

# Navigation Internet Non Visuelle

Processus de codesign et  
d'expérimentations du dispositif  
d'assistance : Touch Matrix Assistive  
Technology Navigator (TOMAT Navigator)



Juan Nino  
Jocelyne Kiss  
Walter Wittich  
Geoffreyjen Edwards  
Ernesto Morales  
Frédérique Poncet





## Pour citer ce document

Nino, J., Kiss, J., Wittich, W., Edwards, G., Morales, E., & Poncet, F. (2024). *Navigation Internet Non Visuelle – Processus de codesign et d'expérimentations du dispositif d'assistance : Touch Matrix Assistive Technology Navigator (TOMAT Navigator)* [Livre numérique]. Bibliothèque du CIUSSS de la Capitale-Nationale. ISBN (PDF) : 978-2-550-97172-6

## Crédits d'images

Toutes les images de ce document sont placées dans le domaine public sous la licence Creative Commons Zéro (CC0).

# Remerciements

Un grand merci aux Pr. François Routhier et à la Pre Claude Vincent de l'Université Laval-CIRRIIS, à M. David Fiset et Mme Aurélia Fleury de Société Inclusive pour leur soutien et conseils tout au long de la réalisation de ce projet.

Merci aux organismes Société inclusive et l'Office des personnes handicapées du Québec (OPHQ) qui ont subventionné ce projet ainsi qu'à nos centres de recherche : le Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRRIIS) de l'Université Laval et le Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) qui ont soutenu ce projet dans toutes ces dimensions.

Merci à nos partenaires et leurs représentants : Mme France Picard de l'Institut Nazareth et Louis-Braille du CIUSSS de la Montérégie-Centre, Mesdames Geneviève Chabot et Chantal Robillard du Centre de réadaptation Lethbridge-Layton-Mackay du CIUSSS Centre-Ouest-de-l'île-de-Montréal et Mme Pascale Dussault, Directrice générale du Regroupement des aveugles et amblyopes du Montréal Métropolitain (RAAMM). Nous souhaitons aussi remercier le CISSS de Montérégie-Centre, les CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'île-de-Montréal et de la Capitale Nationale, l'Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'IA et du numérique (OBVIA) et le LIA : Laboratoire international associé (LIA) « Arts, société et mieux-être » (UL-UCA-Villa Arson) pour leur intérêt et leur expertise apportée dans ce projet.

Enfin, nous souhaitons remercier l'ensemble des participants qui ont contribué à ce projet et contribueront à le faire connaître et évoluer.

# Le projet en un coup d'œil

Ce projet de recherche intitulé «Co-crédation d'un dispositif d'assistance pour la navigation Internet pour les personnes ayant des déficiences visuelles» a reu l'approbation éthique finale du Comité d'éthique de la recherche des établissements du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) Numéro du projet : MP-50-2022-970, CRIR-1527-0321.

## Résumé

Internet, réseau constitué de l'interconnexion de plusieurs réseaux, n'est pas inclusif pour les personnes ayant une déficience visuelle. Les systèmes d'assistance actuels ne facilitent pas la navigation sur les pages Web ni les interactions rapides des personnes ayant une déficience visuelle. Néanmoins, compte tenu de l'importance croissante d'Internet, en particulier pendant une pandémie, pour la communication, le travail, les activités de loisirs et l'engagement social, ce projet visait à améliorer l'accessibilité en ligne. Ce projet s'est donc concentré sur la **co-conception et l'évaluation d'un dispositif d'assistance adapté aux besoins de navigation en ligne des personnes ayant une déficience visuelle**. En collaborant avec des PDVs (n = 7, dont 5 usagers et 2 professionnels des technologies d'assistance), nous avons co-développé notre concept initial de dispositif d'assistance complémentaire aux interfaces auditives, notamment les lecteurs d'écran d'ordinateurs existant, et cela, en vue de fournir des **représentations tactiles interactives** afin de permettre de localiser des éléments hiérarchiques d'une page Web pour **faciliter la navigation en ligne**. Tout d'abord, en s'appuyant sur des séances individuelles de co-conception, des entretiens semi-structurés ainsi que des discussions basées sur des scénarios et des prototypes malléables avec diverses textures pour affiner notre vision commune d'un **dispositif d'assistance fondé sur la perception tactile**. La conception résultante a donné lieu à une première version de notre dispositif d'assistance qui a ensuite été mise en œuvre dans un prototype fonctionnel. Ici, à nouveau, les

commentaires sur le prototype ont été initialement recueillis au moyen d'évaluations individuelles, puis lors d'une séance de groupe de discussion pour produire la version finale du dispositif d'assistance que l'on a dénommé ***TOMAT Navigator***. Le terme "TOMAT" provient de l'anglais "TOuch MATrix". La construction de cette version plus finalisée du prototype, nous a permis d'évaluer les performances des utilisateurs sur un ensemble de tâches de navigation Internet réalisées par deux participants ayant une déficience visuelle (PDVs).

Notons que, aussi bien les participants qui s'étaient identifiés comme étant des "nouveaux utilisateurs", que ceux plus expérimentés à l'usage des lecteurs audio d'écran dédiés aux personnes ayant de la déficience visuelle, ont trouvé le dispositif d'assistance tactile, intuitif, pertinent et efficace. Nos premiers résultats montrent que *TOMAT Navigator* qui est donc utilisé en complément du logiciel de lecteur d'écran réduit à la fois, le nombre de commandes, le temps et les efforts signalés requis pour effectuer un ensemble de tâches de navigation par rapport à l'utilisation uniquement d'un logiciel de lecteur d'écran. Pour finir, les derniers objectifs du projet, venant après les étapes collaboratives de design, et de construction, ont consisté à mettre à disposition *TOMAT Navigator*, au sein des services fournis par nos partenaires, puis à communiquer, publier pour présenter nos résultats ainsi qu'à partager via une licence open source les modalités de cette conception de la technologie d'assistance afin d'assurer sa pérennité.

## Mots-clés

Développement de technologies d'assistance, déficience visuelle, navigation Internet non visuelle, conception centrée sur l'utilisateur/participative, interaction homme-machine, open source, technologie tactile.

## Secteurs scientifiques

- Nature et technologies

- Santé

## Thèmes

- [Environnement physique et mobilité personnelle](#)
- [Santé et adaptation-réadaptation](#)

## Phases d'innovation

- Émergence

## Open-Source

- <https://github.com/LibreTactile>
- <https://www.libretactile.org/>

## Membres de l'équipe de recherche

### Chercheurs

- **Juan Nino**, étudiant | Doctorant à l'École de Design de l'Université Laval | Chercheur au CIRRIIS
- **Jocelyne Kiss**, chercheuse principale | École de Design | Chercheuse au CIRRIIS et professeur au Département de design, Université Laval.
- **Frédérique Poncet**, chercheuse principale | Chercheuse d'établissement du Centre de réadaptation Lethbridge-Layton-Mackay (CRLLM), CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal (CCOMTL), Professeure adjoint de l'école de physiothérapie et d'ergothérapie de l'université McGill, et chercheuse au CRIR

- **Walter Wittich**, co-chercheur | Professeur agrégé, École d'optométrie, Université de Montréal et chercheur au CRIR
- **Chère Tieng Ting**, Assistante de recherche : Étudiante en MSc en Sciences de la Vision - Concentration en Basse Vision - Université de Montréal, Canada, CRIR.
- **Romain Picot**, Assistant de recherche : Étudiant en MSc à l'Université Paris-Est Créteil, en Ergothérapie - France, CRIR.

### Comité de programme du doctorat de Juan Nino

- **Geoffreyjen Edwards**, membre du comité de thèse de Juan Nino | Chercheur au CIRRIIS et professeur au Département de sciences géomatique, Université Laval
- **Ernesto Morales**, membre du comité de thèse de Juan Nino | Chercheur au CIRRIIS et professeur au Département de réadaptation, Université Laval

### Partenaires

- **France Picard**, partenaire principal | Chef de service de la recherche, de l'innovation et du secteur de l'adaptation de l'information et médias substituts, Institut Nazareth et Louis-Braille, Direction des programmes déficiences (DI, TSA, DP et DV) du CISSS de la Montérégie-Centre
- **Geneviève Chabot**, partenaire principal | Directrice adjointe Réadaptation, Centre de réadaptation Lethbrige-Layton-Mackay (CRLLM), Direction de la réadaptation et des services multidisciplinaires, CIUSSS du Centre-Ouest-de l'île-de-Montréal

- **Pascale Dussault**, partenaire | Directrice générale, Regroupement des aveugles et amblyopes du Montréal Métropolitain (RAAMM)

## **Établissement partenaires**

- CISSS Montérégie-Centre
- CIUSSS Centre-Ouest-de-l'île-de-Montréal
- CIUSSS Capitale Nationale

Nos partenaires s'engagent à responsabiliser les personnes ayant une déficience visuelle grâce à des solutions innovantes. Leurs services couvrent des domaines cruciaux tels que le support documentaire, la fourniture d'appareils d'assistance et la formation. Ils participent activement à la recherche technologique et testent régulièrement des appareils fonctionnels tels que des lecteurs d'écran sonores.

Par conséquent, nos partenaires ont été des contributeurs inestimables tout au long des phases de co-conception et d'évaluation d'une technologie d'assistance innovante conçue spécifiquement pour les utilisateurs de lecteurs d'écrans dédiés aux personnes ayant une déficience visuelle (UEPDVs). En collaboration, nous nous engageons à favoriser une expérience Internet plus inclusive pour les personnes ayant une déficience visuelle. Cela implique d'exploiter les technologies de pointe et d'adopter une approche centrée sur l'utilisateur pour remodeler les structures des technologies de l'information.

# Chronologie du projet

- **Hiver 2021** : Acceptation du projet pour financement dans le cadre du Programme de recherche en partenariat Société inclusive.
- **Automne 2021** : Obtention de l'approbation éthique de la recherche du comité d'éthique.
- **<Projet temporairement suspendu pendant la pandémie de COVID>**
- **Été 2022** : début du recrutement des participants.
- **Automne 2022** : Organisation de séances de co-conception, participation à un prototypage itératif, organisation de groupes de discussion et évaluation des utilisateurs.
- **Hiver 2023** : Préparation d'articles de recherche et création de [libretactile.org](http://libretactile.org) pour faciliter la collaboration interdisciplinaire dans la recherche, le développement et la distribution de technologies.
- **Été 2023** : Diffusion des résultats de recherche, présentation d'une affiche lors de la Journée scientifique REPAR-INTER 2023, initiation du processus de déclaration d'invention pour protéger la propriété intellectuelle de l'Université Laval et de ses partenaires.
- **Automne 2023** : [Prévu] Obtenir les droits d'auteur pour l'open source de la technologie et publier les détails de la recherche dans des revues scientifiques, ainsi qu'un rapport pour l'OPHQ (Office des Personnes Handicapées du Québec).
- **Automne 2023 - hiver 2024** : soumissions de 2 articles présentant les résultats de cette étude.
- **Hiver 2024** : [Prévu] Sortie des fichiers de conception sous licence open source sur [Libretactile.org](http://Libretactile.org). Demande de certification de technologie auprès de l'Open Source Hardware Association.
- **Automne 2024** : [Prévu] Distribuer des prototypes *bêta* de notre technologie afin de favoriser les partenariats interdisciplinaires, pour la recherche, le

développement, le support et la distribution décentralisés de notre technologie open source d'interaction homme-machine.

## Citations des participants du projet

*"Avoir quelque chose de tangible avec lequel interagir a beaucoup plus de sens pour moi, cela m'aide à mieux le comprendre [la page Web]."*

*"Le toucher a toujours été ma façon d'apprendre les choses, j'utilise mes mains pour tout."*

*"L'appareil m'a permis de mieux comprendre la structure de la page, ce que je n'avais jamais ressenti auparavant avec juste l'audio, les niveaux de titre n'avaient jamais vraiment de sens pour moi auparavant."*

*"Cela va révolutionner notre façon de travailler et cela va donner aux gens une nouvelle voie pour devenir plus indépendants."*

# Table des matières

Pour citer ce document	i
Crédits d'images	i
Remerciements	ii
Le projet en un coup d'œil	iii
Résumé	iii
Mots-clés	iv
Secteurs scientifiques	iv
Thèmes	v
Phases d'innovation	v
Open-Source	v
Membres de l'équipe de recherche	v
Chercheurs	v
Comité de programme du doctorat de Juan Nino	vi
Partenaires	vi
Établissement partenaires	vii
Chronologie du projet	viii
Citations des participants du projet	ix
Table des matières	x
I. Contexte	1
Vers un réseau Internet non visuel et plus accessible	1
Modalités de représentations et page Web	3
Modélisation hiérarchique de pages Web	4
Modalités d'interaction	5

Synthèse et proposition	7
II. Objectifs de l'étude	9
Question de recherche	9
Hypothèses	10
III. Méthodes	12
A. Participants	13
B. Procédure expérimentale	14
Phase 1. Co-conception du système.	14
Séance 1 : Séance de codesign individuelle	14
Séance 2 : Évaluation de l'utilisabilité du prototype	16
Séance 3 : Groupe de discussion 1	16
Phase 2. Évaluation de la convivialité	17
Séance 4. Groupe de discussion 2	17
Séance 5. Évaluation comparative	17
IV. Analyse des données et résultats	20
Résultats du Phase Co-conception	20
Système de technologie d'assistance	21
Commentaires des participants	22
Résultats de la phase d'évaluation	23
Feuille de route de développement	24
Évaluation de la convivialité	25
V. Discussion	27
Limites	29
Conséquences	31

VII. Références et annexes	36
Références	36
Annexe 1 - Tableau des participants et éléments d'entrevue	44
Annexe 2 - Profil des participants	47
Annexe 3 - Description détaillée de notre système de technologie d'assistance	48
Architecture du système	48
Modèle de page Web	50
Modes de fonctionnement	51
Gestionnaire de paramètres	54
Annexe 4 - Description du produit minimum viable	55
Description du logiciel	55
Description du matériel	57
Annexe 5 - Diffusion - Affiche de présentation de <i>TOMAT Navigator</i>	59
Tables des illustrations	60



# Partie 1 : Contexte

# I. Contexte

## **Vers un réseau Internet non visuel et plus accessible**

Internet est un réseau de communication qui s'est avéré particulièrement important pendant la pandémie de COVID-19 pour rester connecté avec ses proches et poursuivre ses activités (Schulz et al., 2023). Il constitue un moyen essentiel pour interagir en connectant les personnes à travers le temps et l'espace (Slevin, 2017). Il favorise la conservation à distance des liens sociaux, des habitudes de vie des usagers (Obst & Stafurik, 2010).

