

	Compte-rendu de fin de projet	

Projet ANR-12-SOIN-0003-02

ART-ADN

Programme INOV 2012

A	IDENTIFICATION.....	2
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC	2
B.1	Résumé consolidé public en français	2
B.2	Résumé consolidé public en anglais.....	4
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE (NON CONFIDENTIEL).....	5
C.1	Résumé du mémoire	5
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art	6
C.3	Approche scientifique et technique.....	8
C.4	Résultats obtenus (livrables en rouge dans le texte)	8
C.5	Exploitation des résultats et discussion conclusive	12
C.6	Références.....	13
D	LISTE DES LIVRABLES.....	13
E	IMPACT DU PROJET	14
E.1	Indicateurs d'impact	14
E.2	Liste des publications et communications.....	14
E.3	Liste des éléments de valorisation.....	15
E.4	Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	16

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	ART-ADN
Titre du projet	Accès par Retour Tactile Aux Documents Numériques
Coordinateur du projet (société/organisme)	Laboratoire GREYC
Période du projet (date de début – date de fin)	29 mars 2013 – 28 août 2016
Site web du projet, le cas échéant	https://art-adn.greyc.fr/

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mr Fabrice Maurel
Téléphone	02 31 56 73 97
Adresse électronique	fabrice.maurel@unicaen.fr
Date de rédaction	10 novembre 2016

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	Laboratoire PALM - Michèle Molina
---	-----------------------------------

B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

B.1 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

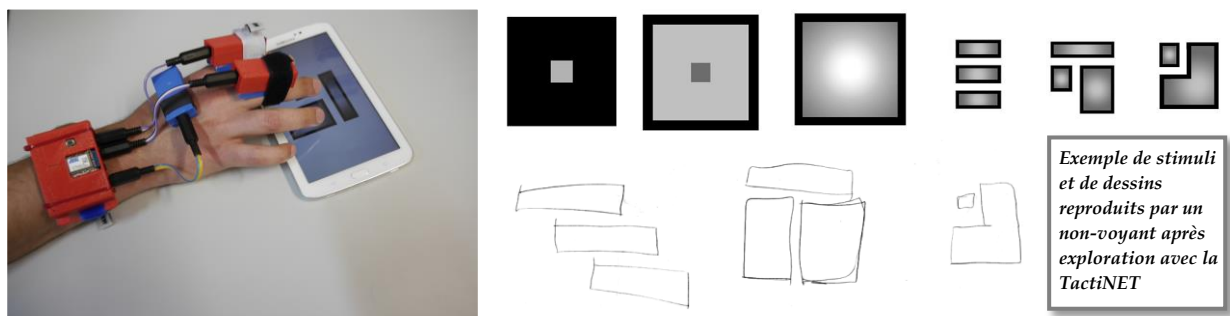
La TactiNET : vers un outil d'accès vibrotactile à l'organisation des pages Internet

Améliorer l'accès non visuel à Internet sur dispositifs mobiles en transformant les vibrations lumineuses émises par l'écran en stimuli vibrotactiles. La décennie écoulée a vu un fort développement des technologies informatiques favorisant un accès non visuel aux supports numériques. La synthèse vocale et la plage braille sont les principales techniques utilisées. Cependant, ces deux interfaces sont peu pratiques, discrètes et efficaces sur des supports nomades pour lesquels l'interaction tactile est indispensable. Les technologies embarquées qui oralisent le texte survolé par le doigt sont intéressantes mais très rébarbatives quand il s'agit de naviguer sur des documents inconnus et dont il faut préalablement apprendre l'organisation des différents éléments textuels qui les composent. Il est impératif de permettre une appréhension non visuelle du support numérique nomade qui soit à la fois globale et naturellement interactive en augmentant la perception des non-voyants d'une représentation tactile de l'organisation des interfaces et des documents présentées. En se focalisant sur l'accessibilité de l'Internet, notre idée est de générer automatiquement des « pages Web vibrantes », basées sur une transformation intelligente des contrastes lumineux émis par l'écran en vibrations tactiles.

Développer un logiciel embarqué et un dispositif positionnable sur le corps capables de produire des vibrations pilotées par le survol du doigt sur l'écran. Notre ambition est de remplacer la capacité d'exploration visuelle d'un individu, qui s'appuie sur la vibration

lumineuse de l'écran, par une capacité d'exploration manuelle, qui s'appuie sur la vibration tactile d'actionneurs placés sur la main non active. Cette idée vient à contre-courant des tentatives actuelles de produire des technologies intelligentes en construisant des applications complexes dont le couplage Homme-Machine est pensé en amont. Notre système est capable de traduire le plus fidèlement possible les informations de contrastes vers une (ou plusieurs) modalités tactiles. L'utilisateur a alors à sa charge l'interprétation des éléments perçus et peut prendre en autonomie des décisions qui faciliteront la découverte active, l'apprentissage voire le contournement des usages prévus initialement. Le non-voyant explore le monde en se dirigeant grâce aux contacts de sa canne avec les obstacles et les matériaux autour de lui ; nous souhaitons que les structures visuelles du texte puissent à terme jouer ce rôle pour l'exploration tactile des documents, en créant un environnement sensoriel fait de « trottoirs textuels », de textures graphiques et de chemins balisés orientant les mouvements de la « canne-doigt ».

Les travaux effectués ont permis de réaliser un prototype fonctionnel de la TactiNET composé d'actionneurs vibrotactiles (jusqu'à 8) et thermiques (jusqu'à 2) ; de développer plusieurs logiciel permettant de contrôler les actionneurs, extraire la structure visuelle des pages Web, construire un premier langage graphique et paramétrer à distance le dispositif pour faciliter la mise en place d'expérimentations ; d'identifier les seuils de perception tactile adéquats et d'évaluer l'efficacité de stratégies de navigation non visuelles. Les limites mises en évidence ont permis d'imaginer de nouvelles approches combinant la TactiNET avec des stratégies sonores dans de nouveaux projets impliquant un partenaire industriel.



