Institutional Repository - Research Portal
Dépôt Institutionnel - Portail de la Recherche
researchportal.unamur.be
University of Namur

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES À FINALITÉ SPÉCIALISÉE EN SOFTWARE ENGINEERING

Recommandations pour des Interfaces Utilisateurs Adaptées à la Surdité

André, Maxime

Award date:
2022

Awarding institution:
Universite de Namur

Link to publication

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Download date: 17. Apr. 2024

UNIVERSITÉ DE NAMUR

FACULTÉ D'INFORMATIQUE

Recommandations pour des Interfaces Utilisateurs Adaptées à la Surdité

Maxime André

RUE GRANDGAGNAGE, 21 ● B-5000 NAMUR (BELGIUM)

UNIVERSITÉ DE NAMUR

FACULTÉ D'INFORMATIQUE

Université de Namur
Faculté d'Informatique
Année académique 2021–2022

Recommandations pour des Interfaces Utilisateurs Adaptées à la Surdité

Maxime André

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques.

RUE GRANDGAGNAGE, 21 ● B-5000 NAMUR (BELGIUM)

Table des matières

Résumé **5**

Abstract **5**

1 Introduction **6**

2 Concepts **9**
2.1 Définitions 9
2.2 Classifications 10
2.3 Causes 11
2.4 Conséquences 12
2.5 Chiffres 15
2.6 Soutien 16
2.7 Histoire 17
2.8 Cadre légal et normatif 18

3 Problèmes, questions et hypothèses de recherche **22**
3.1 Problématiques 22
3.2 Questions de recherche 25
3.3 Hypothèses 25

4 Méthodologie **26**

5 État de l'art **31**
5.1 Problèmes 31
5.1.1 Généralités 32
5.1.2 Lois et normes 36
5.1.3 Interfaces 36
5.1.4 Méthodologies 42
5.1.5 Résumé 43
5.2 Solutions existantes 44
5.2.1 Généralités 44

5.2.2 Lois et normes 46
5.2.3 Interfaces 46
5.2.4 Méthodologies 56
5.2.5 Résumé 61

6 Résultats 62
6.1 Contribution scientifique 62
6.2 Contribution appliquée 65
6.2.1 Présentation 65
6.2.2 Analyse 70
6.2.3 Conception 73
6.2.4 Implémentation 78
6.2.5 Vérification 81
6.2.6 Déploiement 85

7 Évaluation 87
7.1 Contribution appliquée 87
7.1.1 Démarche 87
7.1.2 Résultats 93
7.2 Contribution scientifique 96

8 Discussion 97
8.1 Conclusions des hypothèses 97
8.2 Conclusions des questions de recherche 98
8.3 Perspectives scientifiques 99
8.4 Perspectives appliquées 100

9 Conclusion 102

Glossaire 104

A Checklist des recommandations 115

B Compte rendu des entretiens avec les experts 126

C Document explicatif des tests utilisateurs 126

D Formulaire de consentement pour les tests utilisateurs 127

E Formulaire de collecte de données pour les tests utilisateurs 127

F Grille d'observation des tests utilisateurs 128

G Questionnaire pour les tests utilisateurs **128**

H Liste de questions pour l'entretien des tests utilisateurs **129**

Remerciements

En première instance, je tiens à exprimer ma gratitude envers le Prof. Anthony Cleve, promoteur de ce mémoire pour son suivi, ses précieux conseils, son écoute et sa disponibilité.

De même, je souhaite vivement remercier le Prof. Bruno Dumas, co-promoteur de ce travail pour son expertise qui m'a guidé et orienté dans mes recherches.

J'adresse également un immense merci à Jérôme Fink pour la collaboration et pour le savoir qu'il m'a transmis.

En outre, je remercie la Prof. Laurence Meurant, toute l'équipe du LSBF Lab, les élèves de l'école Sainte-Marie de Namur, les interprètes et les observateurs pour leur implication déterminante dans les tests utilisateurs.

Merci aussi à Régine Lambrecht, spécialiste en UX Design et en accessibilité pour son expertise et ses réponses riches.

Je témoigne de surcroît ma reconnaissance envers la Faculté d'Informatique pour son excellent encadrement.

En substance, je remercie toutes les personnes, en particulier mes relecteurs et relectrices, qui ont contribué, de près ou de loin, au développement de ce sujet et à l'élaboration de cet écrit.

Finalement, j'exprime mes remerciements au Fonds Baillet Latour qui a financé ce projet.

Résumé

L'inclusion numérique des personnes porteuses de handicaps est une thématique qui gagne en popularité. But social ou conformité légale, l'accessibilité des interfaces utilisateurs contribue à une noble cause. Même si la surdité n'échappe pas à la tendance, il s'agit toutefois d'un sujet moins fréquemment exploré. Il n'existe en effet pas de synthèses de recommandations dans la littérature pour guider des développeurs dans la construction d'interfaces utilisateurs adaptées à la surdité. Ce mémoire étudie d'une part une série de recommandations et d'autre part leur application sur un projet concret. Grâce à une méthodologie alliant analyse de la littérature et pratiques d'ingénierie logicielle comme l'élicitation des exigences, le prototypage ou encore les tests utilisateurs, une checklist de 100 recommandations prête à l'emploi a été produite. Celle-ci a été appliquée au développement d'un dictionnaire web contextuel traduisant en français des signes en LSFB capturés par des webcams utilisateurs. Les résultats obtenus participent désormais à combler ce manque de recommandations et montrent la faisabilité de leur application dans un projet concret.

Mots-clés : **surdité, interfaces utilisateurs, recommandations, accessibilité**

Abstract

Digital inclusion of people with disabilities is a topic that is gaining in popularity. Whether it is a social goal or a legal compliance, the accessibility of user interfaces contributes to a noble cause. Even if deafness does not escape the trend, it is, however, a less frequently explored subject. Indeed, there are no syntheses of recommendations in the literature to guide developers in the construction of user interfaces adapted to the deafness. This master thesis studies, on the one hand, a series of recommendations and, on the other hand, their application on a concrete project. Thanks to a methodology combining literature analysis and software engineering practices such as requirements elicitation, prototyping or user testing, a ready-to-use checklist of 100 recommendations has been produced. This checklist was applied to the development of a contextual web dictionary translating into French LSFB signs captured by user webcams. The results obtained are now helping to fill this gap in recommendations and show the feasibility of their application in a concrete project.

Keywords : **deafness, user interfaces, recommendations, accessibility**

Chapitre 1

Introduction

Depuis le début des années 2000, l'Université de Namur s'engage dans la recherche consacrée à la Langue des Signes de Belgique Francophone (LSFB).

En février 2013, l'institution dédie un laboratoire à la thématique, le LSFB Lab. Les premières recherches mènent notamment à la création d'un corpus en ligne accessible gratuitement : `https://www.corpus-lsfb.be/`. Pour le construire, ce sont plus de 88 heures de vidéos de conversations naturelles entre personnes signantes qui sont capturées en studio. Parmi cette banque de vidéos, 25 heures sont déjà annotées. Cela représente plus de 200 000 annotations pour près de 4 000 signes. Par ailleurs, 12 de ces heures sont également traduites en français. Une équipe de 10 personnes incluant des chercheurs, des enseignants, des experts et des responsables en vidéos oeuvrent pour enrichir ce corpus. Par ailleurs, le laboratoire collabore régulièrement avec l'école namuroise Sainte-Marie qui propose un enseignement bilingue en français et en langue des signes. Ces prouesses positionnent le site web du corpus comme un outil de référence dans la communauté sourde. En effet, le caractère naturel des échanges et la prise en compte du contexte lui offrent une richesse supplémentaire par rapport à ses homologues.

En 2019, grâce au financement du Fonds Baillet Latour, une collaboration multidisciplinaire est établie avec la Faculté d'Informatique et en particulier avec l'institut de recherche NADI (Namur Digital Institute). L'objectif de ce projet est de mutualiser les efforts et les expertises des entités pour faire progresser la recherche dans le domaine des langues des signes et du traitement naturel des langues et de développer ou faire évoluer des outils à destination de la communauté sourde. Ainsi, le dictionnaire contextuel dans le sens de recherche du français vers la LSFB voit le jour peu après. Ce dictionnaire en ligne permet à tout internaute de consulter les traductions en LSFB de mots saisis en français. L'application propose également des exemples contextuels avec des extraits de vidéos et leurs équivalents textuels en français [49, 48, 47, 50].

En 2022, le site comptabilise plus d'un millier d'utilisateurs inscrits sans compter les visiteurs mensuels non enregistrés. Malheureusement, le projet reste incomplet. En effet, le sens de recherche inverse est manquant. Il n'est pas possible pour un utilisateur de saisir un signe en langue des signes et d'obtenir sa traduction française en retour. Bien qu'une intelligence artificielle capable de reconnaître et traduire ces signes à partir de vidéos est développée par les équipes de la Faculté d'Informatique, cette avancée n'est pas en mesure de rencontrer directement son public. En effet, la dimension d'utilisabilité étant manquante, le système n'est manipulable que par des utilisateurs experts. Dès lors, l'idée de développer une interface utilisateur utilisable et accessible émerge et donne naissance au projet de dictionnaire web contextuel LSFB – Français (LSFBFR).

Cette application, une fois complète, a pour vocation d'aider les internautes à apprendre autant la langue française que la LSFB. Celle-ci représenterait une première en son genre. En effet, de nombreux papiers évoquent le besoin d'obtenir un outil de traduction de la LSF vers le français [81, 3, 26] sans pour autant y apporter une réponse. Par ailleurs, la littérature avance également des faits et chiffres qui justifient plus encore la nécessité d'un tel utilitaire.

Au début du projet, il était impératif comme première étape de consulter la littérature pour s'informer des éventuelles recommandations à suivre et ainsi assurer le développement d'interfaces accessibles, adaptées et centrées sur les utilisateurs atteints de surdité.

Malheureusement, la tâche s'est annoncée d'emblée plus compliquée que prévu. En effet, les résultats se sont montrés mitigés. Un premier balayage de la littérature a dévoilé qu'aucune norme, spécifiquement dédiée à l'accessibilité des interfaces utilisateurs dans le contexte précis de la surdité, n'existait prête à l'emploi. Des recommandations étaient pourtant observées à travers la littérature, mais avec peu d'esprit de synthèse, de visibilité notable, de documentation adéquate, de généralisation suffisante, d'évaluation stricte, de détails, d'actualisation, de méthodologie voire d'exemples d'application.

Compte tenu de toutes ces considérations, il a été décidé de travailler sur une double contribution. D'une part, ce mémoire tend à collecter, enrichir et synthétiser les recommandations à appliquer lors de l'élaboration d'une interface utilisateur accessible pour un utilisateur sourd. D'autre part, il vise à démontrer la faisabilité de l'application de ces recommandations à un vrai cas d'usage. Ainsi, il a pour objet d'apporter des éléments de réponses aux questions de recherche qui (1) se demandent quelles recommandations suivre pour concevoir des interfaces utilisateurs adaptées à la surdité de personnes en Belgique francophone et (2) comment appliquer ces recommandations dans le cadre du développement d'un dictionnaire web contextuel dans le sens de recherche de la LSFB vers le français.

Cet écrit détaille comment des éléments de réponses à ces deux questions de recherche ont pu être trouvés pour aboutir aux contributions escomptées.

Après une introduction au chapitre 2 des concepts relatifs à la surdité en vue de faciliter la suite de la lecture, ce mémoire aborde plus en profondeur les problématiques, questions et hypothèses de recherche au chapitre 3. Il détaille ensuite au chapitre 4 la méthodologie suivie en nuançant les étapes conduites pour atteindre les objectifs de chacune des deux contributions. Après, il établit au chapitre 5 un état de l'art qui liste les problèmes et les solutions relatifs à la thématique. Plus tard, il présente au chapitre 6 les résultats obtenus pour chacune des contributions. En premier lieu, il donne un aperçu de la checklist des recommandations produite. Dans un second temps, il montre les résultats obtenus pour le développement de l'application LSFBFR et en particulier ceux issus des étapes d'analyse, de conception, d'implémentation et de vérification. Dans la continuité des résultats, il détaille au chapitre 7 comment les contributions sont évaluées. Par ailleurs, il fait état des questions et hypothèses de recherche au chapitre 8. Il tend également à ouvrir des portes à de nouvelles contributions en pointant certaines faiblesses et en ouvrant des questions quant aux contributions actuelles. Finalement, ce mémoire se clôture au chapitre 9.

Chapitre 2

Concepts

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il semble important d'établir les bases du concept de surdité. L'objectif de ce chapitre est d'introduire l'essentiel, attirer l'attention sur les méconnaissances et briser les idées reçues.

2.1 Définitions

En guise de première approche, il convient de définir le concept de surdité.

Le dictionnaire Larousse définit la **surdité** comme une "Diminution très importante ou inexistence totale de l'audition, qu'elles soient congénitales ou acquises" [36].

Par ailleurs, il faut savoir que l'absence ou la réduction de retour acoustique peut également compliquer la production de sons [33].

Pour être complet, il convient également de savoir qu'il n'existe pas qu'une seule surdité, mais plutôt que différents niveaux se distinguent [37]. Ceux-ci sont détaillés plus tard dans ce chapitre.

Finalement, il est à noter que la surdité ne peut concerner qu'une des deux oreilles.

Le concept de surdité fait souvent pair avec les **langues des signes**.

Essentiellement visuo gestuelles, les langues des signes sont naturellement pratiquées au sein des communautés sourdes.

Dans certains cas, elles font office de langue maternelle lorsqu'un des membres de la famille est sourd [66, 80].

Les langues des signes peuvent être regroupées en familles linguistiques à part entière. Elles possèdent leurs propres caractéristiques lexicales, syntaxiques, grammaticales et sémantiques. Parmi leurs spécificités, des paramètres utilisés pour les définir dans l'espace peuvent être remarqués : configurations manuelles (position des doigts, ouverture des paumes ...), orientations des mains, mouvements (bras, mains, tronc, épaules, tête), localisations spatiales des mains (avant, milieu, arrière) et expressions du visage (qui remplissent des fonctions syntaxiques et lexicales) [28, 20]. Il faut savoir que la construction d'une langue signée est un peu différente d'une langue comme le français puisqu'elles reposent aussi sur l'iconicité à l'instar des idéogrammes chinois ou des hiéroglyphes égyptiens [66]. En revanche, il convient de préciser qu'aucune forme écrite officielle n'existe. Des systèmes de notations sont proposés, mais aucune forme complète n'est reconnue [10, 51, 80, 11].

En outre, il est utile de savoir qu'il existe une myriade de langues de signes reconnues à travers le monde entier, essentiellement réparties par zones géographiques. Cependant, au sein des mêmes régions existent parfois plusieurs variantes [28]. En Belgique, il existe notamment la Langue des signes de Belgique francophone (LSFB) [76].

Par ailleurs, il est utile de rappeler que l'idée d'une langue des signes internationale n'est qu'un mythe. En revanche, il existe des pratiques appelées International Sign.

Finalement, il faut savoir que la reconnaissance légale des langues des signes a historiquement tardé dans plusieurs pays pour cause d'interdiction en raison de préjugés véhiculés [10, 59, 24].

2.2 Classifications

Comme abordé plus tôt, il existe plusieurs types de surdités. Certaines classifications [33, 70, 37, 1] tentent de les distinguer dans la littérature.

- Classification selon l'**apparition de la surdité** :
  - Prénatale : avant l'accouchement
  - Périnatale : pendant l'accouchement
  - Postnatale : après l'accouchement
- Classification selon l'**apparition du langage** :
  - Pré linguale
  - Post linguale

- Classification selon la **sévérité** :
  - Classification simple :
    - Malentendant : perte entre 20 dB et 70 dB
    - Sourd : perte au-delà de 70 dB
  - Classification détaillée :
    - Gêne : acouphène.
    - Surdité légère : perte entre 21 dB et 40 dB
    - Surdité moyenne : perte entre 41 dB et 70 dB
    - Surdité sévère : perte entre 71 dB et 90 dB
    - Surdité profonde : perte entre 91 dB et 120 dB
    - Surdité complète : cophose, aucun son perçu sous 120 dB
- Classification selon la **lésion** :
  - Surdité de transmission : surdité par l'oreille externe (majorité des cas)
  - Surdité de perception : surdité par l'oreille interne

À titre de comparaison, il faut savoir qu'une conversation normale entre deux personnes à moins d'un mètre l'une de l'autre ne dépasse pas 70 dB.

2.3 Causes

Comme certaines classifications le mettent en avant, la surdité peut être le résultat de diverses causes [70] abordées ci-dessous.

Tout d'abord, le **vieillissement** peut entraîner une dégradation de l'appareil auditif et en particulier la dégénérescence des cils qui tapissent la cochlée.

En outre, des **maladies** (ex. méningites, oreillons, otites, tumeurs, etc.) peuvent aussi être à l'origine d'une surdité passagère légère voire mener à une surdité totale et définitive.

Comme pour les maladies, des **blessures** (ex. perforation de tympan, déplacement des osselets ...) peuvent provoquer une surdité passagère légère, mais finalement aboutir à une surdité totale et définitive.

Certains **médicaments** (antibiotiques, chimiothérapies, anticancéreux, aspirine à forte dose ...) peuvent également contribuer à des pertes auditives.

L'exposition prolongée au bruit est par ailleurs un facteur de risque pour l'altération voire la perte des cils qui tapissent la cochlée.

Finalement, des **malformations de naissance et autres anomalies héréditaires** (otospongiose ...) peuvent résulter en une certaine surdité. Il faut savoir que deux personnes sur mille naissent avec une otospongiose.

2.4 Conséquences

Quelles qu'en soient les causes, la surdité implique des conséquences. Certaines peuvent s'avérer douloureuses alors que d'autres résultent d'une habitude. Cela dépend de l'origine de la surdité. Une personne devenue sourde ne subit pas les conséquences de la même manière qu'une personne sourde de naissance. Cette section évoque quelques conséquences qui peuvent être vécues.

Tout d'abord, certaines personnes sourdes souffrent d'un manque de reconnaissance de leurs difficultés en raison du caractère préalablement **invisible** de leur handicap [55].

Au-delà du handicap physique, la surdité atteint également la dimension **sociale** de certaines personnes sourdes avec une potentielle exclusion dans les communications avec les individus.

La surdité modifie quelque peu le rapport aux autres et peut mener jusqu'à l'isolement social. En effet, les lacunes en termes d'oralisme créent une barrière dans la communication. Ce manque de socialisation peut engendrer des blessures psychologiques [33, 58, 7].

Par ailleurs, les déficiences auditives n'affectent pas que le porteur, mais également, dans certains cas, son entourage (famille, amis ...) qui vit parfois cet inconfort dans les échanges [31].

Finalement, comme c'est le cas pour d'autres langues étrangères les unes aux autres, des différences culturelles existent et peuvent parfois créer certaines ségrégations. Ceci engendre une perte d'échange et le partage des richesses de chaque culture [44].

De plus, la surdité n'est pas sans conséquence non plus sur la **scolarité** et en particulier sur l'apprentissage du langage.

Avant tout, il convient de rappeler que ce point ne concerne que les personnes dont la surdité est natale. Les personnes devenant sourdes à l'âge adulte ne rencontrent pas ces difficultés [1].

Des études montrent qu'il est plus difficile pour un enfant n'ayant pas été en immersion dans un langage oral d'apprendre ce même langage lorsque celui-ci présente une forme écrite. La difficulté pour ces enfants est comparable à celle d'un francophone qui déciderait d'apprendre le chinois sans avoir l'opportunité de l'écouter. En réalité, l'apprentissage de langues comme le français pour lesquelles un système d'écriture a été inventé débute par le stade oral avant d'entamer l'apprentissage écrit. La vocalisation aide à percevoir les nuances de la langue et de son alphabet [66] ce qui aide à l'apprentissage. Un enfant capable d'écouter le langage verbal y est confronté à raison de huit heures par jour pendant ses dix-huit

premiers mois. C'est cette exposition qui lui permet d'initier ses premières communications à l'inverse des enfants sourds qui ne bénéficient pas de la même exposition [55]. Sans stimulation, l'enfant sourd ne possède que peu de repères sonores et phonologiques. Pourtant, contrairement aux idées reçues, un enfant sourd peut toutefois percevoir certains phonèmes du langage, par lecture labiale par exemple [14]. L'environnement joue donc un rôle considérable. S'ils n'ont pas l'occasion de pratiquer à la maison, soit parce que les proches présentent les mêmes déficiences (dans 5% des cas[44]), soit parce les parents ne savent pas comment stimuler l'oralisation chez l'enfant [57], le retard d'apprentissage s'accentue. Plusieurs études [70, 9, 51, 29] montrent une certaine pauvreté de vocabulaire chez les adolescents et les adultes sourds comparés à des personnes entendantes du même âge. Elles comparent les niveaux d'alphabétisation en fonction de leur âge et de leurs capacités auditives. Il est conclu qu'un jeune adulte, au terme de sa scolarisation, possède un niveau à l'écrit comparable à celui d'un enfant de 9-10 ans tout comme un adolescent de 17 ans obtient un niveau similaire à celui d'un enfant de 7 ans, et ce, quelles que soient les langues ou les origines géographiques. Même si un tel retard est également remarqué chez les enfants dont les parents sont entendants, il est davantage marqué lorsque l'enfant grandit dans une famille ou un environnement où vivent d'autres personnes sourdes (parents, frères et soeurs ...). Il faut bien comprendre que ces lacunes ne sont pas la responsabilité de l'individu, mais bien les conséquences d'une société où la surdité est minoritaire et donc où les langues des signes sont considérées comme "secondaires".

Parfois, pour ces derniers, la première approche avec la langue orale se fait à l'école. Malheureusement, dans certaines écoles, le texte semble être le moyen favorisé pour communiquer avec les enfants sourds [14].

Dans d'autres écoles, les langues des signes sont souvent enseignées comme langue secondaire, même si les enfants sont atteints de déficiences auditives natales [51]. En France, moins de 10% des élèves sourds bénéficient d'un enseignement en langue des signes. Parmi ceux qui en bénéficient, certains ne possèdent que l'enseignement de la Langue des Signes Française (LSF) elle-même et non son usage dans les autres matières [11]. Il s'agit d'un obstacle supplémentaire. Par conséquent, la majorité des enfants accusent un retard conséquent en lecture et en écriture et des formes d'illettrisme peuvent apparaître chez certains élèves [70]. À nouveau, le manque d'adaptations est la responsabilité de la société qui méprise les autres types de communications.

Malheureusement, la maîtrise d'une langue écrite reste un outil essentiel dans une scolarité [43]. En cascade, des conséquences catastrophiques comme l'accumulation de difficultés scolaires ou encore l'abandon peuvent être observés [17]. Fort heureusement, l'illettrisme tend à décroître grâce aux efforts d'adaptations pédagogiques fournis dans les établissements d'enseignements modernes [14]. Toutefois, ce n'est pas encore le cas dans tous les pays [69]. En France, les personnes qui subissent encore l'illettrisme à cause de leur surdité sont des adultes qui, à leur époque, n'ont pas eu la chance de bénéficier d'une scolarité adaptée comme c'est le cas actuellement [11]. L'oralisme a provoqué l'échec scolaire de nombreuses personnes à l'époque où la LSF n'était pas autorisée à l'école [44].

Après la scolarité, c'est dans le **monde professionnel** que les lacunes subsistent. La maîtrise imparfaite d'une langue officielle qui admet une forme écrite (ex. le français), pour les raisons évoquées plus tôt, joue encore un rôle trop pénalisant pour les travailleurs atteints qui tentent malgré tout de s'intégrer dans une société majoritairement entendante [43, 10, 11]. Dalle expliquait en 2003 que "L'illettrisme ou la maîtrise insuffisante du français écrit, l'absence de diplôme ou de qualification et enfin les difficultés de communication ont de fortes répercussions sur l'insertion sociale et professionnelle des adultes sourds" [39]. Le manque d'accessibilité dû à une minimisation des moyens de communication alternatifs en est encore le responsable.

D'un point de vue **sociétal**, c'est une intégration entière qui est mise en péril. Par leur déficience auditive native, certaines personnes sourdes subissent un illettrisme fonctionnel, c'est-à-dire l'incapacité de lire dans les situations de la vie de tous les jours. Par exemple, certains sont dans l'impossibilité de lire la loi qui n'est pas traduite en langue des signes [16].

Finalement, c'est plus généralement un problème d'**accessibilité** des supports qui peut être pointé. Que ce soit dans le monde scolaire, professionnel ou plus généralement dans la société et dans les échanges sociaux, c'est un manque d'adaptations au détriment d'une accessibilité qui peut être dénoncé.

Au niveau technologique par exemple, il arrive que certaines personnes atteintes de surdité soient incapables d'utiliser les supports technologiques. Et pour cause, certains sont tellement populaires et adoptés dans la population qu'il en est oublié qu'ils subsistent inadaptés "by design" pour les personnes porteuses de handicaps. Ces technologies sont qualifiées d'"incapacitantes". Cela signifie qu'elles requièrent maladroitement des capacités provoquant ainsi une barrière (fracture numérique) pour les utilisateurs porteurs de déficiences relatives à ces capacités [55]. L'exemple du téléphone utilisant les modalités de la parole et de l'écoute est suffisamment percutant dans le contexte de la surdité [58].

Outre la technologie, d'autres supports d'accès aux contenus, aussi élémentaires soient-ils, sont également inadaptés. L'exemple du livre parle de lui-même lorsqu'on mesure à quel point certaines personnes sourdes ont peu d'affinité avec la lecture [57]. Peu d'adaptations sont faites, car les langues des signes sont encore trop minimisées.

2.5 Chiffres

Cette section vise à soutenir les faits avancés plus tôt par une série de chiffres collectés dans la littérature.

En termes de quantification, la **surdité** se chiffre comme suit.

En Fédération Wallonie-Bruxelles, le nombre de personnes ayant besoin d'un soutien en langue des signes est estimé à 25.000 [15]. En 2017, la Fédération Francophone des Sourds de Belgique comptabilisait à 8,9% le pourcentage de la population atteint de déficience auditive, toutes régions confondues [60].

De l'autre côté de la frontière, en France, une personne sur cinq éprouve des difficultés à entendre [58]. Une autre source annonce que l'Union Nationale des Associations de Parents d'Enfants Déficients Auditifs estime à 4 millions le nombre de Français atteints par une déficience auditive.

Au niveau planétaire, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comptabilisait en 2018 à la Journée mondiale de l'audition que 466 millions de personnes éprouvaient des difficultés auditives ce qui représente près de 5% de la population mondiale. Lorsqu'elle porte un regard à l'horizon 2050, elle estime à 900 millions le nombre personnes concernées par cette difficulté, soit une personne sur dix [60, 56, 53].

Il est important de rappeler que les déficiences auditives s'observent à tout âge. Toutefois, la proportion diffère. Seulement 0,2% des enfants naissent avec une déficience auditive alors qu'un tiers des personnes âgées de 65 et 74 ans souffre d'une telle déficience et près de la moitié à partir de 75 ans [26].

Finalement, il faut savoir que seulement 5% des enfants sourds ont des parents atteints du même handicap ce qui implique alors un apprentissage de leur langue des signes comme langue maternelle.

L'une des conséquences les plus développées concerne les **difficultés d'apprentissage du langage** pouvant mener à des formes d'illettrisme.

De nombreuses statistiques abordent la question. Certaines sources avancent que 80% des personnes atteintes de surdité souffrent également d'une forme d'illettrisme. Ce chiffre provient du rapport Gillot (1998) [37, 28, 39, 41, 39].

A contrario, d'autres sources évoquent des statistiques différentes comme celle des 45% pour le taux d'illettrisme dans la communauté sourde [70].

Plusieurs raisons expliquent de telles discordances dans les chiffres. L'une d'entre elles concerne certainement la validité de l'information. En effet, le rapport est contesté pour la simple raison qu'il ne détaille pas rigoureusement comment la statistique a été calculée. L'autre raison concerne le temps qui s'écoule. Si cette statistique a pu être vraie à une époque, elle ne l'est plus forcément à ce jour [3, 55]. Il est vrai que certaines personnes atteintes de surdité souffrent encore d'une forme d'illettrisme. Cela se remarque davantage chez les personnes plus âgées qui n'ont pas pu bénéficier des aides qui existent actuellement pour apprendre une langue. Cependant, grâce à l'enseignement adapté et aux méthodes pédagogiques modernes, l'illettrisme tend à décroître au fil des années [10]. Malheureusement, il existe encore trop peu de statistiques publiées et vérifiées à ce sujet.

Toutefois, beaucoup de sources s'accordent pour démontrer la présence du problème, quel que soit le pourcentage toujours trop haut [45].

Finalement, au-delà des chiffres exacts, il n'est pas difficile de croire la maîtrise insuffisante de la langue impactant la **scolarité** des enfants concernés par la surdité. Selon l'OMS, plus de 5% de la population mondiale possède une importante déficience auditive au point d'être limitée, voire restreinte dans ses activités. Dans cet échantillon, près de 10% sont des enfants dont la scolarité est compliquée. Aux États-Unis, 30.000 étudiants sourds entament des études supérieures sans clôturer leur cursus [16]. En France, seulement 5% des Français atteints de surdité entreprennent des études supérieures sans garantie de diplôme [10].

2.6 Soutien

Heureusement, malgré ces conséquences et ces chiffres, du soutien existe.

Pour commencer, il faut savoir que le monde **médical** apporte des solutions à ce handicap. Des traitements médicamenteux, comme des antibiotiques et anti-inflammatoires, peuvent soigner des surdités passagères légères issues de maladies ou de blessures. Toutefois, ceux-ci doivent être ingérés avec toutes les précautions qui s'imposent. En effet, comme évoqué précédemment, les médicaments peuvent être à la fois le remède, mais aussi la cause de certaines surdités.

Pour des causes plus sévères, il est également possible de recourir à des actes chirurgicaux comme l'ablation de kyste, la fermeture d'une perforation du tympan, etc. [70]

Il est également important de rappeler que des **langues** existent pour soutenir d'autres moyens de communication. Les langues des signes, précédemment introduites, sont les plus connues.

Cependant, d'autres sont citées dans la littérature comme la Langue Parlée Complétée (LPC) qui est une suppléance à la technique de lecture labiale. Par le biais de gestes manuels, ce code apporte des accentuations pour éviter les ambiguïtés et donc faciliter "l'écoute" [70, 19, 80].

En outre, la définition des langues des signes établie plus tôt mentionnait l'absence d'une forme écrite officielle. Bien qu'aucune ne soit effectivement reconnue, il existe des tentatives. La littérature en recense quelques-unes comme le Hambourg Notation System ou encore le SignWriting. Ce dernier est un système universel d'écriture graphique de gestes et de positions. Il peut ainsi représenter toutes les langues gestuelles et expressives grâce à sa syntaxe hautement visuelle. Il est capable de représenter tant les mains, le visage et le reste du corps ce qui convient parfaitement aux langues des signes. Historiquement, il a été développé par Valerie Sutton en 1974 pour écrire les chorégraphies de danse. [28, 78]

Finalement, dans les moyens de soutien les plus récents peuvent être citées les **technologies**. Qualifiées cette fois-ci de "capacitantes", elles visent à compenser une déficience par des moyens techniques. L'application la plus connue pour la surdité est sans doute l'appareil auditif (de l'amplificateur à l'implant cochléaire) [70, 80, 19, 55].

2.7 Histoire

Pour comprendre davantage les faits évoqués, il semble important de rappeler les moments-clés [70, 46, 37, 57, 28, 66, 80, 51, 44, 2] de l'histoire de la communauté sourde.

Les personnes atteintes de surdité ont toujours existé. Les premières traces de langue des signes remontent à l'Antiquité où la taille des villes grandissantes et le trafic en croissance ont permis aux personnes atteintes de ce handicap de se rencontrer. Platon écrivait déjà en 360 av. J.-C. à propos de leur moyen de communication par les signes.

Avant le XVIe siècle, ces personnes ne sont pas autorisées à être scolarisées, car méprisées par l'Église au point d'être persécutées et considérées, à tort, comme des personnes sans intelligence atteintes de maladies mentales.