Internet constitue, comme le présentait le *Plan d'action* de Bangemann "...de nouvelles façons de vivre et de travailler ensemble" (Bangemann & others, 1994) et en particulier pour les personnes en situation de handicap (Smedema & McKenzie, 2010). En effet, Internet promeut le sentiment d'appartenance à une communauté et à des réseaux sociaux (Obst & Stafurik, 2010; Wall & Brewster, 2006) et améliore la qualité de vie (Bangemann & others, 1994), avec un impact particulier sur les personnes vivant avec un handicap (Smedema & McKenzie, 2010).

Cependant, pour les utilisateurs ayant une déficience visuelle, naviguer sur une page Web reste un défi (Harper et al., 2005; Shethia & Techatassanasoontorn, 2019; Tripathi et al., 2018). En effet, ces utilisateurs sont moins susceptibles d'utiliser l'Internet et les ordinateurs pour accéder à l'information (Dobrasky & Hargittai, 2006) en particulier car ils sont confrontés à des obstacles sociaux, économiques et technologiques (Gerber & Kirchner, 2001; Söderström & Ytterhus, 2010).

Les dispositifs d'assistance s'efforcent de combler cette lacune (de Souza et al., 2023) en utilisant les logiciels de lecture d'écran. Cependant, les lecteurs d'écran

présentent, aux utilisateurs, le contenu textuel de manière séquentielle, sans parvenir à transmettre l'ordre naturel et les relations entre les éléments de la page Web (Safi, 2016). En conséquence, les utilisateurs de lecteurs audios d'écran dédiés aux PDVs ont du mal à accéder aux tableaux, aux feuilles de calcul, aux éléments de l'interface utilisateur graphique et au contenu dynamique des sites Web (Borodin et al., 2010; Hersh & Johnson, 2008).

L'expérience entre la navigation Internet visuelle et non visuelle illustrée dans la figure 1, montre comment les utilisateurs voyants accèdent visuellement à une page Web. Ces utilisateurs ont une vue globale du document, et se fient à leur interprétation visuelle intuitive des informations en vue de saisir les composants essentiels à leur navigation en ligne, tels que ceux relatifs à la spatialisation, la couleur, la taille et la forme des éléments pour transmettre le sens et la structure hiérarchique de la page Web. Les utilisateurs des interfaces visuelles bénéficient également d'une présentation persistante qui peut être visualisée dans le temps, créant ainsi une mémoire de substitution à court terme (Mynatt, 1997).

En revanche, pour les personnes ayant une déficience visuelle, lorsqu'un contenu non linéaire est présenté sur un support unidimensionnel, les utilisateurs ont besoin d'une excellente capacité de mémorisation pour différencier et retenir à la fois le contenu de la page Web et sa structure afin de pouvoir naviguer et obtenir le résultat souhaité (Baumgartner et al., 2010; Iizuka et al., 2016). En conséquence, les utilisateurs de lecteurs d'écran ont tendance à se représenter mentalement le contenu d'une page Web bien plus comme une liste unidimensionnelle d'éléments alors que l'on souhaiterait qu'ils puissent y voir des éléments de navigation intriqués les uns avec les autres (Murphy et al., 2007)

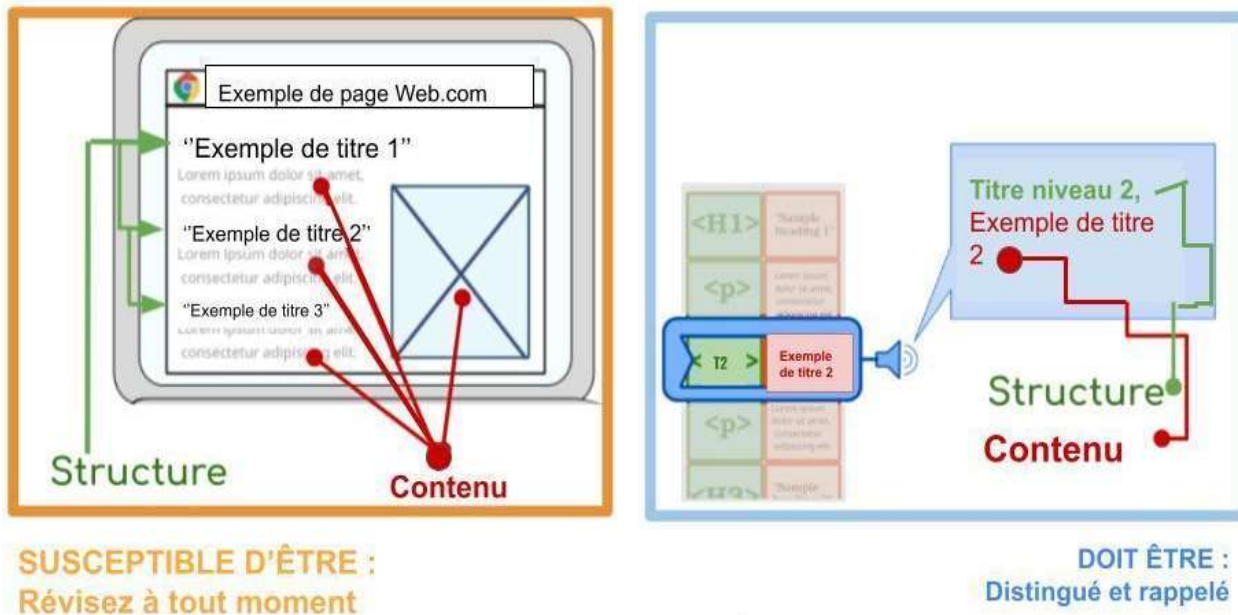


Figure 1. Différence d'expérience entre la navigation Internet visuelle et non visuelle.

## Modalités de représentations et page Web

La structure d'une page Web décrit les relations hiérarchiques non linéaires organisant le contenu de la page, et sa compréhension. Elle permet à l'utilisateur d'accéder rapidement au contenu, de manière quasi intuitive et d'en retenir les grandes lignes (Kurniawan & Sutcliffe, 2002; Roth et al., 2010; Sulong & Sulaiman, 2018). En fait, le succès de l'orientation d'un internaute dépend en grande partie de sa capacité à comprendre la structure de la page Web (Djonov, 2007).

Les pages Web sont créées par les développeurs en fonction de la façon dont ils perçoivent comment l'utilisateur peut interpréter les informations structurelles reçues grâce à des icônes, des images, qui décrivent et permettent de manière intuitive et rapide de retenir mentalement les informations de la page Web et ainsi le parcours à suivre pour y naviguer. La description audio de ces informations visuelles apporte peu de repères tangibles dans la page car les longues descriptions de l'écran ne

permettent pas de retenir efficacement les contenus et leur structure. En effet, certains chercheurs considèrent même la compréhension de la page web par les utilisateurs de lecteurs d'écrans dédiés aux personnes ayant une déficience visuelle (UEPDVs) comme une liste non-structurée d'éléments comme le principal obstacle à une utilisation efficace d'Internet (Abidin et al., 2012; Baumgartner et al., 2010).

C'est la raison pour laquelle, nous pensons que les interfaces visuelles doivent être remodelées pour être utilisées plus efficacement par les interfaces auditives.

En effet, les interfaces visuelles, telles que les navigateurs Web, doivent être modélisées pour être utilisées plus efficacement via des interfaces auditives, telles que les lecteurs d'écran (Macías et al., 2002). Les technologies d'aide à la navigation sur le réseau Internet adoptent souvent l'une des approches de modélisation spatiale, conversationnelle ou hiérarchique (Mynatt, 1997).

## **Modélisation hiérarchique de pages Web**

La modélisation hiérarchique capture les relations de regroupement avec différents niveaux de sous-éléments inclus à l'intérieur d'autres éléments, ce qui permet de souligner les liens de dépendance entre les éléments. Cette structure en couches, ou en niveaux, peut représenter intuitivement des relations non-linéaires, telles que des relations structurelles dans des pages Web, des documents (Dorigo, 2019) des tableaux (Karshmer et al., n.d.), des feuilles de calcul (Doush & Pontelli, 2013), des diagrammes relationnels. (Matti, 2017; Metatla et al., 2007) et des livres audio (Minatani, 2012).

Dès les débuts d'Internet, des chercheurs ont proposé d'améliorer l'accès à la structure hiérarchique d'une page Web pour les utilisateurs ayant une déficience

visuelle afin d'améliorer l'accessibilité et réduire les cas de désorientation dans les documents hypertextes (Kennel et al., 1996; Perrochon & Kennel, 1995). Dans les premiers stades de l'adoption publique d'Internet, ces chercheurs ont proposé d'étendre les pages Web avec une liste de « titres » (ou rubriques) dans une structure arborescente et des liens pour faciliter la navigation. Depuis lors, des arrangements hiérarchiques ont été utilisés pour représenter des données structurées pour un accès non visuel (Karshmer et al., n.d.; Pontelli, Gillan, Gupta, et al., 2002; Pontelli, Gillan, Xiong, et al., 2002) qui sont accessibles via des raccourcis clavier (Zajicek & Powell, 1997). Des exemples récents de cette approche sont le *Haptic Browser* (Nikolakis et al., 2004), un outil d'accessibilité de sites Web basé sur une structure arborescente et des métadonnées XML (Lee et al., 2014) et le Web personnalisé assisté (Zhang et al., 2017).

Les modèles hiérarchiques maintiennent l'organisation du contenu, en particulier pour l'accès non visuel, étant donné que les développeurs Web adhèrent aux normes du « *World Wide Web Consortium* » (W3C)<sup>1</sup>. W3C est une organisation mondiale régissant les techniques et standards du web pour les développeurs web (Suchato et al., 2006). Cette approche offre une navigation plus rapide et plus efficace au niveau conceptuel (Salampasis et al., 2005), permettant aux PDVs de contrôler les sections qu'ils souhaitent entendre (Suchato et al., 2006). L'accès à la hiérarchie des pages Web est particulièrement utile pour explorer des pages Web inconnues (Nakdej et al., 2007).

## **Modalités d'interaction**

Le format audio proposé par les lecteurs d'écran est en lien direct avec le temps de la diction du système ce qui entrave le processus d'association de points de référence

---

<sup>1</sup><https://www.yumens.fr/objectif/creation-site/w3c/>

persistants pour faciliter la navigation. Autrement dit, lorsqu'une personne sans déficience visuelle navigue en ligne, elle a accès à une information visuelle qui contient des points de repères spatiaux indispensables à la navigation. Ces points de repères visuels sont interprétés intuitivement par la personne sans déficience visuelle. Toutefois, ces repères visuels ne sont pas traduits par le mode audio. De ce fait, l'UEPDV se retrouve en difficulté pour interpréter les informations pour la navigation en ligne. Même si la description de la relation entre les éléments d'une page web devenait très explicite grâce aux récits audio descriptifs (Siu et al., 2022), des stimuli auditifs complexes peuvent être déroutants et distractifs (Murphy et al., 2007; Mynatt, 1997).

Concrètement, des points de repère aident à l'orientation pendant la navigation, et l'on peut avoir l'impression de pouvoir revenir "à un endroit spécifique". Bien entendu, il n'est pas impossible d'établir un lien entre les repères temporels et spatiaux, puisque certains UEPDV y parviennent. Néanmoins, la charge cognitive nécessaire pour effectuer des tâches simples de navigation en ligne est disproportionnée et entraîne une fatigue (Hegde, 2023).

Dès lors, notre première idée a été de permettre de percevoir ces informations autrement afin de permettre aux PDVs de repérer et saisir la structure dans une page Web. En fait, les interfaces homme-machine utilisent souvent une combinaison de toucher et d'audition pour transmettre les informations du système. Les interfaces multimodales utilisent généralement plusieurs signaux sensoriels pour simplifier le traitement cognitif en déplaçant certaines informations auditives vers le sens du toucher (Li et al., 2019). Par ailleurs, le retour de force et de textures (Kuber et al., 2007; Nikolakis et al., 2004), la pression cutanée et la stimulation électrique (Li et al., 2019; Maurel et al., 2020; Prescher et al., 2018) ou encore la stimulation vibrotactile (Safi, 2016) ont été utilisées pour produire des représentations tactiles de pages Web que l'utilisateur peut explorer pour améliorer sa compréhension (Muniandy & Sulaiman, 2015). Par conséquent, l'une des solutions envisagées dans ce projet est

de fournir aux UEPDV **une représentation tactile persistante de cette information**, de sorte qu'ils puissent ressentir la structure de la page à tout moment tout en écoutant le contenu, créant ainsi un substitut multimodal de mémoire à court terme (Mynatt, 1997).

## **Synthèse et proposition**

Des recherches antérieures mettent en évidence le potentiel d'un dispositif d'assistance multimodal destiné aux utilisateurs de lecteurs audio d'écran dédiés aux personnes ayant une déficience visuelle pour les aider à comprendre et à tirer parti de la structure hiérarchique non linéaire de pages Web lors de leur navigation. De plus, impliquer dès le début, cette population cible dans le processus de conception, a permis d'envisager des solutions qui prennent en considération, par exemple les situations de surcharge cognitive des utilisateurs due à des modèles complexes ou bien encore d'éviter le recours à des techniques de stimulation sensorielle inappropriées (Kuber et al., 2007). Le dispositif d'assistance multimodal peut également améliorer l'apprentissage et la convivialité en combinant des stratégies établies avec de nouvelles informations provenant des utilisateurs de lecteurs d'écran (Song et al., 2019).

# **Partie 2 : Objectifs de l'étude**

## II. Objectifs de l'étude

L'objectif de l'étude est de concevoir et de tester un système de technologie d'assistance hiérarchique et multimodale pour améliorer l'expérience de navigation des UEPDVs. Pour atteindre cet objectif deux objectifs spécifiques ont été déterminés :

1. Co-concevoir un dispositif d'assistance à la navigation sur Internet avec des UEPDVs.
2. Évaluer l'impact de l'utilisation du système sur l'expérience de navigation sur les pages web des UEPDVs.

## Question de recherche

*Dans quelle mesure la co-conception et l'utilisation d'un dispositif de navigation hiérarchique multimodal améliorent-elles l'expérience ainsi que les performances de la navigation en ligne des utilisateurs de lecteurs (audio d'écran d'ordinateur) dédiés aux personnes ayant une déficience visuelle ?*

**Population** : utilisateurs de lecteurs audios d'écran d'ordinateur dédiés aux personnes ayant une déficience visuelle (UEPDV).

**Variable indépendante** : l'utilisation ou la non-utilisation d'un dispositif hiérarchique multimodal lors du processus de navigation sur les pages Web des utilisateurs de lecteurs d'écran.

