signe qui suit le décrochage ?
- Quelles sont les influences respectives du temps de pause entre les signes, de la saillance des éléments graphiques, de l'éloignement du signeur virtuel, de la complexité des symboles, de la compréhensibilité de l'énoncé en langue des signes ?
- La nature des signes, et en particulier la direction du regard du signeur peut-elle orienter celui du sujet vers les animations graphiques ?

Une analyse beaucoup plus approfondie des trajectoires oculaires serait nécessaire pour répondre à ces questions.

L'enjeu dépasse largement l'information dans les transports car une connaissance précise de la stratégie de lecture de documents illustrés en langue des signes aurait des retombées significatives dans l'enseignement de la LS ou l'enseignement en LS, la création de documents en Langue des Signes Augmentée (en modifiant l'affichage et en incrustant des images 2D ou 3D), de documents multilingues accessibles à plusieurs publics dont le public sourd.

Les messages pourraient ainsi être créés d'emblée pour prévoir un sens de lecture, un guidage oculaire qui permette de maximiser la quantité d'information disponible pour les différents publics en favorisant une complémentarité des différentes modalités sans tomber dans le piège de la surcharge cognitive.

Enfin, pour ce qui concerne la comparaison entre signeur virtuel et signeur réel, nous confirmons les observations de Emmorey et Muir (Emmorey 2009, Muir 2003) en termes de stratégie de lecture de la LS, mais allons même plus loin en montrant qu'elles sont aussi valables pour des productions en langue des signes effectuées par un signeur virtuel. Ce résultat, loin d'être anecdotique, a de fortes implications car il signifie que le signeur virtuel peut être un modèle valide pour étudier les stratégies de lecture et de compréhension de la langue des signes, et la langue des signes virtuelle présente l'avantage de pouvoir être paramétrée pour les besoins de l'expérimentation en faisant varier l'apparence du signeur et sa manière de signer, à volonté.

7.2 PERSPECTIVES LOGICIELLES

7.2.1 VERS UNE INTEGRATION DANS LES SYSTEMES D'INFORMATIONS AUTOMATISES

Notre prototype a été pensé pour pouvoir être interopérable avec les solutions développées par la SNCF. Les messages d'avertissement de changement de voie, de retard, de suppression, de grève et de passage d'un train que nous avons créés pourraient sans problème être intégrés à la place des messages actuels signés par Jade moyennant les modifications suivantes :

- Optimisation du temps de rendu des messages,
- Création des différents éléments graphiques de la base de données (graphismes pour chaque perturbation par exemple).

Si cette seconde tâche semble relever d'une simple production graphique au premier abord, elle constitue en fait un véritable défi de design de l'information visuelle pour arriver à une compréhension optimale de la part des usagers et à une cohérence graphique par rapport à la signalétique visuelle que la SNCF commence à déployer (cf. Figure 31).



Figure 31 : Exemple d'affichage SNCF combinant la composition du train, le numéro, les destinations, l'heure de départ et le retard éventuel

Un autre travail vraisemblablement beaucoup plus long concerne la mise en place de messages portant sur des événements plus complexes. Pour ne citer qu'un exemple, il est fréquent que des trains de type TGV comportent plusieurs rames dont les destinations ou les provenances sont différentes. Il sera alors nécessaire de trouver une disposition permettant à la fois un confort de lecture (taille des éléments pas trop petite) et permettant de transmettre le message de manière univoque.

Même si notre étude n'a finalement porté que sur un sous-ensemble réduit de messages SNCF, nous avons tout de même pu identifier un certain nombre de problèmes d'ordre pratique, encore non résolus à ce jour, dont nous dressons un inventaire forcément non-exhaustif :

- Place pour écrire les longues destinations (Montparnasse 1 et 2 par exemple)
- Gestion temporelle des différences de durées de signation des chiffres (ex : il faut 8 fois plus de temps pour signer 782 431 que 1)
- Design graphique des représentations des différents types de trains (TGV, TER, Intercité, etc. ...)