Au XVIIIe siècle, l'intelligence des sourds est finalement reconnue par l'Église qui admet que leur différence réside plutôt dans leur mode communication gestuel. L'instruction leur est ainsi ouverte, mais aucune forme adaptée d'enseignement ne leur est prévue.

En France, il faut attendre la moitié du XVIIIe siècle pour que l'Abbé Charles Michel de l'Épée se positionne comme l'un des défenseurs de l'enseignement à des personnes sourdes. Il instaure en classe une autre forme de communication basée sur un langage essentiellement gestuel.

Au début du XIXe siècle, des institutions adaptant leurs méthodes pédagogiques et favorisant l'inclusion voient le jour comme le célèbre Gallaudet College aux États-Unis. Cette université unique en son genre propose un enseignement en langue des signes.

Malheureusement, en 1880, les langues des signes sont interdites au Congrès de Milan. Des linguistes, opposés à l'enseignement bilingue, prônent une seule langue nationale d'éducation. Ils plaident ainsi en faveur de l'oralisme et l'imposent comme unique méthode d'enseignement pour motif de "normalité". Les conséquences sont variées à travers le monde, mais certaines régions, comme la France, voient leur système éducatif changer.

Entre temps, les langues des signes survivent de manière clandestine. Leur transmission est assurée par héritage culturel entre générations. De nombreuses variantes régionales naissent de cette clandestinité.

Dans les années 60, le célèbre chercheur William Stokoe met en avant les langues de signes. Ses premiers travaux démontrent qu'il s'agit de langues comme les autres "naturelles et complexes", qui possèdent leur propre vocabulaire, leur propre grammaire et leurs propres droits. Il prouve qu'elles peuvent être traduites et interprétées.

En 1991, plus d'un siècle après son interdiction, le gouvernement français vote la Loi Fabius qui autorise à nouveau la langue des signes française dans l'éducation nationale avec notamment l'intégration d'un apprentissage bilingue français – Langue des signes française.

En Belgique francophone, c'est en 1998 qu'un décret de la Communauté française de Belgique inscrit la langue des signes comme langue d'enseignement à l'instar du français, du néerlandais, de l'allemand et de l'anglais.

2.8 Cadre légal et normatif

La surdité, comme d'autres situations de handicap, bénéficie d'une attention toute particulière dans le cadre légal et normatif. La littérature regorge d'articles mentionnant différentes lois et normes. Leurs buts sont d'une part reconnaître et respecter cette déficience, d'autre part, encourager son soutien pour favoriser l'accessibilité et l'inclusion.

En termes légaux, la **Déclaration Universelle des Droits de l'Homme** adoptée en 1948 par l'Organisation des Nations Unies (ONU) peut être citée en première instance. L'article 19 défend la liberté d'expression, sans contrainte et quel que soit le moyen. Ceci fait notamment référence à la nécessité de reconnaître les langues des signes puisqu'elles représentent un moyen d'expression comme les autres, sans discrimination possible. L'article 26 plaide quant à lui pour le droit à l'éducation et prône l'accès libre et l'égalité. Ceci implique la minimisation de contraintes éventuelles par la mise en place de moyens supplémentaires les mitigeant [68, 28, 51].

Cet écrit connu n'est pas le seul érigé par l'ONU. En 1993, l'organisation publie les **Règles sur l'égalisation des chances pour les personnes handicapées**. Ce texte porte une attention, en particulier par la règle n°5, sur l'accessibilité de l'éducation, l'emploi et l'aspect social [63].

Dans le même ordre d'idées, en 2006, l'ONU vote également la **Convention sur les droits des personnes avec déficiences**. L'article 9 de cette convention évoque les besoins d'aménagement à faire au bénéfice d'une meilleure accessibilité : "Afin de permettre aux personnes handicapées de vivre de façon indépendante et de participer pleinement à tous les aspects de la vie, les États Parties prennent des mesures appropriées pour leur assurer, sur la base de l'égalité avec les autres, l'accès à l'environnement physique, aux transports, à l'information et à la communication, y compris aux systèmes et technologies de l'information et de la communication, et aux autres équipements et services ouverts ou fournis au public, tant dans les zones urbaines que rurales. Ces mesures, parmi lesquelles figurent l'identification et l'élimination des obstacles et barrières à l'accessibilité, s'appliquent, entre autres : [...] Aux services d'information, de communication et autres services, y compris les services électroniques et les services d'urgence. [...] Les États Parties prennent également des mesures appropriées pour : [...] Promouvoir l'accès des personnes handicapées aux nouveaux systèmes et technologies de l'information et de la communication, y compris l'internet ; [...]". Pour concrétiser ses propos, l'ONU évoque dans l'article 4.3 l'importance d'une collaboration étroite avec les personnes atteintes de handicaps lors de l'élaboration et la mise en oeuvre des adaptations. [20, 73].

L'**Union Européenne** (UE) prend également le sujet au sérieux. En 2000, le projet **eEurope2002** est voté pour imposer aux sites publics l'accessibilité [45]. Quelques années plus tard, en 2016, le même sujet fait l'objet d'une directive qui vise l'accessibilité des sites web et applications du secteur public. D'ailleurs, celle-ci fait référence au standard européen EN 301 549 qui vise spécifiquement l'accessibilité des sites web et des applications mobiles [8].

De la même manière, aux États-Unis, l'**Americans with Disabilities Act** apporte en août 1998 des modifications à la section 508 du **Rehabilitation Act** en imposant l'accessibilité des contenus web publiés par les agences fédérales aux personnes porteuses de déficiences [45]. Cette loi vise à protéger des discriminations les personnes atteintes d'incapacités. Elle plaide par exemple l'intégration de sous-titres dans les cinémas et salles de conférences, l'engagement d'interprètes en langue des signes dans les hôpitaux, les écoles ou les tribunaux et encourage aux aménagements et assistances raisonnables dans les lieux professionnels [26].

Par ailleurs, des pays commencent à mettre en place des mesures pour favoriser l'emploi des personnes porteuses de handicaps par des obligations d'embauche [32]. En **France**, la **loi du 11 février 2005** sur "l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées" [46, 10, 80, 12] agit également en ce sens. Elle poursuit et condamne les entreprises qui discriminent à l'embauche des personnes souffrant, comme décrit par l'article français L114 du Code de l'action sociale et des familles, de "toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement [...], en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, ou d'un trouble de la santé invalidant." [6]. À cet effet, elle impose un taux d'emploi de personnes atteintes de handicaps à hauteur de 6% pour les entreprises comptabilisant plus de 19 employés [4, 43]. Outre le secteur professionnel, la loi prône également l'inclusion scolaire [3]. Les enfants doivent aussi pouvoir bénéficier d'une scolarisation et l'État doit y mettre des moyens [19]. Elle impose notamment l'accueil d'enfants sourds dans l'enseignement ordinaire [39]. La loi est de surcroît inscrite au code de l'Éducation française [11]. En somme, ce texte constitue une mention légale officielle [62] qui incite l'État, les entreprises, les établissements scolaires et toute autre organisation à mettre en oeuvre des aménagements pour permettre l'accès à la formation, l'intégration professionnelle et la participation des personnes atteintes de handicaps à toute sorte d'activité [37, 55].

Dans un autre registre, la **Federal Communication Commission** de 2012 aux États-Unis impose le sous-titrage des programmes TV. Cette réglementation est ensuite étendue aux programmes diffusés en ligne [26].

Sur le volet normatif, une famille de normes en particulier se distingue parmi toutes les autres. Il s'agit des **Web Content Accessibility Guidelines** (WCAG). Elles sont érigées par la Web Accessibility Initiative (WAI), le groupe de travail international sur l'accessibilité du web issu du World Wide Web Consortium (W3C). Depuis 1999, les versions se succèdent. La dernière en date, la 2.1. est en ligne depuis 2018. Ce référentiel de recommandations vise à sensibiliser et conseiller les développeurs du web à rendre leurs sites web accessibles et utilisables pour les personnes atteintes de handicaps.

En synthèse, les recommandations sont subdivisées en groupes de qualités que l'interface doit acquérir. Une interface accessible doit ainsi permettre à l'utilisateur de percevoir le contenu (perceptible), de le manipuler et d'y naviguer (utilisable), d'en saisir l'information ainsi que sa nuance (compréhensible) et finalement d'être capable de l'interpréter (robustesse) compte tenu de ses capacités. [45, 4, 55]

Pour conclure, il est utile de savoir brièvement que d'autres normes existent. Par exemple, la **US Access Board's Section 508 Standard** ou encore la **EN 301 549** [8].

Chapitre 3

Problèmes, questions et hypothèses de recherche

Ce chapitre symbolise le point d'entrée de cette étude. Il introduit les problématiques identifiées, les questions posées et les hypothèses imaginées. Il est le résultat d'un premier balayage préalable de la littérature traitant des adaptations apportées aux interfaces utilisateurs dans le contexte de la surdité.

3.1 Problématiques

Déficits	**Exemple(s)/Source(s)**
Recommandations non synthétisées	Tous les articles de l'état de l'art
Recommandations évoquées au caractère secondaire	[70]
Recommandations non documentées	[33, 80]
Recommandations ad hoc non généralisées	[66, 42]
Recommandations d'applications indisponibles	[33, 80]
Recommandations non évaluées	[11, 14]
Recommandations sans réponse	[23, 81]
Recommandations trop anciennes	[70, 66, 3]
Recommandations méthodologiques manquantes	[19, 37]
Recommandations non appliquées	Tous les articles de l'état de l'art

TABLE 3.1 – Déficits observés dans la littérature

Le tableau 3.1 synthétise les déficits identifiés dans cette première analyse de la littérature. Ces lacunes sont ensuite détaillées dans les sections suivantes.

Recommandations non synthétisées

Ce déficit est certainement le plus important, car il est à l'origine de ce travail de recherche. L'analyse de littérature montre qu'il existe peu d'études pleinement dédiées à la question des recommandations pour les interfaces utilisateurs à destination des personnes sourdes. Dès lors, les recommandations existantes sont éparpillées dans les papiers voire à travers plusieurs papiers. De surcroît, il est difficile de trouver une synthèse qui référence plusieurs recommandations.

Recommandations évoquées au caractère secondaire

Parmi les papiers évoquant explicitement les recommandations, celles-ci ne sont abordées que de manière secondaire, tel un passage obligatoire afin d'atteindre une autre finalité. Il s'agit rarement de la préoccupation principale de l'étude. Les recommandations ne font donc pas partie des questions de recherche ou des hypothèses et ne sont citées que brièvement.

Pour appuyer ces propos, la thèse de Vincent Vanneste est un exemple qui convient [70]. Elle liste et présente une série d'applications à destination de personnes atteintes de surdité. Pour chacune d'entre elles, un explicatif est donné. Celui-ci n'a pas pour vocation d'énumérer les adaptations et pourtant elles sont citées et peuvent facilement être converties en recommandations. Cependant, elles n'occupent qu'une place secondaire dans l'écrit puisque l'objectif de l'étude est autre.

Recommandations non documentées

Des adaptations visibles sur certaines applications ne sont pas toujours documentées en recommandation dans les papiers qui présentent ces produits.

En guise d'exemple, l'application Elix, présentée à plusieurs reprises dans la littérature [33, 80] propose la maîtrise des médias dans son interface utilisateur. L'usager est notamment en mesure de personnaliser la vitesse de lecture des vidéos. Cette fonctionnalité est particulièrement valorisante pour le public sourd. Toutefois, cette adaptation ne fait l'objet d'aucune recommandation dans les papiers qui la présente.

Recommandations ad hoc non généralisées

D'autres recommandations sont également observables à travers l'inspection de certaines adaptations ad hoc sur les applications. Toutefois, aucune perspective de généralisation n'est abordée dans les papiers qui les citent.

Par exemple, les applications MANO et Plat'In présentent une idée similaire. Elles proposent toutes deux, au survol de la souris, la traduction en langue des signes de mots contenus dans l'interface utilisateur. En revanche, aucun des articles présentant les applications ne se cite ou n'émet l'éventualité d'une généralisation en recommandation [66, 42].

Recommandations d'applications indisponibles

Des recommandations sont aussi remarquables à travers les descriptifs de certaines applications. Malheureusement, celles-ci ne sont plus disponibles et aucune explication ne donne les raisons de leur mise hors service.

Pour illustrer ces propos, les applications HearMe [33], LSFDico et Sourdlang.be [80] peuvent être citées.

Recommandations non évaluées

Il existe également des recommandations qui sont mentionnées sans pour autant avoir été testées et évaluées de manière objective (métriques, statistiques ...).

C'est ce qu'expliquent les publications de Sophie Dalle-Nazébi [14] et Patrice Dalle [11].

Recommandations sans réponse

Il apparaît aussi que des papiers [23, 81] mentionnent le besoin de recommandation sans y apporter réponse ou de détails ni d'embryon de réponse.

Recommandations trop anciennes

La littérature fait par ailleurs ressortir des recommandations provenant de papiers [70, 3, 66] dont l'ancienneté pourrait être remise en question. À titre d'exemple, les capacités du web au début des années 2000 étaient beaucoup plus limitées qu'en 2022, ne serait-ce que sur la question des images et vidéos.

Recommandations méthodologiques manquantes

La littérature manque en outre de recommandations spécifiquement méthodologiques concernant la conception d'interfaces utilisateurs impliquant des personnes sourdes. Beaucoup de techniques d'ingénierie logicielles connues sont citées, mais peu de ces pratiques sont réellement adaptées au contexte de la surdité [19, 37].

Recommandations non appliquées

Finalement, en l'absence d'un recueil de recommandations, les nouvelles applications développées et présentées dans la littérature ne sont pas conçues de la bonne façon. Dès lors, il n'existe pas d'exemple d'application validant un grand nombre de recommandations et expliquant comment celles-ci sont concrètement implémentées.

3.2 Questions de recherche

Compte tenu des déficits observés dans la littérature, deux questions de recherche émergent.

— **QR-1** Quelles recommandations suivre pour concevoir des interfaces utilisateurs adaptées à la surdité de personnes en Belgique francophone ?

— **QR-2** Comment appliquer ces recommandations dans le cadre du développement d'un dictionnaire web contextuel dans le sens de recherche de la LSFB vers le français ?

3.3 Hypothèses

Ces deux questions aboutissent intuitivement à ces deux hypothèses de travail.

— **HYP-1** Il n'existe pas de normes complètes et prêtes à l'emploi listant toutes les recommandations à suivre pour implémenter des interfaces utilisateurs adaptées aux personnes atteintes de surdité.

— **HYP-2** Il n'existe pas de méthodologie spécifique à l'élaboration d'interfaces utilisateurs adaptées aux personnes atteintes de surdité.

Chapitre 4

Méthodologie

L'objet de ce chapitre est de décrire, étape par étape et dans l'ordre chronologique, la méthodologie suivie durant tout le travail de recherche.

(A) Identification du cas d'application

Comme introduit plus tôt, la genèse de cette recherche est initiée par l'identification du cas d'application à savoir le projet LSFBFR. En effet, l'avancement du développement de l'intelligence artificielle de reconnaissance des signes fait émerger le besoin de concevoir une interface utilisable et accessible pour la communauté sourde et au-delà.

(B) Identification de la problématique de recherche

Avant de débuter le développement de la solution, une lecture préalable de la littérature est conduite comme expliqué au chapitre 3. Celle-ci a pour but de trouver des recommandations prêtes à l'emploi à suivre pour développer ce type d'application, c'est-à-dire des interfaces utilisateurs adaptées au contexte de la surdité.

Au fil des lectures de papiers, des déficits dans la littérature apparaissent. Ceux-ci sont catégorisés et finalement rapportés dans un tableau qui liste dix lacunes observées.

(C) Définition des questions de recherche

Deux questions de recherche trouvent ainsi leurs racines dans ces déficits. En effet, deux lacunes sont sélectionnées puis dérivées en questions de recherche. L'une traite plutôt de la découverte des recommandations théoriques qui n'ont pas été trouvées de prime abord dans la littérature. La deuxième, plus pratique, s'intéresse à l'application d'éventuelles recommandations dans le but de développer le cas d'application dans les règles de l'art.

(D) Définition des hypothèses de recherche

La suite logique mène à définir les hypothèses de recherches à partir des questions. L'aperçu donné par la littérature permet rapidement d'écrire ces affirmations.

(E) Analyse de la littérature

La suite de la démarche implique une analyse approfondie de la littérature sur la thématique. À ce moment, l'objectif est d'explorer un maximum de papiers traitant, de près ou de loin, du sujet.

La direction de départ est donc de se concentrer sur la thématique des adaptations apportées aux interfaces utilisateurs dans le contexte de la surdité.

Hors de celle-ci émergent alors plusieurs mots-clés : IHM, interface utilisateur, application, surdité, déficience auditive, adaptations, recommandations, accessibilité, langue des signes, lsfb, etc. Au fil des recherches, ceux qui mènent à des résultats pertinents sont conservés pour des recherches ultérieures. Ceux qui s'avèrent infructueux sont quant à eux étiquetés comme tel pour éviter de les réintroduire. Finalement, les nouveaux mots-clés remarqués dans la littérature sont intégrés pour de futures recherches.

Avant de débuter les recherches à proprement parler en introduisant les mots-clés dans des moteurs de recherche comme Google Scholar, une série de critères d'inclusion et d'exclusion sont définis au préalable. Les critères d'inclusion visent à accepter, par exemple, les papiers traitant notamment d'interfaces utilisateurs, de méthodologies de conception d'interfaces graphiques, de surdité, de langages gestuels. Les critères d'exclusion ont quant à eux pour but de rejeter des papiers qui ne sont pas rédigés en langue française ou anglaise, qui datent d'avant 2010 ou bien qui ne traitent ni d'interface utilisateur ni de surdité. Bien entendu, une tolérance est tout de même appliquée lors des recherches. Certains critères peuvent être levés pour certains papiers finalement jugés pertinents.

Lors de la consultation des résultats obtenus par les recherches avec les mots-clés, les papiers d'apparence pertinents (essentiellement par le titre) sont sélectionnés et rapportés dans un premier tableau (temporaire) jusqu'à atteindre saturation.

Une fois le premier tableau suffisamment rempli, les résumés de chaque article sont analysés avec attention. Suite à cette lecture, une deuxième sélection est opérée. Celle-ci se base sur le contenu des résumés et sur les critères d'inclusion et d'exclusion. Les papiers retenus sont placés dans un deuxième tableau.

Les papiers sélectionnés sont ensuite lus et annotés. Une pertinence définitive est ainsi conclue pour chacun de ces papiers. Par ailleurs, une première classification des informations (problèmes, solutions, déficits ...) est menée.

Finalement, la technique du snowballing est appliquée sur les papiers pertinents et le processus de recherche est réitéré jusqu'à observer de nombreux recouvrements dans les résultats.

(F) Élicitation des exigences

En parallèle, la partie pratique débute réellement par une phase d'élicitation des exigences. Pour ce faire, des personas sont dressées et les listes des exigences fonctionnelles, des exigences non fonctionnelles et des contraintes sont écrites afin de donner une vision globale des besoins des futurs utilisateurs et des parties prenantes. Ces artéfacts sont produits grâce à plusieurs groupes de travail organisés avec les parties prenantes du projet (commanditaire, développeurs, responsable infrastructure, expert en langue des signes, expert en ingénierie logicielle, expert en intelligence artificielle, expert en UX Design, ...). Ces réunions sont tantôt informelles (principalement au début), tantôt structurées.

(G) Prototypage de basse fidélité

Les résultats de l'élicitation des exigences permettent de rapidement dessiner de premières maquettes statiques donnant un aperçu de l'interface et, par déduction visuelle, de ses fonctionnalités. Celles-ci sont réalisées à la main lors des groupes de travail et ont pour objectif d'être exploitées comme base de discussion lors de réunions ou groupes de travail futurs.

(H) Réunions avec les parties prenantes

D'autres réunions se suivent avec les parties prenantes en vue de valider les artéfacts intermédiaires (ex. les maquettes) et d'initier des discussions sur des sujets plus pointus (ex. faisabilité technique, infrastructure existante, contrainte ...). Hors de chaque réunion est produit un compte rendu.

(I) Analyse de l'existant

Les rencontres avec les parties prenantes aident à obtenir une vue d'ensemble de l'existant, c'est-à-dire du projet de dictionnaire contextuel français – LSFB. À ces occasions, des schémas UML d'architecture sont notamment dessinés et conservés comme documentation.

(J) Benchmarking

De manière plus externe au projet, des analyses comparatives sont opérées sur des traducteurs en ligne, des applications dites adaptées à la surdité, etc. Lors de cette étape, chaque analyse est bien entendu consignée.

(K) Veille technologique

Suite aux sujets techniques abordés lors des réunions avec les parties prenantes, des analyses et comparatifs sont opérés sur le web afin de trouver les technologies adéquates qui permettront de tendre vers la faisabilité technique. À cet effet, les recherchent s'orientent vers l'évaluation de frameworks, de bibliothèques de reconnaissance de geste, etc. De la même manière que pour le benchmarking, les résultats des recherches sont sauvegardés comme documentation.

(L) Prototypage de moyenne fidélité

Grâce aux informations récoltées par les groupes de travail, les retours sur le prototype de base fidélité et les comparatifs conduits, l'analyse du projet devient de plus en plus précise et se concrétise davantage. L'étape suivante consiste à élaborer un prototype de moyenne fidélité, soit un prototype certes toujours rudimentaire, mais toutefois capable de mettre en perspectives les capacités futures de l'application en proposant une navigation cliquable limitée et des simulations d'interactions avec des données factices. Ce prototype agit comme un artéfact intermédiaire supplémentaire qui contribue à la validation avec les parties prenantes. Ce prototype est développé à l'aide du logiciel Draw.io.

(M) Entretiens avec les experts

Cette étape vise à valider le prototype de moyenne fidélité avec des parties prenantes, en ce compris les experts qui peuvent mettre à profit leur expertise pour dresser un bilan critique du résultat et suggérer des pistes d'amélioration. Par ailleurs, leur présence permet d'obtenir de nombreux autres conseils (comme "Comment organiser un test utilisateur avec des personnes atteintes de surdité ?") et de multiples autres informations. Les entretiens prennent simplement la forme de discussions ouvertes d'une heure maximum. Comme de coutume, un compte rendu est dressé pour chaque entretien B.

(N) Prototypage de haute fidélité

Une fois la validation reçue pour le prototype de moyenne fidélité, l'élaboration du prototypage de haute fidélité est aussitôt entamée. Celui-ci, plus complet et complexe désigne le développement d'une première version utilisable de l'application avec la simulation, grâce à des données brutes, de certaines fonctionnalités (ex. calibrage par webcam, capture d'une vidéo ...) partiellement développées. L'objectif est de les valider auprès des potentiels utilisateurs à la manière de la méthode du Magicien d'Oz [74] lors de tests utilisateurs.

(O) Tests utilisateurs

Le développement du prototype de haute fidélité est validé par 4 tests utilisateurs avec les profils d'élève, d'enseignant et d'expert en langue des signes.

(P) Itérations

Après les premiers tests utilisateurs, le cycle reprend et d'autres périodes de développement suivies de moments de validation avec notamment de nouveaux tests utilisateurs sont engagées jusqu'à atteindre la version finale du produit, développée, livrée (mise en ligne) et validée.

(Q) Rédaction des recommandations

Finalement, ce travail de recherche se clôture par la rédaction de la synthèse des recommandations A. Celle-ci compile les solutions remarquées dans la littérature et celles déclarées à l'issue des diverses expérimentations. Les recommandations prennent la forme d'une proposition de checklist catégorisée. La classification se base sur celle de l'analyse de la littérature.

Résumé

La figure 4.1 présente de manière plus visuelle la démarche suivie pour ce travail de recherche.

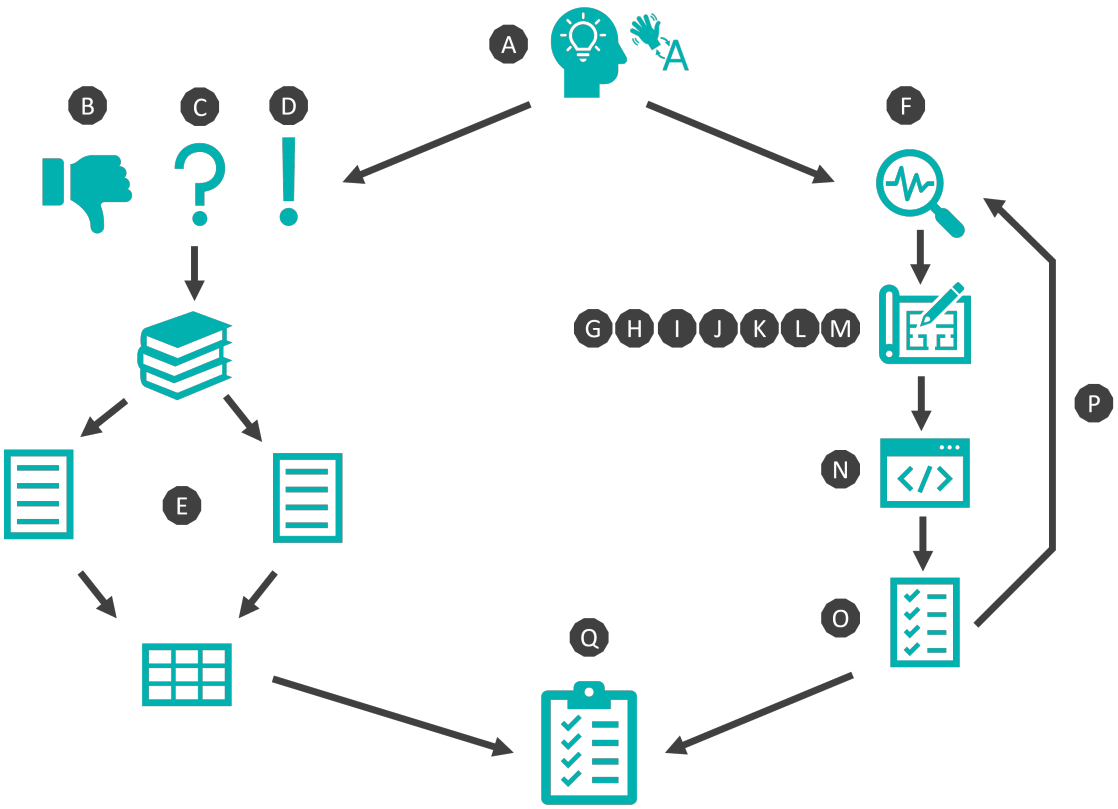

FIGURE 4.1 – Méthodologie du travail de recherche

Chapitre 5

État de l'art

Ce chapitre présente le résultat de l'analyse approfondie de la littérature expliquée au chapitre 4. Celui-ci prend la forme d'une synthèse de problèmes et de solutions identifiés dans des publications relatives aux interfaces utilisateurs face à la surdité.

Au préalable, deux précisions s'imposent. En premier lieu, il faut savoir que le périmètre de cette étude ne se concentre que sur les interfaces utilisateurs face à la surdité et qu'il est entendu par "surdité" les surdités sévères, profondes et complètes principalement natales, soit les surdités essentiellement issues d'anomalies héréditaires. En second lieu, il est à remarquer que cette collection de problèmes et solutions n'est ni exhaustive ni intemporelle.

5.1 Problèmes

Cette section rapporte une classification de 36 problèmes issus d'une quarantaine de sources différentes identifiées dans la littérature. Chaque problématique est abordée de manière isolée et indépendante des autres. Elles sont réparties en 4 catégories principales. La première, **Généralités**, met en avant les grandes difficultés et faiblesses que rencontrent les interfaces utilisateurs informatiques face à la surdité en toute abstraction de détails concrets. La seconde, **Lois et normes** fait un zoom en particulier sur le cadre légal et normatif abordé plus tôt en mettant en évidence les obstacles qui freinent les initiatives. En troisième lieu, la catégorie **Interfaces** se consacre à faire l'inventaire d'une série de problèmes concrets qui se matérialisent sur les interfaces utilisateurs directement. Finalement, la dernière catégorie **Méthodologies** aborde les problématiques méthodologiques rencontrées lors de l'élaboration de ces interfaces adaptées.

5.1.1 Généralités

Manque d'applications

La littérature mentionne le manque cruel d'applications proposant aux personnes atteintes de surdité d'exploiter le potentiel de la technologie pour améliorer leur qualité de vie. Bien qu'il paraisse facile de prime abord, ce constat en dit long sur le sujet même de cette étude. En effet, moins il y a d'applications, moins il y a d'exemples pour inspirer d'autres initiatives. Même certains besoins d'apparence élémentaires semblent ne pas avoir trouvé de réponse. Par exemple, certains papiers dénoncent explicitement l'absence d'applications permettant de traduire facilement les langues des signes vers des langues parlées comme le fait Google Traduction. Ceci montre qu'un tel besoin existe [70, 26]. Par ailleurs, moins il y a d'applications, moins les personnes atteintes de surdité ont l'habitude d'apprivoiser des technologies informatiques qui peuvent les aider. Certains évoquent que "Les personnes sourdes ont certaines difficultés à naviguer sur Internet. Il s'agit d'un sujet qui n'a pas reçu une attention scientifique adéquate." [Traduction libre] [29].

Manque d'adaptations

Plusieurs articles remarquent un manque d'adaptations sur le web pour les personnes atteintes de surdité.

La plupart des adaptations concernent plutôt le public atteint de cécité. "Actuellement, la plupart des travaux sur l'accessibilité à l'Internet concernent les incapacités visuelles [...]" [45]. Ceux-ci relèvent les célèbres descriptions alternatives d'images, la vocalisation des écrans, etc. [4].

Malheureusement, pour la surdité, certaines technologies restent encore (maladroitement) inadaptées "by design" [43]. En France, en 2021, il était estimé que 500 000 personnes n'étaient pas en mesure de téléphoner en raison de la modalité de l'écoute qui ne convient pas aux personnes sourdes [30, 11].

Le numérique devient alors un paradoxe. À la fois présenté à la société comme une aide, il devient rapidement une barrière pour l'échantillon de la population qui remarque que les interfaces nécessitent certaines capacités qu'ils n'ont pas. Une technologie censée rapprocher les gens crée en réalité des exclusions[11].

La littérature relève plusieurs raisons pour expliquer un tel manque d'adaptations.

La première concerne le simple "oubli". Les développeurs omettent par inadvertance que tous les êtres humains ne sont pas égaux [55].

La deuxième raison est historique. Elle a du sens avec l'exemple du téléphone. Il faut savoir que transporter le son sur le réseau est plus facile par rapport à la vidéo en raison du poids de l'information. Cette limitation était encore plus vraie par le passé. Compte tenu de ces limitations, des choix ont été faits à l'époque. Le téléphone était disponible par la voix aux dépens de l'accessibilité pour les personnes atteintes de surdité [11].

Une autre raison vient du fait que les personnes sourdes ne représentent qu'une minorité de la clientèle ("seulement" 10% de la population est porteuse de handicaps). Malheureusement, des questions de rentabilité entrent en compte. Dès lors, l'adaptation des applications informatiques dans un bénéfice d'accessibilité n'est pas la priorité des développeurs et fournisseurs. Des propos forts sont même évoqués dans un papier : "Les services de marketing ne voient pas encore dans cette tranche de population un marché pouvant créer une augmentation du revenu et des bénéfices. En effet, les personnes handicapées ont surtout été vues jusqu'à présent comme peu solvables, voire même une charge pour la société civile." [4, 11].

Finalement, la dernière raison ne concerne plus une question de finances, mais bien de temps. Plusieurs concepteurs avouent ne pas prendre le temps d'adapter leurs applications [23, 28].

Manque de ressources techniques

Le manque de ressources techniques est souvent mentionné. Et pour causes, les applications adaptées à la surdité exploitent souvent des médias comme la vidéo pour permettre la diffusion d'un contenu en langue des signes. Toutefois, la vidéo est un média lourd à sauvegarder, traiter et diffuser en raison des limitations de capacités de stockage, de calcul et transfert (bande passante) [70, 28, 38].

Manque de ressources humaines

Le manque de ressources humaines fait l'objet de quelques critiques pour ceux qui souhaitent adapter leurs interfaces utilisateurs aux personnes atteintes de surdité. En effet, travailler avec un tel public nécessite par exemple de s'associer avec des interprètes professionnels capables de signer une langue des signes. Malheureusement, ces experts ne sont pas toujours faciles à trouver. Dès lors, de telles collaborations nécessitent souvent un effort supplémentaire [55, 61] ce qui peut être perçu comme un frein dans ce type de dynamiques [11].