**Variables dépendantes** : performances de navigation sur les pages Web

**Définition opérationnelle de la variable dépendante** : dans ce projet, trois aspects seront pris en compte pour évaluer les performances de navigation des participants sur les pages Web et reposent sur les postulats énoncés ci-dessus ;

- 1) Temps nécessaire pour naviguer vers un en-tête cible de la page Web
- 2) Longueur de l'itinéraire de navigation, mesurée par le nombre de commandes de navigation nécessaires pour arriver à un élément cible d'une page Web
- 3) Charge cognitive auto-déclarée liée à la navigation d'une page Web sur une échelle de Likert (de Guinea et al., 2013)

## Hypothèses

L'utilisation d'un dispositif hiérarchique multimodal

- entraînera une réduction du temps nécessaire pour naviguer vers un en-tête cible spécifique sur une page Web parmi les personnes ayant une déficience visuelle et utilisant des lecteurs audio d'écran (UEPDVs).
- réduira la longueur de l'itinéraire de navigation, mesurée par le nombre de commandes de navigation requises pour atteindre un en-tête spécifique sur une page Web, pour les UEPDVs;
- réduira la charge cognitive autodéclarée associée à la navigation sur les pages Web pour les UEPDVs.

# Partie 3 : Méthodes

### III. Méthodes

Se concentrer principalement sur l'aspect technologique lors du développement d'appareils d'assistance conduit souvent à des appareils qui ne répondent pas efficacement aux besoins réels des UEPDVs, manquent de convivialité et échouent sur le marché (Manduchi & Coughlan, 2012; Roentgen et al., 2008). Les développeurs qui dédient leurs travaux aux personnes ayant une déficience visuelle (PDVs) peuvent créer, par inadvertance, des produits mal adaptés ou bien encore engendrer des communications condescendantes s'ils travaillent de manière isolée sans comprendre comment les PDVs perçoivent leur situation et leurs difficultés (Hendriks et al., 2015; Lefeuvre et al., 2016). Par conséquent, notre système de technologie d'assistance a été conçu en impliquant activement les UEPDVs en tant qu'experts afin qu'ils partagent leurs propres expériences (Magnusson et al., 2018).

Ce projet comprenait cinq séances divisées en deux phases :

- 1) co-conception de la technologie de navigation sur Internet (1 à 3)
- 2) évaluation comparative (4 à 5)

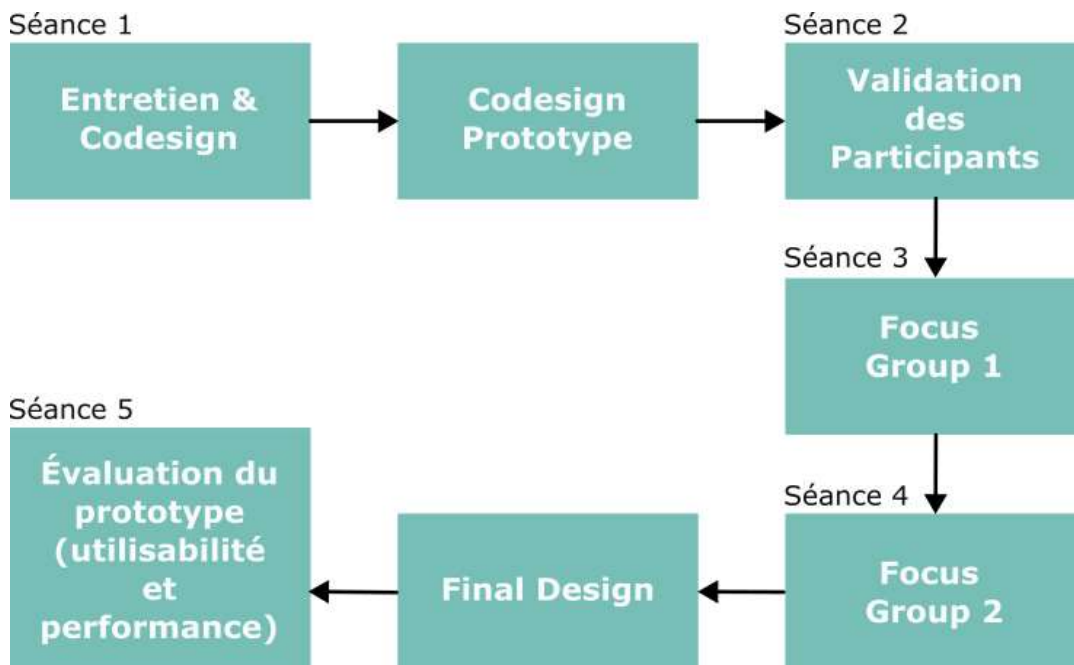


Figure 2. Description des phases de réalisation du projet

## A. Participants

Au total, sept participants ayant une déficience visuelle et ayant au moins un an d'expérience dans l'utilisation de la technologie de lecture d'écran pour naviguer sur Internet ont été recrutés pour l'étude. Selon les normes de l'Organisation mondiale de la santé (2019), ces participants avaient une basse vision ou une cécité, d'un niveau d'acuité visuelle inférieur à 20/40. Les personnes présentant des déficiences perceptuelles ou cognitives supplémentaires ont été exclues de l'étude. Un bref tableau décrivant les caractéristiques des participants est présenté dans l'annexe 1.

Les participants ont été recrutés auprès de nos organismes partenaires, soit le Regroupement Des Aveugles Et Amblyopes Du Montréal Métropolitain (RAAMM), l'Institut Nazareth et Louis-Braille (INLB) du Centre intégré de santé et de services sociaux de la Montérégie-Centre et le Centre de réadaptation Lethbridge-Layton-Mackay du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal (CCOMTL). Parmi eux, deux étaient aussi des experts en technologies d'assistance et respectivement affiliés au CCOMTL et à l'INLB.

Une fois la phase de co-conception terminée, les participants ont été invités à poursuivre leur implication dans la phase d'évaluation. Cependant, en raison de contraintes liées à la COVID et à la logistique, seuls quatre des sept participants initialement recrutés ont pu terminer la première phase. Parmi eux, trois participants ont accepté de participer à la séance de groupe de discussion ultérieure, tandis que seulement deux participants ont accepté de prendre part à la phase finale d'évaluation individuelle en personne.

## B. Procédure expérimentale

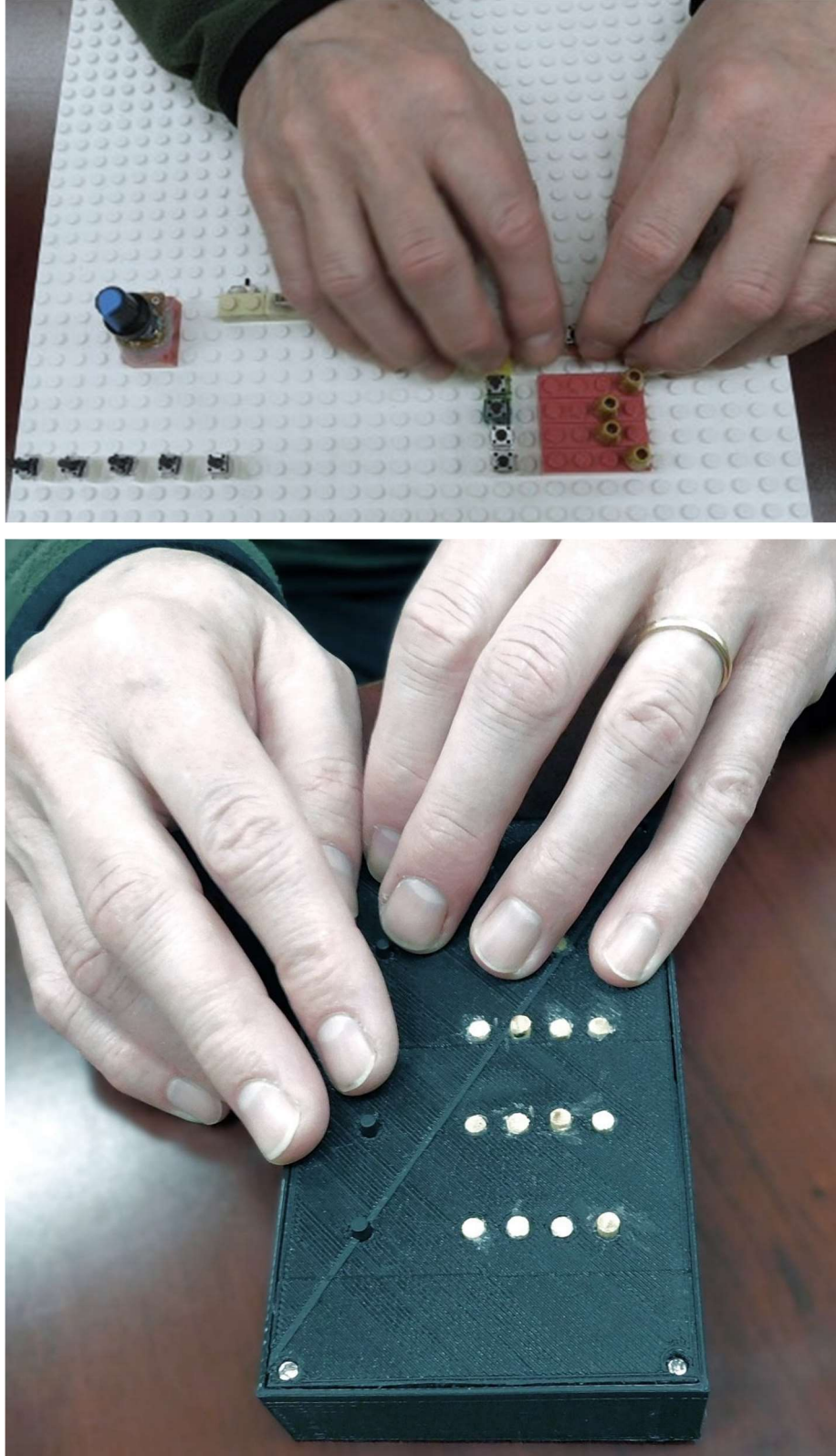
### **Phase 1. Co-conception du système.**

La phase de codesign comprenait trois séances : une première séance de codesign individuelle axée sur le concept original de l'équipe, une deuxième séance pour la validation préliminaire du prototype et une troisième séance menée sous forme de groupe de discussion pour recueillir des retours sur le dispositif pour la conception finale.

#### **Séance 1 : Séance de codesign individuelle**

La séance de co-conception a été adaptée aux besoins des PDVs, en utilisant des techniques telles que des modèles imprimés en 3D, des commentaires tactiles et verbaux, des discussions basées sur des scénarios, des prototypes malléables et des instructions pratiques (Brewer, 2018; Hendriks et al., 2015; Lefeuvre et al., 2016; Metatla et al., 2015; Sahib et al., 2013). La séance a commencé par un bref entretien visant à recueillir des informations démographiques, les modèles d'utilisation d'Internet, les défis de navigation et les fonctionnalités technologiques d'assistance souhaitées. Les participants se sont ensuite engagés dans une discussion basée sur des scénarios, imaginant un appareil « idéal » pour la navigation sur Internet avec un lecteur d'écran. Le concept de notre technologie a été expliqué à l'aide de briques LEGO® pour illustrer le modèle hiérarchique de la page Web.

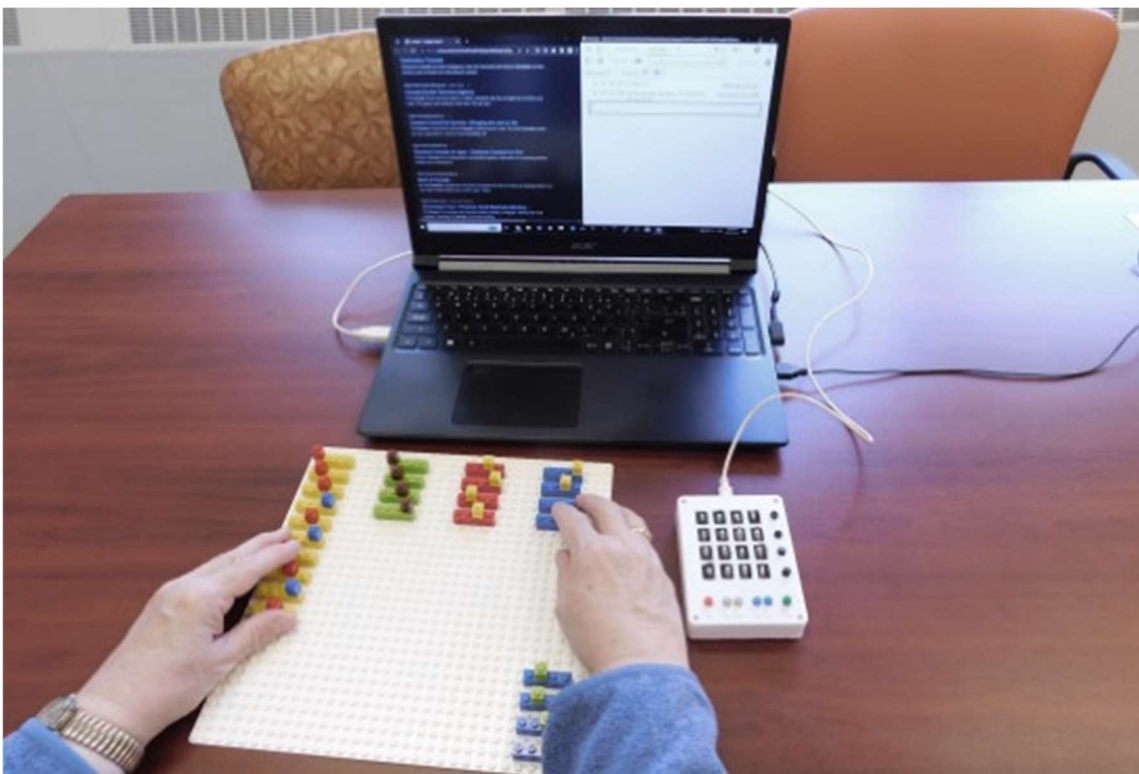
Les participants ont reçu un modèle imprimé en 3D (voir figure 3) et ont eu la possibilité de personnaliser le corps de l'appareil et les composants électroniques montés sur des briques LEGO® afin d'adapter ses fonctions et sa disposition.



*Figure 3. Les participants interagissent avec un modèle imprimé en 3D de notre technologie d'assistance (en haut) et des outils de prototypage et de conception malléables (en bas).*

## Séance 2 : Évaluation de l'utilisabilité du prototype

Au cours de la deuxième séance, les participants ont exploré deux représentations tangibles de modèles de pages Web : une utilisant des briques LEGO® et une autre utilisant notre premier prototype co-conçu (voir Figure 4). Les participants ont appris à interpréter le retour tactile de l'appareil, à effectuer des gestes de saisie et à utiliser les fonctions de navigation, de filtrage et de favoris tout en parcourant une page de résultats de recherche Google®.



*Figure 4. Participant lors d'une exploration guidée d'un modèle de page Web tangible utilisant des briques LEGO et notre prototype de technologie d'assistance.*

## Séance 3 : Groupe de discussion 1

Après l'évaluation initiale de la convivialité, une séance de groupe de discussion en ligne d'une heure a été organisée avec quatre participants. La discussion au sein du groupe de discussion s'est concentrée sur l'expérience utilisateur du prototype, les suggestions d'amélioration, les retours sur les fonctions proposées et le processus

de développement. La co-conception finale du système d'assistance a été réalisée en intégrant les commentaires individuels et collectifs.