Concluons qu'en plus du travail de développement purement logiciel évoqué plus haut, le transfert des messages multimodaux à la SNCF demanderait un travail important d'uniformisation du design graphique des messages entre notre système et celui de la SNCF, et de création de nouveaux patrons de messages dans des cas plus compliqués que ceux que nous avons choisis, permettant de gérer l'intégralité des paramètres variables disponibles dans le système d'information des gares françaises.

7.2.2 TRANSPOSITION DANS LES SYSTEMES EMBARQUES

Même si notre étude portait principalement sur des messages vidéos destinés à être diffusé sur des écrans fixes et larges tels que ceux qu'on peut trouver dans des gares SNCF, les expérimentations que nous avons menées directement dans les gares ouvrent la porte à une transposition du dispositif sur des terminaux portables de type smartphone. Les entretiens menés dans le cadre de cette expérimentation ont confirmé la pertinence d'un tel dispositif, dans la mesure où il viendrait en complément d'un affichage en gare.

Pour la mise en place d'une telle solution, nous distinguons plusieurs problèmes qui s'ajoutent à ceux mentionnés précédemment pour l'application de génération de messages automatiques en gare :

- Le premier problème est relatif au format des messages. Il va de soi, comme le soulignaient les sujets lors de l'évaluation en situation, que le format optimal devra permettre de voir distinctement les différents éléments graphiques (images, n° de train, avatar) sur un petit écran. Une étude similaire à l'expérimentation en laboratoire serait nécessaire pour parvenir à déterminer ce format.
- Le second problème est relatif au couplage entre notre module de génération des messages et les systèmes d'information en ligne existants (cf. Figure 32). Paradoxalement, ce couplage pourrait s'avérer bien plus simple que l'interopérabilité avec le système d'information en gare car il ne nécessite pas d'intervention de personnel technique et fera appel à des techniques de développement web répandues (AJAX par exemple).

- Reste le problème du calcul du rendu. Nous avons souligné plus haut le fait que notre prototype était relativement lent. La rapidité de calcul est un enjeu majeur si nous voulons que l'application soit déployée, car nous connaissons les limites des smartphones en termes de puissance de calcul. De plus, nous savons qu'il n'est aisé ni de stocker un nombre important de rendus 3D pré-calculés (encombrement de la mémoire du smartphone), ni de transmettre le rendu de la vidéo par MMS (limitation de la bande passante et débit payant).

Si le passage de notre application sur un terminal embarqué de type smartphone peut paraître attrayant au premier abord, il faut donc l'envisager en prenant en compte ces trois difficultés de format du message, d'interopérabilité avec l'existant et de calcul de rendu qui viennent s'ajouter aux problèmes rencontrés couramment lorsqu'on souhaite réaliser des applications pour smartphone (compatibilité avec les différents systèmes opératoires, validation de l'application par les distributeurs, maintenance de l'application etc.).

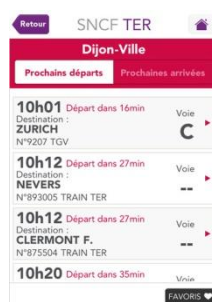


Figure 32 : Site SNCF TER pour Smartphone

7.2.3 CONCLUSION SUR L'ASPECT LOGICIEL

Le projet SURDyn 2 aura donc permis de lever les principaux freins relatifs à une exploitation industrielle de messages couplant la LSF et l'image. Nous avons pu lister les améliorations à apporter à notre prototype pour pouvoir l'intégrer dans des systèmes d'information tels que celui de la SNCF. En plus de l'amélioration du temps de rendu, il sera nécessaire de créer un utilitaire pour faciliter la création des patrons de messages bimodaux (animation graphique plus avatar LSF).