L'essentiel de la production scientifique liée au projet peut être décrite selon trois grands axes : les conférences dans le domaine de l'Interaction Homme Machine et l'accessibilité (HYPERTEXT2014, ANT2015, IHM2015, ASSETS2015, NordiCHI2016), du Traitement Automatique des Langues et du Document (CIDE2013, COLING2014, ISWAG2015, TALN2015) et les conférences autour de travaux exploitant des éléments développés pour la TactiNET (ASSETS2016, INTERSPEECH2016, TALN2016). Un workshop (Interface Tal-Ihm - ITI) fédérant les deux communautés du TAL et de l'IHM a également pu être initié dans le cadre de la conférence TALN2015. La date de soutenance de la thèse financée par le projet, sous réserve de l'avis des rapporteurs, est fixée au 14 décembre 2016. La communication autour du projet a produit de nombreux supports de communication (site Web, démonstrations pour les fêtes de la science, journées autour du handicap dans des fab lab..).

Le projet ART-ADN est un projet de recherche fondamentale coordonné par le laboratoire GREYC. Il associe aussi l'association CECITIX, ainsi que le laboratoire PALM. Le projet a commencé le 28 mars 2013 et a duré 42 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 266201,85 € pour un coût global de l'ordre de 610299,79 €.

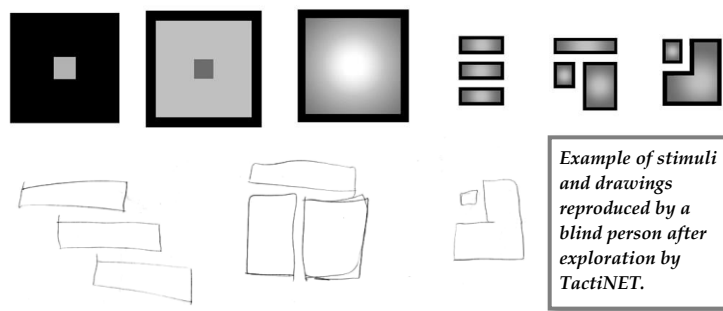
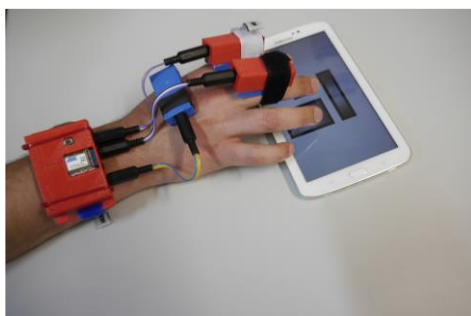
B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

TactiNET: towards a vibro-tactile tool for accessing the organization of Internet pages

Improving non-visual access to the Internet on mobile devices by transforming the light vibrations emitted by the screen into vibro-tactile stimuli. The past decade has witnessed a strong development of computer technologies for favoring the non-visual access to digital media. Speech synthesis and braille are the main used techniques. However, these two interfaces are impractical, discrete and ineffective on nomadic media for which tactile interaction is indispensable. Embedded technologies that produce synthesized speech of the text situated under the finger are interesting, but they are ineffective especially when navigating unknown documents that the organization of the various textual elements composes them must be learned and be understood in advance. It is imperative to allow a non-visual apprehension of the nomadic digital support, which is both global and naturally interactive by increasing the perception of the blind people for the tactile representation of the organization of the presented documents. Focusing on the Internet accessibility, our idea is to generate automatically "vibrant web pages" that are based on an intelligent transformation of the light contrasts emitted by the screen into tactile vibrations.

Developing an embedded software and a positional device on the body that are capable of producing vibrations driven by navigation over the screen. Our ambition is to replace the visual exploration capability of an individual who relies on the luminous vibration of the screen by a manual exploration capability based on the tactile vibration of actuators placed on the non-active hand. This idea runs counter to current attempts to produce intelligent technologies by designing complex applications whose human-machine coupling is thought upstream. Our system is able to translate as accurately as possible the information of contrasts towards one (or several) tactile modalities. The user is then responsible for the interpretation of the elements perceived and can independently make decisions that will facilitate the active discovery, learning or even circumvention of the intended uses. The blind person explores the world by pointing his cane to the obstacles and materials around him. We hope that the visual structures of the text can eventually play this role for the tactile exploration of documents, creating a sensory environment made up of "text sidewalks", graphic textures and marked paths orienting the movements of the "cane-finger".

The achieved works allowed to produce a functional prototype of TactiNET composed of vibro-tactile actuators (up to 8) and thermal (up to 2); to develop several software allowing to control the actuators, to extract the visual structure of the web pages, to construct a first graphic language and to parameterize the device remotely to facilitate the implementation of experiments; to identify appropriate tactile perception thresholds and to evaluate the effectiveness of non-visual navigation strategies. The limits highlighted made it possible to imagine new approaches combining TactiNET with sound strategies in new projects involving an industrial partner.



The scientific production related to the project can be described according to three main axes: conferences in the field of Computer Human Interaction and accessibility (HYPERTEXT2014, ANT2015, IHM2015, ASSETS2015, NordiCHI2016), automatic Processing of Languages and Documents (CIDE2013, COLING2014, ISWAG2015, TALN2015), and the conferences around works that exploit elements developed for TactiNET (ASSETS2016, INTERSPEECH2016, TALN2016). A workshop (Interface Tal-Ihm - ITI) that brought together the two NLP (Natural Language Processing) and CHI (Computer Human Interaction) communities was also initiated as part of the TALN2015 conference. The date of defense of the thesis financed by the project, subject to the opinion of the evaluators, was reserved on 14 December 2016. The communication during the project has produced numerous communication materials (website, demonstrations for the Science festival, days around disability, etc.).