## **Phase 2. Évaluation de la convivialité**

Deux séances supplémentaires ont permis d'évaluer la convivialité.

### **Séance 4. Groupe de discussion 2**

La deuxième phase a commencé par une séance de discussion avec l'ensemble des participants au cours de laquelle la conception finale de la technologie a été présentée afin de recueillir les perceptions de la technologie, de réfléchir à des idées d'applications potentielles au-delà de la navigation sur Internet et de prioriser le développement ultérieur.

### **Séance 5. Évaluation comparative**

Lors de la dernière séance, nous avons utilisé un plan expérimental AB à cas unique pour évaluer l'impact de notre technologie sur l'expérience de navigation de deux UEPDVs. Un participant maîtrisait l'utilisation d'un logiciel de lecture d'écran pour la navigation sur Internet, tandis que l'autre ne le maîtrisait pas. Dans le premier scénario (A) qui a servi de référence pour la comparaison, les participants ont effectué des tâches en utilisant uniquement le logiciel de lecteur d'écran *NonVisual desktop Access* (NVDA) et un clavier. Dans le deuxième scénario (B), les participants ont utilisé le logiciel de lecture d'écran et un clavier en combinaison avec un produit minimalement viable (MVP) de notre technologie innovante (voir figure 5). Pour une description détaillée du MVP, veuillez-vous référer à l'annexe 4, qui a été utilisée en raison de contraintes de ressources et de temps (Reis, 2011).

Les tâches expérimentales (phase A et B) consistaient à explorer la structure des pages Web, à naviguer vers différentes sections et à se réorienter après avoir été désorienté. Notre évaluation comprenait des mesures qualitatives et quantitatives d'efficacité, d'efficience et de satisfaction. Des questionnaires post-tâche ont été

administrés ; ils comprenaient l'évaluation de la difficulté de la tâche sur une échelle de Likert, la comparaison des expériences entre les scénarios et l'évaluation de la satisfaction globale à l'aide du questionnaire Quest 2.0 (Demers et al., 2002).



Figure 5. Participant évaluant le prototype du système d'assistance.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Une vidéo illustrant le principe de fonctionnement du navigateur TOMAT peut être trouvée sur le lien suivant : <https://www.libretactile.org/videos/tomat.html>

# **Partie 4 : Analyse des données et résultats**

## IV. Analyse des données et résultats

Les commentaires verbaux et non verbaux des participants, les réponses aux questions d'entretien, les notes de terrain et les enregistrements audio des séances ont été collectés, transcrits, puis analysés. De plus, au cours de l'évaluation comparative, des enregistrements d'écran, le nombre de raccourcis claviers utilisés et les temps d'exécution des tâches ont été collectés à des fins d'analyse statistique. Pour identifier les modèles récurrents, les problèmes d'utilisabilité et d'autres thèmes émergents ; les données collectées ont été codées à l'aide d'une approche d'analyse thématique (Vaughn & Turner, 2016).

Cette section donne un aperçu des résultats. Pour les résultats détaillés de chaque phase, veuillez-vous référer aux deux articles de recherche répertoriés ci-dessous:

- Vers l'amélioration de la navigation Internet pour les UEPDVs : co-conception d'un système de technologie d'assistance hiérarchique multimodal (en préparation)
- Évaluation de l'utilisabilité d'un système d'assistance à la navigation Internet pour les UEPDVs (en préparation)

### Résultats du Phase Co-conception

Deux profils de participants PDVs ont participé de la co-conception : les « experts » et les « non-experts ». Ils ont formulé leurs besoins, leurs attentes et leurs préférences concernant un navigateur 'idéal' d'internet. Ces collectes des contraintes et visions de nos participants ayant différents niveaux de maîtrise de la navigation Internet avec un lecteur d'écran ont donné lieu à des énoncés très contrastés. Néanmoins, les participants de la co-conception sont parvenus à définir une vision commune et ont abouti à des fonctionnalités qui ont rendu l'expérience utilisateur intuitive, pertinente et attrayante pour les utilisateurs Internet de lecteurs d'écran novices et

expérimentés. A l'issus de cette recherche, une technologie d'assistance innovante a été conçue, le **Touch Matrix Assistive Technology Navigator (TOMAT Navigator)**.

## Système de technologie d'assistance

Notre technologie d'assistance, TOMAT Navigator, offre aux utilisateurs une *table des matières interactives*, offrant une navigation rapide et une interaction avec les éléments de la page Web en appuyant simplement sur un bouton. Cette interface complète la lecture linéaire de la page par un lecteur d'écran avec une interface audio-tactile qui fournit une représentation non linéaire du modèle hiérarchique d'une page Web utilisant une matrice de 4 lignes, 4 colonnes pour appuyer cette représentation, comme illustré par la figure 6.

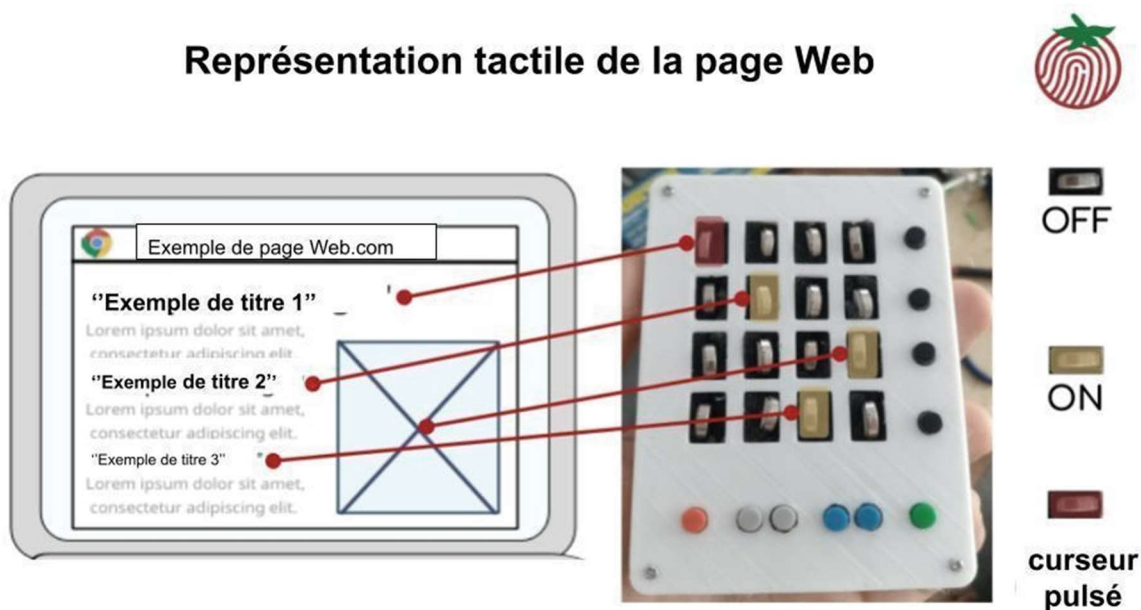


Figure 6. Représentation tactile de la page Web sur le système de technologie d'assistance

Le composant matériel de TOMAT Navigator, comme le montre la figure 7, comprend dix boutons et un écran tactile qui comprend un curseur pulsé pour indiquer la

position actuelle sur la page Web. Le composant logiciel est implémenté en tant qu'extension Google Chrome, chargée de construire un modèle hiérarchique de la page Web et de gérer les éléments de navigation, de filtrage et de favoris au sein de ce modèle. Les fonctionnalités supplémentaires incluent des fonctions d'intelligence artificielle telles que le traitement du langage naturel et la description d'images, ainsi qu'un mode d'aide interactif qui fonctionne comme un outil d'apprentissage, aidant les utilisateurs à développer des stratégies de navigation pour une indépendance et une compétence accrue.

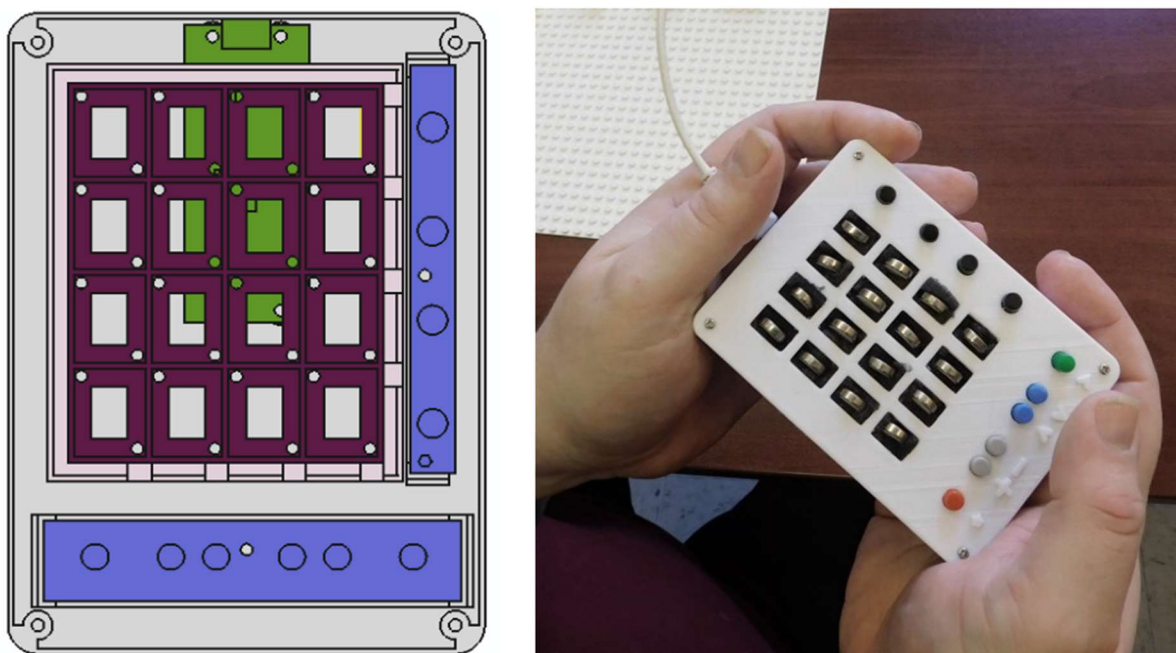


Figure 7. Composant matériel - (Pour une description détaillée des fonctionnalités de notre technologie d'assistance, reportez-vous à l'annexe 3.)

## Commentaires des participants

Les participants ont trouvé que le principe de fonctionnement de **TOMAT Navigator** **était intuitif et soutenait leurs stratégies de navigation existantes**. Il reflétait étroitement la façon dont leur lecteur d'écran présentait les informations et offrait un aperçu de la manière dont les développeurs organisaient le contenu du site Web.

Concernant la mise en œuvre, tous les participants ont privilégié la forme et l'agencement de *TOMAT Navigator* pour **son confort, son intuitivité et son ergonomie**. Ils ont convenu que le format de quatre lignes fournissait suffisamment d'informations pour explorer et interagir avec les pages Web tout en conservant une conception portable et simple. Les utilisateurs non experts ont apprécié le **regroupement des fonctions associées et leur accessibilité** via des gestes intuitifs, qui nécessitent une **formation minimale**, contrairement aux raccourcis clavier. Les utilisateurs experts souhaitent personnaliser le modèle hiérarchique des pages Web et déclencher des **fonctions personnalisables** à l'aide de gestes de saisie avancés. Tous les participants ont trouvé le mode d'aide essentiel pour le développement des compétences et des rappels rapides en cas de besoin.

Les suggestions de la séance de groupe de discussion comprenaient l'utilisation de matériaux de qualité supérieure pour plus de durabilité, la mise en œuvre de connexions sans fil pour plus de commodité, la rationalisation du processus d'installation et l'intégration de plug-ins natifs pour les lecteurs d'écran populaires.

## Résultats de la phase d'évaluation

Les participants ont fait preuve d'un intérêt et d'un enthousiasme considérables à l'égard de l'utilisation du dispositif de technologie d'assistance pour diverses applications. Ils ont noté que les principales fonctionnalités du système d'assistance pourraient améliorer leur expérience utilisateur dans les domaines suivants :

- Rechercher en ligne des informations, acheter ou accéder à des contenus gratuits pour écouter de la musique, accéder à des livres audio ou bien encore du contenu vidéo grâce aux repères donnés par la "table des matières tactile interactive" de *TOMAT Navigator*.
- Améliorer l'expérience de jeu et de réalité virtuelle en associant des sensations tactiles à des éléments et événements interactifs.

- Aider à la compréhension et à l'enseignement de la notation musicale, du positionnement audio précis et des réglages du volume pendant la production audio et le mixage musical grâce à un retour tactile non linéaire.
- Aider à manipuler les hiérarchies de classes dans la programmation orientée objet, à organiser les interfaces utilisateur et à accéder aux bases de données durant le développement de logiciels, qui suit souvent un modèle hiérarchique.
- Améliorer d'autres technologies en servant d'interface tactile familière avec des commandes simplifiées spécialement conçues pour les PDVs.

## **Feuille de route de développement**

Le consensus a donné la priorité aux améliorations, fonctionnalités et applications futures suivantes :

1. Améliorer la navigation Internet pour les UEPDVs grâce à l'intégration de l'IA, des fonctions personnalisables et une conception matérielle raffinée pour améliorer l'efficacité et la convivialité.
2. Étendre la compatibilité à d'autres applications PC et smartphones, notamment les applications de divertissement, d'éducation, liées au travail et le contrôle de la maison intelligente.
3. Explorer l'intégration de capteurs et les dérivés portables pour soutenir le développement de technologies d'assistance pour les personnes souffrant de déficiences cognitives, motrices et sensorielles.
4. Permettre l'interface avec les appareils intelligents et l'électronique grand public via une interface tactile d'assistance standard.

## Évaluation de la convivialité

Les deux participants ont constaté une réduction du temps (45 % pour le non-expert et 33 % pour l'expert), du nombre de commandes émises (49 % pour le non-expert et 39 % pour l'expert) et du temps de réponse autodéclaré selon le niveau de difficulté requis pour réaliser les tâches expérimentales (27% pour le non-expert et 77% pour l'expert). Ces résultats sont illustrés dans les graphiques ci-après (figure 8).