Manque de ressources financières

Le manque de ressources financières est pointé du doigt par ceux qui tentent d'adapter les interfaces utilisateurs à la communauté sourde. En effet, les efforts supplémentaires fournis se monnaient. Par exemple, l'engagement d'experts en langue des signes représente un coût additionnel qui constitue frein [55, 11].

Le prix de l'effort peut se répercuter sur le prix de l'application, mais il ne faut pas oublier que derrière se positionnent des utilisateurs. Si le prix est trop élevé, il constitue un frein à l'adoption. De plus, ce surcoût renforce le symbole de l'inégalité face à des personnes qui doivent déjà dépenser davantage en raison de leur handicap (appareils et prothèses auditives ...) [31]. Ceci est particulièrement vrai dans les pays en développement où 80% des personnes atteintes de handicaps sont pauvres [63].

Manque de conscientisation

Il faut savoir que le manque d'accessibilité n'est, dans la majorité des cas, pas une volonté, mais bien le fruit d'un manque de conscientisation. Si une personne ne connaît pas ou ne côtoie pas régulièrement de personnes atteintes de surdité, elle ne perçoit pas directement et naturellement les difficultés auxquelles celles-ci peuvent être confrontées en termes d'accessibilité [4].

Manque de formation

Une fois les applications adaptées développées, elles sont peu nombreuses à être accompagnées de formations à destination des utilisateurs sourds. Ce manque de formation ne favorise pas leur adoption [11].

Limitations de traduction

Il arrive que des développeurs tentant d'adapter leurs applications pour un public sourd (en traduisant le contenu par exemple ou en proposant des traducteurs) se confrontent aux limitations de traduction. Plusieurs raisons expliquent cette problématique.

Tout d'abord, les divergences entre les caractéristiques des langues à traduire sont telles qu'elles constituent de réels défis et rendent l'automatisation sévèrement compliquée [80]. En effet, les langages ne bénéficient pas d'une relation hautement bijective. Dès lors, il n'existe pas toujours de correspondance mot-signe. La traduction doit se faire plutôt par la transposition d'une idée générale en un message qui la représente. Par conséquent, le texte n'est pas toujours l'alternative visuelle la plus adaptée [20, 26].

Par ailleurs, il existe de nombreuses variations de signes selon les régions géographiques. Plusieurs signes différents peuvent avoir la même définition ou un signe peut avoir divers usages [39].

Ces difficultés impliquent naturellement un défi de prise en compte de la complexité des textes à traduire. D'ailleurs, la plupart des applications comme les traducteurs sont capables de traduire seulement des mots, des portions de phrases voire des phrases simples [70]. Pourtant, le besoin de traduire des textes entiers avec toute la richesse qui en résulte se fait ressentir [17].

Résultat, la plupart (pour ne pas dire la totalité) des applications de ce type ne proposent qu'un sens unique, c'est-à-dire du français vers la LSF, mais pas l'inverse [81, 17]. Sourds.net, Pisourd, WikiSign ... sont de bons exemples [80]. Il y a pourtant une vraie demande d'un traducteur automatique de la langue des signes vers le français [3].

Finalement, s'ajoutent des problèmes de données. Le faible nombre de signes enregistrés dans les bases de données disponibles librement en est un [11]. WebLSF Lexique (˜2100 signes), DicoL.S.F (˜2600 signes), Elix (˜6000 signes) illustrent ces propos [80].

Conclusion, des pertes d'informations ou de rythmes sont constatées dans les traductions et sous-titres [60].

Stigmatisation

Une application accessible aux personnes atteintes de surdité désigne aussi une application qui ne mène pas à une stigmatisation maladroite. La stigmatisation peut se ressentir par l'usage d'un mot blessant, choquant ou inapproprié, par la ségrégation des publics (d'un côté les personnes sans incapacité et de l'autre les personnes avec leurs incapacités), etc. Les effets d'une stigmatisation annihilent les objectifs d'inclusion sociale et renforcent la fracture numérique [37, 41].

Obsolescence des applications

La littérature regorge de papiers présentant des applications adaptées à la surdité. Malheureusement, certains datent de quelques années et deviennent rapidement obsolètes. LAC (2000)[70], MANO (2002) [66], WebSourd (2005) [3] en sont quelques exemples.

Indisponibilité

Il est remarqué à plusieurs reprises que des applications adaptées à la surdité présentées dans la littérature sont en réalité indisponibles : HearMe, Kinect-Translator.com, WebSourd, Plat'In, LSFDico, Sourdlang.be. Selon les cas, plusieurs justifications sont avancées. Certains apparaissent comme en cours de développement [37, 42]. D'autres ne proposent qu'une version de démonstration limitée [35]. Finalement, les autres ne donnent aucune justification [33, 80].

5.1.2 Lois et normes

Faiblesse des normes

Dans le cadre de la surdité, des papiers critiquent les WCAG comme n'étant pas complètes. Certains affirment qu'elles ne couvrent que la moitié des problèmes rencontrés par les usagers en situation de handicap en se concentrant sur le minimum en termes d'utilisabilité sans vouloir garantir une "expérience utilisateur effective" [55]. D'autres avancent même que les recommandations sont trop générales, complexes à combiner ou contradictoires [21].

Contraintes relatives aux données à caractère personnel

Les vidéos utilisées pour proposer des traductions en langue des signes tout en conservant toute la finesse du message ne sont pas sans conséquence en termes légaux. En effet, les vidéos incluent les visages des personnes qui sont dès lors identifiables. Le contenu des vidéos est ainsi considéré comme des données à caractère personnel. Il en résulte ainsi le respect du RGPD et du droit à l'image. Appliquer un filtre d'anonymisation altérerait la qualité de la forme du message. Il serait par exemple difficile de distinguer les expressions du visage [3, 61]. Par ailleurs, la demande de consentement des signeurs alourdit le processus et n'aboutit pas toujours à un accord. Ceci constitue un frein à la motivation [11]. Des chercheurs ont déjà pu expérimenter la mésaventure : "50% des utilisateurs ont refusé le consentement à l'enregistrement de leur visage et 10% d'entre eux ont refusé le consentement à l'enregistrement audio du test parce qu'ils ne se sentaient pas à l'aise avec cela." [Traduction libre] [53].

5.1.3 Interfaces

Manque de médias

D'après le W3C, une langue des signes est une langue maternelle pour certains utilisateurs. L'illettrisme fonctionnel dont ils souffrent est une vraie barrière à certaines fonctionnalités applicatives. En effet, la lecture est souvent requise pour rechercher de l'information (barre de recherche, index ...). Or, les personnes sourdes sont généralement plus attirées par des visuels iconographiques. Plus encore, des auteurs relèvent que sans "[...] maîtriser une forme écrite de langage, personne ne peut mener une navigation efficace ni interagir avec les informations présentées au sein de ces sites [...]" ou encore qu'"[...] site dont les contenus s'appuient exclusivement sur le texte représente le cas le moins favorable pour son appropriation par les utilisateurs sourds [...]". Il y a donc un manque d'alternatives visuelles (images, vidéos, animations, icônes ...) aux contenus textuels qui ne semblent pas adaptés [16, 70, 51, 21, 39].

Faiblesses des médias

Bien que les médias puissent être présentés comme étant l'alternative idéale au texte dans le contexte de la surdité, il ne faut pas faire l'erreur de penser que les médias sont parfaits en tout point. La littérature relève quelques critiques à leur égard.

En premier lieu, un média est nettement moins singulier qu'un texte. En effet, il est chargé de détails potentiellement parasites qui n'ont pas leur importance dans le message, mais qui peuvent l'affecter. Par exemple, dans une vidéo, l'image de fond, les habits du locuteur, etc. peuvent attirer l'attention du visionneur et affecter la transmission du message. Des auteurs relèvent par exemple que rendre visible le locuteur dans un média ne permet pas "[...] une prise de recul comparable à celle qu'autorise l'écrit [...]" [3].

En second lieu, il faut savoir que la vidéo impose par défaut une forme de lecture linéaire qui n'est pas toujours la plus efficace. Le message est livré par une lecture du début à la fin avec une vitesse bien souvent imposée (bien que paramétrable sur certains lecteurs). Par ailleurs, le positionnement ou la navigation dans la lecture est rudimentaire (même si certains lecteurs proposent des fonctions de mise en pause, de retour en arrière, d'avance de X secondes ...) [11].

Manque de complémentarité des contenus

Que ce soit le texte ou les médias, aucun ne peut prétendre être la forme idéale pour le contenu des applications à destination de la communauté sourde.

Le W3C rappelle que toute personne atteinte d'une difficulté auditive ne pratique pas forcément une langue des signes. C'est par exemple le cas pour une personne qui, à la suite d'un accident ou d'une maladie, subit soudainement la surdité. Des auteurs affirment que du "[...] contenu multimédia sans alternative textuelle est l'un des plus grands obstacles pour les personnes de ce profil (personnes malentendantes) [...]" [Traduction libre] [53]. Pour ce type de public, le texte est indispensable.

A contrario, une langue des signes est une langue maternelle pour certains utilisateurs qui ne maîtrisent pas les langues écrites [21, 26]. Certains écrivent qu'il "[...] semble que les personnes sourdes naviguent sur la base de mots, d'images et d'indicateurs visuels lorsqu'elles consultent des sites web [...]" [29]. Même le sous-titrage, souvent présenté comme une alternative d'accessibilité, n'est pas la solution la plus adéquate [28]. Dans ce cas de figure, l'introduction d'un média semble être pertinente.

Ces oppositions démontrent le besoin d'une complémentarité réunissant le meilleur des deux mondes.

Manque de contextualisation des contenus

Une remarque souvent relevée par la communauté sourde à l'égard des dictionnaires et autres banques de données spécifiques en ligne est le manque de contextualisation des contenus. En effet, la plupart proposent des traductions de signes sous la forme de mots isolés sortis de leur contexte. Or, la séquence des signes, soit la suite des idées, est importante pour comprendre le contexte, car chaque signe peut prendre plusieurs sens selon le reste de la phrase [38, 57, 40, 80, 70]. Hors du monde numérique, un interprète humain doit pouvoir saisir le contexte (culturel, situationnel, social ...) pour orienter sa traduction [20].

Manque d'enrichissement des contenus

Les dictionnaires de langue des signes en ligne, comme les applications FAIS-MOI UN SIGNE et SYMBOL, sont construits à l'aide de bases de données. Celles-ci ne sont malheureusement pas enrichies à travers le temps, tant par les gestionnaires de l'application que par les utilisateurs. Des mécanismes d'ajout de données seraient favorables [70, 57].

Complexité de création des contenus

Une des grandes difficultés rencontrées par les concepteurs d'application à destination des personnes atteintes de surdité est la complexité de création des contenus.

Que ce soit pour tourner des vidéos ou créer des avatars en images de synthèse, chaque technique présente ses inconvénients.

La vidéo, plus naturelle, réaliste et accessible par les utilisateurs, requiert du matériel audiovisuel (studios, caméras, ordinateurs, logiciels de montage, stockage, écrans, spots lumineux ...), des ressources humaines (signeurs, traducteurs-interprètes, techniciens en audiovisuel ...), du temps (tournage, ré-enregistrement pour ajout ou modification, montage ...), des données (contenu des dialogues ...) et de l'argent (salaires et matériel) [70, 23, 57, 3, 11, 35, 61].

Les animations et images de synthèse (avatars), plus facilement modifiables, demandent quant à elles du matériel de production (ordinateurs, logiciels, matériel de capture ...), des ressources humaines (dessinateurs), des données (base de données de signes), du temps (dessins, modifications ...) et de l'argent (salaire et matériel) [3, 38, 28, 40, 11, 61].

Cette complexité croît lorsque la quantité de données à produire augmente pour, par exemple, la production des variantes de signes, des variantes géographiques, etc. [20].

Finalement, les difficultés s'accentuent davantage quand il manque des données relatives à l'étude de la langue. Leur absence freine l'objectif de complétude des données produites. En effet, pour produire des signes, il faut des données numériques exploitables (annotations des vidéos, points de repères 3D des mains qui signent ...) [11].

Complexité des contenus

Il n'est pas surprenant qu'un contenu complexe soit difficile à consulter pour une personne atteinte de surdité et en particulier pour ceux qui souffrent d'une forme d'illettrisme. C'est ce qu'affirment des chercheurs espagnols en expliquant qu'un texte complexe est l'un des obstacles les plus critiques. Ils relèvent même qu'au-delà de la mauvaise compréhension du contenu à cause de la complexité des textes, certains utilisateurs n'ont même pas conscience de leur erreur. Dès lors, la navigation et l'accès à l'information sont complètement biaisés avec les conséquences qui s'en suivent [53]. Par ailleurs, d'autres chercheurs ont fait le même constat, mais avec des icônes cette fois-ci. Ils remarquent que les significations des icônes ne sont pas toujours immédiates ou intuitives et aboutissent généralement en questionnements ou demandes d'aide [40].

Manque de dynamisme des contenus

Un article relève que l'usage d'une représentation statique pour le contenu en langue des signes est une source d'erreur [70].

Complexité d'usage

L'accessibilité est un enjeu de taille pour les concepteurs d'applications, d'autant plus lorsque le public cible est porteur de déficiences. L'accessibilité joue beaucoup sur l'adoption. D'après le W3C, elle se définit comme "[...] les moyens à mettre en oeuvre pour permettre un accès égal et des opportunités égales à tous les utilisateurs.". À ce propos, Tim Berners-Lee, fondateur du web, annonçait "La puissance du web et son universalité. L'accès par chacun indépendamment de sa déficience est un aspect essentiel.". Dans les faits, le web s'est développé sans regarder aux standards. Aujourd'hui, de nombreux sites manquent d'accessibilité créant ainsi une barrière à l'utilisation et à l'adoption. [21, 45]. Des concepteurs avouent même le manque d'accessibilité de leur produit. Par exemple, les auteurs de LAC critiquent la réalisation des tâches trop chronophages et compliquées, qui plus est pour des utilisateurs éprouvant déjà des difficultés avec la technologie (barrière de la langue, etc.) [70, 59].

Saisies inadaptées

Dans un élan de maladresse, certaines applications proposent aux utilisateurs des saisies tout à fait inadaptées aux difficultés des utilisateurs. Par exemple, les saisies par l'écrit ne sont pas toujours adaptées pour des personnes qui souffrent d'un certain illettrisme. Des applications comme GASPARD proposent à ses jeunes utilisateurs d'entrer leur prénom, ce qui les bloque dans la suite de l'usage [57].

Manque d'aides

La littérature soulève le besoin d'obtenir un module d'aide contextuelle en langue des signes lors de l'usage d'une application [17].

Manque de multimodalité

Certaines applications utilisant les médias ne semblent pas les exploiter au maximum de leur potentiel. En effet, des outils comme WebSourd diffusent passivement des contenus vidéo, mais limitent leur barre de recherche au textuel sans utiliser la vidéo comme moyen d'interaction [3].

Manque d'interactions gestuelles

Malgré les formes d'illettrisme dont souffrent certaines personnes atteintes de surdité, les applications manquent d'interactions dépourvues d'écriture. Les applications ne proposent par exemple pas assez d'interactions gestuelles par capture de mouvements via une webcam. Ainsi, elles ne permettent pas à la communauté sourde de communiquer en langue des signes, et donc de manière plus intuitive avec l'interface [28, 3].

Gestion des erreurs

Malgré la recommandation des WCAG dans la version 2.1., la gestion des erreurs adaptée à la surdité reste timide. Les interfaces manquent d'aides à la correction d'erreurs ou manque de traductions de messages d'erreurs en langue des signes [17, 21, 72, 3].

Manque de compatibilité des publics cibles

Une erreur qui peut être commise par les concepteurs d'applications qui se destinent, entre autres, à des personnes atteintes de surdité est la ségrégation des publics. Certains développent des versions spécifiquement pour une catégorie d'utilisateurs à besoins spécifiques. Celles-ci sont malheureusement disponibles à part entière des versions dites "classiques". Ce n'est pas une formule idéale, car le groupe d'utilisateurs est séparé et se sent exclu [70].

Cependant, certaines adaptations au sein d'applications dites "adaptatives" peuvent gêner l'utilisateur valide [52].

C'est ainsi que cet antagonisme provoque, pour certaines technologies, l'exclusion de catégories d'utilisateurs [24, 43, 30].

Manque de réalisme

Nombreuses sont les applications (ex. GASPARD, eSign, WebSign, etc.) dites accessibles face à la surdité qui proposent un avatar signeur animé, parfois même en 3D.

Toutefois, ces applications font l'objet de nombreuses critiques. En effet, elles manquent particulièrement de réalisme ce qui altère la reconnaissance des signes pour les utilisateurs. Parmi les reproches sont cités la rigidité des mouvements, les transitions brusques lors des combinaisons de signes, le rythme et la vitesse des gestes (trop lent ou trop rapide), l'expressivité du visage limitée ou méprisée, les proportions du corps incorrectes, l'absence ou le contraste de peau (utile pour identifier la paume du dos de la main), le manque de perspective spatiale (2D vs. 3D), le champ de vision réduit ignorant l'amplitude des signes (en guise d'intonation) et l'absence d'interlocuteur altérant la spontanéité [70, 23, 15, 28, 3, 11].

Temporalité

La temporalité est souvent une question délicate dans ce type d'interfaces où animations et sous-titres prennent vie en réponse à la surdité. Pour être réellement qualifiés d'aides, ils doivent respecter une synchronisation temporelle stricte. Par exemple, pour les sous-titres, une simple transcription qui n'est pas synchronisée au mot à mot avec le texte est illisible [56]. Lors de tests utilisateurs pour une application avec sous-titres, les chercheurs ont obtenu des retours qui vont en ce sens "[...] j'étais très nerveux lorsque les sous-titres n'étaient pas synchronisés avec l'image [...]" [Traduction libre] ou encore "[...] je n'avais pas le temps de lire les sous-titres, car ils allaient trop vite et j'avais des difficultés à comprendre certains mots [...]" [Traduction libre]. En effet, la lecture est une difficulté chez les personnes sourdes [53].

Dépendances matérielles

Il existe certaines applications adaptées à la surdité proposant à l'utilisateur une interaction gestuelle avec l'interface. Toutefois, ce type d'interaction est parfois assurée par des dispositifs connexes (gants, caméras hautes-dimensions ...). Ces dispositifs complémentaires sont contraires à l'accessibilité. Ils représentent un supplément d'argent, de complexité et d'effort [3].

Par ailleurs, d'autres applications comme OOVOO ou Plat'In exploitent la webcam. Ce choix n'est pas non plus sans conséquence puisque ces caméras ne sont pas toujours présentes, sont différentes d'un appareil à l'autre et ne disposent pas toujours d'une qualité suffisante [39, 42].

5.1.4 Méthodologies

Manque de méthodologies

Outre l'usage ou la combinaison de pratiques conventionnelles héritées de la discipline de l'ingénierie logicielle, il y a un manque de méthodologies adaptées pour évaluer l'accessibilité des interfaces utilisateurs spécifiquement à destination des personnes atteintes de surdité [55]. À ce propos, un papier affirme que "[...] peu de méthodes existent aujourd'hui pour sonder les publics handicapés et encore moins les publics sourds, notamment les enfants chez qui l'on connaît la limite des techniques de verbalisation [...]" [25]. Plus précisément, un autre informe qu'il "[...] n'existe pas à notre connaissance de proposition méthodologique sur l'évaluation des corpus vidéo de LS [...]" [61]. Pour ceux qui s'essaient à l'exercice, peu documentent leurs expérimentations et détaillent leurs protocoles [14]. Certains évoquent vaguement de l'interprétation et des questionnaires, mais sans donner de détails [16, 19, 37].

Manque d'implications des utilisateurs

Certains auteurs reconnaissent un manque d'implication d'utilisateurs sourds pour, par exemple, conduire des tests utilisateurs spécifiques [52].

Manque d'implications d'experts

Dans certains projets, il est regrettable que les experts (surdité, langue des signes, accessibilité ...) ne soient pas conviés à apporter leur expertise pour dresser des critiques constructives durant le développement, mais aussi pendant les tests [70, 37].

Manque d'évaluations

Le manque de méthodologies adaptées au contexte de la surdité compromet l'évaluation de certains projets. Il existe des papiers qui portent des analyses en alertant sur le manque de statistiques et données chiffrées sur les personnes atteintes de surdité et leurs difficultés avec la technologie. Visiblement, il "[...] existe un vaste chantier d'enquête européen qui reste faiblement exploré [...]" [14]. Dans d'autres articles, certaines tentent des solutions novatrices, mais affirment que des "[...] études et des expérimentations doivent cependant être menées [...]" [11].

Persuasion des utilisateurs

Lors d'évaluations avec un public sourd, certains chercheurs ou développeurs éprouvent des difficultés à persuader les utilisateurs de participer aux expérimentations. Le respect de la protection des données à caractère personnel et le droit à l'image semblent avoir un effet dissuasif [3, 53].

5.1.5 Résumé

Le tableau 5.1 récapitule l'ensemble des problèmes identifiés dans la littérature et leur classification.

Problèmes			
Généralités	**Lois et normes**	**Interfaces**	**Méthodologies**
Manque d'applications	Faiblesse des normes	Manque de médias	Manque de méthodologies
Manque d'adaptations	Contraintes relatives aux données à caractère personnel	Faiblesses des médias	Manque d'implications des utilisateurs
Manque de ressources techniques		Manque de complémentarité des contenus	Manque d'implications d'experts
Manque de ressources humaines		Manque de contextualisation des contenus	Manque d'évaluations
Manque de ressources financières		Manque d'enrichissement des contenus	Persuasion des utilisateurs
Manque de conscientisation		Complexité de création des contenus	
Manque de formation		Complexité des contenus	
Limitations de traduction		Manque de dynamisme des contenus	
Stigmatisation		Complexité d'usage	
Obsolescence des applications		Saisies inadaptées	
Indisponibilité		Manque d'aides	
		Manque de multimodalité	
		Manque d'interactions gestuelles	
		Gestion des erreurs	
		Manque de compatibilité des publics cibles	
		Manque de réalisme	
		Temporalité	
		Dépendances matérielles	

TABLE 5.1 – Problèmes des interfaces utilisateurs face à la surdité

5.2 Solutions existantes

Cette section rapporte une classification de 51 solutions identifiées dans une soixantaine de références en réponse aux problèmes détaillés plus tôt. De la même manière, chaque solution est expliquée de manière isolée et indépendante des autres. Les solutions identifiées sont réparties en 4 catégories principales ; les mêmes que pour les problèmes. La première, **Généralités**, met en avant les possibilités plus synoptiques qui contribuent à rendre les interfaces utilisateurs informatiques plus adaptées face à la surdité. La seconde, **Lois et normes** attire l'attention sur les conformités légales et normatives qui se doivent d'être respectées. En troisième lieu, la catégorie **Interfaces** détaille toutes les adaptations directement matérialisables sur les interfaces utilisateurs contribuant à améliorer leur accessibilité. Finalement, la dernière catégorie **Méthodologies** aborde les recommandations méthodologiques visant à rendre les démarches adaptées au contexte de ce handicap.

5.2.1 Généralités

Applications en ligne

En France, le nombre d'enfants sourds s'élève à environ 10.000. Ces élèves sont répartis géographiquement sur tout le territoire. Les solutions mises en place physiquement (ex. écoles spécialisées, etc.) sont difficiles d'accès pour tous. Par conséquent, des auteurs encouragent alors à développer des solutions web afin de proposer une accessibilité indépendante de la géographie [10].

Compatibilité

La variété d'appareils sur le marché est telle que la compatibilité est un enjeu aussi pour les concepteurs d'applications adaptées à la surdité. Il est conseillé de développer des systèmes applicatifs compatibles avec un maximum d'appareils, de logiciels et de technologies, actuels et futurs. Le point de la compatibilité fait d'ailleurs partie des recommandations des WCAG au point 4.1. de la version 2.1. [21, 3].

Ressources techniques

Lors du développement d'applications adaptées à la surdité, pour faire face au manque de ressources techniques, il est recommandé de ne pas recourir à des techniques ou des technologies requérant des ressources hors normes par rapport à des capacités standards [57].

Ressources matérielles

La conception et le développement d'applications adaptées à la surdité demandent de prévoir du matériel supplémentaire [54]. Celui-ci dépend des activités menées (création de contenus vidéo, tests utilisateurs ...). Le matériel souvent cité et recommandé est : caméras, micros, ordinateurs et accessoires, écrans, spots lumineux, studios d'enregistrement, tables, chaises, connexions internet, spots lumineux, logiciels de montage ... [15, 3, 17, 11, 53].

Ressources humaines

Les expérimentations validant les applications développées pour les malentendants requièrent davantage de testeurs en comparaison aux expérimentations classiques. Il est recommandé de prévoir plus de personnel [54] pour répondre à ce manque de ressources humaines. Les rôles souvent cités et recommandés sont : signeurs, interprètes, techniciens audiovisuels ... [61, 3]

Valorisation étendue

Il faut savoir que les adaptations apportées aux interfaces en vue de les rendre accessibles peuvent également bénéficier à d'autres usagers.

Dans un premier temps, elles peuvent bénéficier à des utilisateurs qui présentent des incapacités similaires ou d'autres déficiences (ex. personnes âgées, analphabètes légers, personnes atteintes de dyslexie, internaute novice ...) [55]."[...] l'accessibilité est un gain d'ergonomie pour tous. Les sites internet et les produits accessibles sont reconnus comme plus faciles à utiliser par tous et notamment par les personnes âgées." [4]. Par exemple, une simplification de texte faite pour un utilisateur atteint de surdité peut également aider une personne souffrant de dyslexie [45].

Outre les autres déficiences, les adaptations peuvent être profitables aux utilisateurs ne présentant pas d'incapacités. Par exemple, la combinaison du texte et de la vidéo est autant compatible pour les utilisateurs déficients que pour les utilisateurs sans incapacité [70]. En outre, le sous-titrage bénéficie tant aux malentendants qu'aux utilisateurs désireux de lire la vidéo sans le son [26].

Par ailleurs, la littérature nous apprend l'implication des proches dans l'usage d'une application par une personne sourde. Si cette dernière remarque que ses proches sont également en mesure d'utiliser la même application, sur un support identique, sans différence notable, alors le sentiment de soutien mutuel est renforcé. Cela se remarque particulièrement chez les enfants apprenant via une application et voyant leurs proches participer à leur apprentissage depuis la même application [70].

Pour deux types de déficience, il est donc recommandé de mutualiser les efforts en proposant une seule adaptation valable pour les deux déficiences sur le même support (afin d'éviter le sentiment d'exclusion). Ceci montre à quel point il est important de mettre en perspective les adaptations en prenant du recul, de considérer qu'il existe d'autres déficiences aux caractéristiques similaires et tenter d'identifier d'autres champs d'applications connexes dans lesquels les adaptations sont également valorisables.

Toutefois, il faut veiller à ce que les adaptations ne soient pas incompatibles pour des utilisateurs avec d'autres déficiences ou en absence de déficience [26, 45].

5.2.2 Lois et normes

Respect des recommandations existantes

Il n'est pas surprenant que de nombreux papiers et projets recommandent de suivre les recommandations existantes dans les normes internationales. Les plus citées sont sans aucun doute les WCAG [56, 73, 53, 21, 41]. Des applications adaptées à la surdité comme HandHand talk affirment être développées en respectant ces normes [64].

Respect des données à caractère personnel

Afin d'assurer le respect de la protection des données à caractère personnel, plusieurs solutions existent.

La première est de simplement demander et obtenir le consentement d'une personne pour son apparition dans un média (image, vidéo, audio) [3, 18].

La deuxième consiste à exploiter des techniques avancées d'anonymisation. Par exemple, dans le contexte de vidéos de personnes signantes, le deepfake peut être utilisé pour mélanger plusieurs visages et expressions et ainsi créer des visages uniques imaginaires [3].

5.2.3 Interfaces

Usage de médias

L'usage de médias (vidéos et images) dans une interface utilisateur destinée à un public sourd semble être une recommandation largement adoptée.

La littérature nous apprend qu'une "[...] personne sourde mobilisera des indices visuels ou tactiles plutôt que sonores [...]" [13]. Les personnes porteuses d'une difficulté auditive ont un sens visuel plus développé en compensation à l'audition [3]. Le mode visuel semble donc être plus facilement apprivoisable par la communauté

sourde [17]. En effet, la dimension visuelle offerte par l'introduction de médias aide à suppléer certaines informations et compenser des difficultés de manipulation ou de compréhension. Par ailleurs, il contribue à l'autonomie et donc favorise la motivation [66, 17, 80]. Une recommandation formulée est de convertir tout signal auditif en signal visuel [45] pour pallier le manque de médias remarqué dans certains outils.

La vidéo est le média qui convient le mieux pour suppléer de l'information à destination des personnes atteintes de surdité [14]. En effet, la "[...] vidéo est le support naturel des langues des signes [...]", [11] car elle compense l'absence de représentation écrite [12] et permet une traduction des interfaces en langue des signes [41, 29, 10, 24]. Elle apporte l'interactivité par rapport à des représentations statiques [70]. Une vidéo est plus percutante et attire l'attention [28]. L'usage de la vidéo est donc massivement recommandé dans les interfaces utilisateurs à destination de personnes sourdes.

Nombreux sont les exemples d'applications qui exploitent la vidéo comme support d'apprentissage, support de traduction ou comme support de communication : ALLAO [70, 57], GAPSARD [70, 57], Fais-moi un signe [70, 57], Cybersign [70], J'apprends la LSF [70], Dils [70], Mak-Messenger [39], LMS [39], LSL STEM Forum [39], Forum LSF [39], WebSourd [3], ASL Browser [28], Plat'In [42], Muséo [25], Pisourd [80].

Outre la vidéo, l'usage d'images telles des icônes est également une bonne option. Les représentations graphiques véhiculent un message en contournant la barrière de l'écrit. Comme le dit le proverbe de Confucius, "une image vaut mille mots". L'encodage des icônes comme des caractères et non comme des images est un autre avantage relevé. Dès lors, elles sont davantage acceptées et légères sur le web tout en conservant leur richesse sémantique [3]. Leur introduction est ainsi recommandée dans les interfaces utilisateurs à destination des personnes atteintes de surdité.

Conformité des médias

Au-delà de l'usage de médias comme la vidéo, il est recommandé de veiller à la conformité de ceux-ci. La dimension de la vidéo est par exemple importante pour que les personnes signantes puissent lire correctement les signes sur la vidéo [39]. Il est par exemple recommandé une résolution minimum de 320x240 et un taux de frame à 30 par seconde, 20 à la rigueur [18].

Maîtrise des médias

Il est important de permettre à l'utilisateur atteint de surdité une maîtrise sur les médias qu'il consulte. Par exemple, dans le cas d'une vidéo, il faut veiller à développer des boutons de contrôle pour permettre à l'usager de rejouer la vidéo, revenir en arrière, etc. [57]

Complémentarité des médias

Plaider l'usage des médias sur une interface à destination d'un public sourd peut avoir comme travers de bannir le texte. Il s'agit évidemment d'une erreur.

Toutes personnes atteintes de surdité ne maîtrisent pas forcément une langue des signes. Certains sont d'ailleurs en mesure de lire du texte [3]. Une étude révèle l'importance du texte davantage consulté par les personnes non entendantes par rapport aux personnes entendantes [29].

Dès lors, il est recommandé de conserver le texte et de tendre vers une complémentarité avec et par les médias. Il est appréciable d'apporter une redondance donnant confiance à l'utilisateur quant à l'information [14]. D'ailleurs, il est tout à fait envisageable de faire cohabiter plusieurs médias de fonds identiques, mais de formes différentes [45, 59]. Pour preuve, de nombreuses applications l'appliquent : GASPARD [70], LAC [70, 57], LMS [39], ASL STEM Forum [39], Plat'In [42], Pisourd [80], Elix [80], Sématos LSF [80], WikiSign [80], N3C [80], OCELLES [39], etc.