The ART-ADN project is a fundamental research project coordinated by the GREYC laboratory. It also involves the CECITIX association, as well as the PALM laboratory. The project began on 28 March 2013 and lasted 42 months. It received ANR aid of 266201.85€ for an overall cost of 610299.79€.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE (NON CONFIDENTIEL)

C.1 RESUME DU MEMOIRE

La décennie écoulée a vu un fort développement des technologies informatiques favorisant un accès non visuel aux supports numériques. La synthèse vocale et la plage braille sont les principales techniques utilisées. Cependant, ces deux interfaces sont peu pratiques, discrètes et efficaces sur des supports nomades pour lesquels l'interaction tactile est indispensable. Les technologies embarquées qui oralisent le texte survolé par le doigt sont intéressantes mais très rébarbatives quand il s'agit de naviguer sur des documents inconnus et dont il faut préalablement apprendre l'organisation des différents éléments textuels qui les composent. Il est impératif de permettre une appréhension non visuelle du support numérique nomade qui soit à la fois globale et naturellement interactive en augmentant la perception des non-voyants d'une représentation tactile de l'organisation des interfaces et des documents présentées. En se focalisant sur l'accessibilité de l'Internet, notre idée est de générer automatiquement des « pages Web vibrantes », basées sur une transformation intelligente des contrastes lumineux émis par l'écran en vibrations tactiles. Notre ambition est de remplacer la capacité d'exploration visuelle d'un individu, qui s'appuie sur la vibration lumineuse de l'écran, par une capacité d'exploration manuelle, qui s'appuie sur la vibration tactile d'actionneurs placés sur la main non active. Notre système est capable de traduire le plus fidèlement possible les informations de contrastes vers une (ou plusieurs) modalités tactiles. L'utilisateur a alors à sa charge l'interprétation des éléments perçus et peut prendre en autonomie des décisions qui faciliteront la découverte active, l'apprentissage voire le contournement des usages prévus initialement. Le non-voyant explore le monde en se dirigeant grâce aux contacts de sa canne avec les obstacles et les matériaux autour de lui ; nous souhaitons que les structures visuelles du texte puissent à terme jouer ce rôle pour l'exploration tactile des documents, en créant un environnement sensoriel fait de « trottoirs textuels », de textures graphiques et de chemins balisés orientant les mouvements de la « canne-doigt ».

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Le paradigme économique-sociétal qui dessine les contours qui circonscrivent notre projet est la lutte contre l'info-exclusion des déficients visuels ; que celle-ci provienne d'une déficience de l'accessibilité, de la difficulté d'un apprentissage, d'une solution intrusive difficilement acceptable ou d'un coût matériel prohibitif.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) évalue qu'au niveau mondial près de 314 millions de personnes sont atteintes de déficience visuelle due à diverses causes (39% dues à la cataracte liée à l'âge), dont 45 millions sont aveugles. Grâce aux progrès thérapeutiques, le nombre des aveugles est en diminution. En revanche, les publics malvoyants s'accroissent. On parle aussi de basse vision ou d'amblyopie ou encore de vision réduite. Un rapport produit en 2000 par l'Agefiph (Fonds pour l'Insertion Professionnelle des Personnes Handicapées) mentionne qu'en France, au-delà des corrections dues au vieillissement, environ 10 % de la population connaît des difficultés visuelles à des degrés divers. Selon une estimation établie sur le croisement d'informations issues des services de santé, des organismes spécialisés (scolaires et professionnels), des CDES (Commission Départementale de l'Éducation Spéciale) ou des COTOREP (COMmission Technique d'OrientatiON et de REclassement Professionnel) et du ministère des Finances, sur 750 000 naissances annuelles environ 100 000 personnes ont ou auront un problème de vision. Aujourd'hui, les aveugles représentent environ 1 Français sur 1 000. On estime à environ 77 000 leur nombre en France, dont 15 000 ont appris le Braille ; et 7000 seulement le pratiqueraient. Un enjeu du projet est le développement des connaissances qui permettront d'améliorer l'accès au Web pour les non-voyants et en particulier par cette majorité qui ne pratique pas le Braille ; également, dans une démarche *design for all*, nous espérons ainsi l'émergence d'usages transposables vers les personnes ayant une déficience visuelle due au vieillissement, facteur important de la perte d'autonomie et de la difficulté de maintien à domicile. Cet objectif est mené dans un contexte de prolifération de nouveaux supports de communication mobile, de développement accru des réseaux et de profusion des documents électroniques. Un besoin évident de nouvelles interfaces pour accéder à de nouveaux contenus émerge parallèlement à des prouesses technologiques embarquées de moins en moins coûteuses. Le second enjeu de notre projet est de proposer des solutions qui utilisent les avantages de ces nouveaux dispositifs puissants tout en dépassant leurs inconvénients et les limites imposées par les interfaces et les technologies classiques utilisées par les usagers non-voyants.