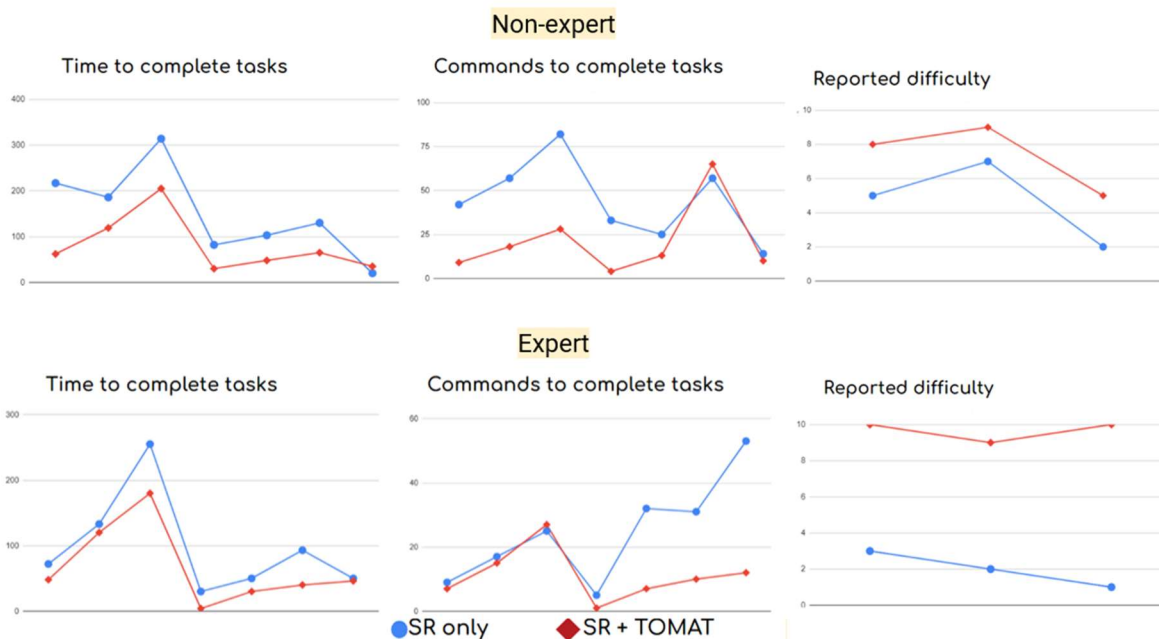


Figure 8. Graphiques illustrant la réduction du temps d'exécution, du nombre de commandes émises et de la difficulté signalée (0 représentant un degré de difficulté important et 10 représentant le degré d'impression de facilité d'usage) pour les tâches lors de l'utilisation de notre système d'assistance en conjonction avec NVDA, par rapport à l'utilisation du lecteur d'écran NVDA seul.

Les deux participants ont attribué une note élevée à l'égard de la technologie d'assistance sur l'échelle de satisfaction Quest 2.0, le participant non expert donnant une note de 5/5 et le participant expert une note de 4,75/ 5. Les trois éléments les plus significatifs sur cette échelle étaient la facilité d'utilisation, le confort d'utilisation et l'efficacité pour le non-expert, et les possibilités d'ajustement, la sécurité et la durabilité pour le participant expert.

# Partie 5 : Discussion

## V. Discussion

Bien que le projet ait dû se faire avec moins de participants que prévu du fait de la période de pandémie, les participants ont exprimé un grand intérêt et un grand enthousiasme pour l'utilisation de *TOMAT Navigator* pour la navigation sur Internet et à travers d'autres applications. Ils ont noté **l'utilité** et les **caractéristiques attrayantes** de l'appareil, notamment sa **disposition simple**, sa **modularité**, son **intégration facile** avec son logiciel de lecteur d'écran, sa **conception ergonomique**, sa **taille compacte**, son **faible poids** et son **interface conviviale**. Ceci est illustré par quelques citations des participants présentées ci-dessous :

*« Honnêtement, je pense que s'il était disponible maintenant, je l'aurais acheté. Je pourrais l'utiliser dans un format structuré, dans ma pratique [musicale] quotidienne, non seulement pour naviguer sur des pages web, [...] le braille aide, mais cet appareil m'aiderait encore plus, c'est un complément »*

*« [TOMAT] ne prend pas trop de place [...] c'est plus simple qu'un clavier d'ordinateur où il y a beaucoup de boutons, ce qui est difficile à utiliser pour une personne aveugle. C'est plus pratique ».*

L'organisation hiérarchique a aidé les participants à comprendre la structure et du contenu de la page Web, leur permettant de naviguer et d'interagir de manière plus indépendante et efficace. Un feedback tactile a permis aux participants de percevoir les différents niveaux d'information et de comprendre rapidement les relations entre eux. Cette combinaison a exploité la manière dont les lecteurs d'écran modélisent et présentent les pages Web, permettant aux utilisateurs d'accéder directement, de modifier et d'interagir intuitivement avec ce modèle.

Notre objectif était de permettre aux UEPDVs d'interagir efficacement avec des interfaces complexes, d'accéder aux données essentielles et d'effectuer des tâches avec plus de facilité et de précision. Par conséquent, les participants espéraient que l'appareil aurait le potentiel d'améliorer considérablement leur indépendance, le considérant comme un outil polyvalent capable de transformer leurs processus de travail.

Les données quantitatives suggèrent que cette approche a abouti à un dispositif qui complète de manière significative le logiciel de lecteur d'écran, réduisant le temps, le nombre de commandes et les difficultés signalées nécessaires pour effectuer les tâches d'exploration et de navigation de pages Web par rapport à l'utilisation d'un logiciel de lecteur d'écran seul. Il a permis au participant non-expert, qui naviguait dans la page en utilisant uniquement les flèches haut/bas malgré sa connaissance des titres, d'avoir une vue d'ensemble de la page et de naviguer rapidement dans ses éléments.

*« J'aime vraiment le fait de n'avoir qu'un seul bouton sur lequel appuyer sur votre appareil et je peux trouver les liens et les titres sans problème, et je peux toujours utiliser les flèches vers le bas et vers le haut une fois que j'arrive là où je veux aller. »*

Le participant expert, qui commence généralement la navigation sur une page Web par un aperçu de la structure, a pu personnaliser la granularité du modèle de page Web.

Les participants experts et non-expert ont utilisé la fonction de lecture audio-tactile automatique de l'appareil pour obtenir rapidement un aperçu de la page et se concentrer sur un sujet d'intérêt, comme le démontrent les commentaires d'utilisateurs ci-dessous :

*Je l'ai trouvé tellement agréable que je n'aie même pas eu besoin d'utiliser le clavier ; je n'ai pas eu besoin de gérer la navigation sur la lecture de l'animation. Je pouvais simplement me concentrer sur un aperçu de la page, faire une pause lorsque je trouvais quelque chose d'intéressant à explorer, puis redémarrer l'exploration automatique. J'ai même eu le temps de revenir manuellement sur les groupes qui m'intéressaient lors de l'animation. »*

Les deux participants ont pu se localiser plus facilement sur la page.

*« J'adore quand il est dit << groupe 2 sur 6 >> cela veut dire qu'il y a beaucoup d'informations sur cette page et j'en suis à la troisième partie des éléments. Pourtant, cela ne semble pas accablant parce que je sais où je suis, je peux gérer jusqu'où je veux aller, en recevant uniquement la quantité d'informations que je veux et que je peux traiter à ce moment-là. »*

Ces commentaires positifs des utilisateurs se reflètent dans la collecte de données que nous avons effectuée pour mesurer leur taux élevé de satisfaction globale à l'aide du système de technologie d'assistance du Quest 2.0. Par ailleurs, plusieurs participants ont mentionné leur désir d'intégrer *TOMAT Navigator* dans leur écosystème de technologies d'assistance et en ont discuté avec leurs pairs.

## Limites

Bien que nos résultats soient prometteurs, le nombre limité de participants à notre étude réduit leur signification statistique (n=2 utilisateurs pour la phase d'évaluation). Par conséquent, des études supplémentaires sont nécessaires pour fournir des preuves plus solides (temps d'apprentissage, effets...).

Recruter et maintenir l'adhérence des participants à ce projet a constitué un défi, d'autant plus qu'il a débuté immédiatement après la levée des restrictions liées à la pandémie de COVID-19. Naturellement, de nombreux participants potentiels ont exprimé leur réticence à participer durant cette période (promiscuité du participant et de l'équipe de recherche). De plus, l'équipe de recherche a dû reporter les séances à plusieurs reprises pour protéger les participants puisque que différents membres étaient testés positifs à la COVID-19. Néanmoins, le nombre de participants à notre étude était cohérent avec d'autres études impliquant des UEPDVs (Iizuka et al., 2016; Matti, 2017; Menzi-Çetin et al., 2017).

Par ailleurs, il est important de mentionner que notre population cible englobait un large éventail de capacités et d'expériences personnelles qui ont eu un impact significatif dans la mise en œuvre de ce dispositif. De plus, afin de garantir que les résultats de notre étude soient aussi représentatifs que possible de cette population diversifiée, nous avons collaboré avec des professionnels des technologies d'assistance de nos organisations partenaires. Ces professionnels possèdent aussi une vaste expérience de travail avec des personnes ayant des déficiences visuelles.

## Conséquences

Notre étude a révélé que les représentations tangibles améliorent la compréhension des participants des relations non linéaires dans les données structurées. En plus des documents HTML, cette approche pourrait améliorer l'accessibilité d'autres types de données structurés hiérarchiquement, tels que les tableaux, les fichiers multimédias, les livres électroniques, les diagrammes relationnels, le code informatique et les systèmes de fichiers.

Un dialogue significatif avec les utilisateurs potentiels et les experts nous a permis d'aligner notre processus de recherche et de développement sur les divers besoins et attentes des PDVs. Cette approche prend en charge leurs stratégies de navigation existantes, créant un appareil qui s'intègre parfaitement à l'écosystème technologique actuel pour les utilisateurs de lecteurs d'écran experts et non experts. De plus, les participants ont apprécié l'opportunité de discuter d'idées et de contribuer au développement de cette technologie, soulignant l'importance de l'inclusion dans l'innovation technologique. Finalement, l'intégration des participants ayant des déficiences visuelles dès le début du processus (co-création) devrait faciliter l'implantation de *TOMAT Navigator* dans leur vie quotidienne.

Le développement de notre conception finale de technologie d'assistance est une entreprise complexe, nécessitant une expertise dans de multiples domaines, ce qui présente des obstacles à sa maturité et à sa disponibilité commerciale. Par conséquent, nous avons choisi de publier la conception de l'appareil sous une licence open source sur [libretactile.org](https://libretactile.org) afin de faciliter son développement, son support, sa distribution et sa personnalisation pour divers besoins d'interaction homme-machine.

Le modèle open source est bien adapté au domaine des technologies d'assistance car il favorise la collaboration, la personnalisation et la durabilité des projets. Les cliniciens, les chercheurs, les utilisateurs et les développeurs peuvent

continuellement co-créer des solutions et des meilleures pratiques plus accessibles en tirant parti des connaissances et de l'expertise de la communauté. Cette approche permet de répartir les efforts de développement entre les organisations universitaires, gouvernementales, industrielles et communautaires.

De plus, en améliorant l'accès au contenu Web et en améliorant la convivialité des technologies numériques, notre appareil a le potentiel d'aider les PDVs à mener une vie plus indépendante et plus épanouissante. L'expérience de navigation intuitive qu'elle offre peut réduire les obstacles à la participation sociale en ligne et à l'accès aux ressources critiques, soutenant ainsi l'autonomie, le bien-être et la qualité de vie globale des utilisateurs.

# Partie 6 : Conclusion

## VI. Conclusion

Dans ce projet, nous avons aligné les efforts des organisations gouvernementales, communautaires et universitaires pour développer un système de technologie d'assistance visant à améliorer l'expérience de navigation sur Internet pour les UEPDVs. Ces derniers ont guidé et influencé notre processus itératif de co-conception, en se concentrant sur le soutien de leurs stratégies de navigation Internet actuelles. Ceci a été réalisé en fournissant une représentation tactile du modèle hiérarchique d'une page Web, qui aide les utilisateurs à comprendre la structure et du contenu de la page.

*TOMAT Navigator* a le potentiel d'aider les PDVs à mener une vie plus indépendante et plus épanouissante en réduisant les obstacles à l'accès aux informations et ressources critiques en ligne et en améliorant la convivialité des technologies numériques pour promouvoir l'indépendance.

Finalement ce projet a placé les voix des PDVs à l'avant-garde de l'innovation technologique, en semant le développement, piloté par la communauté, d'une interaction tactile humain-machine, à la fois abordable, modifiable, évolutive et standardisée pour l'électronique grand public et les interfaces numériques. Les technologies tactiles open source devraient rendre les interactions avec les ordinateurs plus faciles, plus naturelles et plus accessibles aux PDVs.

# **Partie 7 : Références et annexes**

## VII. Références et annexes

### Références

- Abidin, A. H. Z., Xie, H., & Wong, K. W. (2012). Blind users' mental model of web page using touch screen augmented with audio feedback. *2012 International Conference on Computer and Information Science, ICCIS 2012 - A Conference of World Engineering, Science and Technology Congress, ESTCON 2012 - Conference Proceedings, 2*, 1046–1051. <https://doi.org/10.1109/ICCISci.2012.6297180>
- Bangemann, M., & others. (1994). Recommendations to the European Council: Europe and the global information society. *Brussels: European Commission*.
- Baumgartner, R., Kr, B., Max, C. G., Klein, D., & Gattringer, R. (2010). *Web 2.0 Vision for the Blind*.
- Borodin, Y., Bigham, J. P., Dausch, G., & Ramakrishnan, I. V. (2010). More than meets the eye: A survey of screen-reader browsing strategies. *W4A 2010 - International Cross Disciplinary Conference on Web Accessibility Raleigh 2010*. <https://doi.org/10.1145/1805986.1806005>
- Brewer, R. N. (2018). Facilitating discussion and shared meaning: Rethinking co-design sessions with people with vision impairments. *ACM International Conference Proceeding Series*, 258–262. <https://doi.org/10.1145/3240925.3240981>
- de Guinea, A. O., Titah, R., & Léger, P.-M. (2013). Measure for measure: A two study multi-trait multi-method investigation of construct validity in IS research. *Computers in Human Behavior*, 29(3), 833–844.
- de Souza, L. S., Francisco, R., da Rosa Tavares, J. E., & Barbosa, J. L. V. (2023). *Intelligent Environments and Assistive Technologies For Assisting Visually Impairment People: A Systematic Literature Review*.
- Demers, L., Weiss-Lambrou, R., & Ska, B. (2002). The Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0): An overview and recent