Concrètement, chaque moyen d'interaction ou contenu nécessitant l'audition ou la parole doit être accompagné, en complément, d'un moyen ou d'un contenu alternatif compensant l'absence de cette capacité. Dès lors, une information textuelle peut suppléer une information audio (ex. sous-titre, légende). De la même manière, une information visuelle peut suppléer une information textuelle [18, 5, 71, 21, 56, 72]. Cette recommandation souvent citée dans la littérature est en réalité un miroir de la section 1. Perceptible des WCAG 2.1.

Veiller à la complémentarité des médias apporte des bénéfices outre l'accessibilité de l'interface utilisateur à destination des personnes atteintes de surdité.

En effet, la complémentarité des médias évite les incompréhensions. Multiplier l'information sous différentes formes apporte plusieurs points de confirmation parallèles [66, 28].

De plus, comme déjà évoquée plus tôt, la complémentarité des médias est profitable à beaucoup d'utilisateurs. Qu'ils soient non entendants, porteurs d'autres déficiences, en situation de difficultés, voire entendants, la redondance d'information sous une variété de formalismes peut être une aide pour tous ces utilisateurs [70, 25].

Pour réussir une bonne complémentarité des médias, plusieurs conseils peuvent être suivis.

Tout d'abord, il est vivement conseillé de disposer les médias complémentaires à proximité (spatiale sur l'interface) les uns des autres de manière à mettre en évidence de lien de complémentarité [70].

Ensuite, il faut veiller à ne pas encombrer l'interface. Il existe des exemples où des "[...] sites internet à destination des personnes sourdes (Websourd par exemple) ne proposent une alternative signée que pour leurs entrées de menus et se limitent au texte pour tout ou partie du reste de leurs contenus." [39]. La complémentarité ne doit pas être complète. Assurer la suppléance des informations capitales est déjà une application correcte du principe [21].

Par ailleurs, il faut éviter de perdre de l'information. Présenter le contenu sous différentes formes ne doit pas impliquer un compromis ou une perte d'information [21] (voir 5.2.3).

De plus, la complémentarité doit être organisée de manière à mettre en évidence la correspondance sémantique des médias. Par exemple, un texte doit être réfléchi pour décrire une image sans ambiguïté [29].

En ce sens, la question de la synchronisation peut aussi être évoquée lorsqu'elle s'avère applicable. Dans le cadre d'un média temporel, il est important que son complément soit parfaitement synchronisé [56] (voir 5.1.3). À ce propos, une bonne pratique est de s'inspirer de la conversation totale, une norme qui décrit un mode de communication impliquant le son, de la vidéo et du texte simultanément en temps réel [13].

De surcroît, l'utilisateur doit pouvoir conserver un contrôle sur le moyen alternatif. Il peut par exemple être en mesure de le désactiver [18] (voir 5.2.3).

Finalement, le moyen alternatif peut être personnalisable pour convenir aux utilisateurs à besoins spécifiques (taille du texte, vitesse de lecture d'une vidéo ...) [18] (voir 5.2.3).

Attention, il convient de rappeler que la complémentarité n'implique pas forcément une langue des signes. Toute forme écrite n'est pas forcément suppléée par une image animée ou une vidéo permettant la lecture en langue des signes. En effet, une vidéo montrant une personne parler oralement peut aussi fonctionner pour ceux qui pratiquent la lecture labiale [70].

Contextualisation des contenus

Pour répondre au manque de contextualisation des contenus des applications à destination des personnes atteintes de surdité, il est recommandé de porter une attention particulière à la contextualisation des signes au sein des interfaces utilisateurs [39]. En effet, les signes comme les mots ne doivent pas être présentés dans leur forme isolée, mais plutôt dans des phrases dotées chacune d'un contexte particulier [70]. Ce contexte aide particulièrement les utilisateurs à saisir correctement le sens de chacun des signes et mots dans le cadre, par exemple, d'un apprentissage [57]. En effet, selon le contexte, les significations diffèrent.

Enrichissement des contenus

Afin de contrer la faible quantité de données en langue des signes disponibles pour construire des applications adaptées, des astuces existent.

La première consiste à donner aux utilisateurs la possibilité de contribuer à l'enrichissement des bases de données, que ce soit de manière directe (ajout de contenu par l'usage d'une fonctionnalité dédiée) ou indirecte (ajout automatique de contenu par l'usage d'autres fonctionnalités). Cette méthode de "crowdsourcing" permet de créer plus de contenus en distribuant l'effort (ressources matérielles, humaines et temporelles) sur un grand nombre d'utilisateurs dans le but de construire plus rapidement un système davantage complet et intelligent [70, 80]. Des outils comme Lexique LSF [46], WebSourd [39], GASPARD [57], WebSign [28] ou encore OCELLES [39] exploitent cette solution. La contribution peut viser des vidéos, des mots, des phrases, des textes ...

La deuxième consiste à extrapoler des données à partir de données disponibles, soit obtenir des données créées de toutes pièces à partir de données existantes. Cette technique est particulièrement utilisée pour créer de nouvelles vidéos à partir d'extraits, chacun représentant un signe isolé ou une partie de signe. Pour cette astuce, deux techniques se distinguent : la concaténation et la déformation.

La concaténation consiste en la mise bout à bout de signes ou parties de signes isolés et d'exploiter l'interpolation d'images pour ajouter des images similaires intermédiaires et ainsi fluidifier la séquence.

La déformation vise à utiliser la coarticulation, soit la déformation de bouts de signes (fin du précédent et début du suivant) pour fluidifier la transition d'un signe à un autre.

Ces techniques sont, à ce jour, encore imparfaites et doivent encore faire l'objet de recherches [61].

Sobriété des contenus

Les WCAG recommandent dans la section 1.4. de faciliter la perception visuelle [21, 71] pour les personnes atteintes de surdité. Ceci se matérialise par la distinction de zones, la mise en avant des profondeurs (avant-plan, arrière-plan) [21], l'aération des contenus [39], la clarification des contenus (sélection de l'essentiel, usage de vocabulaire adéquat, simple et courant) [57, 40] et la clarification de la navigation (intitulés clairs, visuel allégé, actions rapides) [52, 45, 80].

Attention, clarifier ne signifie pas réduire. Certes, il existe un compromis entre clarté et complétude [81], mais une clarification ne doit pas mener à une réduction impliquant une dégradation de l'information [25].

Animations

Dans les contenus se distinguent des médias visuels tels les animations.

Malgré le manque de réalisme évoqué à plusieurs reprises dans la littérature, certaines sources continuent de promouvoir l'intérêt des animations et en particulier des avatars signeurs animés en vue de remplacer les vidéos [70].

Et pour cause, les bénéfices sont séduisants.

Tout d'abord, les animations de type avatar permettent de respecter l'anonymat des signeurs en cachant, par le biais du personnage, leur vraie identité [3, 61, 35].

De plus, elles permettent d'humaniser sobrement l'interface [42].

Par ailleurs, les animations apportent une singularité par rapport au média vidéo [3].

Les animations amènent aussi un caractère ludique ce qui est particulièrement valorisable pour les enfants [3].

En outre, elles représentent un gain en termes de stockage par rapport à une vidéo. En effet, une animation est moins lourde qu'une vidéo [3, 28].

Également, les animations sont plus faciles à créer et à mettre à jour par rapport aux vidéos (différentes techniques de création, pas de fatigue du signeur, caractéristiques de signes paramétrables, signes décomposables, signes combinables ...) [28, 61].

Finalement, les animations offrent une expérience unique. Elles peuvent être combinées à de la réalité augmentée ou virtuelle, être combinées aux propres mains de l'utilisateur, proposer plusieurs points de vue ... [35].

Il existe plusieurs exemples d'applications qui utilisent la technique des animations : GASPARD, eSign, WebSign [28], Plat'In [42], Hand talk [64],

... Certaines, plus précises, existent même pour la lecture labiale. Elles sont ainsi capables de simuler les mouvements du visage : LUCIA, Greta, ARTUS, ...[80]

Pour atteindre ces bénéfices, il est recommandé d'impliquer les utilisateurs (voir 5.2.4). "Il est incontestablement important que tout travail et/ou projet portant tant sur la LSFB que sur la [sic] personnes sourdes et malentendantes soit réalisé en collaboration signification rapprochée par les personnes sourdes et les utilisateurs de la LSFB via leur association [...]". À cet effet, l'article 4.3 de la Convention des Nations Unies relatives aux droits des personnes handicapées encourage une collaboration proche avec les personnes atteintes de handicaps lors de la mise en oeuvre d'aménagements [20].

Enfin, il est conseillé de se limiter à des animations communiquant des informations très simples, courtes et préenregistrées. Par exemple, ces animations peuvent convenir dans les gares, les aéroports, les hôtels, etc. [20].

Guidage

Une pratique vivement recommandée dans les WCAG et dans la littérature est le guidage de l'utilisateur. En effet, le point 2.4. de la version 2.1. des WCAG mentionne l'importance de prévoir des moyens aidant l'utilisateur à naviguer et manipuler le contenu [21, 72].

Concrètement, le guidage doit se présenter comme des retours visuels dans la navigation ou dans l'usage de fonctionnalités. En guise d'exemples, des applications utilisent davantage d'icônes dans les menus, les barres de recherche ... [70, 18].

Aides

Tout logiciel doit apporter une aide. Un logiciel adapté à la surdité ne fait pas exception [57].

Il est important que ces applications apportent des aides additionnelles (ex. menu d'aide, tooltip, fonctionnalité de traduction en langue des signes intégrée ...) [3].

Par ailleurs, cette aide doit être intégrée de manière homogène dans l'interface sans devoir atteindre un autre type d'interface [57].

Enfin, la documentation d'une application doit elle aussi respecter les standards d'accessibilité (fournir des contenus alternatifs, usage de langues des signes, etc.) [18].

Pour illustrer ces propos, les applications MANO et Plat'In proposent une fonctionnalité d'aide qui prend la forme d'un traducteur en langue des signes (activé au survol de la souris ...) des mots présents sur l'interface [42, 66].

Multimodalité

Il est conseillé dans certains cas d'avoir recours à la multimodalité dans les interfaces utilisateurs des applications adaptées à la surdité. En effet, la multiplicité des modalités permet d'offrir, pour une même action, plusieurs moyens d'interaction. Ainsi, les chances pour un utilisateur d'utiliser un moyen adapté à son handicap augmentent à raison que le nombre de modalités augmente [52, 39].

Dans le cadre de la multimodalité, il est recommandé que l'interface adapte automatiquement la modalité selon le comportement d'usage de l'utilisateur [52].

Interactions gestuelles

Lors du développement d'une interface à destination de personnes parlant une langue des signes, il est tentant de proposer une interaction adaptée à leur habitude de communication [66].

Il faut toutefois savoir que cette interaction doit se faire en l'absence de dispositifs supplémentaires (gants, caméras hautes-dimensions ...). La communication avec l'interface doit être possible avec les périphériques natifs et primitifs d'un ordinateur standard. Dans le cadre d'une interaction gestuelle pour une langue des signes, il est suggéré d'exploiter les webcams des ordinateurs [3, 57].

Il est ensuite conseillé d'exploiter les algorithmes et les technologies de reconnaissance de gestes déjà développés à cet effet [80].

Finalement, il convient de veiller à ce que les différentes caractéristiques des signes soient respectées : configurations des mains, mouvements, expressions du visage, etc. [39].

Interactions adaptées

Dans les applications utilisées par les personnes atteintes de surdité, il est conseillé d'éviter les saisies textuelles et de plutôt privilégier les interactions par pointage et sélection.

Par ailleurs, il est recommandé d'éviter les interactions inutiles en proposant des automatismes. Par exemple, dans certains cas, une vidéo en langue des signes peut se lancer automatiquement [39].

Gestion des erreurs

La section 3.3. de la version 2.1. des WCAG encourage à aider l'utilisateur atteint de surdité à corriger ses erreurs [21, 72].

Une recommandation est de traduire les messages d'erreurs en langue des signes [3].

Personnalisation

Il est impossible de proposer une interface utilisateur adaptée convenant à tous les utilisateurs sourds. Il est alors suggéré de proposer une fonctionnalité de personnalisation.

Parmi les personnalisations possibles peuvent être cités le niveau de déficience, la prise en compte du niveau de langage, les variantes géographiques, etc. [39, 14, 57].

Autonomisation

Une exigence souvent relevée par les utilisateurs sourds est le besoin d'autonomie [7].

En effet, il est important pour l'apprentissage, et en particulier pour les enfants, de se sentir en autonomie. Cela optimise le travail, procure un sentiment de liberté, favorise l'estime de soi, permet de travailler à son rythme et élimine les "[...] problèmes liés au regard de l'autre [...]" [57, 66, 17, 41, 49].

Heureusement, l'enseignement assisté par ordinateur permet cette autonomie [57].

Des applications comme Plat'In aspirent à cette autonomie des utilisateurs [42].

Il est donc capital de réfléchir les interfaces en considérant ce besoin d'autonomie. Toute interface doit pouvoir être utilisable seule sans recourir à une personne externe.

Familiarisation

Pour les utilisateurs déficients, les habitudes d'usage semblent servir de point de repère. Elles leur permettent d'user d'astuces et de contournements pour pallier les diverses inaccessibilités [41].

Il est donc recommandé de présenter des interfaces utilisateurs familières plutôt qu'originales.

Temporalités adaptées

La section 2.2. de la version 2.1. des WCAG encourage à laisser le temps à l'utilisateur atteint de déficience auditive de consulter le contenu [21].

Dès lors, si la durée écoulée n'a pas d'importance pour la fonctionnalité, alors il est recommandé de ne pas imposer une limite de temps pour une action [18].

En outre, si la durée écoulée impacte l'opération, mais qu'elle ne dépend pas du temps réel, il est alors conseillé de permettre à l'utilisateur de maîtriser la temporalité (mise en pause, personnalisation ...).

Finalement, si la durée écoulée impacte l'opération et qu'elle dépend du temps réel, il est alors conseillé d'avertir correctement l'utilisateur de cette limite de temps pour lui laisser le temps de réagir. Par ailleurs, il est recommandé de respecter une latence totale inférieure à 400 ms pour les communications vidéo en langue des signes [18]. En effet, certaines applications proposent des fonctionnalités dépendant hautement de la temporalité et du temps réel. RogerVoice ou App My Ear sont par exemple capables de retranscrire instantanément et en sous-titre la parole humaine [30, 31]. Pour ces exemples, le respect de la temporalité est capital.

Couleurs

Plusieurs sources affirment que l'usage des couleurs est apprécié par la communauté sourde puisqu'elle permet de mettre spontanément en avant de l'information aidant à la compréhension. À titre d'exemple, l'application Forum LSF utilise un code couleur dans son interface utilisateur [15, 17, 39].

Sous-titres

Il est recommandé d'intégrer des sous-titres aux vidéos comportant une voix parlante. En effet, ils sont particulièrement utiles pour les personnes devenues en incapacité d'écoute, plus âgées et n'ayant pas encore eu l'opportunité ou ne désirant pas apprendre une langue des signes [45].

Bilinguisme

Le bilinguisme des interfaces utilisateurs est une recommandation qui consiste à présenter en parallèle le contenu en deux langues dont l'une est une langue des signes. L'objectif est d'offrir une alternative à chaque public tout en évitant les discriminations de ceux ne maîtrisant pas l'écrit ou une langue des signes. WebSourd est un exemple d'application qui concrétise le concept de bilinguisme [71, 56, 3].

Dans le cas où un bilinguisme total n'est pas possible, il est recommandé de proposer le bilinguisme sur les informations essentielles [39].

Stockage

Le stockage des données est un réel défi pour les concepteurs d'applications adaptées à la surdité. En effet, si celles-ci utilisent des vidéos en langue des signes, il est recommandé de disposer d'une grande capacité de stockage [35].

5.2.4 Méthodologies

Implication des utilisateurs

Comme pour le développement d'autres logiciels, il est vivement recommandé d'impliquer les utilisateurs sourds dans tout le cycle de développement de l'application. En effet, il s'agit d'un public avec des besoins très précis. Concrètement, les utilisateurs peuvent être intégrés dans différentes activités : tests utilisateurs, focus group, définition des persona, entretiens, etc. [31, 29, 15, 3, 40, 59, 17, 39].

Attention, il ne faut pas oublier que les utilisateurs finaux peuvent inclure de nombreuses autres personnes (familles, amis, interprètes, enseignants ...) que celles atteintes par l'incapacité auditive. Dans ce cas, il faut simplement les considérer comme d'autres utilisateurs de la même application avec des besoins propres à eux [31].

De nombreuses méthodes encadrent ces démarches : Human-Centered Design [6], Co-Conception [13], Conception Centrée Utilisateur [55], ...

Implication des experts

La littérature recommande également d'impliquer des experts (en langue des signes, en accessibilité ...) pour suivre le développement d'une application à destination d'un public atteint de surdité [73, 39].

Conscientisation

Patrick Collignon, auteur du livre "L'informatique au service des handicapés" publié chez Eroylles en 2003 évoque l'accessibilité des sites web nécessitant au développeur de penser aux difficultés des utilisateurs par rapport aux cas d'usages [75].

Les parties prenantes du projet doivent être conscientisées au sujet. En effet, une personne ne vivant pas la surdité, ne connaissant pas ou ne côtoyant pas régulièrement des personnes atteintes de cette difficulté ne peut pas percevoir directement et naturellement les difficultés auxquelles elles se confrontent en termes d'accessibilité [4].

Prototypage

Dans une démarche de conception impliquant les utilisateurs cibles atteints de surdité, l'usage de prototypes est une pratique adoptée [29, 31]. Le caractère visuel semble être apprécié.

Exigences fonctionnelles

Dans le cadre d'un projet comme le développement d'une application accessible au public sourd avec des besoins très spécifiques, la définition des exigences fonctionnelles semble prendre tout son sens et maintenir son caractère recommandé [31].

Exigences non fonctionnelles

L'accessibilité étant une exigence non fonctionnelle, la littérature rappelle qu'il s'agit d'une activité également recommandée dans le cadre du développement d'application dédiée à la surdité [31].

Collaborations

Dans des projets relatifs à la surdité, il est vivement conseillé d'initier et entretenir des collaborations avec des organismes (associations, écoles ...) dédiés à la surdité pour partager sur la thématique [38].

Interprétations

La littérature rapporte que pour des activités d'évaluation impliquant des personnes atteintes de surdité comme des entretiens, des observations, des questionnaires ou encore des tests utilisateurs, la présence d'interprètes est recommandée, voire requise. En effet, ces professionnels contribuent à conserver le caractère objectif des évaluations grâce à leur rapidité d'intervention et leur spontanéité [23, 55, 14].

Traduction des ressources

Lors d'expérimentations avec des personnes atteintes de surdité, l'accès aux informations dans leur langue principale est requis afin de garantir la spontanéité et donc l'objectivité. Si celle-ci est une langue des signes, il convient de traduire toutes les ressources : explications, questionnaires, demandes de consentement ... [28, 13, 15, 17]. Cette traduction peut être convertie au format vidéo ou bien conduite en temps réel par un interprète au moment de l'expérimentation [61].

Par ailleurs, les participants peuvent aussi traduire leurs propres propos par l'usage de matériaux écrits ou dessinés durant l'expérience [29]. Il est donc recommandé de leur proposer cette possibilité de communiquer.

Benchmarking

Afin de gagner du temps lors du développement d'une application adaptée au contexte de la surdité, il est recommandé d'entreprendre une veille des initiatives similaires déjà existantes. Ce travail d'analyse vise à comprendre les erreurs, mais surtout à s'inspirer des solutions déjà implémentées [14, 13, 3, 66, 60].

Plusieurs critères peuvent être évalués lors de cette analyse : réponse aux besoins, utilisabilité, compatibilité ... [31].

Tests utilisateurs

En ingénierie logicielle et particulièrement dans le principe de conception intitulée Design UX, le test utilisateur est l'une des méthodologies les plus populaires. Elle permet de mesurer et évaluer le comportement, les réactions (prévisibles ou imprévisibles), les difficultés et les facilités des utilisateurs en les mettant en condition réelle face à des scénarios d'utilisation vraisemblables. L'objectif est d'apporter des données autant quantitatives que qualitatives en mettant en avant les axes d'améliorations.

Dans le cadre spécifique du développement d'applications adaptées à la surdité, la technique semble tout autant recommandée [3, 41, 55, 31, 29, 13, 57, 53].

Avant le test, il est préconisé de préparer le matériel nécessaire à l'avance (voir 5.2.1).

Afin d'assurer la collecte de données qualitatives, il est recommandé de laisser la possibilité à l'utilisateur d'émettre des remarques. Dans le cadre de la surdité, deux possibilités s'offrent au testeur. Soit un interprète traduit les remarques, soit le participant écrit ses remarques [57].

Finalement, il est conseillé de ne tester qu'un seul sujet à la fois [29].

Expérimentations filmées

La littérature conseille de filmer les expérimentations (test utilisateur, entretiens ...) faites avec les utilisateurs. En effet, en cas d'interprétation en langue des signes, il est plus difficile de prendre note. L'objectif est donc de faciliter le travail d'analyse ultérieur en offrant la possibilité de visionner à nouveau l'expérience [13, 3, 17, 55].

Journalisation

Dans le cadre d'analyse d'expérimentations, particulièrement des tests utilisateurs, la journalisation apparaît comme une technique favorable. En effet, elle permet d'obtenir des statistiques sur l'utilisation de l'application et permet de "[...] modéliser le comportement interactionnel de l'utilisateur ou encore de quantifier la performance dans la réalisation de la tâche [...]". Concrètement, la journalisation peut prendre la forme de modules intégrables tels que Google Analytics ou bien l'analyse de logs [55, 19, 3].

Observations

Dans la même optique que les tests utilisateurs, l'observation est une technique recommandée pour les évaluations d'applications adaptées à la surdité. Il s'agit d'observer l'utilisateur accomplir des tâches tout en collectant des informations à l'aide d'une grille d'observation. Celle-ci donne des informations sur le comportement de l'utilisateur. Ces données sont particulièrement précieuses dans le ce contexte particulier. En effet, un manque de conscientisation ou une hypothèse légère peut rapidement mener à des inadéquations [55, 57, 41].

Entretiens

À la suite de tests utilisateurs ou d'observations, poursuivre l'expérimentation par un entretien est vivement conseillé. Il s'agit d'une méthode complémentaire au test utilisateur. Il permet de capturer, de manière moins formelle, le ressenti général de l'utilisateur sur son expérience avec l'application : satisfaction/insatisfaction, avantages/inconvénients, frustration, remarques, questions, suggestions ... Il permet un approfondissement des résultats obtenus par des méthodes quantitatives. L'entretien prend la forme d'une discussion ouverte entre le sujet et le responsable de l'expérience. Il s'agit d'une approche davantage qualitative [34, 61, 14, 15, 55].

Bien que la langue puisse être une barrière, maintenir cette activité dans le contexte de la surdité moyennant quelques recommandations est capital.

En effet, un entretien semi-directif [17, 41] ne dépassant pas une heure en présence d'un interprète est vivement conseillé [17].

Questionnaires

Le questionnaire est une méthode souvent évoquée dans la littérature pour mesurer le retour d'une expérience [67, 57, 1, 3, 60, 61]. Il évalue, de manière quantitative, la satisfaction [55]. Ce type de technique convient également au contexte de la surdité.

Itérations

Le principe de conception par itérations, tel qu'il est décrit dans les méthodologies agiles, convient parfaitement au contexte de la surdité pour lequel les spécifications sont particulièrement précises. Les itérations sont donc un bon moyen d'impliquer régulièrement les utilisateurs cibles pour une validation régulière des artéfacts. Ceci maximise les chances de développer une application s'approchant davantage des exigences particulières [57, 66, 3, 17, 61, 31].

Analyses

Suite aux expérimentations, il convient d'entreprendre une phase d'analyse. Dans la littérature, il existe plusieurs grilles d'analyse de résultats d'expériences. Parmi ceux analysés peuvent être cités la proportion de succès et d'échecs, les types d'erreurs commises, le nombre d'erreurs répétées, le nombre d'actions effectuées, le temps moyen mis pour réaliser l'action, les scores donnés aux questionnaires de satisfaction, etc. Il existe même des matrices priorisées de problèmes [17, 34]. Ces analyses ont bien entendu leur importance dans le contexte de développement adapté à la surdité.

Tests à grande échelle

Une fois les premières expérimentations opérées, il est conseillé de valider à grande échelle l'application développée à l'aide d'évaluations automatisées sur une version de test, plus communément appelée "version beta". Il s'agit d'une version dans un contexte réel sans l'usage de faux. Dans le cas de la surdité, il convient de limiter dans un premier temps l'audience aux utilisateurs concernés [55, 13, 38].

Mixité

Les méthodes traditionnelles ne sont pas forcément toutes adaptées au contexte de la surdité. De plus, il n'existe pas de méthode spécifique. Dès lors, il est recommandé de combiner les méthodes conventionnelles et de les adapter au contexte de la surdité afin de maximiser les chances de collecter les données (quantitatives et qualitatives) les plus pertinentes [55].

Conformisation

En accord avec les principes d'accessibilité, il est recommandé d'intégrer la validation de conformité telle une étape à part entière du cycle de développement de toute l'application, quelle que soit son audience (atteinte de surdité ou pas). Cette conformisation concerne les lois, normes et autres recommandations [4].

5.2.5 Résumé

Le tableau 5.2 récapitule l'ensemble des solutions trouvées dans la littérature et leur catégorisation.

Solutions			
Généralités	**Lois et normes**	**Interfaces**	**Méthodologies**
Applications en ligne	Respect des recommandations existantes	Usage de médias	Implication des utilisateurs
Compatibilité	Respect des données à caractère personnel	Conformité des médias	Implication des experts
Ressources techniques		Maîtrise des médias	Conscientisation
Ressources matérielles		Complémentarité des médias	Prototypage
Ressources humaines		Contextualisation des contenus	Exigences fonctionnelles
Valorisation étendue		Enrichissement des contenus	Exigences non fonctionnelles
		Sobriété des contenus	Collaborations
		Animations	Interprétations
		Guidage	Traduction des ressources
		Aides	Benchmarking
		Multimodalité	Tests utilisateurs
		Interactions gestuelles	Expérimentations filmées
		Interactions adaptées	Journalisation
		Gestion des erreurs	Observations
		Personnalisation	Entretiens
		Autonomisation	Questionnaires
		Familiarisation	Itérations
		Temporalités adaptées	Analyses
		Couleurs	Tests à grande échelle
		Sous-titres	Mixité
		Bilinguisme	Conformisation
		Stockage	

TABLE 5.2 – Solutions des interfaces utilisateurs face à la surdité

Chapitre 6

Résultats

Ce chapitre présente les résultats de ce travail de recherche. Celui-ci tend ainsi à apporter des réponses aux deux questions de recherches introduites dans le chapitre 3.

La première (**QR-1**) s'intéresse davantage aux recommandations théoriques et transversales destinées aux développeurs qui pourront les appliquer à toute application visant l'accessibilité au bénéfice des personnes atteintes de surdité. Par conséquent, la contribution résultant de cette question est plus scientifique qu'applicative. Pour ce faire, elle compile les recommandations découvertes dans la littérature, enrichies de celles observées à travers les expérimentations.

La seconde (**QR-2)** vise quant à elle à démontrer la faisabilité technique de l'application concrète de ces recommandations à un cas d'usage concret, le projet LSFBFR. Ainsi, la contribution est plus applicative. Pour ce faire, elle met en relief, sans objectif d'exhaustivité, les points forts et artéfacts notables du travail pratique.

6.1 Contribution scientifique

La contribution scientifique prend la forme d'une checklist de plus de 100 recommandations classifiées en 60 types de recommandations et réparties en 4 catégories principales. Le canevas suit sensiblement celui de l'analyse de la littérature du chapitre 5. En effet, la base de ces recommandations est en réalité la synthèse de celles découvertes dans la littérature et qui n'avaient, jusqu'à présent, jamais été réifiées dans une collection commune. De plus, cet ensemble est amendé de recommandations originales (en vert) déduites des expérimentations (tests utilisateurs, analyse d'outils existants, entretiens avec des experts) de cette étude.

Le tableau 6.1 donne un aperçu de cette checklist.

Le premier niveau de catégorie désigne les thématiques de préoccupations du développeur. Il distingue ainsi les **Généralités**, les **Lois et normes**, les **Interfaces** et les **Méthodologies**.

Le deuxième niveau de catégorie précise, pour chaque thématique, les types de recommandations que les développeurs peuvent suivre.

Finalement, chaque type de recommandations se matérialisent par une ou plusieurs recommandations à suivre. Celles-ci prennent la forme d'impératifs à cocher une fois appliqués. Toutefois, aucune des recommandations ne doit être perçue comme contraignante. Il s'agit simplement d'aiguillages visant à orienter les développeurs dans leur travail d'adaptation. Ce faisant, il est utile de préciser que toutes les recommandations ne doivent pas être suivies. Les développeurs peuvent sélectionner celles qu'ils considèrent comme applicables à leur cas d'application. À cet effet, un champ de justification peut être utilisé comme un support de documentation.

Attention, l'aperçu ne donne pas un visuel sur les recommandations à cocher. La version complète est disponible en annexe A pour des raisons de lisibilité.

Recommandations
Généralités
Applications en ligne
Compatibilité
Ressources techniques
Ressources matérielles
Ressources humaines
Valorisation étendue
Démocratisation tarifaire
Lois et normes
Respect des recommandations existantes
Respect des données à caractère personnel
Interfaces
Usage de médias
Conformité des médias
Maîtrise des médias
Complémentarité des médias
Contextualisation
Enrichissement des contenus
Sobriété des contenus
Animations
Guidage
Aides
Multimodalité

Interactions gestuelles
Interactions adaptées
Gestion des erreurs
Personnalisation
Autonomisation
Familiarisation
Temporalités adaptées
Couleurs
Sous-titres
Bilinguisme
Stockage
Nativité
Responsivité
Méthodologies
Implication des utilisateurs
Implication des experts
Conscientisation
Communications adaptées
Prototypage
Exigences fonctionnelles
Exigences non fonctionnelles
Collaborations
Interprétations
Traduction des ressources
Durées allouées adaptées
Briefing
Exigences de critiques
Affranchissement d'implication
Benchmarking
Tests utilisateurs
Expérimentations filmées
Journalisation
Observations
Entretiens
Questionnaires
Itérations
Analyses
Tests à grande échelle
Mixité
Conformisation
Formation

TABLE 6.1 – Aperçu de la checklist des recommandations

6.2 Contribution appliquée

6.2.1 Présentation

Avant de plonger dans les détails concrets du travail, il est important de présenter au préalable l'application qui en résulte.

L'application LSFBFR est un dictionnaire contextuel web dans le sens de recherche de la LSFB vers la langue française écrite. En d'autres termes, il s'agit d'une sorte de GOOGLE TRADUCTION pour la LSFB. Ce dictionnaire est le premier du genre. Il propose à ses utilisateurs de signer devant leur webcam et d'obtenir directement la traduction littéraire du mot. Par ailleurs, cet outil est enrichi d'exemples comparatifs dans les deux langues à la manière du site LINGUEE. Il s'adresse à toute personne atteinte de surdité souhaitant apprendre le français, en ce compris des enfants en situation d'apprentissage. L'application peut également être utilisée par des personnes entendantes qui souhaitent apprendre la LSFB ou communiquer plus facilement avec des personnes sourdes. Finalement, elle peut être un support aux interprètes pour perfectionner leurs connaissances. En effet, la langue des signes n'est pas leur langue maternelle dans la majorité des cas.

Visuellement, l'application propose une interface épurée à l'instar de ses concurrents en langues orales.