Les autres opérations nécessiteront la création d'une gamme complète de graphismes et de « syntaxes visuelles » permettant de couvrir l'ensemble des messages des bases de données de systèmes d'information. Cela représente un travail conséquent, mais l'approche mise en œuvre dans notre projet pourrait permettre de le mener à bien.

7.3 UN PASSAGE SUR SMARTPHONE ?

Le système conçu dans SURDyn 2 est-il transposable sur Smartphone ? Comme nous l'expliquons ici, il y a lieu d'être nuancé sur ce point, car un système d'accessibilité dans un lieu public ne peut pas exclusivement reposer sur les moyens de communication des usagers.

Le premier aspect à considérer est naturellement l'argument éthique. Comme le soulignait l'un des participants « Est-il normal que je sois obligé de posséder un téléphone portable pour accéder à l'information parce que je suis sourd alors que les autres passagers ont un accès direct aux messages ? ». Allant dans le même sens, un autre participant nous donnait

l'exemple de ses enfants qui ne possèdent pas de portable et qu'il veut pouvoir envoyer à la gare en toute autonomie. Reste également le risque d'une panne de téléphone portable ou de batteries déchargées. Naturellement, comme le font remarquer plusieurs participants, il serait possible d'intégrer des dispositifs pour recharger les batteries, mais cela ne ferait que donner une solution partielle à un problème d'ordre éthique.

Une déclinaison sur smartphone est donc uniquement envisageable dans le cas où l'information est déjà disponible sur les panneaux d'affichage de la gare (notons que ceci est dès à présent possible car un prototype a été réalisé pour synthétiser automatiquement les messages de SURDyn 2 et qu'il peut sans problème se connecter à la chaîne de traitement développée pour la SNCF d'ores et déjà en service gare de Toulouse).

L'intégration du message SURDyn 2 pourrait donc constituer un moyen de chercher de l'information complémentaire à l'affichage disponible en gare. Nous voyons deux modes d'utilisation possibles :

- La méthode passive consiste à envoyer à l'utilisateur un MMS bilingue contenant une version signée, en images et textuelle des informations concernant le train. L'utilisateur en aura précédemment fait la demande en achetant son billet ou en allant sur un site spécifique de la SNCF.
- La méthode active consiste à offrir la possibilité à l'utilisateur de consulter sur son smartphone les informations relatives à son train en allant sur un site spécifique similaire au site d'information en ligne de la SNCF.

Même si quelques usagers réclament l'information sur leurs Smartphones en même temps que l'annonce vocale, il semble préférable de laisser la possibilité de la regarder en différé car le téléphone portable peut être utilisé également pour se divertir, s'informer ou communiquer et qu'il ne faut pas que le message coupe les usagers en plein milieu d'une tâche.

Notons que dans ce cas de figure, la zone disponible dans l'écran d'affichage sera certainement moindre et qu'il faudra alors changer la disposition pour alterner les messages. Il sera alors préférable de mettre d'abord la LSF puis d'afficher les graphismes (Modalité Jade-Picto) en insérant une pose plus longue à la fin du message en images. De plus, l'image fixe de présentation de la vidéo devra être constituée du message composé de graphismes animés en version fixe.

Utilisé en complément d'un affichage sur écran en gare, l'avertissement des personnes sourdes par MMS ou la possibilité de se connecter à l'aide d'un smartphone sur un site accessible en animation graphique + LSF fournissant des informations sur les trains est une piste prometteuse vers laquelle l'ensemble des participants à l'expérimentation nous a encouragés. On pourrait même imaginer une diffusion de messages plus ciblée à l'aide d'une géolocalisation de l'utilisateur.

Le format de l'information étant validé sur grand écran, il est tout à fait envisageable d'utiliser un couplage similaire dans la situation d'aéroports, d'autoroutes, de musées ou tout autre lieu où une information est diffusée au public en utilisant des grands écrans.