- progress. *Technology and Disability*, 14(3), 101–105.  
<https://doi.org/10.3233/tad-2002-14304>
- Djonov, E. (2007). Website hierarchy and the interaction between content organization, webpage and navigation design: A systemic functional hypermedia discourse analysis perspective. *Information Design Journal*, 15(2), 144–162. <https://doi.org/10.1075/idj.15.2.07djo>
- Dobransky, K., & Hargittai, E. (2006). The disability divide in internet access and use. *Information, Communication & Society*, 9(3), 313–334.
- Dorigo, M. L. (2019). DOKY: A Multi-Modal User Interface for Non-Visual Presentation, Navigation and Manipulation of Structured Documents on Mobile and Wearable Devices (Doctoral dissertation, University of Plymouth).
- Doush, I. A., & Pontelli, E. (2013). Non-visual navigation of spreadsheets: Enhancing accessibility of Microsoft Excel™. *Universal Access in the Information Society*, 12(2), 143–159. <https://doi.org/10.1007/s10209-012-0272-1>
- Gerber, E., & Kirchner, C. (2001). *Who's surfing? Internet access and computer use by visually impaired youths and adults*. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Harper, S., Goble, C., & Stevens, R. (2005). Augmenting the mobility of profoundly blind Web travellers. *New Review of Hypermedia and Multimedia*, 11(1), 103–128. <https://doi.org/10.1080/13614560500191220>
- Hegde, Monica. User Experience Study of Screen Readers for Visually Challenged Users. Diss. Purdue University Graduate School, 2023.
- Hendriks, N., Slegers, K., & Duysburgh, P. (2015). Codesign with people living with cognitive or sensory impairments: a case for method stories and uniqueness. *CoDesign*, 11(1), 70–82. <https://doi.org/10.1080/15710882.2015.1020316>
- Hersh, M. A., & Johnson, M. A. (2008). Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People. In *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People* (Vol. 1, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-867-8>

- Iizuka, J., Okamoto, A., & Morimoto, K. (2016). A study on the usability of hierarchical structures in websites for the visually impaired. *Studies in Science and Technology*, 5(1), 13–22. <https://doi.org/10.11425/sst.5.13>
- Karshmer, A. I., Pontelli, E., & Gupta, G. (n.d.). *Software Technology and Computer Interfaces for the Disabled : Non-visual Browsing of the World Wide Web*.
- Kennel, A., Perrochon, L., & Darvishi, A. (1996). WAB: World Wide Web Access for Blind And Visually Impaired Computer Users. *ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped*, 55, 10–15. <https://doi.org/10.1145/231674.231675>
- Kuber, R., Yu, W., & McAllister, G. (2007). Towards developing assistive haptic feedback for visually impaired internet users. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1525–1534. <https://doi.org/10.1145/1240624.1240854>
- Kurniawan, S. H., & Sutcliffe, A. (2002). Mental models of blind users in the windows environment. *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, 568–574.
- Lee, Y., Rajasekar, V. C. S., & Kasula, P. R. (2014). Accessibility of Website for Visually Challenged: Combined Tree Structure and XML Metadata. *GSTF Journal on Computing (JoC)*, 2(1).
- Lefevre, K., Totzauer, S., Bischof, A., Kurze, A., Storz, M., Ullmann, L., & Berger, A. (2016). Loaded dice: Exploring the design space of connected devices with blind and visually impaired people. *ACM International Conference Proceeding Series*, 23-27-Octo. <https://doi.org/10.1145/2971485.2971524>
- Li, J., Kim, S., Miele, J. A., Agrawala, M., & Follmer, S. (2019). Editing spatial layouts through tactile templates for people with visual impairments. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300436>
- Macías, M., González, J., & Sánchez, F. (2002). On adaptability of Web sites for visually handicapped people. *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems: Second International Conference, AH 2002 Málaga, Spain, May 29–31, 2002 Proceedings 2*, 264–273.

- Magnusson, C., Hedvall, P.-O., & Caltenco, H. (2018). Co-designing together with Persons with Visual Impairments. *Mobility of Visually Impaired People: Fundamentals and ICT Assistive Technologies*, 411–434.
- Manduchi, R., & Coughlan, J. (2012). (Computer) vision without sight. *Communications of the ACM*, 55(1), 96–104.
- Matti, S. H. (2017). Preserving the Spatial Information of Accessible UML Class Diagrams for the Visually Impaired. *ProQuest Dissertations and Theses*, 67. [http://proxy.libraries.smu.edu/login?url=https://search.proquest.com/docview/1949768659?accountid=6667%0Ahttps://smu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/openurl?institution=01SMU\\_INST&vid=01SMU\\_INST:01SMU&?url\\_ver=Z39.88-2004&rft\\_val\\_fmt=info:ofi/fmt:kev:mt](http://proxy.libraries.smu.edu/login?url=https://search.proquest.com/docview/1949768659?accountid=6667%0Ahttps://smu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/openurl?institution=01SMU_INST&vid=01SMU_INST:01SMU&?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mt)
- Maurel, F., Dias, G., Safi, W., Routoure, J.-M., & Beust, P. (2020). Layout Transposition for Non-Visual Navigation of Web Pages by Tactile Feedback on Mobile Devices. *Micromachines*, 11(4), 376. <https://doi.org/10.3390/mi11040376>
- Menzi-Çetin, N., Alemdağ, E., Tüzün, H., & Yıldız, M. (2017). Evaluation of a university website's usability for visually impaired students. *Universal Access in the Information Society*, 16(1), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s10209-015-0430-3>
- Metatla, O., Bryan-Kinns, N., & Stockman, T. (2007). Using hierarchies to support non-visual access to relational diagrams. *People and Computers XXI HCI. But Not as We Know It - Proceedings of HCI 2007: The 21st British HCI Group Annual Conference*, 1, 215–225.
- Metatla, O., Bryan-Kinns, N., Stockman, T., & Martin, F. (2015). Designing with and for people living with visual impairments: audio-tactile mock-ups, audio diaries and participatory prototyping. *CoDesign*, 11(1), 35–48. <https://doi.org/10.1080/15710882.2015.1007877>
- Minatani, K. (2012). Development of a DAISY player that utilizes a braille display for document structure presentation and navigation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture*

- Notes in Bioinformatics*), 7382 LNCS(PART 1), 515–522.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-31522-0\\_77](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31522-0_77)
- Muniandy, M., & Sulaiman, S. (2015). An Exploratory Study on Blind Users' Mental Model in Computer Accessibility. In H. A. Sulaiman, M. A. Othman, M. F. I. Othman, Y. A. Rahim, & N. C. Pee (Eds.), *Advanced Computer and Communication Engineering Technology* (pp. 925–938). Springer International Publishing.
- Murphy, E., Kuber, R., & Strain, P. (2007). Developing sounds for a multimodal interface: conveying spatial information to visually impaired web users. *International Conference on Auditory Display*, 348–355.  
<http://dev.icad.org/Proceedings/2007/MurphyKuber2007.pdf>
- Mynatt, E. D. (1997). Transforming graphical interfaces into auditory interfaces for blind users. *Human-Computer Interaction*, 12(1–2), 7–45.  
[https://doi.org/10.1207/s15327051hci1201&2\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327051hci1201&2_2)
- Nakdej, J., Chirathivat, J., Punyabukkana, P., & Suchato, A. (2007). Internet explorer smart toolbar for the blind. *I-CREATe 2007 - Proceedings of the 1st International Convention on Rehabilitation Engineering and Assistive Technology in Conjunction with 1st Tan Tock Seng Hospital Neurorehabilitation Meeting*, 195–200.  
<https://doi.org/10.1145/1328491.1328540>
- Nikolakis, G., Tsampoulatidis, I., Tzovaras, D., & Strintzis, M. G. (2004). *Haptic Browser : A Haptic Environment to Access HTML Pages*. 57001(Figure 1).
- Obst, P., & Stafurik, J. (2010). Online we are all able bodied: Online psychological sense of community and social support found through membership of disability-specific websites promotes well-being for people living with a physical disability. *Journal of Community & Applied Social Psychology*, 20(6), 525–531.
- Perrochon, L., & Kennel, A. (1995). World Wide Web Access for Blind People. *IEEE Symposium on Data Highway*.
- Pontelli, E., Gillan, D., Gupta, G., & Karshmer, A. (2002). Intelligent non-visual navigation of complex HTML structures. *Universal Access in the Information Society*, 2(1), 56–69. <https://doi.org/10.1007/s10209-002-0036-4>

- Pontelli, E., Gillan, D., Xiong, W., Saad, E., Gupta, G., & Karshmer, A. I. (2002). Navigation of HTML tables, frames, and XML fragments. *Annual ACM Conference on Assistive Technologies, Proceedings*, 25–32. <https://doi.org/10.1145/638252.638256>
- Prescher, D., Bornschein, J., Köhlmann, W., & Weber, G. (2018). Touching graphical applications: bimanual tactile interaction on the HyperBraille pin-matrix display. *Universal Access in the Information Society*, 17(2), 391–409. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0538-8>
- Reis, E. (2011). The lean startup. *New York: Crown Business*, 27, 2016–2020.
- Roentgen, U. R., Gelderblom, G. J., Soede, M., & De Witte, L. P. (2008). Inventory of electronic mobility aids for persons with visual impairments: A literature review. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 102(11), 702–724.
- Roth, S. P., Schmutz, P., Pauwels, S. L., Bargas-Avila, J. A., & Opwis, K. (2010). Mental models for web objects: Where do users expect to find the most frequent objects in online shops, news portals, and company web pages? *Interacting with Computers*, 22(2), 140–152.
- Safi, W. (2016). *Non-visual Vibro-tactile Navigation of Web Pages*.
- Sahib, N. G., Stockman, T., Tombros, A., & Metatla, O. (2013). Participatory design with blind users: A scenario-based approach. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40483-2\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40483-2_48)
- Salampasis, M., Kouroupetroglou, C., Manitsaris, A., & Loutfi, M. (2005). BrowserTree: A specialized voice web browser for blind people modelling hierarchical structure of web pages. *WMSCI 2005 - The 9th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings*, 9, 59–64.
- Schulz, J., Robinson, L., Ragnedda, M., Chiaraluce, C., & Kleinmann, O. (2023). COVID-19 Communication and Media: The First Pandemic of the Digital Age. *American Behavioral Scientist*, 00027642231155381.
- Shethia, S., & Techatassanasoontorn, A. A. (2019). Experiences of People with Visual Impairments in Accessing Online Information and Services: A Systematic

- Literature Review. *Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems*, 11(2), 39–66. <https://doi.org/10.17705/1pais.11203>
- Siu, A., SH Kim, G., O'Modhrain, S., & Follmer, S. (2022). Supporting accessible data visualization through audio data narratives. *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–19.
- Slevin, J. (2017). Internet. In *The Blackwell Encyclopedia of Sociology* (pp. 1–5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781405165518.wbeosi061.pub2>
- Smedema, S. M., & McKenzie, A. R. (2010). The relationship among frequency and type of internet use, perceived social support, and sense of well-being in individuals with visual impairments. *Disability and Rehabilitation*, 32(4), 317–325. <https://doi.org/10.3109/09638280903095908>
- Söderström, S., & Ytterhus, B. (2010). The use and non-use of assistive technologies from the world of information and communication technology by visually impaired young people: a walk on the tightrope of peer inclusion. *Disability & Society*, 25(3), 303–315.
- Song, J., Jo, J., Choe, K., & Seo, J. (2019). Soundglance: Briefing the glanceable cues of web pages for screen reader users. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 5–10. <https://doi.org/10.1145/3290607.3312865>
- Suchato, A., Chirathivat, J., Punyabukkana, P., & Language, S. (2006). *ENHANCING A VOICE-ENABLED WEB BROWSER FOR THE VISUALLY IMPAIRED*.
- Sulong, S., & Sulaiman, S. (2018). Exploring blind users' experience on website to highlight the importance of user's mental model. *Communications in Computer and Information Science*, 886, 105–113. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1628-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1628-9_10)
- Tripathi, S., Halder, C., & Vanusha, D. (2018). A Survey on Assistive Technology for the Visually Impaired. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 1152–1155. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100188>

- Vaughn, P., & Turner, C. (2016). Decoding via Coding: Analyzing Qualitative Text Data Through Thematic Coding and Survey Methodologies. *Journal of Library Administration*, 56(1), 41–51. <https://doi.org/10.1080/01930826.2015.1105035>
- Wall, S. A., & Brewster, S. (2006). Sensory substitution using tactile pin arrays: Human factors, technology and applications. *Signal Processing*, 86(12), 3674–3695. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2006.02.048>
- World Health Organization, (2019) International Classification of Diseases, ICD-11, <https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http://id.who.int/icd/entity/1103667651> [accessed 31 August 2020].
- Zajicek, M., & Powell, C. (1997). Building a conceptual model of the World Wide Web for visually impaired users. *Proc.Ergonomics Society 1997 Annual Conference*, 1996, 1–7.
- Zhang, D., Zhou, L., Uchidiuno, J. O., & Kilic, I. Y. (2017). Personalized assistive web for improving mobile web browsing and accessibility for visually impaired users. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 10(2). <https://doi.org/10.1145/3053733>

## Annexe 1 - Tableau des participants et éléments d'entrevue

<b>Caractéristiques</b>	<b>Réponses</b>
Âge	49-67; en moyenne 53
Genre	3 hommes; 4 femmes
Langues	4 Français; 3 Anglais
Profession	4 retraités; 4 actifs travaillant dans un domaine lié à la réadaptation des déficiences visuelles
Niveau d'éducation	2 diplômes techniques ; 3 étudiants de premier cycle ; 2 diplômes d'études supérieures
Types de Déficience visuelle	7 aveugles dont 3 congénitales, 2 à apparition précoce, 2 à apparition tardive
Fréquence d'utilisation d'Internet	7 par jour
Types d'utilisation professionnelle d'Internet	4 recherches, 2 travaux administratifs, 2 communications par courrier électronique, 2 réunions en ligne, 2 accès aux bases de données, 2 partages de fichiers, 3 candidatures spécifiques à un emploi, 4 lectures d'actualités
Types d'utilisation personnelle d'Internet	7 recherches, 5 utilisations de plateformes multimédia, 4 tâches administratives, 4 achats, 4 réseaux sociaux, 3 communications par courrier électronique, 3 lectures d'actualités/livres, 2 opérations bancaires, 1 jeu.
Méthodes ou outils préférés pour accéder à Internet	3 JAWS, 2 JAWS avec afficheur braille, 1 voix off avec afficheur braille, 1 voix off téléphonique

Raccourcis clavier les plus utilisés	4 titre suivant, 3 mots suivants, 3 éléments de liste, 2 informations sur la fenêtre/l'application, 2 titres de liste, 2 recherches dans le texte, 2 tableaux suivants, 2 éléments suivants, 2 fermetures de fenêtre
Expérience antérieure avec le braille	7 utilisateurs ont répondu par l'affirmative.

## Questions d'entretien semi-structurées

1. Quel est votre âge et votre sexe ?
2. Quelle est ton occupation ?
3. Quel est le dernier diplôme universitaire que vous avez obtenu ?
4. Avez-vous reçu un diagnostic de déficience visuelle ?
5. Quel a été le diagnostic ?
6. Quand avez-vous reçu un diagnostic de déficience visuelle ?
7. À quelle fréquence accédez-vous à internet ?
8. Naviguez-vous sur Internet pendant votre temps libre ? Pourquoi ?
9. Quelles méthodes, quels logiciels ou appareils utilisez-vous pour utiliser Internet ?
10. Quelle est votre méthode préférée ? Pour quelle raison préférez-vous cette méthode ?
11. Utilisez-vous des raccourcis clavier lorsque vous naviguez sur une page Web ?
12. Quels sont ceux que vous utilisez le plus ?
13. Avez-vous essayé d'autres appareils fonctionnels et décidé de ne pas les utiliser ? Pourquoi ?
14. Votre métier vous oblige-t-il à accéder à Internet ? Pour quelles tâches ?
15. Quelles sont les pages Web que vous utilisez le plus ?
16. Diriez-vous que vous avez une compréhension faible, modérée ou forte de la structure hiérarchique de certaines de ces pages Web ?