Ces dernières années, poussées par des politiques en faveur de l'accessibilité des dispositifs nomades multitouches (Smartphones et tablettes numériques), de nouvelles solutions logicielles ont émergées afin de permettre une manipulation essentiellement tactilo-orale. Ces technologies, intégrées nativement, permettent l'oralisation d'informations sur un élément d'interface au simple survol des doigts sur l'écran. Pourtant ces solutions, très appréciés pour l'accès à l'interface et à certaines pages Web fréquemment parcourues, s'avèrent insuffisantes lors d'une primo-lecture du document : le non-voyant doit faire glisser son doigt sur la surface totale de l'écran pour prendre connaissance de tous les éléments accessibles et se donner une représentation exploitable du contenu informationnel. Dans ces conditions l'usage qui est fait des dispositifs tactiles est fortement « utilitaire » et n'incite pas à la découverte autonome. En dépit de ces développements logiciels et technologiques, aucune solution satisfaisante n'est proposée pour compenser l'absence de ce « premier regard » posé sur la page et qui permet aux voyants de développer des stratégies

de lecture de haut niveau. Alors que la prise rapide et globale de l'information fournie par la structure visuelle du document ou de l'interface offre la possibilité au lecteur voyant de pointer directement les yeux un élément de l'écran sans passer par ce qui le précède, notre solution non visuelle, confrontée aux tentatives anciennes et récentes, œuvre dans ce sens.

Peu de concepteurs de synthèses de la parole à partir de textes ont vu qu'une « évolution intéressante nécessiterait de déborder du cadre de la phrase, objet de la syntaxe (d'aller peut-être jusqu'au paragraphe, voire à une hiérarchisation du document, pour ne pas lire de façon linéaire, par exemple, les titres, les chapitres ou les notes de bas de page), et d'étudier dans quelle mesure il existe, dans les formes, des indices permettant de prendre en compte le sens » (Boula de Mareuil, 2001), (Mertens, 2001). Lorsque nous observons les systèmes récents nous remarquons que la mise en forme a très peu à pas d'influence sur le calcul de la prosodie de la voix de synthèse. Une proposition a malgré tout été faite dans le but de transposer l'architecture visuelle des textes vers la modalité orale à l'aide de stratégies variées (Maurel, 2003). La double conclusion de ce travail fut que (1) la transposition de la structure visuelle en patterns intonatifs peut améliorer l'efficacité des synthèses de la parole, mais que (2) le manque de vision précoce et globale dégrade les capacités cognitives par rapport à la lecture silencieuse. Une solution alternative ou complémentaire doit être trouvée dans la modalité tactile. Pour résoudre ce problème, peu d'études sont proposées par la communauté scientifique.

Tout d'abord, (Rotard, 2005) propose un navigateur Web tactile qui affiche les textes et les graphiques sur un écran tactile en conservant la structure bidimensionnelle. Deux modes sont proposés selon que l'image est bitmap ou vectorielle. Bien que cette solution soit intéressante, elle nécessite un dispositif coûteux et ne peut être exploitée avec des dispositifs mobiles. De plus, les personnes non-voyantes renâclent à utiliser un matériel trop spécifique qui risquerait de favoriser l'exclusion sociale. Plus récemment, (Alaeldin, 2011) a présenté une solution à bas coût embarquée dans une plateforme composée d'un microcontrôleur communiquant avec les serveurs pour acquérir le texte des pages demandées par le navigateur. Celui-ci est ensuite affiché par un tableau de solénoïdes procurant la sensation tactile désirée. Les usagers non-voyants sont alors capables de reconnaître le texte produit en langage Braille. Mais cette solution, en plus de nécessiter un dispositif spécifique et encombrant, ne permet pas une perception de la structure visuelle des textes. Dans le contexte de notre travail, (Bou Issa, 2009) propose la solution la plus innovante. Elle consiste à détecter l'information visuelle signifiante dans un document ou une image, extraire ses propriétés et les réarranger pour produire une sortie accessible. Le modèle, appelé MAP-RDF, est implanté dans un environnement matériel/logiciel qui peut fournir des sorties tactiles ou/et orales. C'est une solution intéressante dans le fait qu'elle permet une perception globale de la structure de la page Web ; cela-dit elle n'est envisageable que dans le cas de documents bien structurés et qui contiennent des métadatas, ce qui est rare pour la plupart des pages Web. De plus, le traitement nécessaire à l'analyse de la page ne permet pas une réactivité temps réel du système. Pour résoudre les différents problèmes évoqués, nous proposons une idée basée sur les travaux de (Ziat, 2007) et dans lesquels des expériences sont basées sur un appareil appelé Tactos (Gapenne, 2003). Tactos est composé de trois éléments : un ordinateur, des stimulateurs tactiles (deux cellules Brailles avec 8 picots) et une tablette graphique accompagnée de son stylet. Le dispositif permet la reconnaissance non visuelle des écritures et dessins affichés sur l'écran. Chaque forme est perçue de manière haptique en fonction des mouvements du stylet sur la tablette représentant les déplacements du pointeur

de la souris. Chaque fois que le curseur traverse la forme, l'utilisateur le ressent par l'intermédiaire des stimulateurs placés sous un doigt de son autre main.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

En nous inspirant de cette solution, nous proposons un dispositif de perception haptique de l'architecture visuelle des documents et des interfaces présentés sur des tablettes numériques. Pour cela, les pages Web sont automatiquement transformées en leur structure visuelle afin que le non-voyant, équipé d'un dispositif adéquat, puisse balayer l'écran et capter les contrastes lumineux en niveaux de gris au travers de variations vibrotactiles (la vibration est d'autant plus faible que la lumière est blanche). Ainsi, l'architecture visuelle est transformée en « pages vibrantes » qui servent à la fois de vues globales de la structure visuelle et de support interactif à la navigation. Conjointement aux développements de notre système innovant, une collaboration pluridisciplinaire est nécessaire pour (1) augmenter des pages Web réelles d'une macro-structuration des contenus, (2) confronter notre prothèse sensorielle aux connaissances en matière de perception tactile et de relations entre modalités et (3) de construire une évaluation du couplage homme machine induit et de son impact sur la communauté déficiente visuelle et ses usages.