CONCLUSION

A l'issue de ces deux années du projet SURDyn 2, un bilan satisfaisant peut être tiré, tant du point de vue des résultats obtenus et des perspectives ouvertes que de la conduite du projet et du fonctionnement du groupe des partenaires.

Ce projet associant différents partenaires de la recherche publique à une société de développement de solutions à l'usage des personnes sourdes, a en effet atteint son objectif. Il s'agissait de démontrer la faisabilité du couplage de deux approches antérieures complémentaires (portées par les partenaires du projet), avec pour visée à terme d'aboutir à une solution plus universelle. Ces deux approches avaient eues chacune pour objet la constitution d'un système de diffusion de l'information à destination des personnes se retrouvant en situation de handicap auditif - notamment dans les gares, l'une basée sur un avatar signant (en LSF), l'autre sur un principe de graphismes animés.

Le projet s'est appuyé sur une démarche associant un volet expérimental en laboratoire à de l'ingénierie logicielle, complétée par une expérimentation en gare. Cette démarche a permis d'aboutir d'une part à un premier prototype de système couplant l'avatar signant et le principe d'animation graphique, et d'autre part à la mise en lumière de principes de conception de messages couplant ces deux modes de traduction des informations diffusées initialement de manière sonore. Les recueils expérimentaux ont fortement impliqué la population cible, avec la participation notamment de personnes sourdes ou malentendantes signantes, mais aussi de personnes entendant signantes. Deux groupes de personnes restent à inclure pour compléter les résultats obtenus : les personnes sourdes ou malentendantes non signantes, ainsi que les personnes entendant non signantes.

Les résultats obtenus ouvrent d'ores et déjà des perspectives applicatives. En effet, du point de vue logiciel tout d'abord, la démarche entreprise a d'emblée visé la possibilité d'adapter le système existant (l'avatar signant) afin de permettre la diffusion des messages couplés, notamment dans le contexte actuel d'utilisation de ce système (les gares SNCF dans lesquelles il est implanté). Par ailleurs, l'expérimentation menée en gare a ouvert la piste de la transposition du dispositif sur des terminaux portables de type smartphone. Les entretiens menés dans le cadre de cette expérimentation ont confirmé la pertinence d'un tel dispositif, dans la mesure où il viendrait en complément d'un affichage en gare. La recherche de solutions pour transposer les informations sonores à destination des personnes en situation de handicap auditif dans les gares, notamment en cas de perturbations, a donc bien avancé.

Enfin, le groupe-projet SURDyn 2 a particulièrement bien fonctionné et le travail commun, outre l'atteinte des objectifs du projet lui-même, a permis et va permettre à chaque partenaire de faire avancer son champ disciplinaire, dans la mesure où de nouveaux questionnements sont ouverts. Les résultats de ce projet vont pouvoir continuer à être diffusés notamment à la communauté des chercheurs en animation et multimédia. Par ailleurs, les données de suivi du regard recueillies lors de la lecture d'information signées se sont révélées inédites par leur qualité, leur quantité et leur précision et ouvrent des perspectives d'exploitation et de communication future à la communauté des chercheurs travaillant sur le domaine de la langue des signes. Du point de vue de la recherche appliquée ciblée sur l'identification des situations de handicap dans les transports et la recherche de solutions pour y remédier, le projet SURDyn 2 constitue également une avancée conséquente.