17. -Comment avez-vous appris la structure hiérarchique de ces pages Web ?
18. Trouvez-vous que la structure d'une page Web est une information utile pour vous ? Dans quels cas et pourquoi ?
19. Avez-vous souvent besoin ou souhaitez-vous naviguer sur une page Web que vous n'avez jamais visitée auparavant ?
20. Lorsque vous êtes confronté à une nouvelle page Web, comment explorez-vous la page, comment connaissez-vous votre position sur la page et accédez-vous aux informations que vous recherchez ?
21. Pouvez-vous parler des fonctionnalités d'accessibilité qui facilitent la navigation sur Internet ?
22. Quelles fonctionnalités ou produits souhaiteriez-vous voir exister pour faciliter votre expérience de navigation sur Internet ?
23. Avez-vous de l'expérience en lecture du braille ?
24. Avez-vous des questions, remarques ou commentaires supplémentaires ?

## Annexe 2 - Profil des participants

Utilisateur non expert	Utilisateur expert
<p>Navigue sur Internet environ une heure par jour.</p>	<p>Navigue sur Internet plusieurs heures par jour.</p>
<p>Visite principalement Google, le serveur de messagerie, les sites de vidéo/musique et les réseaux sociaux.</p>	<p>Visite une grande variété de sites pour effectuer une grande variété de tâches.</p>
<p>Navigue avec un lecteur d'écran audio uniquement la plupart du temps et repose essentiellement sur le saut entre les éléments/titres.</p>	<p>Navigue avec un lecteur d'écran en utilisant la sortie auditive et braille, maîtrise de nombreuses fonctions de lecteur d'écran et stratégies de navigation.</p>
<p>Compréhension faible à modérée de la structure des pages.</p>	<p>Bonne compréhension de la structure des pages, y compris des régions et d'autres éléments.</p>
<p>Explorer une nouvelle page Web peut être intimidant, déroutant et désorientant. Les stratégies incluent la lecture de la page dans son intégralité, l'omission de certains éléments et la demande d'aide. Cependant, trouver des formulaires et des boutons peut s'avérer difficile.</p>	<p>Curieux d'explorer de nouvelles pages, mais considère que cela prend du temps et est exigeant. Les stratégies d'exploration de nouvelles pages varient en fonction de leur complexité et de leur niveau de respect des règles d'accessibilité. En règle générale, les utilisateurs commencent par accéder à la liste des éléments de la page et aux autres commentaires des lecteurs d'écran pour obtenir un aperçu avant d'écouter le contenu et d'effectuer des recherches par mots clés.</p>
<p>Curieux et ouvert aux nouvelles technologies, mais l'amélioration de l'expérience utilisateur doit justifier le coût et les efforts nécessaires pour apprendre et utiliser un nouvel appareil.</p>	<p>Enthousiasmé par les nouvelles technologies, mais elles doivent offrir des fonctionnalités uniques qui justifient les tracas liés à leur transport. Également intéressé par la personnalisation et l'extension des fonctionnalités de l'appareil.</p>
<p><b>Ce que les deux groupes partagent (caractéristiques commune)</b></p>	
<p>Les obstacles à la navigation comprennent les pages qui ne sont pas conformes aux normes d'accessibilité ainsi que le temps et les efforts cognitifs nécessaires pour maintenir une compréhension de la structure et du contenu d'une page Web.</p>	

## Annexe 3 - Description détaillée de notre système de technologie d'assistance

« *Touch Matrix Navigator (TOMAT Navigator)* est une technologie d'assistance abordable et open source qui utilise l'IA et les technologies tactiles pour permettre aux PDVs de naviguer plus facilement et plus naturellement sur Internet. Il fonctionne comme un appareil compagnon pour les lecteurs d'écran, fournissant une représentation interactive non visuelle d'une page Web via un retour audio-tactile. Il a été co-conçu avec et pour les UEPDVs. Ses fichiers sources seront publiés sous la licence matérielle ouverte permissive du CERN version 2.

### **Architecture du système**

Le matériel du *TOMAT Navigator* est une boîte de 2 cm d'épaisseur, 12 cm de hauteur et 8 cm de largeur avec des coins arrondis (voir figure 9). Sur le côté gauche de la face avant se trouve une matrice de sortie tactile avec quatre rangées de points de stimulation, chacune comportant quatre points. Différents types d'éléments de page Web, tels que les niveaux de titres, les liens, les boutons et les images, sont représentés en activant les points de stimulation correspondants. Un bouton à droite de chaque ligne permet à l'utilisateur d'interagir avec l'élément représenté sur cette ligne. Au bas de l'appareil se trouvent quatre boutons d'affichage, un bouton de sélection de mode et un bouton de navigation avec diverses fonctions. Tous les boutons détectent quatre gestes d'interaction différents, notamment une simple pression, une double pression, une pression prolongée, une pression puis une pression prolongée.

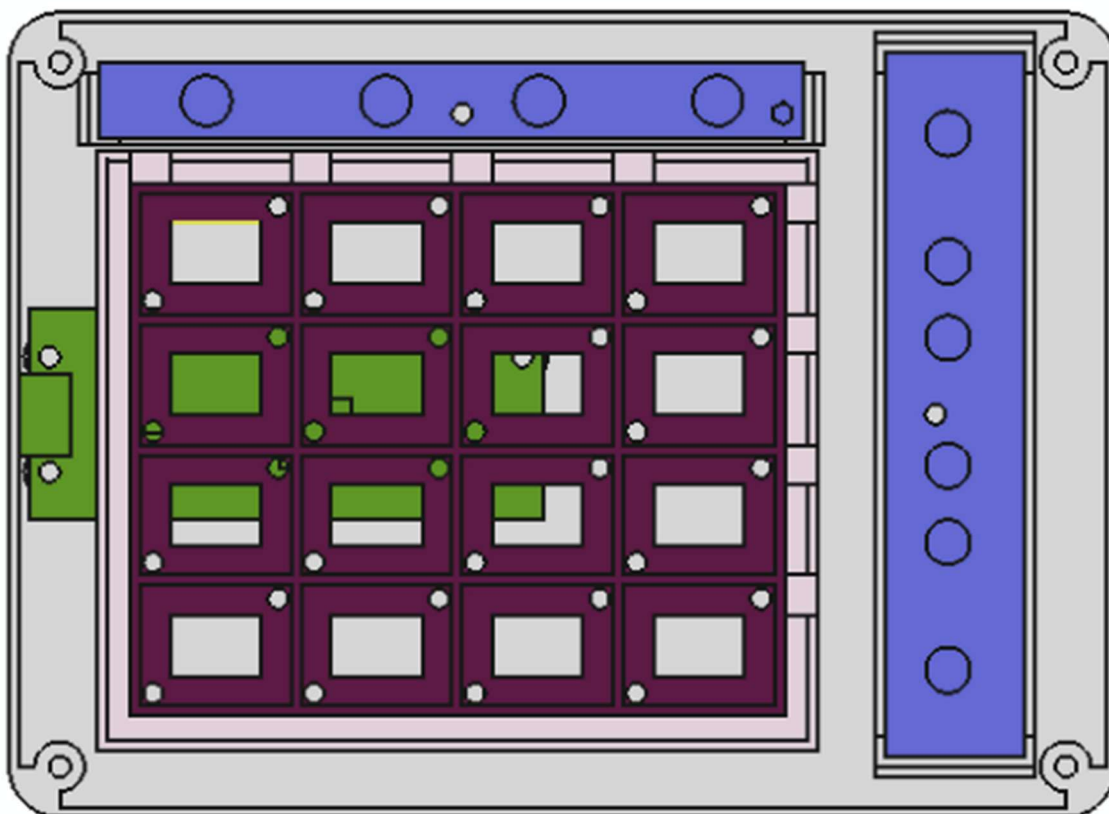


Figure 9. Modèle en images tridimensionnelles de TOMAT Navigator.

L'interface tactile peut être contrôlée via des plug-ins pour ordinateurs ou appareils mobiles, qui communiquent des informations depuis l'application pour contrôler la sortie matérielle et répondre aux entrées de l'utilisateur (voir figure 10). De plus, les plug-ins fournissent un ensemble étendu de fonctions qui peuvent être installées via une application centrale. Cette application facilite la tâche de compilation, de révision, de comparaison, d'installation et de désinstallation des plug-ins. De plus, l'application centrale fournit des fonctionnalités de maintenance et d'assistance, telles que la mise à jour du micrologiciel de l'appareil, le dépôt d'un rapport de bogue, les demandes de fonctionnalités et l'accès aux manuels, didacticiels et forums communautaires.

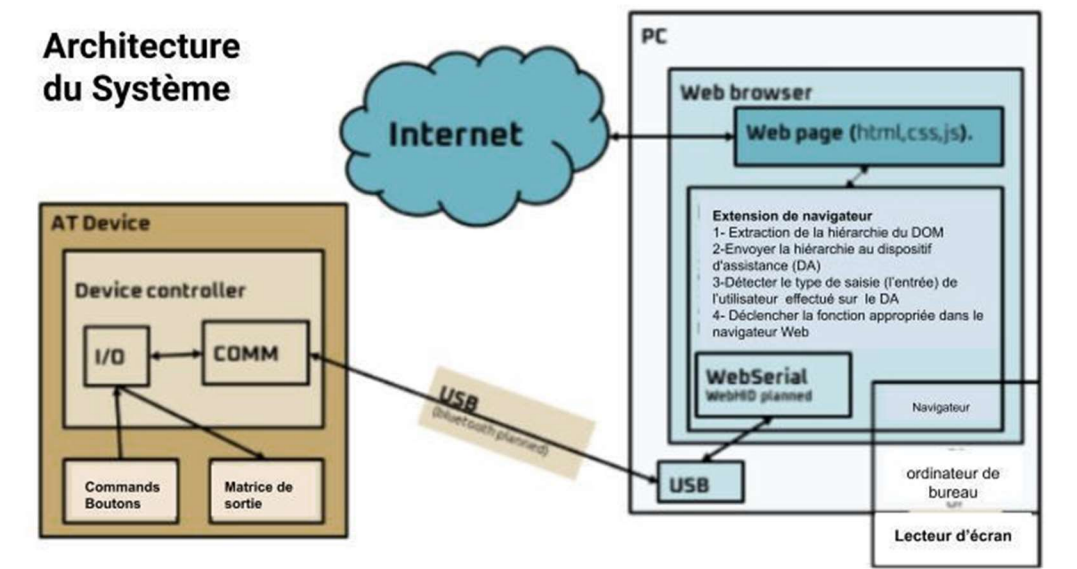


Figure 10. Architecture du système

Dans ce projet, nous avons implémenté le plugin à l'aide d'une extension de navigateur Chrome qui extrait par défaut les titres de niveau 1 à 3, les liens, les listes, les tableaux, les images, les régions aria et les contrôles de formulaire du DOM d'une page Web pour créer un modèle de page hiérarchique. Ce modèle est présenté à travers l'interface tactile, qui peut alors déclencher des fonctions de navigation et d'accessibilité. L'interface tactile a été implémentée à l'aide de composants largement disponibles tels qu'un microcontrôleur *Raspberry® Pi Pico*, des minimateurs vibrateurs et un corps imprimé en 3D.

## Modèle de page Web

Le processus de modélisation de page Web peut être observé sur la figure 11. Le modèle peut être personnalisé pour répondre aux besoins et préférences de chaque utilisateur pendant la navigation en utilisant les boutons d'affichage de l'appareil, en

changeant de mode de fonctionnement ou en ajustant les paramètres du plugin. Si le modèle de page Web ne peut pas être affiché entièrement sur le périphérique de sortie, ses éléments seront regroupés en « fenêtres » qui s'intègrent dans l'affichage. Pour aider l'utilisateur à suivre sa position sur le modèle, la fenêtre de l'appareil défilera automatiquement pour garder le curseur affiché pendant que l'utilisateur navigue. Cependant, les utilisateurs peuvent également contrôler la fenêtre de l'appareil à l'aide des boutons d'affichage. Lorsque le curseur est affiché sur la fenêtre, l'élément de stimulation correspondant émet une impulsion (au lieu de fournir une stimulation constante) pour montrer à l'utilisateur son emplacement exact sur le modèle.

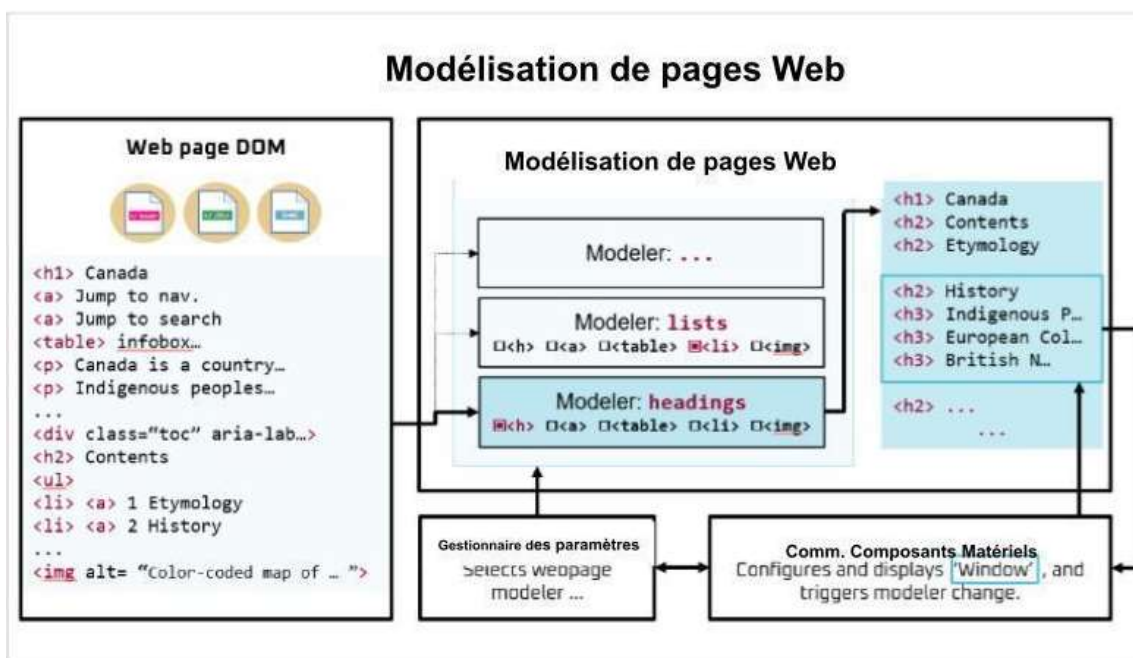


Figure 11. Processus de modélisation de pages Web.