Ces objectifs ont conduit la définition et l'organisation des différentes étapes qui ont jalonné le projet :

- Conception et développement du dispositif « hardware »
- Conception et développement du dispositif « software »
- Développement d'une architecture modulaire d'extraction des structures visuelle de pages Web
- Production d'un langage graphique adapté à la sensibilité du dispositif
- Mise en place d'une plateforme d'expérimentation et d'une démarche d'évaluation

L'activité a été répartie dans des groupes de travail pluridisciplinaires affectés à la réalisation des objectifs décrits dans chaque lot de tâche du projet :

Lot de tâches LT1 - Groupe de travail « segmentation » (prestataire de service SEMIOTIME et GREYC – équipe HULTECH et Image)

Lot de tâches LT2.1 - Groupe de travail « langage graphique » (PALM et GREYC – équipe HULTECH)

Lot de tâches LT2.2 - Groupe de travail « prototype » (PALM et GREYC – équipe électronique et HULTECH)

Lot de tâches LT3 - Groupe de travail « interactions » (PALM et GREYC – équipe électronique et HULTECH)

Lot de tâches LT4 - Groupe de travail « évaluation » (PALM et GREYC – équipe HULTECH)

C.4 RESULTATS OBTENUS (LIVRABLES EN ROUGE DANS LE TEXTE)

LT1 : de la page Web aux objets structurel

Un recueil d'URL de pages Web en français a été constitué par l'équipe HULTECH autour de trois domaines choisis par l'ensemble du consortium. Il fallait que chacun des domaines

fournisse des pages typiques par leur structure visuelle et corresponde à un besoin important pour les non-voyants. Nous avons sélectionné les sites permettant (1) de s’informer en ligne, (2) d’acheter en ligne, (3) d’organiser ses voyages en ligne. Pour chaque domaine les pages sont regroupées selon qu’elles ont le statut de portail ou de page interne.

Type de page	e-commerce	Information	Tourisme	Total
Portail	100	100	100	300
Page Interne	200	200	200	600
Total	300	300	300	900

L’entreprise SEMIOTIME a été sélectionnée par un appel d’offre pour fournir un outil d’extraction des informations d’une page Web à partir d’une URL. L’entreprise a développé et mis en ligne **un web service acceptant en entrée une URL et produisant en sortie un fichier unique** intégrant dans tous les éléments HTML l’ensemble des informations de disposition et de style. Pour cela *Selenium Web Driver* et *PhantomJS* sont utilisés pour obtenir la structure visuelle d’une page Web en injectant du code *Javascript* dans le code HTML interprété par le navigateur. Cette phase intègre de l’information additionnelle à chaque élément HTML telle que le XPATH, les *bounding box*, les styles CSS. Nous avons nommé ce format de sortie « HTML augmenté » ou « HTML+ ». En plus du fichier HTML+, le service fourni le code HTML original, une image de la page Web et un fichier SVG représentant en deux dimensions les *bounding box*. La constitution du recueil d’URL et la mise en place du service ont permis de constituer un **corpus de 900 fichiers dans ces 4 différents formats**, utilisées dans les étapes suivantes pour caractériser notre objet d’étude et tester notre algorithme de segmentation. D’autres informations ont été précisées et analysées pour chaque page lors de la constitution du corpus, telles que le nombre d’erreurs d’accessibilité, les technologies utilisées pour construire la page, le nombre de composants particuliers (publicités, *widgets*, flux RSS...), le CMS utilisé.



Figure 1 : clustérisation du contenu de la page www.w3schools.com en 4 zones

L’équipe HULTECH a développé un algorithme de segmentation après avoir testé plusieurs approches avec les outils existants ou des développements inspirés du traitement d’image, en particulier de la morphologie mathématique. Le choix s’est porté finalement sur un **algorithme supervisé de clustérisation agglomérative basée sur les graphes**. Les deux étapes principales de l’algorithme reposent sur un premier principe de filtrage pour éliminer l’ensemble des éléments HTML qui ne participent pas aux aspects visuels de la page

(éléments invisibles, plats, sans contenus directs...). Cette étape permet de faciliter la phase de clustérisation agglomérative supervisée en tant que telle, qui consiste à regrouper les éléments restants en un nombre de zones défini en entrée de l'algorithme, en s'appuyant sur une représentation en graphe de la page Web accompagné de mesures de distance et de similarité (figure 1). L'ensemble des trois livrables constitue notre système automatique de macro-structuration des pages Web et a conduit à plusieurs publications (COLING2014, ISWAG2015, ANT2015).

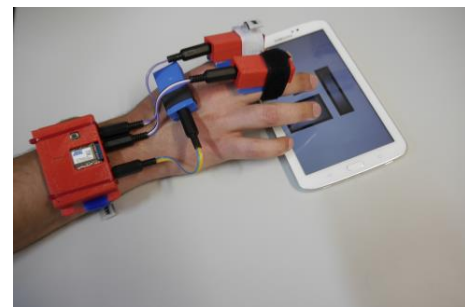
LT2.2 : des pages augmentées aux pages vibrantes

Les lots LT2.1 et LT2.2 ont été partiellement ordonnés temporellement plutôt que réalisés en parallèle. Il s'est avéré plus efficace de concevoir en premier lieu la TactiNET pour adapter dans un deuxième temps le langage graphique à ses possibilités.

L'objectif principal est de produire un dispositif matériel ayant une richesse expressive la plus large possible. Nous avons fait un effort particulier pour rendre indépendant 3 éléments de langage tactile afin de pouvoir les combiner en stimuli variés : les actionneurs vibrotactiles peuvent contrôler (1) leur fréquence et (2) leur amplitude de vibration de manière indépendante. Nous avons rajouté (3) un actionneur thermique capable de chauffer ou refroidir instantanément. A l'instar des contrastes de mis en forme des documents, la combinaison des différentes fréquences, amplitudes et chaleurs fourniront les bases de construction d'un paysage tactile relativement riche.