BIBLIOGRAPHIE

- Atkinson C. & Shiffrin, R.M. (1971) The control of short term memory. *Scientific American*, 225, 82-90.
- Baker, C., & Padden, C. (1978) Focusing on the non-manual components of American Sign Language, In P. Siple (Ed.), *Understanding language through sign language research* (pp. 27–57). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*, Oxford, U.K.: Oxford University Press.
- Bradley, R.A. and Terry, M.E. (1952). Rank analysis of incomplete block designs, I. the method of paired comparisons. *Biometrika*, 39, 324–345.
- Bétrancourt, M., Tversky, B., & Morrison, J. B. (2002). Animation: can it facilitate? *Human-Computer Studies*, 57, 247-262.
- Bétrancourt, M. Chassot, A. (2008). Making sense of Animation : How do children explore multimedia instruction ? in R.Lowe & W. Schnotz Eds, *Learning with animation : research implications for design*. (pp. 141-164)). New York: Cambridge University Press.
- Boucheix, J. M. (2008). Contrôle d'animation multimédias par des enfants de 10 à 11 ans : quelq effets des dispositifs de contrôle? *Psychologie Française*, 53(2), 239-257.
- Boucheix, J. M., & Lowe, R. (2010). An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. [doi: DOI: 10.1016/j.learninstruc.2009.02.015]. *Learning and Instruction*, 20(2), 123-135.
- Boucheix, J.M. Lowe, R., Paire-Ficout, L. Saby, L. Alauzet, A. Conte, F., Groff, J. Argon, S. (2010). Comprehension of Animated Public Information graphics. European Association for research on learning and Instruction, Early, August 25 to 28 2010, Tubingen.
- Conte, F. Paire-Ficout, L. Saby, L. Alauzet A., Guarracino, G. (2009). L'animation est-elle une solution pour informer les voyageurs sourds et malentendants lors des situations de perturbation dans les transports ? 24ème Congrès de la SOciété Française de Médecine physique Et de Réadaptation (SOFMER), Handicap moteur, Handicap sensoriel, Handicap cognitif, Handicap et Société, Lyon, 15-17 Octobre 2009.
- Cuxac C. (2000) La Langue des Signes Française : les voies de l'iconicité, *Faits de Langues* n° 15-16, Ophrys.
- Emmorey, K., Thompson, R., Colvin, R. (2009). Eye Gaze During Comprehension of American Sign Language by Native and Beginning Signers. *Jnl. of Deaf Studies and Deaf Education*, Volume 14, Issue 2, pp. 237-243.
- Groff, J. (2010). *Projet SUrDyn (Signalétique d'Urgence Dynamique pour les sourds et malentendants) : Améliorer l'accessibilité aux informations audio diffusées dans les gares aux personnes en situation de handicap grâce à un support visuel*. Mémoire de Master 2 Sciences humaines et sociales, Psychologie Cognitive, Université de Bourgogne - Inrets/Lescot, Dijon, 172 p.
- Groff, J. Boucheix, J.M. Lowe, R., Paire-Ficout, L., Argon, S. Saby, L. Alauzet, A. (2011). Does animation facilitate comprehension of public information graphics ? Evidence from eye tracking. 14th Biennial EARLI Conference for Research on Learning and Instruction, 30 Aug- 3 Sept. 2011, Exeter, United Kingdom.

- Hegarty, M., & Just, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of Memory and Language*, 32, 717-742.
- Hegarty, M., & Narayanan, N. (2002). Multimedia design for communication of dynamic information. *Journal Human-Computer Studies*, 57, 279- 315.
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722-738.
- Höffler, T. N., and Leutner, D. (2010). The role of spatial ability in learning from instructional animations – Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. *Computers in Human behavior*.
- Höffler, T N. Leutner D. (2011). The role of spatial ability in learning from instructional animations – Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. Original Research Article, *Computers in Human Behavior*, 27 (1) 209-216.
- Kris, S., & Hegarty, M. (2004). Constructing and revisiting mental models of a mechanical system : the role of domain knowledge in understanding external visualisations. Paper presented at the 26th annual conference of the cognitive sciences society, Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lowe, R. (1998). Learning from Animation: where to look, When to look ? In R. Lowe & W. Schnotz (Eds.), *Learning with animation, research implications for design* (pp. 391). New York: Cambridge University Press.
- Lowe, R. (2003). Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13(2), 157-176.
- Lowe, R., & Boucheix, J. M. (2008). Learning from animated diagrams: how are mental models built ? . In G. Stapleton, J. Howse & J.Lee (Eds.), *Theory and applications of diagrams* (pp. 266-281). Berlin: Springer.
- Luce, R.D. (1959). *Individual Choice Behaviours: A Theoretical Analysis*. New York: J. Wiley.
- Mayer, R. E., Heiser, J., Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: when presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93, 187-198.
- Mayer, R. (2003). Research-based principles for learning with animation, In R. Lowe & W. Schnotz (Eds.), *Learning with animation, research implications for design* (pp. 30-48). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer R. E. & Anderson, R.B. (1991). Animations need narrations: an experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83, 484-490.
- Mayer R. E. & Anderson, R.B. (1992). The instructive animation: helping students built connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84, 444-452.
- Mayer R.E. & Moreno R. (1998). A split attention effect in multimedia learning: evidence for dual processing systems in working memory, *Journal of Education Psychology*, 90, 312-320.