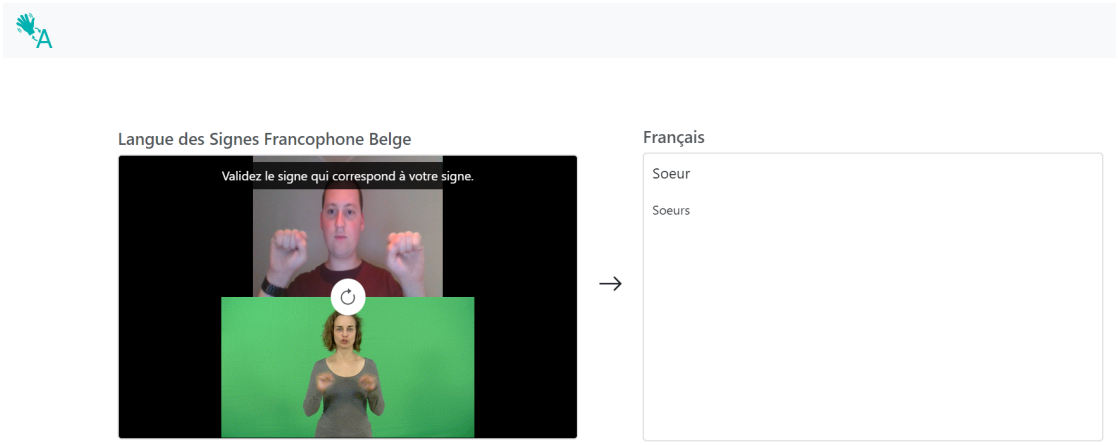

FIGURE 6.1 – Interface de l'application LSFBFR

L'application propose deux fonctionnalités majeures. La première offre à l'utilisateur la possibilité de rechercher un signe unique afin d'obtenir sa forme lettrée en français. La seconde suggère, pour chaque traduction, une série d'exemples en texte et en vidéo qui montrent l'usage du mot dans des extraits contextuels. Cette deuxième fonctionnalité est facultative dans l'usage de l'outil. Elle agit plutôt comme une extension.

Pour atteindre ces résultats, l'utilisateur doit commencer par se calibrer devant sa webcam.

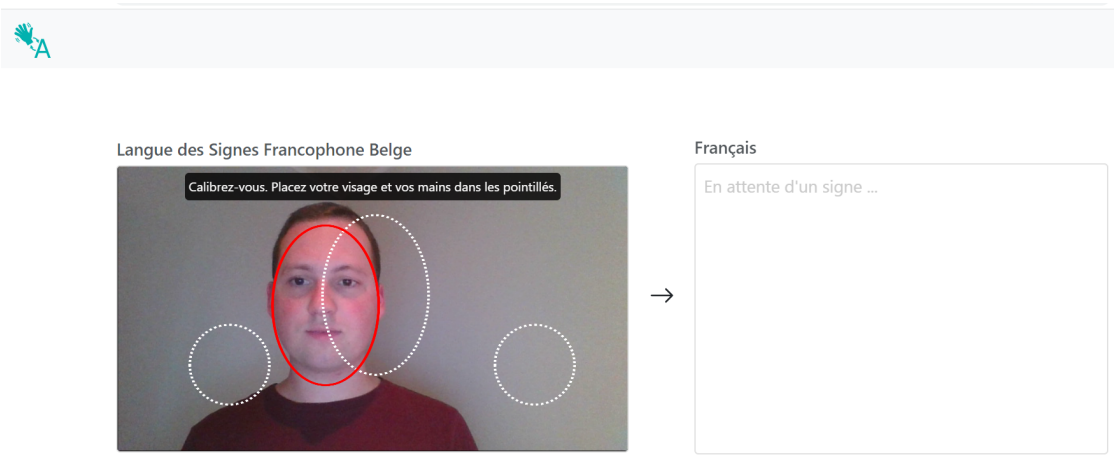

FIGURE 6.2 – Calibration devant la webcam sur LSFBFR (1/3)

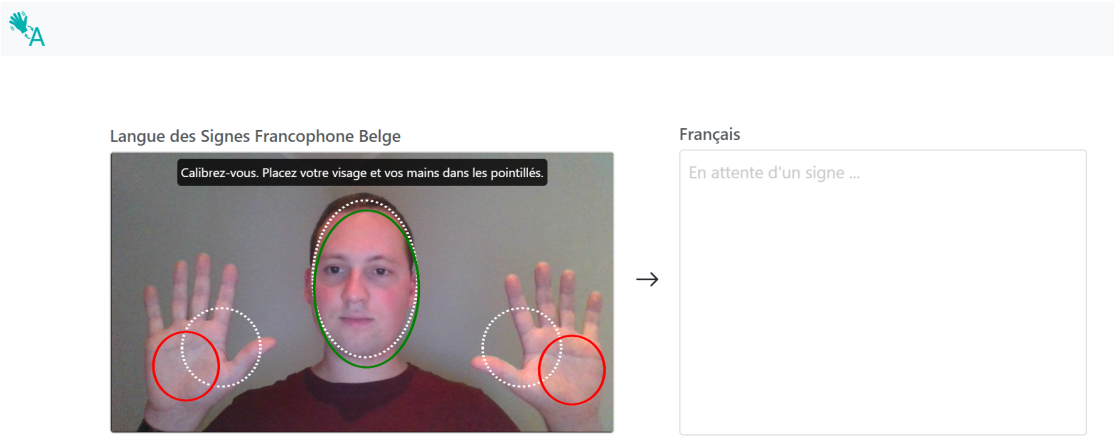

FIGURE 6.3 – Calibration devant la webcam sur LSFBFR (2/3)

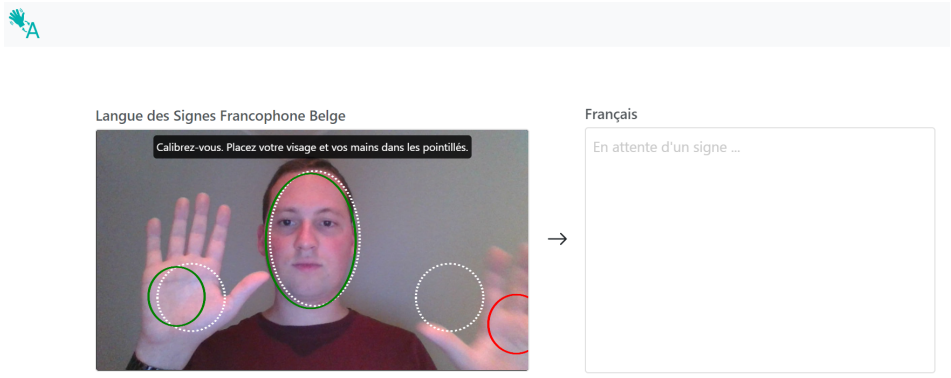

FIGURE 6.4 – Calibration devant la webcam sur LSFBFR (3/3)

Une fois qu'il est calibré, l'utilisateur voit apparaître un décompte.

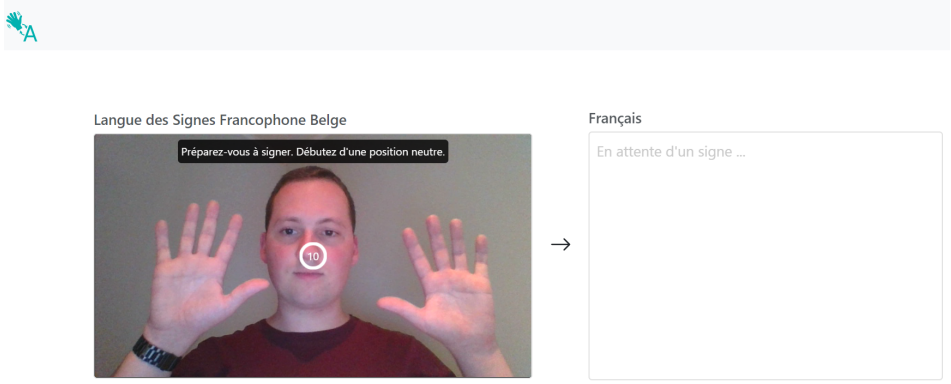

FIGURE 6.5 – Décompte sur LSFBFR

Il est ainsi invité à se positionner pour signer à la fin d'un décompte.

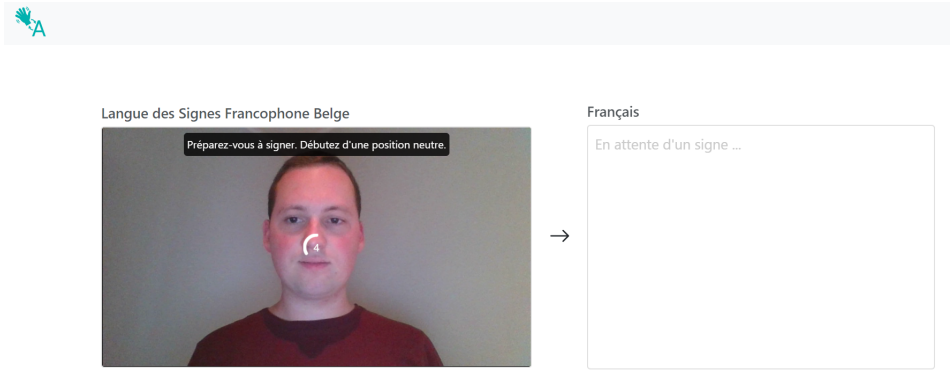

FIGURE 6.6 – Préparation à signer sur LSFBFR

Une fois le décompte disparu, l'utilisateur peut signer.

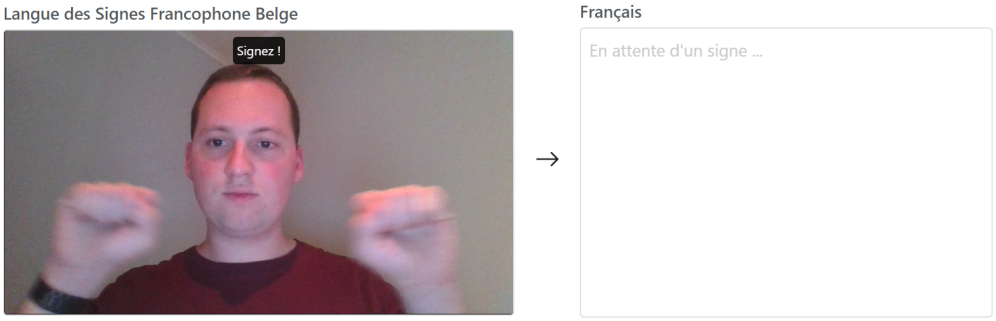

FIGURE 6.7 – Signe sur LSFBFR

Le signe est enregistré sous la forme d'une courte vidéo. Sur base de celle-ci, l'application recherche automatiquement des correspondances et demande à l'utilisateur de valider celle qui est la plus fidèle. Les correspondances sont présentées sous la forme d'images GIF issues d'un lexique LSFB.

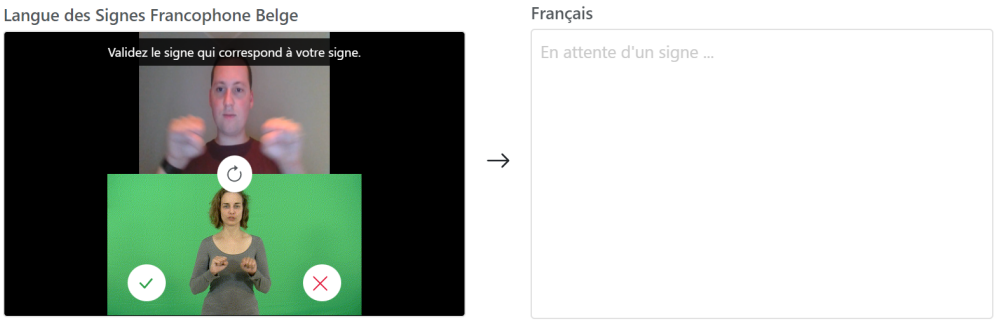

FIGURE 6.8 – Validation des correspondances sur LSFBFR

Après, l'application cherche les traductions et les propose à l'utilisateur sous la forme d'une liste triée par fréquence.

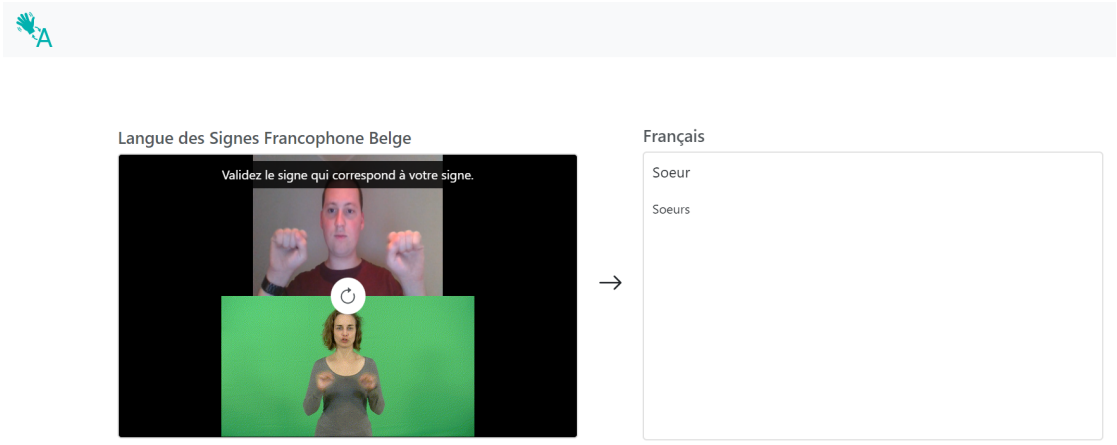

FIGURE 6.9 – Traductions sur LSFBFR

L'utilisateur est alors en mesure de sélectionner l'une d'entre elles et d'obtenir les exemples contextuels.

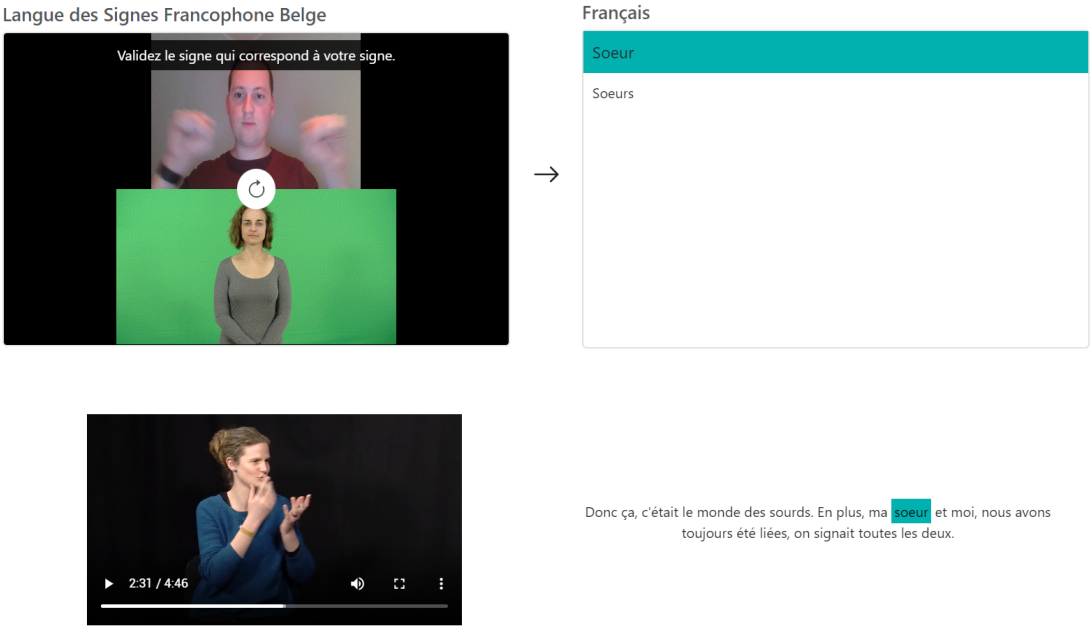

FIGURE 6.10 – Exemples contextuels sur LSFBFR

6.2.2 Analyse

Cette section présente les principaux artéfacts issus de l'étape d'analyse. Les personas décrivent les profils utilisateurs de l'application et leurs attentes. Les exigences fonctionnelles formalisent les besoins de ces utilisateurs sous la forme de user stories. Celles-ci sont accompagnées d'une liste d'exigences non fonctionnelles et de contraintes formulées par les parties prenantes.

Personas

Les personas de l'application offrent des représentations fictives, mais fidèles de la réalité des profils des utilisateurs.

Dans le cadre du projet LSFBFR, ils aident à cibler les attentes des utilisateurs. Les figures 6.11 6.12 6.13 6.14 présentent respectivement les personas des profils d'utilisateur lambda, d'élève, d'enseignant en langue des signes et d'expert en LSFB.

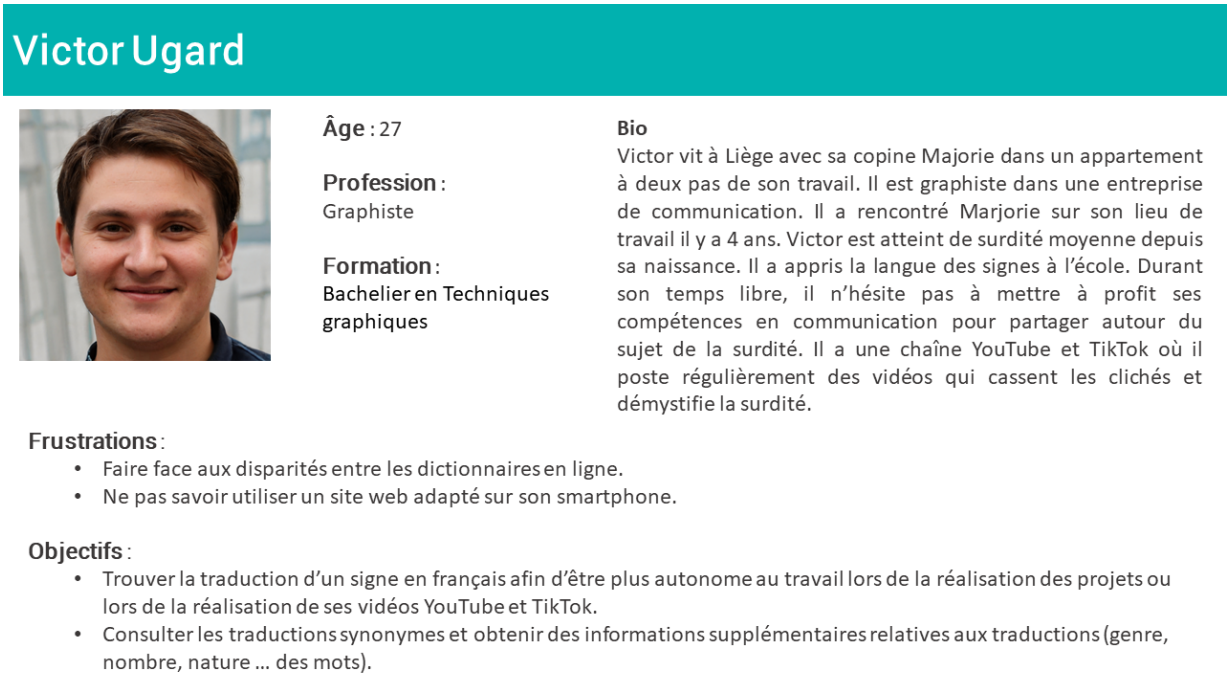

FIGURE 6.11 – Persona de l'utilisateur lambda

Julia Monville

Âge : 11

Formation :
Élève en enseignement primaire

Bio
Julia vit à Andenne avec sa maman Sophie et son papa Loïc. Elle a une grande sœur et un petit frère. Julia est atteinte de surdité profonde depuis sa naissance. Elle parle avec ses parents en langue des signes depuis sa naissance. Ses parents ont choisi l'école Sainte-Marie dès le début de sa scolarité pour lui proposer un enseignement de qualité. Julia a beaucoup d'amies à l'école, qu'elles soient atteintes de surdité ou entendantes. Elle est même inscrite au club de ping-pong de Namur.

Frustrations :
- Ne pas toujours avoir une personne de référence (parent, institutrice ...) pour l'aider quand elle ne comprend pas un mot.
- Devoir payer pour installer des applications adaptées sur son smartphone.
- Ne pas comprendre tout le texte sur un site web.
- Ne pas savoir utiliser une application trop compliquée.

Objectifs :
- Trouver la traduction en signe d'un mot qu'elle lit dans un livre pour l'école.
- Apprendre le français pour continuer ses études secondaires dans l'enseignement ordinaire.

FIGURE 6.12 – Persona de l'utilisateur élève

Christine Gillet

Âge : 34

Profession :
Enseignante en enseignement bilingue LSFB – Français

Formation :
Institutrice primaire et diplôme de LSFB

Bio
Christine est la maman d'une petite fille baptisée Anna. Elle est divorcée et habite à Namur. Elle est institutrice depuis 10 ans dans l'école Sainte-Marie à Namur. Dès le début de ses études, Christine a suivi en parallèle la formation en LSFB. Elle est particulièrement intéressée par la langue des signes puisque sa cousine, avec qui elle est très proche, est atteinte de surdité. Elle est épanouie de pouvoir faire valoir ses compétences en pédagogie et en langue des signes pour enseigner des matières en enseignement bilingue.

Frustrations :
- Ne pas trouver le signe cherché dans les dictionnaires en ligne visiblement limités.
- Manquer de contextualisation dans les dictionnaires en ligne.

Objectifs :
- Trouver la traduction écrite d'un signe qu'elle ne connait pas pour progresser ou comprendre ses élèves.
- Trouver des exemples contextualisés en langue des signes pour exemplifier dans certaines cours des mots enseignés.

FIGURE 6.13 – Persona de l'utilisateur enseignant

FIGURE 6.14 – Persona de l'utilisateur expert LSFB

Exigences fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles de l'application sont décrites par les 3 user stories principales suivantes.

— En tant que visiteur, je souhaite signer devant ma webcam un signe dans le but d'obtenir ses traductions françaises.

— En tant que visiteur, je souhaite avoir accès à des vidéos (en LSFB) et à des textes (en français) me proposant des exemples du signe choisi dans son contexte.

— En tant que visiteur, je souhaite pouvoir recommencer facilement une traduction.

Celles-ci mettent en avant les deux fonctionnalités principales de l'application à savoir la fonctionnalité de recherche du signe et la fonctionnalité d'obtention d'exemples contextuels.

Exigences non fonctionnelles

L'application répond aux 3 exigences non fonctionnelles suivantes.

— L'application doit être accessible pour des personnes sourdes.

— L'application doit être compatible avec une variété d'appareils et de systèmes (responsivité des écrans, usage de webcams standards, usage de navigateurs variés).

— L'application doit être transparente en proposant de nombreux retours utilisateurs (guidage, messages d'erreur ...).

Contraintes

Finalement, l'application s'engage à respecter les contraintes suivantes évoquées par les parties prenantes.

— Techniquement, l'équipe informatique du LSFB Lab préfère une implémentation avec des technologies primitives et natives à l'usage de frameworks et bibliothèques rapidement obsolètes.

— L'application doit être conforme aux réglementations en termes de droit à l'image et de traitement des données à caractère personnel.

6.2.3 Conception

L'étape de conception propose en première instance le résultat de l'étude comparative de 3 traducteurs en ligne exploitée comme base d'inspiration au dessin des prototypes. Elle propose ensuite un aperçu de ces prototypes dessinés. Finalement, puisque la conception ne concerne pas que l'interface utilisateur, elle détaille le résultat de la modélisation des concepts métiers.

Étude comparative des traducteurs en ligne

Cette étude compare les applications Google Traduction, Bing Microsoft Translator et DeepL. Même si aucune ne propose de langues des signes, elles partagent les caractéristiques de traduction d'une langue source à une langue cible. Ainsi, elles donnent de bonnes indications sur la manière de présenter l'interface utilisateur. Les caractéristiques pertinentes dans le cadre de ce projet sont relevées dans le tableau 6.2.

Applications / Caractéristiques	**Google Traduction**	**Bing Translator**	**DeepL**
Cadres centraux par langue	Oui	Oui	Oui
Bouton d'inversion de sens de traduction	Oui	Oui	Oui
Rappel du nom de la langue traduite	Oui	Oui	Oui
Guidage pour la saisie	Non	Oui Placeholder	Oui Placeholder
Historique des traductions	Oui	Oui	Non
Suggestions / Feedback de traduction	Oui Bouton like/dislike Formulaire de suggestion Onglet de contribution	Oui Formulaire	Oui Bouton like/dislike
Liste d'expression les plus couramment traduites	Non	Oui	Non
Distinction du niveau de langage	Non	Non	Oui Formel / Informel
Traduction automatique	Oui À la saisie	Oui À la saisie	Oui À la saisie
Synonyme de traduction	Oui	Oui	Oui
Détails de traduction	Oui Nature des mots, définitions, exemple d'usage dans des phrases	Oui Nature des mots	Oui Nature des mots, genre, nombre, exemple d'usage dans des phrases
Fréquence des traductions	Oui Jauge	Non	Oui Classification
Relance d'une traduction	Oui Croix pour effacer	Oui Croix pour effacer	Oui Croix pour effacer

TABLE 6.2 – Comparatif de traducteurs en ligne

Prototype d'interface utilisateur

Cette section présente aux figures 6.15 et 6.16 le résultat du prototype de moyenne fidélité utilisé lors des réunions avec les parties prenantes afin de valider la conception pour ensuite initier le développement du prototype de haute fidélité.

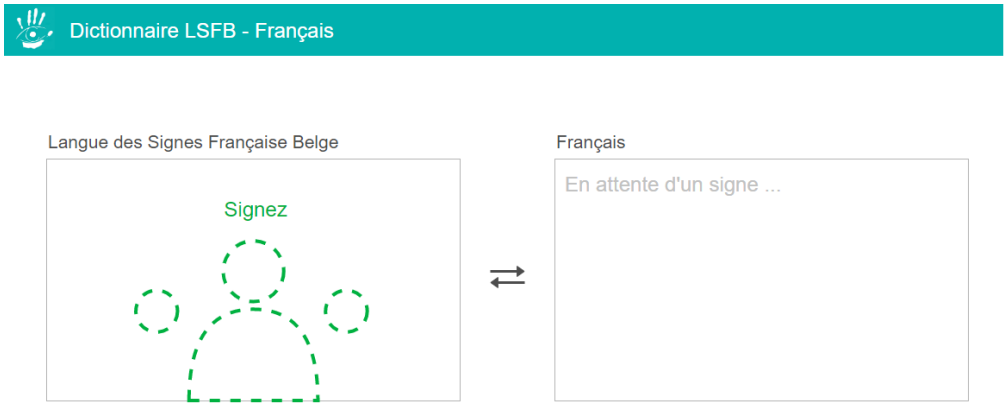

FIGURE 6.15 – Prototype d'interface LSFBFR (1/2)

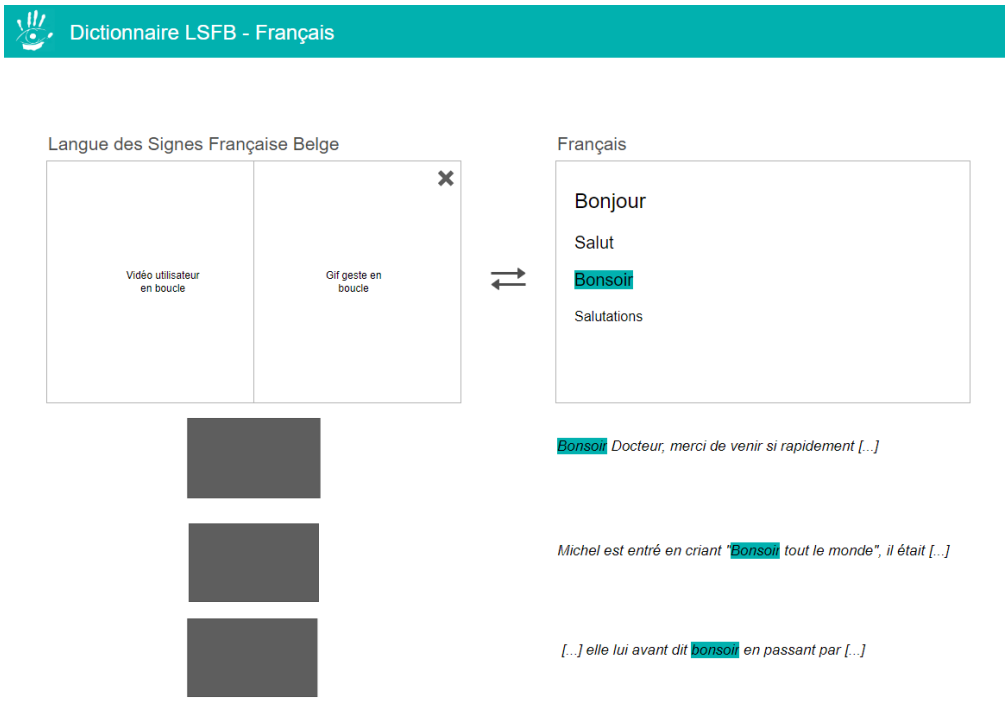

FIGURE 6.16 – Prototype d'interface LSFBFR (2/2)

Modélisation des concepts métiers

Le diagramme de classe présenté à la figure 6.17 est le résultat d'un travail d'analyse métier nécessaire au développement du prototype de haute fidélité puis de l'application finale.

Celui-ci représente également un outil de communication déterminant à l'origine des discussions avec les parties prenantes, notamment avec le chercheur qui développe l'intelligence artificielle exploitée dans le cadre de ce projet. Ce diagramme contribue à la définition du contrat de communication entre les deux systèmes.

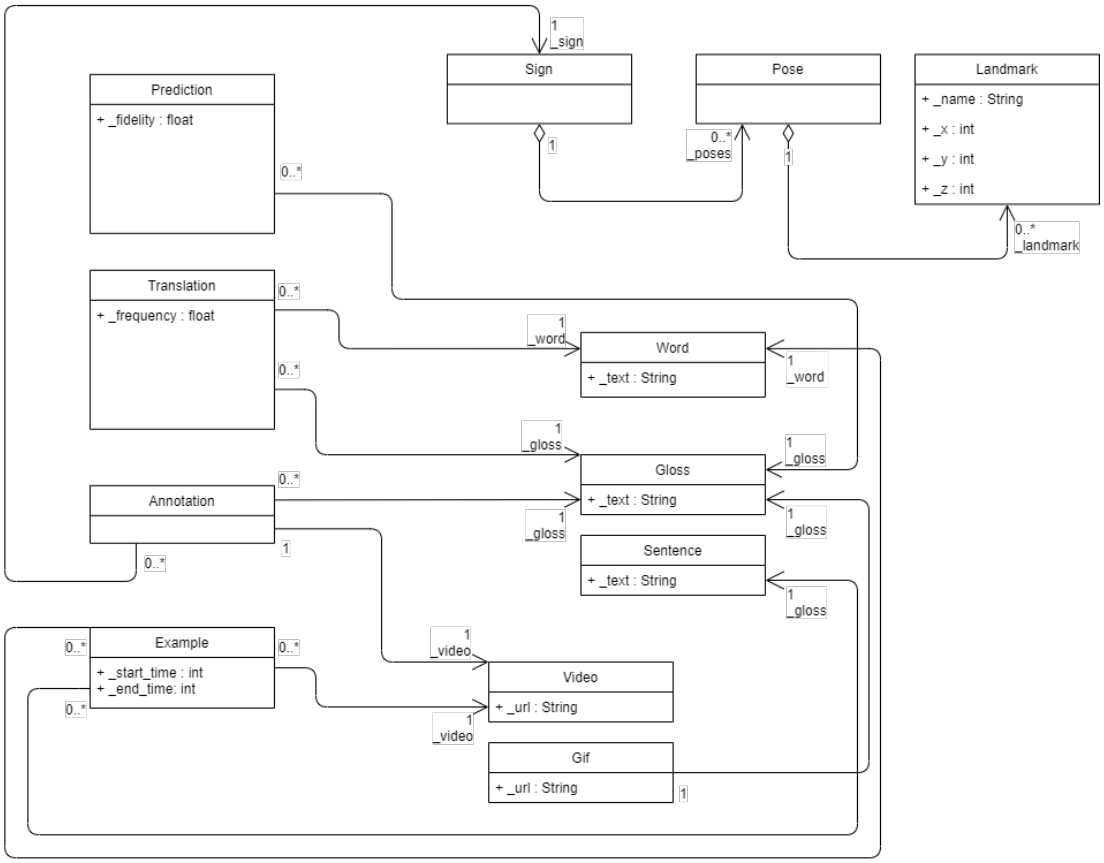

FIGURE 6.17 – Modélisation des concepts métiers

La figure 6.17 met en évidence l'un des concepts majeurs du système, à savoir la représentation d'un signe (`Sign`). Celui-ci est composé d'une succession de poses (`Pose`) chacune étant formalisée par une collection de points repères (`Landmark`) dans l'espace. Un point repère fait référence à un point d'articulation du squelette humain détecté par le système de reconnaissance. La figure 6.18 montre une pose, soit une collection de 33 points d'articulation formalisés en point repère dans l'espace. La reconnaissance du squelette humain est assurée par une bibliothèque baptisée MediaPipe [22]. Celle-ci sera détaillée plus tard dans ce chapitre.