La tablette réagit au survol du doigt en envoyant par Bluetooth à un micro-contrôleur les indications de fréquence et d'amplitude des actionneurs branchés en plus-and-plus.



Le cahier des charges mis en place par le consortium et respecté par les ingénieurs a prévu de pouvoir contrôler jusqu'à 8 actionneurs vibrotactiles et 2 actionneurs thermiques. La communication sans fil entre tablette et actionneurs, gérée par un **logiciel embarqué**, permet un placement sur n'importe quelle partie du corps (**détails techniques du dispositif** fournis dans un fichier annexe). Nous avons nommé ce dispositif **la TactiNET**. Les contributions scientifiques sur le dispositif ont été faites à CIDE2013, HYPERTEXT2014, IHM2015).

LT2.1 : des objets structurels aux pages augmentées

Afin de faire le lien entre nos pages Web macro-structurées en zones et les capacités de la TactiNET, il faut construire des textures qui recouvriront nos zones et dont les caractéristiques contrôleront les choix de fréquence, d'amplitude et de chaleur.

Par exemple :

- la taille de la zone contrôle l'amplitude ;
- le niveau de gris de la couleur survolée contrôle la fréquence ;
- la teinte de la couleur contrôle le ressenti thermique (chaud ou froid)
- le niveau de saturation de la couleur survolée contrôle le niveau de chaleur ou fraîcheur ;

Ainsi, de la même manière qu'une page Web peut être en quelques secondes catégorisée grâce à sa structure visuelle, elle pourrait l'être par sa structure tactile : un site de e-commerce ne vibrerait pas comme un site d'information.

Pour mettre en place l'évaluation de telles stratégies il s'agit d'évaluer les seuils perceptifs de nos paramètres (fréquence, amplitude, chaleur), c'est-à-dire les intervalles minimaux de variation qui permettent la distinction entre deux seuils. Nous n'avons pu réaliser ce travail que pour la fréquence et l'amplitude. A partir de ces résultats nous avons développé le **logiciel embarqué dans la tablette pour automatiser la transformation des pages** au format HTML+ en zones texturées adaptées en taille et en variation de niveaux de gris aux seuils perceptifs découverts. Les résultats ont été publiés dans ASSETS2015 et NordiCHI2016 (commune aux deux laboratoires impliqués dans le consortium)

Lot de tâches LT3 – des pages vibrantes au pages vibrantes interactives

Le dispositif est d'ores et déjà utilisable mais le travail en profondeur sur les possibilités d'interaction pour rendre le dispositif utile (accéder au contenu informationnel des zones) n'est pas encore prévu ; il ne pourra être fait que lorsque la démarche expérimentale aura permis d'étudier toutes les possibilités du dispositif pour capter la structure visuelle. Nous n'avons pour l'instant évalué la navigation qu'avec un seul actionneur vibrotactile et donc un seul doigt sur l'écran. Malgré cette forte limite, nous avons des résultats prometteurs qui nous engagent à poursuivre cette recherche. Les perspectives sont de combiner la TactiNET avec les technologies d'accessibilité embarquées comme *VoiceOver* chez Apple pour réduire les limitations. Les premières conclusions nous ont également permis d'écrire un nouveau projet axé sur la perception globale et tactilo-orale de la structure visuelle des pages Web.

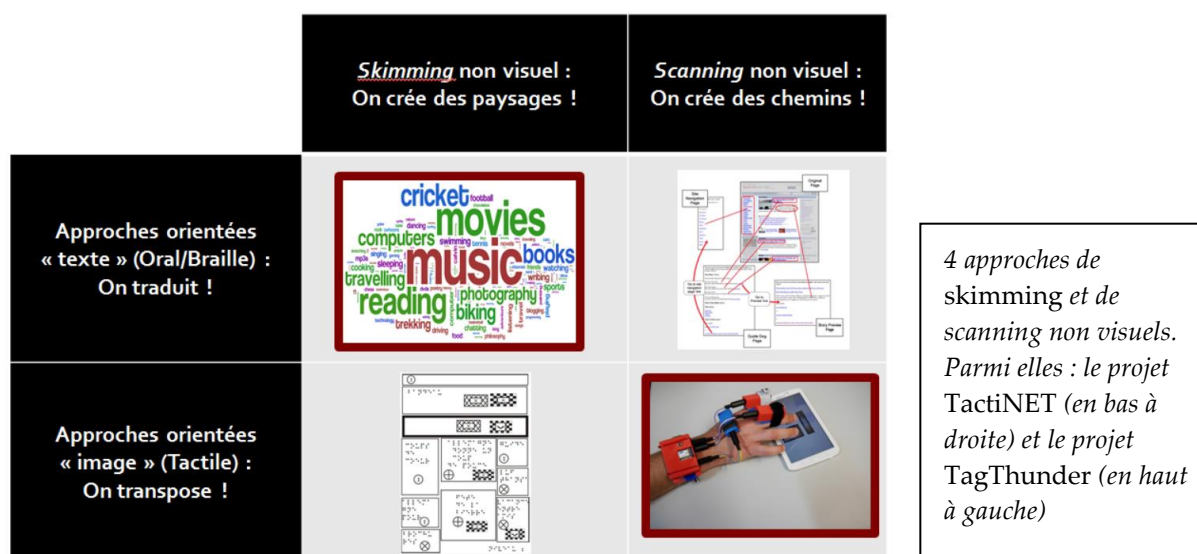
Lot de tâches LT4 – évaluations expérimentales