- Mayer, R. E., Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, 93, 390-397.
- Mayer, K., Schnotz, W., Rasch, T. (2009). Effects of animation's speed of presentation on perceptual processing and learning. *Learning and Instruction*, 20, 136-145.
- Moreno, R. & Mayer R. E. (1999). Gender differences in responding to open-ended problem-solving questions Original Research Article *Learning and Individual Differences*, 11(4), 1999, 355-364.
- Moreno, R. & Mayer R. E. (2002). Learning sciences in virtual reality multimedia environments: Role of methods and media. *Journal of Educational Psychology*, 94, 598-610.
- Muir, L., Richardson, I., Leaper, S. (2003). Gaze tracking and its application to video coding for sign language, In: Proceedings of Picture Coding Symposium 2003. 23-25 May 2003. Piscataway, NJ: IEEE. pp. 321-325.
- Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet, A., Groff, J., Boucheix, J.-M. (2013). Quel format visuel adopter pour informer les sourds et malentendants dans les transports collectifs ? *Le travail humain* 76(1), 57-78.
- Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet. (2010a). How to design visual information for hearing impaired travellers ? (SURDyn Project). 12th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons (TRANSED 2010), June 2 to 4, 2010, Hong Kong.
- Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet, A., Conte, F., Guarracino, G. (2010b). SURDyn : Signalétique d'Urgence Dynamique adaptée aux usagers sourds et malentendants, Rapport fin de convention. Bron.
- Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet, A. and Guarracino, G. (2009). SURDyn : Signalétique d'Urgence Dynamique adaptée aux personnes sourdes et malentendantes. Groupe de Recherche STIC Santé, Paris, 22 juin 2009.
- Paire-Ficout, L., Saby, L., Alauzet, A. and Guarracino, G. (2008). SURDyn : Signalétique d'Urgence Dynamique adaptée aux usagers sourds et malentendants. Colloque Predit - Accessibilité et conception pour tous, Créteil, 11 février 2008.
- Saby, L. (2007). Vers une amélioration de l'accessibilité urbaine pour les sourds et malentendants : quelles situations de handicap résoudre et sur quelles spécificités perceptives s'appuyer ? Unpublished Thèse de Doctorat en Génie Civil Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Schnotz, W., & Lowe, R. (2008). A unified view of learning from animated and static graphics. In R. Lowe & W. Schnotz (Eds.), *Learning with animation research implications for design* (pp. 391p). New York: Cambridge University Press.
- Segouat, J. (2008). A study of sign language coarticulation, actes de colloques ASSETS, octobre, Halifax, Canada.
- Websourd (2011). Evaluation des signeurs virtuels dans DictaSign, accessible en ligne à l'adresse : <http://www.dictasign.eu/Main/PubliclyAvailableProjectDeliverables>.

ANNEXE 1 : DÉROULEMENT DÉTAILLÉ DE L'EXPÉRIMENTATION EN LABORATOIRE

Matériel nécessaire à l'expérimentateur

- ordinateur portable avec un écran Tobii et cahier de recueil de données
- caméscope pour conserver une trace des interactions entre le participant et l'expérimentateur et pouvoir filmer le comportement du participant pendant l'expérience.