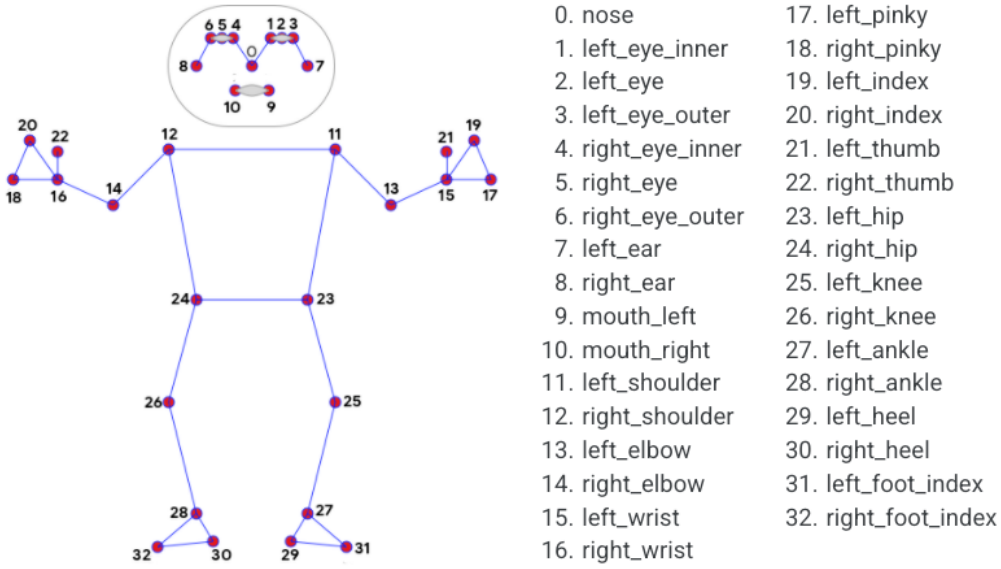

Figure 6.18 – Modélisation du squelette humain

Le diagramme de modélisation met aussi en évidence comment le système de recherche de traductions fonctionne. En effet, il peut être aperçu le concept de prédiction (`Prediction`) de reconnaissance de signe résultant du travail de l'intelligence artificielle. La prédiction se dote d'une fidélité (`_fidelity`) associée à une glose (`Gloss`), soit le libellé d'un signe reconnu. En outre, le modèle laisse apparaître le concept de traduction (`Traduction`), soit l'association d'un libellé de signe (`Gloss`) à un mot de la langue écrite (`Word`).

Le modèle exprime finalement la fonctionnalité d'exemples contextuels. En effet, une entité d'exemple (`Exemple`) montre son lien avec les entités de mot (`Word`), de phrase (`Sentence`) et de vidéo (`Video`).

Par ailleurs, le modèle prévoit d'autres entités en prévision de fonctionnalités futures qui ne sont pas détaillées ici.

6.2.4 Implémentation

Cette section présente les résultats des défis majeurs d'implémentation de l'application. Elle détaille notamment les solutions trouvées pour le traitement du flux vidéo de la webcam de l'utilisateur, pour la calibration de l'utilisateur et pour la capture du signe.

Technologies

Avant d'expliquer le fonctionnement technique de l'application, il convient de faire le point sur les choix technologiques opérés dans le cadre de ce développement.

Dans ce travail, deux technologiques principales se distinguent.

La première concerne la plateforme supportant l'application. Le choix s'est porté pour **JavaScript/HTML/CSS**.

Ce choix technologique est motivé par des contraintes formulées par l'équipe informatique du LSFB Lab. L'objectif visé est clairement la facilité d'évolution de l'application.

En outre, la deuxième technologie notable dans le cadre de l'implémentation est **MediaPipe** [22]. Développé par Google, elle est capable, à partir d'un flux vidéo quelconque, d'exercer de la Computer Vision. Elle propose ainsi de nombreuses fonctionnalités comme l'identification de personnes, d'objets, l'application de filtres, etc.

Elle est particulièrement utile dans le cadre de ce projet pour la détection des personnes et l'application de filtres visant à enrichir le flux vidéo selon les détections obtenues. Une série de Proofs of Concepts réalisés démontrent leur capacité à convertir une personne en un squelette de points de repère. Ils montrent aussi les possibilités de dessin sur le flux vidéo en guise de filtre. Par-dessus tout, la librairie est capable de fournir ces informations en temps réel à partir du flux de la webcam de l'utilisateur.

Le choix de cette bibliothèque n'est pas le résultat d'une veille technologique. En effet, la librairie est déjà utilisée dans le cadre du développement de l'intelligence artificielle. Il est ainsi apparu cohérent de conserver ce choix pour le projet LSFBFR.

Traitement de l'image

La figure 6.19 montre comment l'application aidée de MediaPipe traite l'image de la webcam pour aboutir au résultat présenté à l'utilisateur.

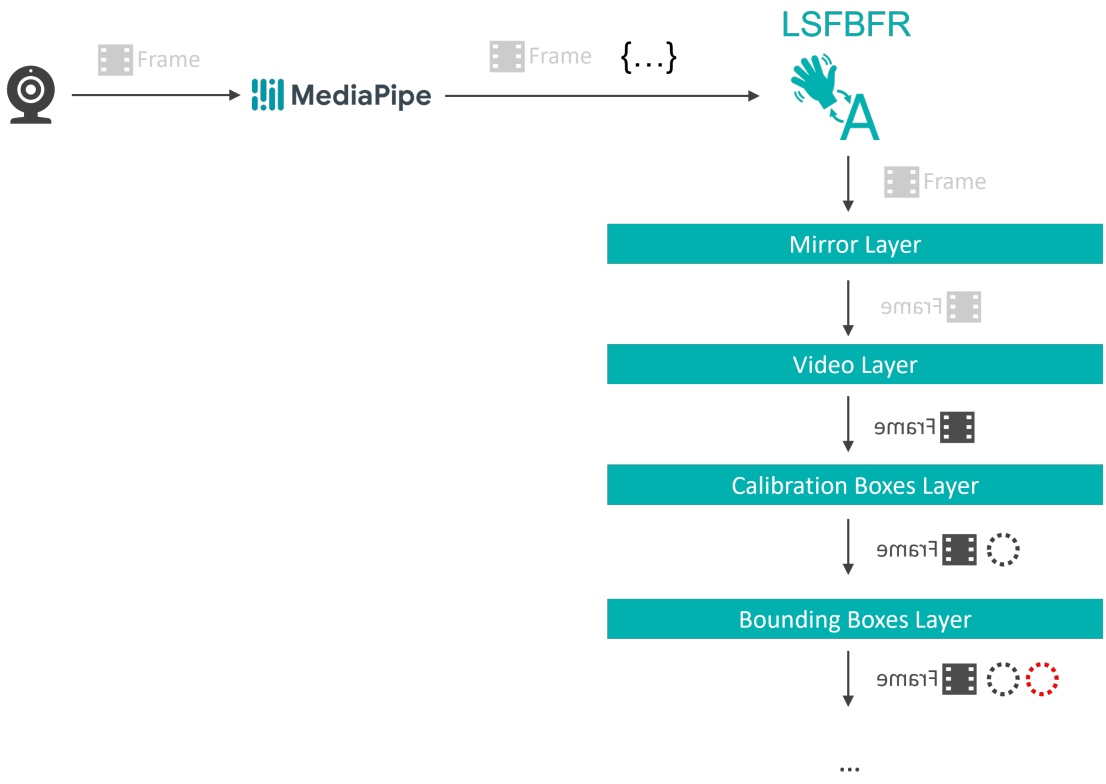

FIGURE 6.19 – Traitement de l'image

La webcam envoie chaque frame capturée à la bibliothèque MEDIAPIPE. Celle-ci ajoute des informations issues de sa détection. Ces données sont envoyées à l'application LSFBFR. Chaque frame reçue est enrichie par le moteur de rendu qui y applique différentes couches. La première est la "Mirror Layer". Celle-ci renverse l'image pour donner l'impression à l'utilisateur qu'il est face à un miroir. Ensuite, la "Video Layer" s'occupe de préparer le dessin de l'image aux bonnes dimensions. Après, la couche "Calibration Boxes Layer" dessine les guides de calibration fixes pour l'utilisateur. Enfin, la couche "Bounding Boxes Layer" dessine les guides de calibration en temps réel des membres de l'utilisateur (sa tête et ses mains). Le rendu final de l'image est finalement dessiné sur l'interface.

Calibration de l'utilisateur

Le calibrage de l'utilisateur est donc également assuré par la bibliothèque MEDIAPIPE.

D'un point de vue visuel, les guides de calibration fixes sont dessinés par la couche "Calibration Boxes Layer" en pointillés blancs alors que les guides de calibration en temps réel des membres de l'utilisateur sont dessinées par la "Bounding Boxes Layer" en rouge ou en vert selon l'état de calibration. La figure 6.20 donne un aperçu visuel de cette calibration.

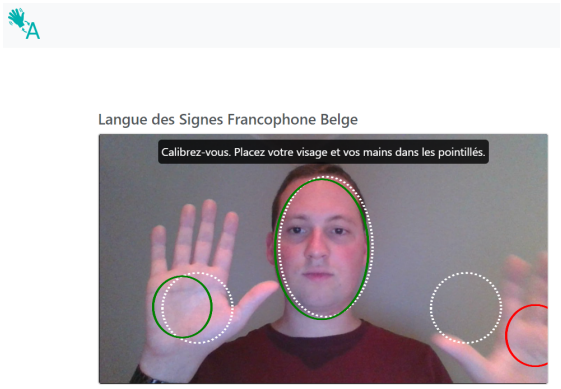

FIGURE 6.20 – Guide de calibration pour l'utilisateur sur LSFBFR

D'un point de vue mécanique, les coordonnées cartésiennes des guides de calibration permettent de déclencher le décompte qui aboutit sur l'enregistrement du signe. En effet, si les cordonnées des guides de calibration en temps réel des membres de l'utilisateur correspondent sensiblement (inclus dans un intervalle de coordonnées cartésiennes) à celles des guides de calibration fixes, alors un événement est émis pour débuter le décompte.

Il est à noter que MEDIAPIPE assure lui-même l'adaptation de la vidéo et des guides de calibrations en cas de redimensionnement de l'interface. Ceci participe à la responsivité de celle-ci.

Capture du signe

Une fois le décompte écoulé, un événement déclenche l'enregistrement du signe. En réalité, cet enregistrement se décline en deux enregistrements.

D'une part, l'un s'occupe de capturer le flux vidéo de la webcam sous le format `webm`. Cette vidéo est restituée en boucle à l'utilisateur dans l'interface pour lui rappeler le geste qu'il a signé.

La figure 6.21 montre (entouré en rouge) où la vidéo en boucle se positionne sur l'interface.

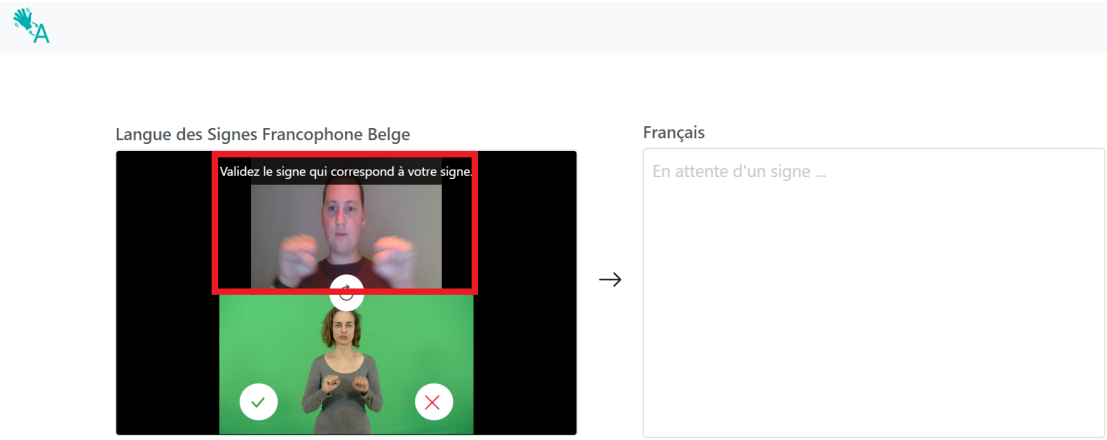

FIGURE 6.21 – Vidéo en boucle sur LSFBFR

D'autre part, l'autre s'assure de capturer la succession de poses dans une collection constituant, à l'issue de l'enregistrement, le signe sous sa représentation objet en format `JSON`. Cet artéfact est envoyé à l'API liée à l'intelligence artificielle pour qu'elle l'analyse et réponde en retour sa prédication, soit la glose associée au signe.

La figure 6.22 présente un extrait d'objet représentant un signe.

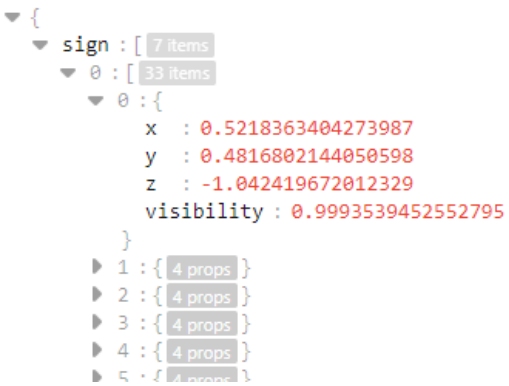

FIGURE 6.22 – Extrait d'un objet Sign

6.2.5 Vérification

Cette étape détaille les moyens mis en place pour assurer la conformité de l'application en termes de qualité logicielle. À cet effet, elle aborde le développement de tests unitaires, la production de tests automatisés d'interfaces utilisateurs, la mise en place d'un système d'intégration continue (CI) et finalement l'intégration d'un système de journalisation.

Tests unitaires

Les tests unitaires sont définis pour vérifier l'absence de régression des composantes métiers et utilitaires développés dans l'application.

Dans le cadre de ce projet, les tests sont écrits selon les paradigmes de développement piloté par les tests [79] et de programmation pilotée par le comportement [77]. Ils sont implémentés à l'aide du framework JavaScript Jasmine [27].

La figure 6.23 montre un exemple de l'implémentation d'un test unitaire.

```
it("maps invalid glosses", function () {

    // Given
    [
        ["{", INVALID_OBJECT_FORMAT],
        ["{test}", INVALID_OBJECT_FORMAT],
        ["{\"text\":BONJOUR\"}", INVALID_OBJECT_FORMAT],
        ["{\"tex\":\"BONJOUR\"}", INVALID_OBJECT_FORMAT]
    ].forEach(([objectAsString, errorMessage]) => {

        // When
        expect(function () {
            DataMapper.map(objectAsString, Gloss, JSONParser.parse)

        // Then
        }).toThrow(new Error(errorMessage));
    });
});
```

FIGURE 6.23 – Extrait de l'implémentation d'un test unitaire

Tests automatisés d'interfaces utilisateurs

Les tests automatisés d'interfaces utilisateurs vérifient quant à eux l'absence de régression des composantes visuelles de l'application.

Le lancement d'un test de ce type exécute un client capable d'appliquer, sur l'interface directement, des actions (ex. clic, saisie de texte ...) programmées dans un scénario. Il réagit de manière similaire à un humain, mais de façon automatique et programmée. Par ailleurs, il est capable de simuler d'autres comportements comme la substitution de la webcam par une vidéo pré enregistrée. L'objectif est de vérifier que l'état de l'interface de l'application dans lequel l'exécution du scénario a abouti est conforme à celui attendu. Pour ce faire, le framework est capable d'opérer des vérifications (vérifier la visibilité d'un élément, vérifier le contenu textuel d'un élément ...).

Dans le cadre de ce projet, les tests sont également écrits suivant les principes de développement piloté par les tests [79] et de programmation pilotée par le comportement [77]. Ils sont implémentés à l'aide du framework JavaScript TestCafe [65].

La figure 6.24 montre un exemple de l'implémentation d'un test d'interface utilisateur et en particulier l'extrait d'un scénario programmé.

```
test('Bottom frame starts the example video at a particular timestamp', async t => {
    await t
        .expect(cameraLoader.visible).notOk({timeout: timing120s})
        .expect(videoRecordingCountdown.visible).ok({timeout: timing20s})
        .wait(timing10s)
        .expect(videoRecordingCountdown.visible).notOk()
        .expect(signSearchLoader.visible).ok({timeout: timing10s})
        .wait(timing3s)
        .click(koButton)
        .click(okButton)
        .wait(timing3s)
        .click(translations.child(0))
        .wait(timing3s)
        .expect(examples.child(0).child(0).child(0).getAttribute('src')).contains(".mp4#t=12");
});
```

FIGURE 6.24 – Extrait de l'implémentation d'un test UI automatisé

Celle-ci affiche quant à elle l'exécution d'un test d'interface utilisateur avec simulation de webcam et d'interactions.

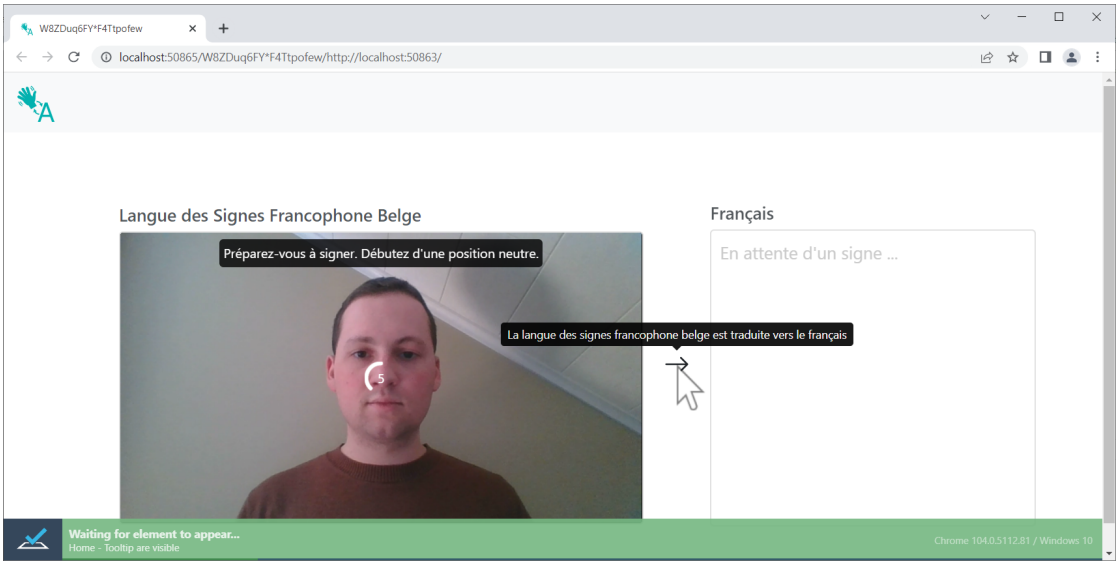

FIGURE 6.25 – Extrait de l'exécution d'un test UI automatisé

Intégration continue

Les tests abordés aux deux sections précédentes peuvent être exécutés en local par le développeur. Afin de porter cette étape de vérification un cran plus loin, un système d'intégration continue est mis en place. Celui-ci assure l'exécution de tous les tests à chaque incrément majeur du projet.

Pour le projet LSFBFR, le choix s'est tourné vers GitLab CI/CD. La raison de cette décision repose sur le fait que les dépôts du projet sont déjà hébergés sur GitLab et qu'une intégration est possible.

La figure 6.26 montre les étapes du processus.

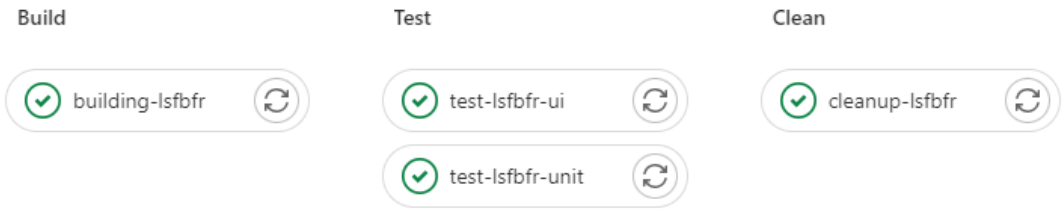

FIGURE 6.26 – Processus d'intégration continue pour la validation du projet

En réaction à un nouvel incrément majeur, l'étape de construction (`Build`) prépare l'environnement de test (construction de l'application, chargement des ressources, etc.).

L'étape de test (`Test`) exécute successivement les tests unitaires et les tests d'interface utilisateurs. Pour ces derniers, l'application est conteneurisée à l'aide de la technologie DOCKER afin de simuler un environnement de production.

Finalement, l'étape de nettoyage vise à remettre l'environnement de test dans l'état initial (suppression des ressources, suppression des conteneurs Docker, etc.).

Journalisation

Le dernier moyen mis en place est la journalisation. Celui-ci participe à la surveillance de l'application et inspecte son comportement afin de vérifier son adéquation avec les exigences même lorsqu'elle opère dans un environnement de production.

Dans le cadre de l'application développée, le choix s'est porté pour la solution LOG MONITORING de la société Coralogix. Celui-ci est le résultat d'un comparatif entre 18 outils concurrents. L'outil est le seul proposant une version en ligne, la gratuité (limitée), des sauvegardes de logs (limitées), une fonctionnalité d'analyse et enfin une intégration JavaScript.

La figure 6.27 donne un aperçu de la plateforme et un échantillon des logs.

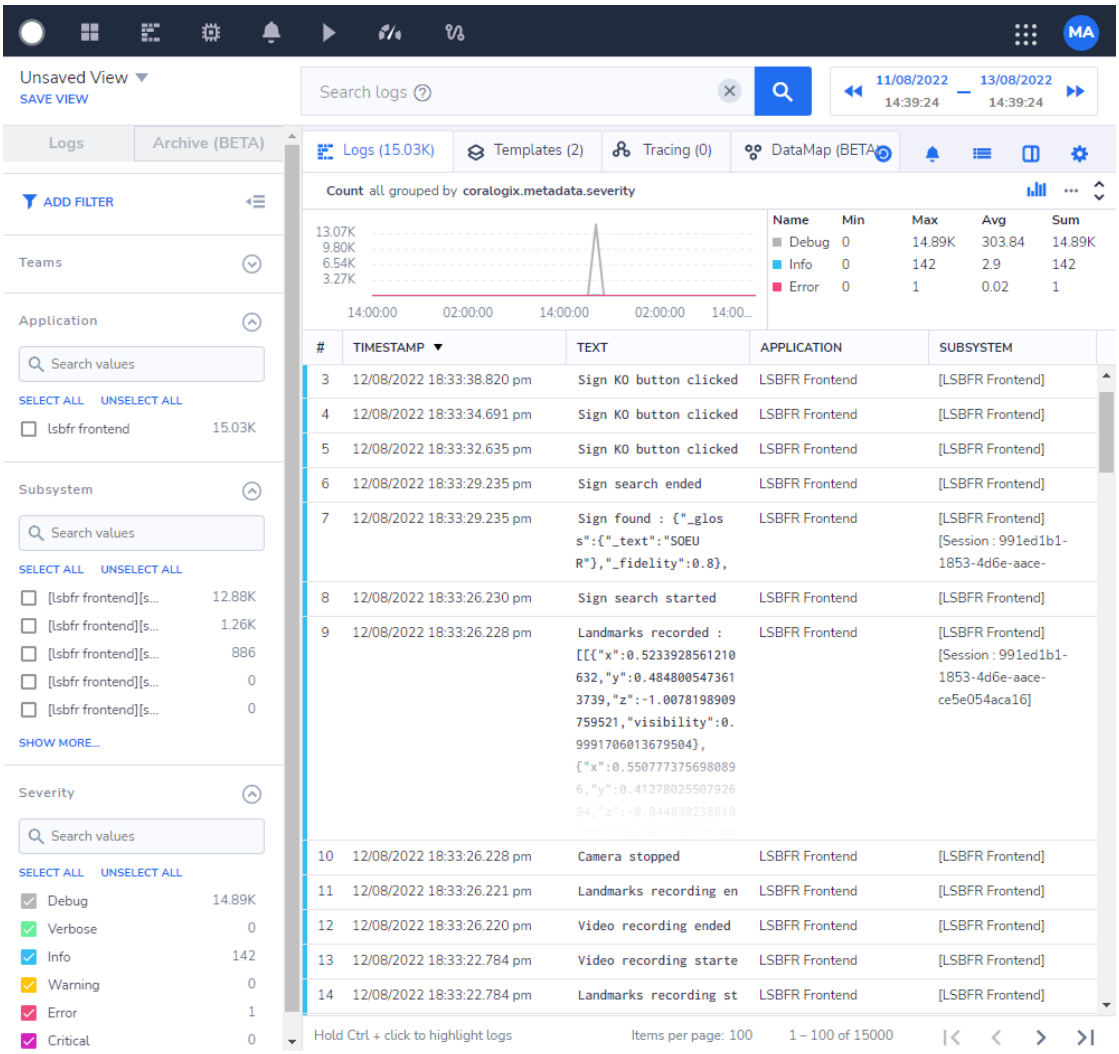

FIGURE 6.27 – Journalisation de l'application LSFBFR

6.2.6 Déploiement

Cette section présente essentiellement le schéma d'architecture final de l'application une fois déployée.

Schéma d'architecture

La figure 6.28 résume l'architecture du projet d'un point de vue large.

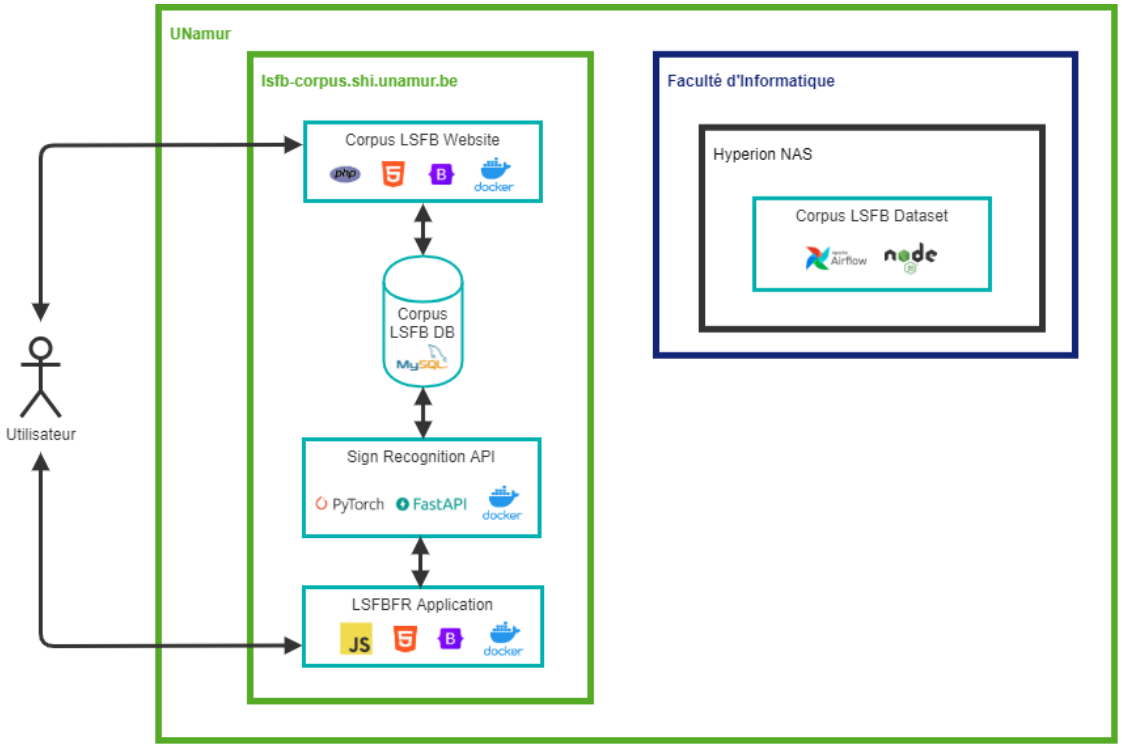

FIGURE 6.28 – Schéma d'architecture

Ce schéma montre par exemple où se positionne le projet LSFBFR, noté ici `LSFBFR Application`. Celui-ci est hébergé sur le serveur `lsfb-corpus.shi-.unamur.be` accessible publiquement. Le modèle met également en évidence les autres systèmes avec lesquels l'application LSFBFR collabore. La principale communication s'établit avec `Sign Recogniton API`, soit l'API qui permet la communication avec l'intelligence artificielle de reconnaissance de signes. Cette même API exploite la base de données du corpus, `Corpus LSFB DB`. Celle-ci renseigne notamment les gloses, les phrases d'exemples, etc. Finalement, la partie publique de l'architecture contient aussi le site web du corpus, intitulé `Corpus LSFB Website`. Il s'agit du site web qui propose la fonctionnalité de dictionnaire contextuel dans le sens de recherche du français vers la LSFB. Du côté de la partie privée se positionne le dataset `Corpus LSFB Dataset` hébergé sur le `NAS Hyperion`. Cette collection de données est exploitée pour l'entraînement de l'intelligence artificielle et stockée séparément à plus long terme.

Chapitre 7

Évaluation

Ce chapitre a pour objet de détailler la démarche et les résultats de l'évaluation des contributions. Comme pour les résultats, une scission est mise en avant entre les deux contributions.

7.1 Contribution appliquée

Comme expliqué dans le chapitre 4, la principale activité d'évaluation porte sur la conduite de tests utilisateurs sur l'application LSFBFR.

7.1.1 Démarche

Cette étape de validation est l'aboutissement d'une préparation minutieuse de plusieurs semaines.

Le jalon initial de cette préparation est l'élaboration du **plan d'action des tests**. Pour ce faire, le canevas "Plan de test utilisateurs" [34] est utilisé. Celui-ci propose une synthèse de toutes les considérations des tests.

Bien qu'il évoque déjà de nombreuses informations, il ne s'agit que d'une vue haut-niveau. Plusieurs particularités méritent d'être détaillées.

Ce plan de test est présenté à la figure 7.1.

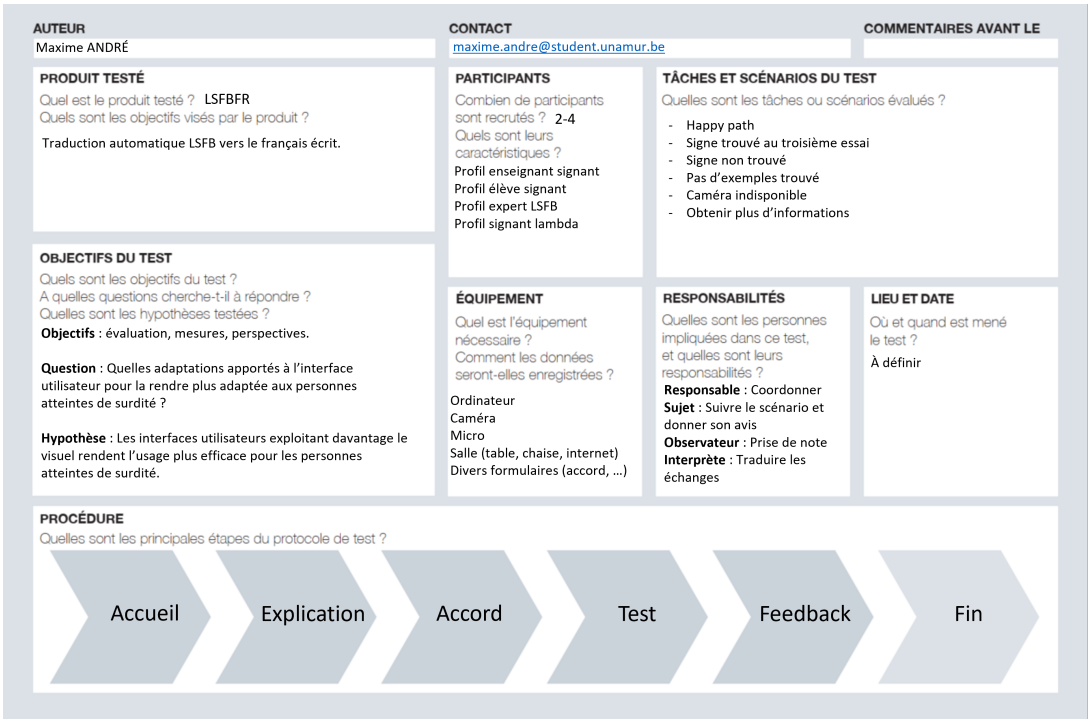

FIGURE 7.1 – Plan des tests utilisateurs

Il est utile de préciser que les tests portent en réalité sur le prototype de haute-fidélité de l'application qui a pour objet de simuler les conditions réelles d'utilisation.