Outre les évaluations intermédiaires discutées dans LT2.1, une évaluation finale a été menée auprès de non-voyants pour observer, filmer et mesurer l'efficacité des stratégies de navigation mises en place lors d'exploration de nos stimuli avec la TactiNET. Les nombreuses données objectives et subjectives recueillies n'ont pas encore été étudiées dans leur ensemble. Les premiers résultats, encore non publiés, semblent montrer une grande variabilité dans la capacité à exploiter facilement notre outil en fonction de la précocité de la cécité et de l'habitation aux technologies tactiles : les meilleurs sont capables de redessiner des formes simples issues de la structure visuelle des pages Web de notre corpus et leur organisation spatiale après une exploration relativement brève (Cf. illustration du résumé consolidé) ; les moins à l'aise sont dans l'incapacité de réussir un tel exercice. Toutefois, nous pensons que cette diversité pourrait être largement réduite avec un entraînement sur un plus long terme. L'ensemble des résultats sera disponible dès la publication de **la thèse de Waseem Safi le 14 décembre 2016** et ouvriront à des publications communes aux deux partenaires impliqués dans le consortium.

C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS ET DISCUSSION CONCLUSIVE

Les livrables qui ont jalonné les différentes étapes du projet sont tous la marque d'un résultat exploitable technologiquement et/ou scientifiquement. En particulier la conception de la TactiNET ouvre de nombreuses perspectives pour mettre en place de nouvelles expérimentations en les enrichissant par pallier de toutes les possibilités offertes par l'outil. D'autant plus que la plateforme d'expérimentation développée, déjà complète et entièrement paramétrable, favorise une collaboration efficace avec les psychologues.

D'un point de vue scientifique, les résultats ont permis de mieux circonscrire notre problématique dans les études existantes pour en voir les limites et les avantages et ainsi proposer une démarche d'amélioration continue de notre recherche. En particulier dans la problématique générale de la substitution sensorielle en vue du développement d'une lecture non visuelle de haut niveau (lecture rapide, en diagonale, ...) nous distinguons deux grandes stratégies : le *skimming* (ou survol) et le *scanning* (le balayage). Lorsqu'elles sont visuelles, elles sont complémentaires et s'appuient sur une prise d'information alternativement locale et globale. La page de texte est donc perçue par le lecteur à la fois comme du contenu articulable mais également comme une image de la page de texte. Nos résultats, nous indiquent que la TactiNET peut remplir une partie de ce rôle en transposant dans le monde tactile l'image de la page et faciliter un *scanning* non visuel : la non instantanéité de la perception tactile de la structure visuelle globale sera difficile à surmonter pour espérer faire émerger un véritable *skimming* non visuel. Cela nous a conduit à développer un nouveau concept basé sur de la synthèse de parole concurrente (concept de tonnerre de mot ou *Tag Thunder*) qui pourra venir augmenter les possibilités offertes par la TactiNET d'une fonction de *skimming* : le contenu articulable sélectionné indiquera oralement l'organisation logico-thématique des éléments de la page et permettra de diriger la TactiNET pour se frayer un chemin tactile jusqu'à l'information désirée. L'architecture modulaire que nous avons développée pour extraire la structure visuelle a pu être réutilisée, complétée, testée et publiée à cet effet dans le cadre d'un premier financement CPER. Cette approche a donc naturellement été l'objet d'une réponse à l'appel à projet ANR actuel en partenariat avec un industriel qui souhaite intégrer ce concept dans l'application qu'il développe autour de l'accessibilité des sites institutionnels.



Le Web complexifie les paysages et multiplie les chemins !

C.6 REFERENCES

(Alaeldin, 2011) Alaeldin A., Mustafa Y., Sharief B., Tactile Web Navigator Device for Blind and Visually Impaired People. In Proceedings of the 2011 Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies Conference, (2011).

(Bou Issa, 2009) Bou Issa, Y., Mojahid, M., Oriola, B., Vigouroux, N., Accessibility for the Blind, an Automated Audio/Tactile Description of Pictures in Digital Documents. IEEE International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications, pages 591-594, (2009).

(Boula de Mareuil, 2001) Boula de Mareuil, P., Célérrier, P., Cesses, T., Fabre, S., Jobin, C., Le Meur, P.-Y., Obadia, D., Soulage, B., Toën, J., Elan Text-To-Speech : un système multilingue de synthèse de la parole à partir du texte, Traitement automatique des langues ; Vol. 42(1) - Synthèse de la parole à partir du texte, pp. 223-252, 2001.

(Gapenne, 2003) Gapenne, O., Rovira, K., Ali Ammar, A., Lenay, C.: Tactos: Special computer interface for the reading and writing of 2D forms in blind people. In: Stephanidis, C. (ed.) Universal Access in HCI: Inclusive Design in the Information Society, pp. 1270–1274. Lawrence Erlbaum Associates, London (2003)

(Maurel, 2003) Maurel, F., Vigouroux, N., Raynal, M., Oriola, B., Contribution of the Transmodality Concept to Improve Web Accessibility, In M. Mokhtari (eds). Assistive Technology Series Vol.12 (Proceedings of the first International Conference On Smart Homes and Health Telematics – Independent Living for Persons with Disabilities and Elderly People). Chapter 4 - Computer Accessibility, IOS Press, Amsterdam, pages 186-193, (2003).

(Mertens, 2001) Mertens, P., Goldman, J.-P., Wehrli, E., Gaudinat, A. (2001). La synthèse de l'intonation à partir de structures syntaxiques riches, Traitement automatique des langues - Synthèse de la parole à partir du texte, Vol. 42(1), pp. 145-192, 2001.