Accueil

- l'expérimentateur accueille le participant et présente l'objet de l'étude : « *Il s'agit d'une étude qui vise à améliorer la diffusion des messages dans les transports, pour les personnes sourdes.* » ;
- l'expérimentateur présente le formulaire d'information (cf. annexe 1) et l'explique au participant en traduisant les idées principales ;
- l'expérimentateur présente la fiche de consentement (cf. annexe 2) et l'explique au participant en traduisant les idées principales ;
- signature du consentement.

Mise en route de la Webcam

- message au participant : « *Pour les besoins de l'expérimentation, nous allons filmer nos échanges* »

Calibrage de l'oculomètre

- message au participant : « *Pour les besoins de l'expérimentation, nous avons besoin d'enregistrer les mouvements de vos yeux. Pour régler l'appareil, je vous demande de regarder le centre de l'écran puis de suivre du regard les ronds rouges qui vont apparaître et se déplacer sur l'écran. Vous n'avez rien d'autre à faire que de suivre du regard les ronds rouges.*

Présentation des consignes

- Première consigne « *Je vais vous demander de vous imaginer dans une gare en attente d'un train. Vous allez voir plusieurs messages qu'on pourrait voir dans une gare. Vous allez voir ces messages un par un et après chacun d'eux vous allez me dire ce que vous comprenez. Chaque message sera présenté deux fois. Attention ne vous exprimez pas pendant la diffusion du message. Vous pouvez commencer à vous exprimer, seulement à la fin de chaque message vu. Cliquez avec la souris pour démarrer chaque message (clic gauche)* »
- Consigne de relance avant la deuxième passation : « *Vous allez revoir le même message, vous pouvez compléter ou modifier ce que vous avez dit lors de la première présentation* ».
- proposer la liste des cinq messages

Epreuve de préférence

- consignes : « *Vous allez voir un message présenté de deux façons différentes, quelle est selon vous la forme de présentation la plus facile à comprendre ?* »

Recueil des données

- les réponses sont enregistrées via l'ordinateur (enregistrement sonore et vidéo) + prise de note par l'expérimentateur
- un caméscope permettra de filmer les interactions entre l'expérimentateur et le participant, cela peut être nécessaire de revenir à posteriori sur le contenu de l'échange.
- enregistrement des temps de traitement c'est-à-dire du temps entre le début du message et la réponse du participant

Questionnaires

- « *Pour terminer, je vais vous poser quelques questions* » (suivre le cahier de recueil - cf. annexe 3)

La durée de l'expérimentation est d'environ 30 minutes, chaque participant reçoit une indemnité de 30€.

ANNEXE 2 : GRILLE POUR LE CALCUL DU SCORE DÉTAILLÉ DE COMPREHENSION

Message	Items	Points	1 ^{ère} rép.	2 ^{ème} rép.	Total points 1	Total points 2	Score
Grève	Attention	0.5			6	6	S2GR1 = S2GR2 =
	Mouvements sociaux grève	0.5					
	Perturbation : changement de départ, suppression de train, anomalie	1					
	Lien causal : perturbation à cause des grèves	1					
	Consultez le panneau d'affichage	2					
	Lien causal : allez au panneau d'affichage à cause des perturbations (pour avoir des informations)	1					
Change ment	Attention	0.5			4.5	4.5	S2CH1 = S2CH2 =
	Train/ter/n°3458	0.5					
	Voie D	0.5					
	Destination/pour/Paris	1					
	Changement de voie	2					
Retard	Attention	0.5			6	6	S2RE1 = S2RE2 =
	Intempéries	0.5					
	Train/ter/n°3458	0.5					
	Retard	2					
	Durée 15 mn	0.5					
	Lien causal : intempéries causent retard	1					
	Destination/pour/Paris	1					
Bordure	Attention	0.5			5.5	5.5	S2BO1 = S2BO2 =
	Voie A	1					
	Reculez-vous	2					
	Passage train	1					
	Lien causal : parce qu'il y a danger (train qui passe il faut reculer)	1					
Suppres sion	Attention	0.5			5.5	5.5	S2SU1 = S2SU2 =
	Travaux	0.5					
	Train/ter/n°3458	0.5					
	Train supprimé	2					
	Lien causal : train supprimé à cause des travaux	1					
	Destination/pour/Paris	1					