Par le biais de ce prototype, ces tests ont pour **objectifs** :

— (Évaluation) de vérifier l'adéquation de l'application par rapport aux attentes des participants par l'intermédiaire de scénarios d'usages vraisemblables qui parcourent toutes les fonctionnalités de l'application en vue d'observer et d'évaluer le comportement, les réactions (prévisibles ou imprévisibles), les difficultés et les facilités des utilisateurs ;

— (Mesures) d'obtenir des données quantitatives manuellement par observation ou grâce à des outils automatisés ;

— (Perspectives) et de construire un recueil de commentaires qualitatifs grâce aux discussions de l'expérience.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs **matériaux** sont préparés.

À cet effet, un **document explicatif** exprime brièvement l'application testée, son contexte, le but du test et un aperçu de ses étapes. La version complète est consultable en annexe C.

En outre, en concertation avec la Data Protection Officer de l'Université de Namur, un **formulaire de consentement** est rédigé pour assurer le respect de la protection des données à caractère personnel des participants ainsi que leur droit à l'image. Ce formulaire prévoit le cas où le participant n'est pas majeur. Ainsi, il est demandé au tuteur légal de le remplir. Ce formulaire de consentement est disponible en annexe D.

En ce sens, afin d'organiser l'analyse tout en assurant efficacement la pseudonymisation, un **formulaire unique de collecte de données** est également préparé. Celui-ci ne demande aux participants que les informations nécessaires à leur classement dans les catégories d'utilisateurs. Chaque formulaire est abstrait par un identifiant unique (ex. ID01) qui représente "anonymement" chaque personne. Celui-ci est utilisé dans les autres matériaux ou dans les analyses pour désigner les personnes sans les citer. Ce formulaire est proposé en annexe E.

Par ailleurs, en préparation au test en lui-même, une **grille d'observation** est élaborée. Celle-ci détaille, pour chaque scénario les instructions du responsable de l'expérience et les actions attendues du participant. Pour chacune d'entre elles, l'observateur est invité à indiquer le temps écoulé et l'état de réussite ou d'échec. Il est également en mesure d'indiquer un éventuel commentaire exprimé par le participant ou alors indiquer un commentaire propre à son observation. Un extrait de cette grille est proposé en figure 7.2 et la version complète est consultable en annexe F.

Scénario 2 : Signe trouvé au troisième essai **ID utilisateur : .....**				
Tâche	Temps	Réussite ? Échec ? Erreur ?	Commentaire utilisateur	Commentaire observateur
Lancement normal de l'application LSFBFR. « Imaginez que vous souhaitez traduire en français le signe « IMPOSSIBLE ». Pouvez-vous suivre les instructions pour faire ce signe ? » L'utilisateur se calibre dans les pointillés. Le décompte apparaît.				

FIGURE 7.2 – Extrait de la grille d'observation d'un test utilisateur

De plus, un **questionnaire** est préparé dans le but de collecter le ressenti des participants après les tests. Celui-ci se base sur le questionnaire UEQ, [67] mais en version réduite et adaptée au contexte. Ce type de questionnaire oppose sur des échelles des qualificatifs sur lesquels le participant doit se positionner pour exprimer son ressenti. Ce questionnaire est visible en figure 7.3 et consultable en annexe G.

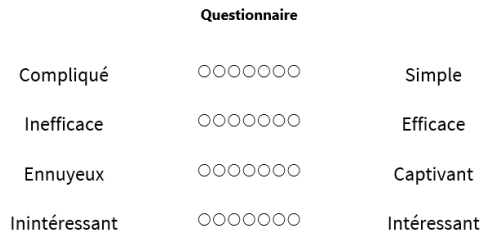

FIGURE 7.3 – Questionnaire pour les tests utilisateurs

Finalement, une **liste de questions** est préparée pour l'entretien avec le participant afin d'approfondir en fin de test certains avis relatifs à son ressenti. Cette liste de question est disponible en annexe H.

Avant les tests, quelques **personnes** sont conviées. Un test réunit toujours le participant, un interprète, un observateur, un technicien audiovisuel et un responsable d'expérience. Chacun assure les tâches suivantes :

— Participant : exécuter les instructions des scénarios, répondre au questionnaire, participer à l'entretien.

— Responsable de l'expérience : préparer l'expérience, accueillir le sujet, expliquer l'expérience, faire remplir les documents et coordonner étapes du test (scénarios, questionnaire et entretien).

— Observateur : remplir la grille d'observation et prendre note de l'entretien.

— Interprète : participer au briefing, accueillir le sujet, traduire, durant toute l'expérience, les conversations entre le sujet et le responsable de l'expérience.

— Technicien audiovisuel : assurer l'installation et le fonctionnement du matériel audiovisuel.

Concernant le participant, celui-ci est issu d'une des catégories suivantes :

— Profil enseignant français – LSFB ;

— Profil élève sourd (10 – 15 ans) ;

— Profil expert LSFB ;

— Profil personne signante lambda.

Entre temps, l'ensemble du **matériel** nécessaire est rassemblé. Ce type de test utilisateur nécessite le matériel suivant :

— 1 ordinateur pour l'usage du prototype ;
— 1 ordinateur pour la prise de note ;
— 1 caméra d'environnement (sujet, interprète, ordinateur prototype) ;
— 1 micro d'environnement ;
— 1 caméra capture d'écran ;
— 1 salle avec une table et une chaise, des prises, une connexion internet ;
— Les matériaux préparés (formulaire de consentement, formule de collecte de données, explicatif de l'expérience, grille d'observation, questionnaire ...) ;

Par après, le **plan de positionnement** est réfléchi et le local de l'expérimentation est préparé. Ce plan est présenté à la figure 7.4.

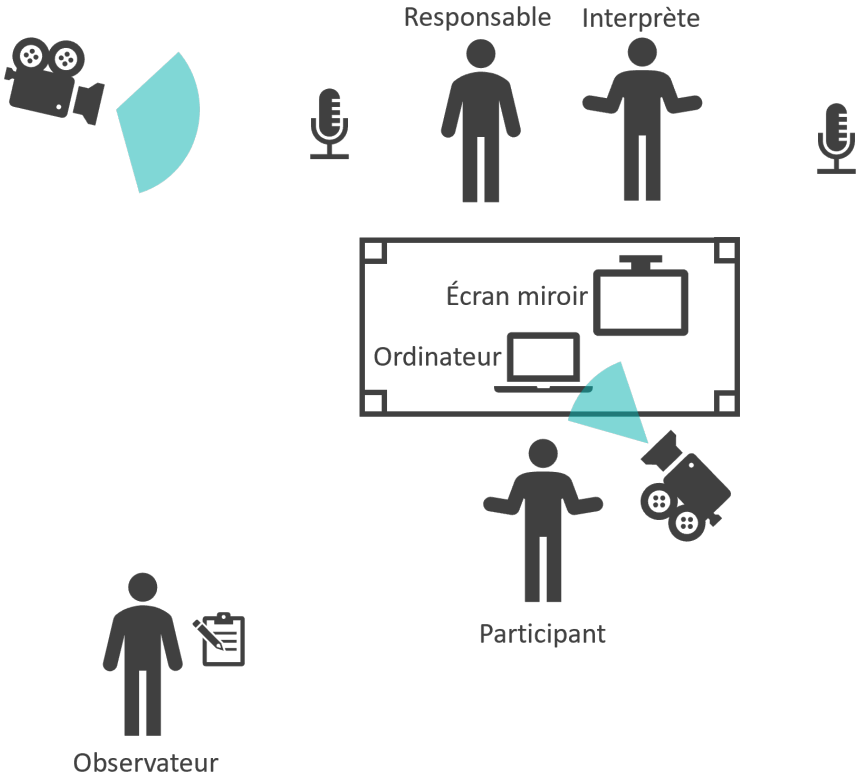

FIGURE 7.4 – Plan de positionnement du matériel des tests utilisateurs

Ce plan est réfléchi pour que le responsable d'expérience et l'interprète soient face au participant afin d'assurer un contact visuel. Les deux bénéficient face à eux d'un écran miroir de l'écran de l'ordinateur du participant pour suivre ses actions. Le positionnement des caméras est assuré pour que l'une filme l'environnement (celle de gauche) et l'autre l'écran (celle de droite). Finalement, deux micros sont positionnés pour capturer les instructions du responsable de l'expérience et les traductions orales de l'interprète.

Dans la réalité, le positionnement se présente comme à la figure 7.5.

FIGURE 7.5 – Positionnement réel du matériel des tests utilisateurs

Juste avant le test, un **briefing** avec les interprètes est organisé pour notamment anticiper les traductions des matériaux et organiser la traduction en temps réel.

Le jour J, le **déroulement du test** est le suivant. Les participants sont accueillis individuellement par le responsable de l'expérience et l'interprète. Ils reçoivent chacun les instructions (en français et en langue des signes) durant environ 10 minutes. Ils complètent par la même occasion les formulaires de collecte de données et de consentement. Ensuite, ils s'installent et débutent l'expérimentation. Durant 25 minutes au plus, ils suivent et exécutent les instructions du scénario dictées par le responsable de l'expérience et traduites par l'interprète. Une fois les scénarios terminés, ils sont invités à répondre à un questionnaire de satisfaction (traduit) puis à participer à un entretien (interprété) de maximum 25 minutes avec le responsable de l'expérience pendant lequel ils discutent de leur ressenti (satisfaction, insatisfaction, frustrations, points positifs, points négatifs ...).

Plus tard, des **analyses** sont conduites sur les données collectées (grille d'observation, résultats des questionnaires, compte rendu des entretiens, etc.) pendant le test. Ces résultats sont abordés à la section suivante.

7.1.2 Résultats

Grilles d'observation

Les premières analyses opérées concernent les grilles d'observation.

Il peut être conclu de ces observations que l'application répond aux besoins. En effet, le tableau 7.1 évalue le nombre d'actions accomplies par utilisateur et par scénario. Il révèle des résultats globalement bons. Ceux-ci sont semblables les uns aux autres dans le sens où il n'y a pas d'écart extrême entre les valeurs d'un utilisateur à l'autre.

Scénario / Utilisateur	1	2	3	4	5	6
ID01 (expert LSFB)	12/13	10/10	7/7	10/10	4/4	3/3
ID03 (enseignant)	13/13	8/10	7/7	10/10	4/4	3/3
ID04 (élève)	12/13	10/10	7/7	10/10	4/4	3/3
ID05 (élève)	11/13	10/10	6/7	9/10	4/4	1/3

TABLE 7.1 – Résultats des grilles d'observation (actions accomplies par utilisateur et par scénario)

Par ailleurs, les durées pour accomplir les scénarios par utilisateur sont toutes raisonnables comme le montre le tableau 7.2. Seul le premier scénario prend davantage de temps. En effet, il est remarqué que les utilisateurs ont besoin d'un peu de temps pour s'acclimater à l'application. Une fois qu'ils saisissent son fonctionnement, ils accomplissent les scénarios beaucoup plus vite. Pour ce même constat, il est noté que les enfants prennent plus de temps que les adultes pour des raisons de distraction ou de prise en main de l'ordinateur.

Scénario / Utilisateur	1	2	3	4	5	6
ID01 (expert LSFB)	02 :35	01 :45	01 :15	01 :45	00 :45	00 :30
ID03 (enseignant)	03 :15	01 :15	00 :45	01 :30	00 :30	00 :30
ID04 (élève)	07 :00	02 :45	02 :00	01 :15	01 :00	00 :45
ID05 (élève)	05 :30	01 :30	00 :45	01 :15	00 :35	01 :00

TABLE 7.2 – Résultats des grilles d'observation (durées par utilisateur et par scénario)

Entretiens

Durant les entretiens, de nombreuses remarques ont pu être soulevées par les participants. Le compte rendu de chaque entretien est détaillé ci-après.

ID01 (expert LSFB) :

— L'application est facile d'utilisation, l'interaction est simple et le design est moderne et minimaliste (Familiarisation)

— Les guides de calibration sont clairs (Guidage)

— Les messages d'erreurs doivent être en langue des signes pour les enfants qui ne savent pas lire (Complémentarité des médias, Aides, Gestion des erreurs).

— Les mots et signes dans les exemples doivent être mis en évidence avec des couleurs (Couleurs).

— Il faut traduire les questionnaires en langue des signes (Traduction des ressources).

ID02 (enseignant français – LSFB) :

— Le site est facile, épuré, facile d'accès, pratique à utiliser en classe (Familiarisation).

— Le site doit être utilisable sur Microsoft Edge (Compatibilité).

— Le site doit être robuste pour certaines enfants qui signent moins bien (Gestion des erreurs).

— Le site propose le contexte dans les exemples (Contextualisation).

ID03 (élève) :

— L'application est sympa à utiliser (Familiarisation)

— La taille des vidéos est trop petite (Conformité des médias).

ID04 (élève) :

— L'application est facile à utiliser (Familiarisation)

Il peut être remarqué que chaque commentaire fait référence à un type de recommandation de la checklist des recommandations. Certaines montrent le respect de ce type de recommandation tandis que d'autres attirent l'attention sur les lacunes. Ces résultats sont particulièrement pertinents pour la suite du projet.

Questionnaires

Finalement, les résultats des questionnaires, présentés en synthèse par le tableau 7.3, mettent en évidence une satisfaction globale très appréciable. Ceci prouve que le projet est en bonne voie puisqu'il répond aux attentes des utilisateurs.

	Compliqué						Simple
ID01	○	○	○	○	○	○	●
ID03	○	○	○	○	○	○	●
ID04	○	○	○	○	●	○	○
ID05	○	○	○	○	○	●	○
	Inefficace						Efficace
ID01	○	○	○	○	○	○	●
ID03	○	○	○	○	○	○	●
ID04	○	○	○	●	○	○	○
ID05	○	○	○	○	○	○	●
	Ennuyeux						Captivant
ID01	○	○	○	○	○	●	○
ID03	○	○	○	○	○	●	○
ID04	○	○	○	○	○	●	○
ID05	○	○	○	○	○	●	○
	Inintéressant						Intéressant
ID01	○	○	○	○	○	○	●
ID03	○	○	○	○	○	○	●
ID04	○	○	○	○	○	○	●
ID05	○	○	○	○	○	○	●

TABLE 7.3 – Résultats des questionnaires des tests utilisateurs

7.2 Contribution scientifique

Dans le cadre de ce projet, la contribution scientifique est validée de deux manières.

D'une part, elle profite du caractère validé des sources sur lesquelles elle se base. En effet, puisqu'elle résulte majoritairement de la littérature, il peut être imaginé une validation par transitivité moyennant une certaine confiance/méfiance.

D'autre part, les tests utilisateurs jouent un rôle de validation indirecte. En effet, plusieurs aspects de la checklist sont évalués dans ces expériences. Pour preuve, certaines recommandations sont relevées dans les entretiens qui suivent les tests utilisateurs. Par conséquent, avec toutes les précautions d'usage qui s'imposent, il peut être également conclu que les tests utilisateurs conduits confirment les résultats.

Chapitre 8

Discussion

Ce chapitre vise à porter un regard critique sur les résultats obtenus au chapitre 6 et évalués au chapitre 7. En outre, il tend à suggérer des perspectives pour la suite du travail au-delà de cet écrit, que ce soit pour la contribution scientifique ou pour la contribution appliquée.

8.1 Conclusions des hypothèses

Avant d'envisager des axes d'amélioration, il convient de faire état de la situation actuelle en concluant les hypothèses au tableau 8.1 .

Hypothèses	**Réponses**
HYP-1 Il n'existe pas de normes complètes et prêtes à l'emploi listant toutes les recommandations à suivre pour implémenter des interfaces utilisateurs adaptées aux personnes atteintes de surdité.	Vrai, à la connaissance de cet écrit, il n'existe en effet pas de norme complète, prête à l'emploi et totalement dédiée aux recommandations visant la construction d'interfaces utilisateurs adaptées à la surdité. Il existe bien des normes comme les WCAG, mais celles-ci sont trop abstraites à la thématique. En revanche, de nombreuses recommandations existent et sont évoquées dans la littérature. Malheureusement, elles subissent un manque global de visibilité. Elles sont soit dispersées dans de nombreux articles, soit évoquées de manière secondaire. Certaines sont trop spécifiques à leur projet et d'autres ne sont même pas documentées. Il existe même des recommandations issues d'outils trop anciens voire hors service. Finalement, certaines recommandations ne sont qu'au stade de perspectives et manque d'évaluations, d'un accompagnement méthodologique ou de preuves d'applicabilité.

HYP-2 Il n'existe pas de méthodologie spécifique à l'élaboration d'interfaces utilisateurs adaptées aux personnes atteintes de surdité.	Vrai, à la connaissance de cet écrit, il n'existe en effet pas de méthodologie générique dédiée à l'élaboration d'applications à destination d'un public sourd. Les extraits méthodologiques cités dans la littérature sont principalement des bonnes pratiques issues de l'ingénierie logicielle et adaptées au cas par cas.

TABLE 8.1 – Conclusions des hypothèses

8.2 Conclusions des questions de recherche

Le tableau 8.2 apporte quant à lui des éléments de réponse aux questions de recherches de ce travail.

Questions	**Réponses**
QR-1 Quelles recommandations suivre pour concevoir des interfaces utilisateurs adaptées à la surdité de personnes en Belgique francophone ?	La réponse se construit en deux temps. Le chapitre 5 apporte d'abord un premier élément de réponse en collectant, déduisant, classifiant et synthétisant les problèmes et solutions identifiés dans la littérature. Le deuxième élément de réponse se positionne au chapitre 6 qui propose une checklist de recommandations. Celle-ci est construite sur base des synthèses de la littérature et sur base des résultats des diverses expérimentations conduites par cette étude et par le projet LSFBFR. Bien que cette checklist n'ait pas la prétention de se présenter comme étant la réponse ultime en raison de son caractère non exhaustif et sa limite temporelle, elle apporte une première contribution dans un sujet peu exploré jusqu'à présent.
QR-2 Comment appliquer ces recommandations dans le cadre du développement d'un dictionnaire web contextuel dans le sens de recherche de la LSFB vers le français ?	De la même manière que pour la question précédente, les deux chapitres 5 et 6 apportent des réponses. En effet, certaines solutions issues de l'état de l'art abordent des adaptations méthodologiques. Celles-ci sont rappelées dans le chapitre des résultats, en particulier dans la checklist des recommandations. Par ailleurs, la partie dédiée à la contribution appliquée du chapitre 6 détaille comment ces recommandations sont mises en oeuvre dans le projet concret LSFBFR.

TABLE 8.2 – Conclusions des questions de recherche

8.3 Perspectives scientifiques

Analyse extra francophone

Une des critiques qui peut être adressée à ce travail de recherche est son biais linguistique. L'analyse de la littérature a débuté en français. Cette orientation est le résultat du choix du cas d'application. Très tôt dans la démarche, il s'est porté pour le projet LSFBFR. Par conséquent, les questions de recherche et les hypothèses se sont concentrées sur les langues des signes francophones afin de cadrer le périmètre de l'étude. Dès lors, il est possible que certains résultats anglophones aient pu être omis bien qu'aucun papier anglophone n'ait été rejeté. Après une prise de recul, il est apparu que les recommandations ne dépendaient pas des langues et qu'elles pouvaient être étendues à d'autres langues des signes.

En guise de première perspective, il serait pertinent d'entreprendre une révision de la littérature en orientant les recherches vers des sources plutôt anglophones.

Validation externe

Jusqu'à présent, la checklist des recommandations est le fruit d'un travail impliquant peu de personnes.

Une perspective envisageable, en guise de validation et pour atteindre une meilleure objectivité, serait de soumettre la checklist à des personnes externes au projet (experts, développeurs ...). En effet, il est délicat de définir des recommandations. Des compromis doivent être faits entre simplicité et complétude ou encore entre généralité et précision. Ce faisant, une validation externe serait bienvenue.

Une autre technique de validation concevable comme perspective pourrait être d'analyser, à l'aide de la checklist des recommandations, plusieurs autres applications existantes. Cela permettrait de comprendre les forces et faiblesses de cette checklist.

Normalisation

La littérature a mis en évidence un manque de normes spécifiquement et exclusivement dédiées aux interfaces utilisateurs adaptées au contexte de la surdité.

Une fois davantage validée, la diffusion de la checklist des recommandations pourrait être étendue et donner naissance à une norme spécifique pour le développement d'interfaces utilisateurs adaptées à la surdité.

Évolution

Qu'elle évolue ou pas en norme, il faut savoir que la checklist actuelle des recommandations peut encore évoluer sur le fond. En effet, les technologies et la société évoluent. De ce fait, les recommandations d'aujourd'hui ne seront peut-être plus celles de demain.

Il est important de porter un regard critique sur l'aspect temporel de ce travail et d'envisager, comme perspective, un suivi à travers le temps pour le maintenir à jour.

Par ailleurs, il est important de rappeler que la forme proposée n'est pas rigide. Les recommandations peuvent aussi évoluer sur cette dimension.

Une perspective pourrait être d'évoluer la simple checklist de recommandations en un outil complet d'évaluation de l'accessibilité d'une interface utilisateur dans le contexte de la surdité. Celui-ci pourrait faire apparaître de nouvelles sous-classifications, être accompagné d'un système de calcul de score d'accessibilité, etc.

Investigation des applications indisponibles

Finalement, il pourrait être pertinent de s'intéresser au cas des applications indisponibles. En effet, il a été évoqué dans l'état de l'art que de nombreuses applications adaptées au public atteint de surdité n'étaient plus disponibles. Malheureusement, peu de détails ont été livrés sur les raisons de ces cessions d'activité.

L'objectif serait de comprendre les raisons de leur arrêt. Cela aiderait certainement à comprendre les problèmes, les traiter voire à les anticiper et à trouver des solutions pour les contrer. Ces réponses pourraient confirmer certaines recommandations voire en faire émerger de nouvelles. Jusqu'à présent, seules des suppositions planent : manque de temps, manque de ressources humaines, manque d'utilisateurs, manque de ressources financières, mauvaise rencontre des besoins pour les utilisateurs, déficit technologique, recommandations obsolètes, etc. Celles-ci mériteraient d'être confirmées ou infirmées.

8.4 Perspectives appliquées

Exploitation des vidéos

Un premier pas dans les perspectives de l'application LSFBFR serait d'enrichir le dataset de vidéos. La vision serait de le faire grandir à mesure qu'il puisse être exploité par l'intelligence artificielle derrière lors de ses phases d'entraînement. Le but ultime serait de lui soumettre automatiquement de nouveaux extraits annotés et de lui permettre ainsi de déclencher rapidement de nouvelles phases d'apprentissage.

Une piste exploitable serait d'enregistrer les vidéos capturées par les internautes directement depuis l'interface. Celles-ci pourraient être intégrées au dataset utilisé par l'intelligence artificielle. De cette manière, la collection de vidéos pourrait être enrichie d'extraits capturés, non plus filmés dans un studio vidéo, mais en condition réelle d'utilisation devant une webcam. Cette caractéristique renforcerait les

capacités du système de reconnaissance face à la diversité des vidéos qu'il pourrait devoir analyser dans le futur. L'avantage de cette solution est qu'elle pourrait également profiter des retours utilisateur en termes de validation de recherche pour annoter automatiquement les extraits. Cette solution devrait néanmoins veiller à demander et respecter le consentement des utilisateurs en termes de droit à l'image et le traitement des données à caractère personnel.

Capture de signe avancée

Jusqu'à présent, la capture de signe se repose sur un mécanisme basique. L'application enregistre la vidéo de la webcam en faisant l'hypothèse qu'un signe ne dure jamais plus de 3 secondes. Ce mécanisme est fonctionnel, mais pourrait montrer ses limites si une version avancée du système souhaitait intégrer le multi-mot, c'est un à dire une traduction qui va au-delà du mot unique et qui est capable de prendre en compte une "phrase" complète. Pour ce faire, un mécanisme avancé de segmentation de signe serait nécessaire pour détecter la fin du signe ou d'une succession de signes. À cet effet, la littérature regorge de nombreux mécanismes existants qu'il faudrait implémenter pour le projet. En outre, au sein du même laboratoire dans lequel LSFBFR a été développé, des recherches ont été menées pour la segmentation des signes. Ces résultats pourraient être réutilisés.

Inversion du sens de recherche

Auparavant, seul le dictionnaire contextuel français – LSFB existait. Il ne proposait qu'une recherche dans le sens du français vers la langue des signes. Le projet LSFBFR a apporté le sens de recherche complémentaire, c'est-à-dire de la LSFB vers le français. Toutefois, à l'heure actuelle, les deux outils restent distincts.

Une des perspectives envisagées pour la suite du projet est de réunir les deux outils en un ou plus précisément de réintégrer la fonctionnalité de recherche du dictionnaire contextuel dans l'application LSFBFR, plus moderne. Ainsi, elle pourrait proposer la fonctionnalité d'inversement du sens de recherche à l'instar des traducteurs en ligne traditionnels.

Ouverture aux langues

Finalement, une perspective à plus long terme serait d'étendre l'application et en particulier sa capacité de recherche à d'autres langues des signes voire à d'autres langues écrites. En effet, le système actuel a prouvé la faisabilité technique sur la langue des signes et le français dans une interface utilisable et accessible. Il est donc clairement envisageable de considérer une extension vers d'autres langues. Ainsi, les combinaisons pourraient être riches. Une personne pratiquant la LSFB serait par exemple capable de rechercher un signe directement en anglais sans passer par une traduction intermédiaire en français. Ces nouvelles possibilités trouveraient certainement un sens dans les cours de langue étrangère pour les élèves sourds.

Chapitre 9

Conclusion

L'Université de Namur et en particulier le LSFB Lab ainsi que la Faculté d'Informatique avaient pour but commun de développer les interfaces utilisateurs du projet novateur LSFBFR, un dictionnaire web contextuel traduisant en français des signes en LSFB capturés par des webcams utilisateurs.

En amont de ce développement, deux questions se sont posées. Quelles recommandations suivre pour concevoir de telles interfaces adaptées à la surdité ? Et comment appliquer ces recommandations au projet LSFBFR ?

Pour répondre à ces interrogations, un balayage préalable de la littérature a été opéré en s'orientant sur la thématique des adaptations apportées aux interfaces utilisateurs dans le contexte de la surdité. Cette première vue d'ensemble a identifié une dizaine de lacunes dans la littérature. Parmi les plus flagrantes étaient regrettés l'absence de synthèse générale sur les bonnes pratiques en ce compris les recommandations méthodologiques, le peu de visibilité des initiatives données à cet aspect de la recherche, la faiblesse de documentation des concepts ou encore le manque d'évaluation des recommandations observées. Par ailleurs, il était remarqué que certaines publications étaient temporellement dépassées.

Ces constats ont motivé l'étude de recommandations en vue d'en construire une checklist prête à l'emploi pour les développeurs désireux de construire des interfaces utilisateurs adaptées au contexte de la surdité.

Afin d'atteindre cet objectif, une sérieuse analyse de la littérature a été amorcée. En parallèle, afin de pallier le manque de méthodologie et d'évaluation des travaux antérieurs, il a été décidé de tester ces recommandations sur le développement concret de l'application LSFBFR.

Le résultat de l'analyse de la littérature a proposé des ébauches de classifications de problèmes et de solutions. Celles-ci abordaient autant des généralités que des lois et normes, des caractéristiques d'interfaces utilisateurs ou encore des méthodologies. À titre d'exemples, elles discutaient de conscientisation des développeurs, de faiblesse de normes, d'intégration de vidéos ou encore d'implication d'utilisateurs pour les plus classiques, mais aussi de valorisation étendue, de respect d'anonymisation, de complémentarité des médias ou d'expérimentations interprétées et filmées pour les plus atypiques. Ces classifications ont finalement abouti à la création de la checklist des recommandations comme résultat d'une réification de solutions identifiées, affinées et enrichies par les diverses expérimentations de ce travail.

En parallèle, le développement de l'application LSFBFR et notamment l'étude des exigences, le prototypage, la résolution de défis techniques et finalement la validation ont été autant de sources d'informations précieuses à récolter et à faire percoler dans la checklist des recommandations produite.

Pour valider ces avancées, des tests utilisateurs avec scénarios observés, questionnaires et entretiens, ont permis d'approuver la réponse aux besoins par l'application LSFBFR. La checklist des recommandations a quant à elle été validée par l'intermédiaire de la littérature et, de manière indirecte, par l'évaluation de l'application LSFBFR sur laquelle la checklist s'appliquait.

En fin de travail, une inspection réflexive a conclu que la checklist des recommandations proposée symbolisait le premier pas vers la réponse au manque de recommandations dédiées à l'élaboration d'interfaces utilisateurs adaptées à la surdité. En outre, le projet LSFBFR a quant à lui contribué à prouver à quel point il était faisable d'appliquer les recommandations de la checklist dans un cadre réel. Ainsi, chaque contribution a réussi à apporter un élément de réponse à chacune des questions initialement posées. Finalement, chacune a porté un regard sur l'avenir en évoquant quelques perspectives comme la validation de la checklist par des développeurs externes au projet ou encore l'ouverture du système LSFBFR à d'autres langues.

En définitive, ce sont deux contributions originales au caractère novateur qui résultent de ce travail au bénéfice de la communauté sourde et des développeurs qui en prennent soin. Il peut ainsi être conclu que les résultats ainsi que les perspectives de ce sujet démontrent à nouveau la juste place de l'informatique dans des débats profonds comme la participation aux enjeux sociaux et sociétaux.