## Modes de fonctionnement

Il existe trois modes de fonctionnement qui affectent les éléments du modèle affichés dans l'interface tactile. Le bouton étoile fait défiler les modes : De base,

Favoris et Modifications. Le mode de Base affiche tous les éléments par défaut, tandis que Favoris affiche uniquement les éléments précédemment sélectionnés et Modifications affiche uniquement les éléments qui ont été mis à jour depuis la dernière visite.

Il existe trois modes de fonctionnement spéciaux : Aide interactive, Regroupement de types et Exploration d'éléments. Le mode Aide interactive donne des explications sur la fonction de chaque bouton déclenché à l'aide d'un geste de saisie. Le mode Regroupement de types regroupe les éléments en fonction de leur type, en commençant par les types les plus pertinents. Le mode Exploration d'éléments utilise l'intégralité de l'interface tactile pour interagir avec un seul élément de page Web, tel qu'une liste, un tableau ou une région Aria.

Icônes pour la saisie de gestes	Fonctions	
<b>Boutons de rangée</b>	T	Lire la description de l'élément de ligne.
	T T	Naviguer (faites défiler le curseur) jusqu'à l'élément de ligne.
	P H	Enregistrer l'élément de ligne dans les favoris de cette page.
	T P H	Fonction spécifique à l'élément déclencheur. (c'est-à-dire un résumé de texte)
<b>Suivant</b>	T	Naviguer (faites défiler le curseur) jusqu'à l'élément suivant.
	T T	Naviguer (curseur de défilement) jusqu'à l'élément suivant de type différent.
	P H	Naviguer (curseur de défilement) jusqu'à l'élément précédent.
	T P H	Naviguer (curseur de défilement) vers l'élément précédent de type différent.

<b>Haut / Bas</b>	T	Afficher la fenêtre Suivant/Précédent.
	T T	Afficher les 5 fenêtres suivantes/précédentes.
	P H	Afficher la première/dernière fenêtre.
	T P H	Présentation automatique (lire la description) de tous les éléments du haut/bas du modèle au curseur.
<b>Plus / Moins</b>	T	Augmenter/Diminuer le niveau de détail du modèle affiché.
	T T	Afficher uniquement les éléments les plus pertinents/tous les éléments.
	P H	Regroupez les éléments par type (vue de type) / entrez dans l'explorateur d'éléments pour l'élément actuellement sélectionné.
	T P H	Augmenter/diminuer le niveau de verbosité.
<b>Étoile</b>	T	Passez au mode de fonctionnement principal suivant.
	T T	Déclenchez la fonction d'accessibilité configurable.
	P H	Accédez au mode d'aide interactif.
	T P H	Accédez au gestionnaire de paramètres.

*Gestes de saisie : T = Appuyez, TT = Appuyez deux fois, PH = Appuyez et maintenez, TH = Appuyez puis appuyez et maintenez.*

## **Gestionnaire de paramètres**

Le gestionnaire de paramètres permet aux utilisateurs de personnaliser l'interface tactile, notamment en ajustant le niveau de verbosité et les modes de fonctionnement, en attribuant des raccourcis clavier et des fonctions, en activant ou en désactivant des fonctionnalités supplémentaires telles que des scripts d'IA, et en créant et en important des modeleurs de pages Web personnalisés et des éléments favoris. Les utilisateurs peuvent également importer et exporter les paramètres de l'extension du navigateur via le gestionnaire de paramètres.

## Annexe 4 - Description du produit minimum viable

Reis (2011) définit un produit minimum viable (MVP) comme une version d'un produit avec juste assez de fonctionnalités pour satisfaire les premiers utilisateurs et recueillir des commentaires pour un développement ultérieur. Selon Ries, un MVP facilite les tests précoces et les commentaires des utilisateurs, permettant ainsi d'identifier les problèmes d'utilisabilité et les domaines à améliorer avant d'engager des ressources considérables dans le développement complet du produit. Dans cette étude, nous avons mis en œuvre un MVP de notre système de technologie d'assistance dans le but d'améliorer l'expérience utilisateur des PDVs qui utilisent des lecteurs d'écran pour la navigation sur Internet. Le MVP comprend des composants logiciels et matériels qui visent à fournir une représentation non linéaire, tangible et interactive d'une page Web. Le composant logiciel est une extension de navigateur qui génère un modèle hiérarchique de la page Web, reflétant la présentation des éléments de la page Web par un logiciel de lecture d'écran. Le composant matériel comprend une interface tactile personnalisée qui représente le modèle de page Web. L'interface comporte des boutons qui permettent aux utilisateurs d'explorer, de naviguer, de filtrer et de personnaliser le modèle, ainsi que de déclencher des fonctions dépendantes du contexte sur l'extension du navigateur.

### **Description du logiciel**

Le composant logiciel est une extension du navigateur Google Chrome installée sur un ordinateur portable Windows exécutant le lecteur d'écran NVDA. Cette extension de navigateur récupère les données non linéaires pertinentes du modèle d'objet de document (DOM) du fichier HTML pour construire un modèle hiérarchique de la page Web. Le modèle comprend des informations sur les titres des niveaux 1 à 3, les liens

et les images. Si le modèle de page Web ne peut pas être entièrement affiché sur le périphérique de sortie, ses éléments seront organisés en segments ou « fenêtres » qui s'intègrent dans l'écran tactile.

Le logiciel détermine ensuite la fenêtre appropriée du modèle à présenter aux utilisateurs en fonction du mode de fonctionnement, des filtres activés par l'utilisateur et de la configuration utilisateur. Cette fenêtre est ensuite transmise au composant matériel pour une présentation tactile via un protocole USB. L'extension du navigateur suit également l'élément ciblé sur la page Web, servant de « curseur » pour indiquer la position de l'utilisateur dans le modèle de page Web. Lorsque le curseur est affiché sur la fenêtre, l'élément de stimulation correspondant émet une impulsion (au lieu de fournir une stimulation constante) pour mettre en évidence de manière tangible l'emplacement exact de l'utilisateur sur le modèle.

L'extension traite les événements de pression et de relâchement des boutons de l'interface matérielle pour détecter quatre gestes d'entrée distincts pour chaque bouton : une simple pression, une double pression, une pression prolongée et une pression puis une pression prolongée. Ces gestes de saisie déclenchent des fonctions de navigation et de filtrage des éléments du modèle de page Web.

Une simple pression sur le bouton d'un élément de ligne active la relecture de ses informations textuelles. Dans le cas d'images et de liens, le texte alternatif associé est lu à haute voix. En appuyant deux fois sur le bouton de l'élément de ligne, le navigateur fait défiler jusqu'à cet élément et lui affecte le curseur de modèle. De plus, les utilisateurs ont la possibilité de naviguer directement vers l'élément suivant du modèle en appuyant sur le bouton « suivant », tandis qu'en appuyant deux fois sur le bouton « suivant », ils peuvent naviguer spécifiquement vers l'élément d'en-tête suivant. Pour faciliter davantage le maintien de l'orientation dans le modèle, la fenêtre de l'appareil défile automatiquement pour garantir que le curseur reste visible pendant la navigation des utilisateurs.

De plus, les utilisateurs ont la possibilité d'explorer le modèle de page en ajustant la fenêtre de l'appareil à l'aide des boutons « fenêtre haut » et « fenêtre bas » de l'interface matérielle. Un simple appui sur ces boutons permet aux utilisateurs d'afficher la fenêtre précédente ou suivante, tandis qu'un double appui sur ces boutons affichera la première ou la dernière fenêtre. Un appui prolongé sur les boutons déclenche une animation audio-tactile qui présente toutes les fenêtres depuis le début de la page jusqu'à la position actuelle du curseur, ou depuis la position du curseur jusqu'à la fin de la page.

Pour diminuer la granularité du modèle de page Web présenté et se concentrer sur les éléments les plus pertinents, les utilisateurs peuvent appuyer à plusieurs reprises sur le bouton « moins », masquant progressivement les éléments les moins importants de la fenêtre. Ce processus commence par des liens et des images, suivis de titres aux niveaux trois, deux et un. À l'inverse, pour augmenter le niveau de détail affiché dans la fenêtre, les utilisateurs peuvent appuyer plusieurs fois sur le bouton « plus » jusqu'à ce que tous les éléments du modèle soient visibles. Appuyez deux fois sur le bouton plus pour obtenir une granularité maximale instantanée, affichant chaque élément du modèle. À l'inverse, appuyer deux fois sur le bouton réduit immédiatement la granularité au minimum, affichant uniquement les éléments de titre de niveau un.

## **Description du matériel**

L'interface matérielle est une boîte rectangulaire mesurant douze centimètres sur huit sur deux. Il comporte dix boutons et un écran tactile composé de quatre rangées, chacune équipée de quatre vibrateurs. Chaque rangée de vibrateurs représente un élément spécifique du segment actuellement ciblé du modèle de page Web. Adjacent

à chaque rangée de vibrateurs, il y a un bouton d'élément de rangée qui permet une interaction directe avec l'élément correspondant. Les vibrateurs peuvent être dans l'un des trois états suivants : inactif, actif ou pulsé. L'activation du premier vibrateur d'une rangée indique un élément de titre de niveau 1, suivi d'éléments de titre de niveau 2 et de titre de niveau 3 dans les vibrateurs suivants de la rangée. Le quatrième vibrateur de chaque rangée représente à la fois les liens et les images. L'état d'activation pulsé indique que l'élément a, pour le moment, le 'focus' du navigateur.

Les « boutons d'affichage » situés directement sous la matrice tactile sont constitués de « étoile », « moins », « plus », « fenêtre vers le haut » et « fenêtre vers le bas ». Ces boutons remplissent diverses fonctions, telles que la modification des modes de fonctionnement, ainsi que l'exploration, le filtrage et la personnalisation du modèle de page Web. Le sixième bouton, le plus à droite, est un modèle de bouton de navigation intitulé « suivant » qui déclenche les commandes de navigation. Le périphérique matériel a été assemblé à l'aide de techniques et de composants de fabrication simples, abordables et facilement disponibles. Ceux-ci incluent l'impression 3D, les minimoteurs vibrateurs « pancake » et le microcontrôleur open source *Raspberry Pi Pico*®. Le microcontrôleur reçoit l'alimentation et le segment spécifique du modèle de page Web à afficher depuis le port USB.

Il génère ensuite un modèle d'activation pour la matrice de vibration. Pour permettre différents modèles de stimulation sur chaque vibrateur, les vibrateurs sont alimentés par un réseau de transistors Darlington à 16 canaux (ULN2803A). Les pressions et les relâchements des boutons sont communiqués au composant logiciel pour détecter les gestes d'entrée.

# Annexe 5 - Diffusion - Affiche de présentation de TOMAT Navigator

## Conférence REPAR

**Co-Design of Tomat Navigator: An Assistive System for Non-Visual Internet Navigation**

Juan Nino<sup>1,2</sup>, Jocelyne Kiss<sup>3</sup>, Frédérique Poncet<sup>3,4,5,6</sup>, Walter Wittich<sup>3,4,5,6</sup>, Geoffroy Edwards<sup>3,2</sup>, Ernesto Morales<sup>1,2</sup>

1 Université Laval, 2 Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRIS), 3 Université de Montréal, 4 Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CIRIM), 5 Lebridge-Layton-Mackay au Centre-Ouest-de-Île-de-Montréal (LLM), 6 Institut Nazareth et Louis-Braille (INLB)

**Introduction**

Screen reader (SR) software is the primary solution for supporting visually impaired (VI) individuals in navigating the internet[1].

By sequentially reading the elements of a webpage, it fails to effectively convey visually available information[1].

Consequently, users loose important context and constantly rely on their memory[1].

**Objective**

Develop a companion device to enhance access to non-linear webpage information for VI SR users.

**Participants**

- N=7 SR users
- Included 2 professionals in the assistive technology field
- Visual acuity level below 20/40
- More than 1 year of internet experience
- No other perceptual or cognitive impairment

**How we did it**

**Individual co-design sessions**

that included semi-structured interviews, scenario-based discussions, and tangible and malleable prototypes.

**Preliminary user testing**

to observe users experiencing the technology while navigating web page.

**Bilingual focus group**

to discuss the technology's design, user experience, challenges, opportunities, and the overall development process.

**Results**

**Touch matrix (Tomat) navigator**

- Enhances the capabilities of a SR by offering access to non-linear information.
- Provides a tangible and interactive table of contents for the web page to trigger context dependent functions.
- Navigate, filter, bookmark, configure web page model with the press of a button. (AI and customization functions planned).
- Operation modes such as interactive help, table and list view.
- Implemented with a browser extension and a 3D printed tactile interface.

**User feedback**

- Intuitive, relevant, and engaging for new and experienced internet users.
- Improved participants' understanding of non-linear relationships in structured data.
- Capitalizes on the way screen readers present web pages to users by triggering functions directly from the web page representation, instead of using keyboard shortcuts.

**Conclusion**

By involving end-users and experts, we aligned researchers' understanding with diverse needs and expectations of VI users.

**References**

1. Shethi, Shikha, and Angima A. Techarasanasontorn. "Experiences of people with visual impairments in accessing online information and services: A systematic literature review." *Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems* 11.2 (2019): 3.

Potential applications extend beyond web accessibility to rehabilitation, sensory substitution, virtual reality, gaming, metaverse and more.

"Tomat navigator" will be released under an open-source license at [libretactile.org](http://libretactile.org), facilitating integration into research and service centers, collaboration among users, researchers, and practitioners, and co-creation of derivatives and best practices.

"Tomat navigator" empowers VI individuals to live more independent lives by enhancing access to web content and promoting the usability of digital technologies.

## Tables des illustrations

Figure 1.. Différence d'expérience entre la navigation Internet visuelle et non visuelle.	3
Figure 2. Description des phases de réalisation du projet	12
Figure 3. Les participants interagissent avec un modèle imprimé en 3D de notre technologie d'assistance (en haut) et des outils de prototypage et de conception malléables (en bas).	15
Figure 4. Participant lors d'une exploration guidée d'un modèle de page Web tangible utilisant des briques LEGO et notre prototype de technologie d'assistance.	16
Figure 5. Participant évaluant le prototype du système d'assistance.	18
Figure 6. Représentation tactile de la page Web sur le système de technologie d'assistance	21
Figure 7. Composant matériel - (Pour une description détaillée des fonctionnalités de notre technologie d'assistance, reportez-vous à l'annexe 3.)	22
Figure 8. Graphiques illustrant la réduction du temps d'exécution, du nombre de commandes émises et de la difficulté signalée.	25
Figure 9. Modèle en images tridimensionnelles de TOMAT Navigator.	49
Figure 10. Architecture du système	50
Figure 11. Processus de modélisation de pages Web.	51