ANNEXE 3 : FUSIONS DES TRAJECTOIRES OCULAIRES LORS DES PICS DE FIXATION

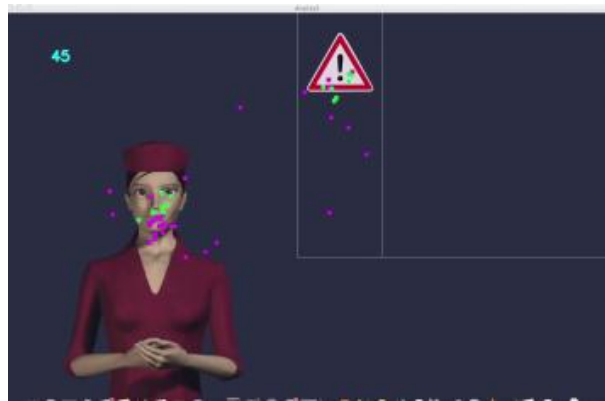


Figure 33 : 1^{er} pic



Figure 34 : 2^{eme} pic



Figure 35 : 3^{eme} pic



Figure 36 : 4^{eme} pic

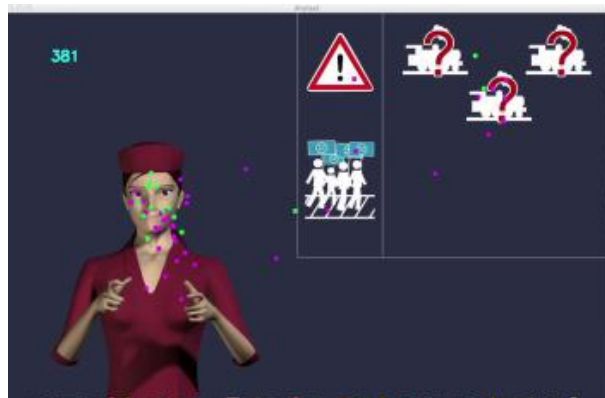


Figure 37 : 5^{eme} pic



Figure 38 : 6^{eme} pic



Figure 39 : 7^{eme} pic



Figure 40 : 8^{eme} pic



Figure 41 : 9^{eme} pic



Figure 42 : 10^{ème} pic

ANNEXE 4 : ANALYSE DES FIXATIONS DES GRAPHISMES ANIMES

Vidéo	Modalité	Item	Position	Pic
Train passe	I	Attention	0,34090909	25%
Train passe	J	Attention	0,47727273	34%
Changement de voie	I	Attention	0,31818182	38%
Changement de voie	J	Attention	0,47727273	32%
Grève	I	Attention	0,39772727	39%
Grève	J	Attention	0,47727273	39%
Suppression	I	Attention	0,38636364	30%
Suppression	J	Attention	0,52272727	33%
Grève	I	Grève	0,45454545	46%
Grève	J	Grève	0,39772727	42%
Changement de voie	I	Paris	0,70454545	53%
Changement de voie	J	Paris	0,92045455	30%
Suppression	I	Paris	0,51136364	61%
Suppression	J	Paris	0,82954545	28%
Train passe	I	Rails	0,56818182	32%
Train passe	J	Rails	0,73863636	30%
Changement de voie	I	Train	0,48863636	45%
Changement de voie	J	Train	0,68181818	39%
Suppression	I	Train	0,53409091	39%
Suppression	J	Train	0,79545455	36%