Glossaire

IHM Interface Humain-Machine. 27

LPC Langue Parlée Complétée. 17

LSF Langue des Signes Française. 7, 13, 14, 35

LSFB Langue des Signes de Belgique Francophone. 6, 7, 10, 25, 28, 52, 65, 68, 70, 72, 86, 90, 94, 98, 101, 102, 105

LSFBFR Traducteur web de la LSFB vers le français. 7, 8, 26, 62, 65, 70, 78, 79, 84, 86, 87, 98–103

OMS Organisation Mondiale de la Santé. 15, 16

ONU Organisation des Nations Unies. 19

RGPD Règlement général sur la protection des données. 36

UE Union Européenne. 19

UML Unified Modeling Language. 28

W3C World Wide Web Consortium. 20, 36, 37, 39

WAI Web Accessibility Initiative. 20

WCAG Web Content Accessibility Guidelines. 20, 36, 40, 44, 46, 48, 51–54, 97, 116

Table des figures

4.1 Méthodologie du travail de recherche 30

6.1 Interface de l'application LSFBFR 65
6.2 Calibration devant la webcam sur LSFBFR (1/3) 66
6.3 Calibration devant la webcam sur LSFBFR (2/3) 66
6.4 Calibration devant la webcam sur LSFBFR (3/3) 67
6.5 Décompte sur LSFBFR 67
6.6 Préparation à signer sur LSFBFR 67
6.7 Signe sur LSFBFR 68
6.8 Validation des correspondances sur LSFBFR 68
6.9 Traductions sur LSFBFR 69
6.10 Exemples contextuels sur LSFBFR 69
6.11 Persona de l'utilisateur lambda 70
6.12 Persona de l'utilisateur élève 71
6.13 Persona de l'utilisateur enseignant 71
6.14 Persona de l'utilisateur expert LSFB 72
6.15 Prototype d'interface LSFBFR (1/2) 75
6.16 Prototype d'interface LSFBFR (2/2) 75
6.17 Modélisation des concepts métiers 76
6.18 Modélisation du squelette humain 77
6.19 Traitement de l'image 79
6.20 Guide de calibration pour l'utilisateur sur LSFBFR 80
6.21 Vidéo en boucle sur LSFBFR 81
6.22 Extrait d'un objet Sign 81
6.23 Extrait de l'implémentation d'un test unitaire 82
6.24 Extrait de l'implémentation d'un test UI automatisé 83
6.25 Extrait de l'exécution d'un test UI automatisé 83
6.26 Processus d'intégration continue pour la validation du projet 84
6.27 Journalisation de l'application LSFBFR 85
6.28 Schéma d'architecture 86

7.1 Plan des tests utilisateurs 88
7.2 Extrait de la grille d'observation d'un test utilisateur 89
7.3 Questionnaire pour les tests utilisateurs 90
7.4 Plan de positionnement du matériel des tests utilisateurs 91
7.5 Positionnement réel du matériel des tests utilisateurs 92

Liste des tableaux

3.1 Déficits observés dans la littérature 22

5.1 Problèmes des interfaces utilisateurs face à la surdité 43
5.2 Solutions des interfaces utilisateurs face à la surdité 61

6.1 Aperçu de la checklist des recommandations 64
6.2 Comparatif de traducteurs en ligne 74

7.1 Résultats des grilles d'observation (actions accomplies par utilisateur et par scénario) 93
7.2 Résultats des grilles d'observation (durées par utilisateur et par scénario) 93
7.3 Résultats des questionnaires des tests utilisateurs 95

8.1 Conclusions des hypothèses 98
8.2 Conclusions des questions de recherche 98

A.1 Checklist des recommandations 125

Bibliographie

[1] Shirley Alvarado. *Le numérique au service de l'accessibilité : une visite des sens appliquée à la Mappa Mundi d'Albi*. 2017.

[2] LSFB ASBL. *Historique de la LSFB – LSFB asbl*. `https://www.lsfb.be/historique_lsfb/`. (Consulté le 13 mai 2022).

[3] Guylhem Aznar et al. « Projet Usages de l'Internet-WebSourd ». In : *Rapport de recherche* (2005).

[4] Philippe Balin et Cédric Gossart. « L'accessibilité des TIC par les personnes handicapées : état des lieux du contexte actuel ». In : *Terminal. Technologie de l'information, culture & société* 116 (2015).

[5] U.S. Access Board. *Revised 508 Standards and 255 Guidelines*. `https://www.access-board.gov/ict/#302.4`. (Consulté le 4 mai 2022). 2017.

[6] Nathalie Bonnardel, Édith Galy-Marié et Patrice Petitjean. « Ergonomie et prise en charge du handicap ». In : *Psychologie et handicap* (2021), p. 135.

[7] Antonio Casilli. *Technologies capacitantes et" disability divide" : Enjeux des usages numériques dans les situations de handicap*. 2010.

[8] European Commission. *M/554 Commission Implementing Decision C (2017) 2585 of 27.4.2017 on a standardisation request to the European standardisation organisations in support of Directive (EU) 2016/2102 of the European Parliament and of the Council on the accessibility of the websites and mobile applications of public sector bodies*. `https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=577`. (Consulté le 11 février 2022). 2017.

[9] Daniel Daigle, Anne-Marie Parisot et Suzanne Villeneuve. « Un environnement Web bilingue pour l'alphabétisation des personnes sourdes ». In : *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation* 1 (2010), p. 139-152.

[10] Patrice Dalle. « EIAH et langue des signes Spécifications et Outils pour construire des EIAH adaptés à la langue des signes et aux apprenants sourds ». In : *Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain-EIAH 2013*. 2013, pp-15.

[11] Patrice Dalle. « TIC pour l'intégration des sourds par la langue des signes ». In : *Terminal. Technologie de l'information, culture & société* 116 (2015).

[12] Patrice Dalle et Juliette Dalle. « Langues des signes, enseignement et nouvelles technologies ». In : *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation* 4 (2013), p. 189-202.

[13] S Dalle-Nazébi et A Madec. « Rendre les appels d'urgence accessibles aux sourds. Enjeux d'une articulation entre sociologie et ergonomie ». In : *innovatiO, revue pluridisciplinaire en innovation* 4 (2016).

[14] Sophie Dalle-Nazébi. « Technologies Visuelles et e-inclusion. Initiatives de sourds ». In : *Innovation : The European Journal of Social Science Research* 21.4 (2008), p. 353-369.

[15] Bastien David et Pierrette Bouillon. « Traduction automatique de la parole vers la langue des signes de Belgique francophone. Evaluation d'un avatar destiné aux transports en commun par la communauté sourde ». In : *10e conférence de l'IFRATH sur les technologies d'assistance. Recherches pluridisciplinaires pour l'autonomie des personnes en situation de handicap*. 2018, p. 143-148.

[16] Marcilio DE BRITO, Widad MUSTAFA El HADI et Simone BASTOS. « La représentation du document par images : une validation expérimentale. » In : *Revue d'Interaction Homme-Machine Vol* 7.1 (2006).

[17] Colette Dubuisson et al. « Création du logiciel d'alphabétisation bilingue pour les Sourds "Le français sur le bout des doigts" : évaluation de l'outil et de la démarche de développement ». In : *ReCALL* 16.2 (2004), p. 360-376.

[18] ETSI. *ETSI EN 301 549 - V3.2.1 - Accessibility requirements for ICT products and services*. `https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/03.02.01_60/en_301549v030201p.pdf`. (Consulté le 4 mai 2022). 2021.

[19] Caroline Feissel. « Surdiscol : Si on communiquait ? » Thèse de doct. 2016.

[20] FFSB. *Position de la FFSB sur les avatars signés – FFSB*. `http://www.ffsb.be/position-avatars/`. (Consulté le 4 mai 2022). 2021.

[21] Tanguy Giuffrida. « Fuzzy4U : un système d'adaptation des Interfaces Homme-Machine en logique floue pour l'accessibilité ». Thèse de doct. Université Grenoble Alpes, 2020.

[22] Google. *Home - mediapipe*. https://google.github.io/mediapipe/. (Consulté le 13 août 2022).

[23] Ludovic Hamon, Sylvie Gibet et Sabah Boustila. « Édition interactive d'énoncés en langue des signes française dédiée aux avatars signeurs ». In : *TALN-20ème conférence du Traitement Automatique du Langage Naturel 2013*. 2013.

[24] Alexis Heloir. *Informatique graphique, animation et langue des signes*. 2005.

[25] Simon Houriez et al. « Accessibilité des musées : de la conception pour les enfants sourds au design for all ». In : *MEI-Médiation et information* 36 (2013), p. 25-37.

[26] Bureau of Internet Accessibiliy. *8 Facts About Hearing Disabilities and Web Accessibility*. https://www.boia.org/blog/8-facts-about-hearing-disabilities-and-web-accessibility. (Consulté le 4 mai 2022). 2019.

[27] Jasmine. *Jasmine Documentation*. https://jasmine.github.io/. (Consulté le 13 août 2022).

[28] Mohamed Jemni et Oussama Elghoul. *L'Utilisation des TIC pour l'enseignement des élèves sourds*. 2007.

[29] Søren Staal Jensen et Tina Øvad. « Optimizing web-accessibility for deaf people and the hearing impaired utilizing a sign language dictionary embedded in a browser ». In : *Cognition, Technology & Work* 18.4 (2016), p. 717-731.

[30] Konbini. *Rogervoice : une appli pour téléphoner quand on est sourd ou malentendant | Konbini - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=PeJIYCG_SLE. (Consulté le 09 février 2022). 2021.

[31] Diana Koshtura, Vasyl Andrunyk et Tetiana Shestakevych. « Development of a Speech-to-Text Program for People with Haring Impairments. » In : *MoMLeT+ DS*. 2021, p. 565-583.

[32] J Lopez Krahe. « Technologie et handicap : multidisciplinarité et dispersion des connaissances. DESS Nouvelles technologies et handicaps sensoriels et physiques (HANDI) ». In : *J3eA* 3 (2004), p. 013.

[33] Lamri Labidi. « Application mobile dédiée aux personnes sourdes-muettes ». Thèse de doct. Université de Bordj Bou Arreridj Faculty of Mathematics et Computer Science, 2021.

[34] Carine Lallemand et Guillaume Gronier. *Méthodes de design UX*. Eyrolles, 2015.

[35] Caroline Larboulette et Sylvie Gibet. « Avatar signeurs : que peuvent-ils nous apprendre ? » In : *J. Enaction 2018 : Journée sur l'énaction en animation, simulation et réalité virtuelle*. 2018.

[36] Larousse. *Définitions : surdité - Dictionnaire de français Larousse*. https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/surdit%C3%A9/75649. (Consulté le 28 juillet 2022).

[37] Benoît Lathière. *Accompagnement des étudiants sourds*. 2013.

[38] Olivier Losson. « Modélisation du geste communicatif et réalisation d'un signeur virtuel de phrases en langue des signes grançaise ». Thèse de doct. Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2000.

[39] Zahen Malla Osman et Jérôme Dupire. « Un forum de discussion en ligne accessible aux personnes sourdes signantes ». In : *Conference Handicap Paris 2012*. Juin 2012.

[40] Claude Marin-Lamellet, Marie-Pierre Bruyas et Laurence Guyot. « L'-utilisabilité d'internet comme source d'information pour les voyageurs handicapés ». In : *Recherche-Transports-Sécurité* 68 (2000), p. 3-13.

[41] Bobillier Chaumon Me et F Sandoz-Guermond. *L'accessibilité des nouvelles technologies (E-services) : un enjeu pour l'intégration sociale des personnes handicapées*.

[42] Lucie Metz, Virginie Zampa et Annelies Braffort. « Plat'in : Plateforme pour l'apprentissage de la LSF ». In : *Actes de l'Atelier «EIAH et situations de handicap»* (2013), p. 9.

[43] Jean-Luc Metzger et Claudia Barril. « L'insertion professionnelle des travailleurs aveugles et sourds : les paradoxes du changement technico - organisationnel ». In : *Revue française des affaires sociales* 3 (2004), p. 63-86.

[44] Laurence Meurant. *Dans les coulisses d'un enseignement bilingue (langue des signes-français) à Namur*. T. 11. Presses universitaires de Namur, 2009.

[45] Gabriel Michel, Raoul Masson et Jean-Claude Sperandio. « Internet est-il accessible aux personnes ayant des incapacités ». In : *Développement humain, handicap et changement social* 15.1 (2006), p. 12-31.

[46] Cédric Moreau. « LexiqueLSF. Vers une web académie de la Langue des signes française ». In : *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation* 43.3 (2008), p. 81-88.

[47] Université de Namur. *Corpus LSFB — Université de Namur*. https://www.unamur.be/lettres/romanes/lsfb-lab/15decembre2015. (Consulté le 4 mai 2022). 2015.

[48] Université de Namur. *Dictionnaire bilingue contextuel LSFB-français | 2019-2021 — Université de Namur*. https://www.unamur.be/lettres/romanes/lsfb-lab/Dictionnaire%20bilingue. (Consulté le 4 mai 2022).

[49] Université de Namur. *Le Dictionnaire contextuel bilingue langue des signes (LSFB) / français - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=PFhBF1ZAWpA. (Consulté le 4 mai 2022). 2018.

[50] Université de Namur. *LSFB Lab — Université de Namur*. https://www.unamur.be/lettres/romanes/lsfb-lab. (Consulté le 4 mai 2022).

[51] Sven Noben. *Sign Language Media : An Exploration of Flemish Deaf Culture, Media Exigencies and Cross-medial Perspectives*. Lulu Press, Inc, 2013.

[52] Manon Paquereau, Frédéric Vella et Georges Da Costa. « C4Me" See for me" ». In : *27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*. 2015, p. d10.

[53] Afra Pascual, Mireia Ribera et Toni Granollers. « Impact of web accessibility barriers on users with a hearing impairment ». In : *Dyna* 82.193 (2015), p. 233-240.

[54] Gabriela Patiño-Lakatos. « Toucher et voir le son : approches sensorielles du son dans une pédagogie multimodale. Expérience à l'Institut national de jeunes sourds de Paris (2012-2013) ». In : *rapport de recherche Pédagogie artistique numérique accessible et multimodale, ANR* (2016).

[55] Nathalie Pinède. « Numérique et situations de handicap : les enjeux de l'accessibilité. Introduction ». In : *tic&société* 12.2 (2018), p. 1-8.

[56] Andreea Popescu. *Web accessibility for hearing impairments | by Andreea Popescu | UX Collective*. https://uxdesign.cc/web-accessibility-for-hearing-impairment-3f49fc7b5a34. (Consulté le 4 mai 2022). 2018.

[57] Sandra Pottier Tellier. « Gaspard : logiciel d'aide a l'acquisition de la lecture pour de jeunes sourds ». Thèse de doct. Lille 1, 1998.

[58] Jean-Michel Raczinski. « La solution de téléphonie sytis au secours des malentendants ». In : *Annales des Mines-Realites industrielles*. 4. ESKA. 2014, p. 63-69.

[59] Nasser Rezzoug et al. « Agent virtuel signeur Aidea la communication pour personnes sourdes ». In : *Proc. Handicap*. 2006.

[60] Haytham Safar, GAVA Andrea et William Lambert. « Inclusion et médiation linguistique : apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication ». In : *ESSACHESS–Journal for Communication Studies* 13.1 (25) (2020), p. 123-152.

[61] Jérémie SEGOUAT et al. « Proposition d'une méthodologie de création de corpus de signes 3d isolés de la LSF ». In : (2008).

[62] Cédric SEGUIN. « Déploiement d'applications d'assistance dans un environnement d'aide au handicap ». Thèse de doct. Lorient, 2015.

[63] Maholo Carolyne SSERUNKUMA. « Les TIC pour promouvoir l'accessibilité des personnes handicapées ». In : *Les directives de la RBC : Un pont vers une société inclusive du cadre de développement post 2015* (2015), p. 110.

[64] Hand TALK. *Hand Talk*. `https://www.handtalk.me/br/`. (Consulté le 25 juillet 2022).

[65] TESTCAFE. *Cross-Browser End-to-End Testing Framework TestCafe*. `https://testcafe.io/`. (Consulté le 13 août 2022).

[66] Philippe TEUTSCH, Nathalie CRUAUD et Pierre TCHOUNIKINE. « MANO, un environnement d'apprentissage du français écrit pour les enfants sourds ». In : *Alsic. Apprentissage des Langues et Systèmes d'Information et de Communication* 5.2 (2002), p. 123-147.

[67] UEQ. *User Experience Questionnaire (UEQ)*. `https://www.ueq-online.org/`. (Consulté le 5 mai 2022). 2018.

[68] Nations UNIES. *La Déclaration universelle des droits de l'homme*. `https://www.un.org/fr/universal-declaration-human-rights/`. (Consulté le 13 mai 2022).

[69] Nations UNIES. *UN Enable - Promoting the rights of Persons with Disabilities - Contribution by WFD*. `https://www.un.org/esa/socdev/enable/rights/contrib-wfd.htm`. (Consulté le 13 mai 2022). 2003.

[70] Vincent VANNESTE. « Système d'aide à l'apprentissage de la langue des signes française : du langage naturel à la synthèse automatique ». Thèse de doct. Lille 1, 2000.

[71] W3C. *Stories of Web Users | Web Accessibility Initiative (WAI) | W3C*. `https://www.w3.org/WAI/people-use-web/user-stories/`. (Consulté le 4 mai 2022). 2017.

[72] W3C. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. `https://www.w3.org/TR/WCAG21/`. (Consulté le 4 mai 2022). 2018.

[73] WIKIPÉDIA. *Accessibilité du web — Wikipédia, l'encyclopédie libre*. (Consulté le 23 juin 2022). 2022. URL : `http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Accessibilit%5C%C3%5C%A9_du_web&oldid=194773755`.

[74] Wikipédia. *Expérience du Magicien d'Oz — Wikipédia, l'encyclopédie libre*. (Consulté le 13 août 2022). 2019. URL : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Exp%5C%C3%5C%A9rience_du_Magicien_d%5C%27Oz&oldid=162041333.

[75] Wikipédia. *L'Informatique au service des handicapés — Wikipédia, l'encyclopédie libre*. (Consulté le 11 février 2022). 2020. URL : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=L%5C%27Informatique_au_service_des_handicap%5C%C3%5C%A9s&oldid=167305545.

[76] Wikipédia. *Liste des langues des signes — Wikipédia, l'encyclopédie libre*. (Consulté le 2 juillet 2022). 2022. URL : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_des_langues_des_signes&oldid=195024012.

[77] Wikipédia. *Programmation pilotée par le comportement — Wikipédia, l'encyclopédie libre*. (Consulté le 13 août 2022). 2022. URL : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Programmation_pilot%5C%C3%5C%A9e_par_le_comportement&oldid=194309161.

[78] Wikipédia. *SignWriting — Wikipédia, l'encyclopédie libre*. (Consulté le 18 avril 2022). 2022. URL : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=SignWriting&oldid=192951783.

[79] Wikipédia. *Test driven development — Wikipédia, l'encyclopédie libre*. (Consulté le 13 août 2022). 2022. URL : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Test_driven_development&oldid=194985660.

[80] Mohammed Zbakh. « Apports du numérique dans les outils de communication des personnes handicapées : développement d'un dictionnaire inversé : Langue des Signes Françaises-> Français ». Thèse de doct. Paris 8, 2014.

[81] Mohammed Zbakh. « Dictionnaire Inversé : Langue des Signes Française–Français ». In : *Technologie, Handicap, Vieillissement, Indépendance* (2012), p. 93.

Annexe A

Checklist des recommandations

Recommandations
Généralités
Applications en ligne ☐ Proposer une application en ligne pour faciliter l'accès équitable à un maximum d'utilisateurs. *Justifications :* .....
Compatibilité ☐ Veiller être compatible avec un maximum d'appareils, logiciels et technologies, présents et futurs. *Justifications :* .....
Ressources techniques ☐ Ne pas recourir à des techniques ou technologies sollicitant des ressources hors normes par rapport à des capacités standards. *Justifications :* .....
Ressources matérielles ☐ Prévoir davantage de matériel selon les activités (création de contenus vidéos, tests utilisateurs ...) (ex. caméras, micros, ordinateur et accessoires, écrans, spots lumineux, studio d'enregistrement, local avec connexion internet, tables, chaises, connexion internet, spots lumineux, logiciel de montage ...). *Justifications :* .....

Ressources humaines

☐ Prévoir davantage de personnel pour les expérimentations (ex. signeurs, interprètes, techniciens audiovisuels, observateurs, superviseurs d'expérience ...).

Justifications : .....

Valorisation étendue

☐ Considérer qu'une adaptation à destination d'un utilisateur sourd peut aussi aider une personne avec une déficience similaire, une autre déficience voire sans déficience.

Justifications : .....

☐ Mutualiser les efforts pour proposer des adaptations valables à plusieurs catégories d'utilisateurs, déficients auditifs, déficients non auditifs et non déficients tout en veillant à éviter les incompatibilités.

Justifications : .....

☐ Permettre à toute catégorie d'utilisateur d'exploiter la même application sur le même support.

Justifications : .....

Démocratisation tarifaire

☐ Rendre gratuite l'application ou fixer un prix raisonnable selon les utilisateurs.

Justifications : .....

Lois et normes

Respect des recommandations existantes

☐ Respecter les recommandations issues des normes existantes (ex. WCAG).

Justifications : .....

Respect des données à caractère personnel

☐ Demander et obtenir le consentement des utilisateurs. Demander aux parents lorsque l'utilisateur est mineur.

Justifications : .....

☐ Exploiter des techniques avancées d'anonymisation (ex. Deepfake).

Justifications : .....

Interfaces

Usage de médias

☐ Exploiter la vidéo.
Justifications : .....

☐ Exploiter les images et icônes.
Justifications : .....

☐ Convertir tout signal auditif en signal visuel sur l'interface utilisateur.
Justifications : .....

Conformité des médias

☐ Veiller à la conformité des médias (ex. dimension de vidéo ou qualité suffisantes pour permettre une lecture de sous-titres ou de signes).
Justifications : .....

Maîtrise des médias

☐ Offrir un moyen de contrôle sur les médias consultés (ex. bouton pause, retour en arrière ...).
Justifications : .....

Complémentarité des médias

☐ Offrir un moyen d'interaction alternatif pour suppléer un moyen d'interaction qui nécessite l'audition ou la parole.
Justifications : .....

☐ Offrir un contenu alternatif pour suppléer un contenu qui nécessite l'audition ou la parole.
Justifications : .....

☐ Disposer les médias complémentaires à proximité les uns des autres et mettre en évidence leur complémentarité.
Justifications : .....

☐ Veiller à ne pas encombrer l'interface en sélectionnant l'essentiel si cela s'avère nécessaire.
Justifications : .....

☐ Éviter les pertes d'informations d'un média à son complément.
Justifications : .....

☐ Mettre en évidence la correspondance sémantique entre les médias.
Justifications : .....

- ☐ Assurer une parfaite synchronisation entre un média temporel et son complément.
  Justifications : .....
- ☐ Permettre un contrôle à l'utilisateur du moyen alternatif.
  Justifications : .....
- ☐ Permettre une personnalisation des alternatives (ex. vitesse de lecture d'une vidéo, taille du texte ...).
  Justifications : .....
- ☐ Veiller à ne pas tout suppléer abusivement en langue des signes.
  Justifications : .....

Contextualisation

- ☐ Pour chaque mot/signe, adjoindre un contexte.
  Justifications : .....

Enrichissement des contenus

- ☐ Donner la possibilité aux utilisateurs de contribuer collaborativement à l'enrichissement des bases de données (crowdsourcing), de manière directe (ajout de contenu via une fonctionnalité dédiée) ou indirecte (ajout automatique de contenu via d'autres fonctionnalités.
  Justifications : .....
- ☐ Extrapoler des données à partir de données disponibles grâce à des techniques dédiées (concaténation, déformation ...).
  Justifications : .....

Sobriété des contenus

- ☐ Distinguer les zones.
  Justifications : .....
- ☐ Mettre en avant les profondeurs (avant-plan, arrière-plan).
  Justifications : .....
- ☐ Aérer le contenu.
  Justifications : .....
- ☐ Clarifier le contenu (sélection de l'essentiel, usage de vocabulaire adéquat, simple et courant).
  Justifications : .....
- ☐ Clarifier la navigation (intitulés clairs, visuel allégé, actions rapides).
  Justifications : .....

Animations

☐ Impliquer les utilisateurs cibles.
Justifications : .....

☐ Limiter les animations aux informations simples, courtes et préenregistrées.
Justifications : .....

Guidage

☐ Guider l'utilisateur par des retours visuels d'abord.
Justifications : .....

Aides

☐ Fournir des aides additionnelles.
Justifications : .....

☐ Intégrer l'aide de manière homogène dans l'interface utilisateur.
Justifications : .....

☐ Rendre la documentation de l'application accessible.
Justifications : .....

Multimodalité

☐ Intégrer plusieurs modalités pour les mêmes fonctionnalités.
Justifications : .....

☐ Prévoir une adaptation automatique des modalités selon le comportement de l'utilisateur.
Justifications : .....

Interactions gestuelles

☐ Proposer une interaction gestuelle compatible avec des moyens natifs (ex. webcam par défaut de l'ordinateur utilisateur).
Justifications : .....

☐ Exploiter les algorithmes et technologies existants.
Justifications : .....

☐ Veiller au respect des caractéristiques d'un signe (ex. mouvements, expressions du visage et configurations, orientations, localisations spatiales des mains).
Justifications : .....

Interactions adaptées

☐ Éviter les saisies textuelles.
Justifications : .....

☐ Privilégier les interactions de pointage.
Justifications : .....

☐ Proposer des automatisations (ex. lancement automatique de vidéo en langue des signes).
Justifications : .....

Gestion des erreurs

☐ Traduire les messages d'erreurs en langue des signes.
Justifications : .....

Personnalisation

☐ Fournir une fonctionnalité de personnalisation (ex. niveau d'incapacité, niveau de langage, variante géographique, etc.).
Justifications : .....

Autonomisation

☐ Considérer le besoin d'autonomie en proposant des interfaces utilisateurs qui ne nécessitent pas l'aide de personnes externes.
Justifications : .....

Familiarisation

☐ Dessiner des interfaces familières plutôt qu'originales.
Justifications : .....

Temporalités adaptées

☐ Veiller à ne pas imposer une limite de temps si la temporalité n'impacte pas l'opération.
Justifications : .....

☐ Permettre à l'utilisateur de maîtriser la temporalité si elle impacte l'opération mais qu'elle ne dépend pas du temps réel.
Justifications : .....

☐ Avertir l'utilisateur de la limite de temps si la temporalité impacte l'opération et qu'elle dépend du temps réel.
Justifications : .....

☐ Veiller à respecter une latence totale inférieure à 400 ms pour les communications vidéo en langue des signes.
Justifications : .....

Couleurs

☐ Utiliser des couleurs pour mettre en avant de l'information.
Justifications : .....

Sous-titres

☐ Intégrer des sous-titres aux médias vidéo comportant une voix qui parle.
Justifications : .....

Bilinguisme

☐ Présenter en parallèle le contenu en deux langues dont l'une est une langue des signes.
Justifications : .....

☐ Proposer un bilinguisme ciblé sur l'essentiel du contenu si le bilinguisme total est impossible.
Justifications : .....

Stockage

☐ Prévoir une grande capacité de stockage si les médias vidéo sont utilisés.
Justifications : .....

Nativité

☐ Exploiter les caractéristiques natives des appareils (ex. webcam).
Justifications : .....

Responsivité

☐ Adapter l'interface à plusieurs tailles d'écran (ex. ordinateur, tablette, smartphone, tableau interactif ...).
Justifications : .....

Méthodologies

Implication des utilisateurs

☐ Impliquer tous les utilisateurs (personne sourde, son entourage, interprètes, enseignants ...) dans tout le cycle de développement de l'application.

Justifications : .....

Implication des experts

☐ Impliquer des experts (en langue des signes, en accessibilité ...) dans tout le cycle de développement de l'application.

Justifications : .....

Conscientisation

☐ Conscientiser les parties prenantes du projet aux concepts de surdité.

Justifications : .....

Communications adaptées

☐ Veiller, lors des échanges, à adapter sa communication (respect de la culture sourde, vocabulaire adapté, vitesse de parole ...).

Justifications : .....

Prototypage

☐ Présenter des prototypes hautement visuels.

Justifications : .....

Exigences fonctionnelles

☐ Collecter les exigences fonctionnelles avec une attention particulière pour les besoins propres au domaine de la surdité.

Justifications : .....

Exigences non fonctionnelles

☐ Collecter les exigences fonctionnelles avec une attention particulière pour le caractère d'accessibilité.

Justifications : .....

Collaborations

☐ Initier et entretenir des collaborations avec des organismes spécialisés en surdité et échanger sur la thématique.

Justifications : .....

Interprétations

☐ Avoir recourt à des interprètes professionnels pour des activités d'évaluation (entretiens, observations, questionnaires, tests utilisateurs ...).

Justifications : .....

Traduction des ressources

☐ Traduire toutes les ressources (explications, questionnaires, demandes de consentement ...) d'une expérimentation dans la langue principale de l'utilisateur (ex. langue des signes).

Justifications : .....

☐ Proposer aux utilisateurs de traduire leur propos par du matériel écrit ou dessiné.

Justifications : .....

Durées allouées adaptées

☐ Prévoir plus de temps pour les expérimentations.

Justifications : .....

Briefing

☐ Soumettre au préalable les ressources (scénarios, questionnaires, document explicatif ...) aux interprètes.

Justifications : .....

Exigences de critiques

☐ Rappeler aux participants des expériences d'être sincères et critiques sans retenue.

Justifications : .....

Affranchissement d'implication

☐ Assigner une personne externe au projet pour conduire les expérimentations.

Justifications : .....

☐ Leurrer les participants quant au vrai rôle des personnes conduisant les expérimentations pour inciter les participer à être sincères et ne pas se soucier de vexer si l'assignation de personnes externes n'est pas possible.

Justifications : .....

Benchmarking

☐ Entreprendre une veille des initiatives similaires pour comprendre les erreurs et s'inspirer des solutions existantes.

Justifications : .....

Tests utilisateurs

- ☐ Définir moins de scénarios (max 5) ou des scénarios plus courts (maximum 1H par test).
  Justifications : .....
- ☐ Inviter environ 5 utilisateurs potentiels en ciblant les profils.
  Justifications : .....
- ☐ Ordonner les scénarios par difficultés.
  Justifications : .....
- ☐ Veiller à tester aussi les cas limites.
  Justifications : .....
- ☐ Offrir la possibilité au participant d'émettre des remarques (par écrit ou via un interprète).
  Justifications : .....
- ☐ Prévoir le matériel nécessaire.
  Justifications : .....

Expérimentations filmées

- ☐ Filmer les expérimentations (test utilisateur, entretiens, etc.) afin de faciliter l'analyse ultérieure.
  Justifications : .....

Journalisation

- ☐ Obtenir des statistiques (via des logs ou des modules d'analyse) pour modéliser et analyser le comportement de l'utilisateur.
  Justifications : .....

Observations

- ☐ Observer l'utilisateur à l'aide d'une grille d'observation.
  Justifications : .....

Entretiens

- ☐ Opter pour un entretien semi-directif.
  Justifications : .....
- ☐ Veiller à ne pas dépasser 1H.
  Justifications : .....
- ☐ Avoir recourt à un interprète.
  Justifications : .....

Questionnaires

☐ Mesurer la satisfaction d'une expérience avec un questionnaire.
Justifications : .....

☐ Adapter le questionnaire à la langue des signes.
Justifications : .....

Itérations

☐ Suivre les principes de l'agilité en développant par itération et validation étroite avec les utilisateurs sourds.
Justifications : .....

Analyses

☐ Porter des analyses suite aux expérimentations conduites.
Justifications : .....

Tests à grande échelle

☐ Ouvrir la plateforme au grand public en version de test (beta) dans un contexte réel.
Justifications : .....

☐ Opérer des mesures à l'aide d'outils automatisés.
Justifications : .....

☐ Limiter l'audience aux personnes sourdes dans un premier temps.
Justifications : .....

Mixité

☐ Combiner les méthodes conventionnelles et les adapter au contexte de la surdité.
Justifications : .....

Conformisation

☐ Intégrer la conformisation (vérification du respect aux lois, normes et recommandations) telle une étape à part entière du cycle de développement.
Justifications : .....

Formation

☐ Former les utilisateurs de l'application avant qu'elle soit utilisée (par réunion, par vidéo, par didacticiel ...).
Justifications : .....

TABLE A.1 – Checklist des recommandations

Annexe B

Compte rendu des entretiens avec les experts

Ce document est disponible à cette adresse : `https://gitlab.unamur.be/maxiandr/maxime-andre-master-thesis`

Annexe C

Document explicatif des tests utilisateurs

Ce document est disponible à cette adresse : `https://gitlab.unamur.be/maxiandr/maxime-andre-master-thesis`

Annexe D

Formulaire de consentement pour les tests utilisateurs

Ce document est disponible à cette adresse : `https://gitlab.unamur.be/maxiandr/maxime-andre-master-thesis`

Annexe E

Formulaire de collecte de données pour les tests utilisateurs

Ce document est disponible à cette adresse : `https://gitlab.unamur.be/maxiandr/maxime-andre-master-thesis`

Annexe F

Grille d'observation des tests utilisateurs

Ce document est disponible à cette adresse : `https://gitlab.unamur.be/maxiandr/maxime-andre-master-thesis`

Annexe G

Questionnaire pour les tests utilisateurs

Ce document est disponible à cette adresse : `https://gitlab.unamur.be/maxiandr/maxime-andre-master-thesis`

Annexe H

Liste de questions pour l'entretien des tests utilisateurs

Ce document est disponible à cette adresse : `https://gitlab.unamur.be/maxiandr/maxime-andre-master-thesis`