(Rotard, 2005) Rotard, M., Knödler, S., Ertl, T., A Tactile Web Browser for the Visually Disabled. In Proceedings of the sixteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia. ACM, New York, NY, USA, pages 15-22, (2005).

(Ziat, 2007) Ziat, M., Gapenne, O., Stewart, J., Lenay, C., Interacting with Computers 19, pages 121-132, (2007).

D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
mars 2014	1	Corpus de pages Web	données	<u>HULTECH</u>	
mars 2014	2	Système automatique de structuration de pages Web	algorithmes	<u>HULTECH</u> - SEMIOTIME	Le partenaire du dossier scientifique est devenu prestataire de service lors de la négociation
abandon	3	prototypes de recherche opérationnels (capteur de lumière)	prototype	<u>GREYC</u> (électronique)	Une version a préexisté au projet mais les tests ont montrés qu'il valait mieux se consacrer directement à la seconde solution.
Août 2014	4	prototypes de recherche opérationnels (capteur logiciel)	prototype	<u>GREYC</u> (électronique)	
Mars 2015	5	Recommandations pour la perception de vibrations	Données, rapport	<u>PALM</u>	fréquence et amplitude
Septembre 2015	6	Langage graphique	rapport	<u>PALM</u> - HULTECH	
Mars 2016	7 - 8	Solution logicielle complète	Prototype, logiciels et algorithmes	<u>HULTECH</u>	Utilisable en laboratoire mais intégration à terminer
Juillet 2016	9	Evaluation finale	Données - Rapport	<u>PALM</u> - HULTECH	Toutes les données ne sont pas exploitées

E IMPACT DU PROJET

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)	1 (NordiCHI2016)	5 (COLING2014, HYPERTEXT2014, ISWAG2015, ANT2015, ASSETS2015)
France	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)		3 (CIDE2013, TALN2015, IHM2015)
Actions de diffusion	Articles vulgarisation		1 Symposium sur l'interprétation à Tatihou
	Conférences vulgarisation		3 (Rouen, 2 Journées Handicap au Dôme)
	Autres		3 (2 fêtes de la science et FIGT2012)

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation (obtention / cession)	
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	CPER NUMNIE
Colloques scientifiques	Workshop Interface Tal-Ihm (ITI) pendant la conférence TALN2015
Autres (préciser)	

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

1. Safi, W., Maurel, F., Routoure, J.-M., Beust, P., Molina, M., Sann, C. 2016. An Empirical Study for Examining the Performance of Visually Impaired People in Discriminating Ranges of Frequencies through Vibro-tactile Feedbacks. Workshop on the Future of Books and Reading in HCI at the NordiCHI 2016 conference, in press.
2. Maurel, F., Safi, W., (2015), "La TactiNET : toucher le Web... Pour mieux l'entendre", IHM2015, 27 e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine ,Octobre 27-30, 2015, Toulouse, France.

3. Safi, W., Maurel, F., Routoure, J-M., Beust, P., & Dias, G. (2015). "An Empirical Study for Examining the Performance of Visually Impaired People in Recognizing Shapes through a Vibro-tactile Feedback". ASSETS2015, the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, October 26-28, 2015, Lisbon, Portugal.
4. Safi, W., Maurel, F., Routoure, J-M., Beust, P., & Dias, G. (2015). "Blind Navigation of Web Pages on Touch Screen Devices". First Workshop ITI - Interface Tal-Ihm : Handicap – Texte – Interprétation, associated with 22ème Conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN2015). Caen, France, June 22.
5. Safi, W., Maurel, F., Routoure, J-M., Beust, P., & Dias, G. (2015). "Web-Adapted Supervised Segmentation to Improve a New Tactile Vision Sensory Substitution (TVSS) Technology". 6th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2015). London, UK, June 2-5.
6. Safi, W., Maurel, F., Routoure, J-M., Beust, P., & Dias, G. (2015). "Supervised Segmentation of Web Pages for Vibro-Tactile Access on Touch-Screen Devices". 1st International Symposium on Web Algorithms (ISWAG 2015). Deauville, France, June 2-3. 2014
7. Safi, W., Maurel, F., Routoure, J-M., Beust, P. & Dias, G. (2014). "Blind Browsing on Hand-Held Devices: Touching the Web to Understand it Better". Data Visualization Workshop (DataWiz 2014) associated to 25th ACM Conference on Hypertext and Social Media (HYPERTEXT 2014 – Rank A). Santiago, Chile, September 1.
8. Safi W., Maurel, F., Routoure, J-M., Beust, P. & Dias, G. (2014). "A Hybrid Segmentation of Web Pages for Vibro-Tactile Access on Touch-Screen Devices". 3rd Workshop on Vision and Language (VL 2014) associated to 25th International Conference on Computational Linguistics (COLING 2014 – Rank A). Dublin, Ireland, August 23. 2013
9. Fabrice Maurel, Waseem Safi, Pierre Beust, Jean-Marc Routoure, "Navigation aveugle sur dispositifs mobiles : toucher le Web... pour mieux l'entendre", 16 Colloque International sur le Document Electronique (CIDE 2013), Lille, France, November

E.3 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

- La TactiNET - <https://art-adn.greyc.fr/>
- Extracteur de structure visuelle de pages Web (pour une démo, voir son exploitation actuelle dans le projet Tag Thunder - <https://tagthunder.greyc.fr/demo/> réalisé dans le cadre d'un CPER)
- Réponse appel à projets avec l'industriel STARNAV pour intégration avec son logiciel HeadPilot - <http://www.access-man.com/produits/head-pilot/>)
- Plateforme d'expérimentation de la perception des fréquences et amplitudes vibratoires pour les psychologues

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Constantin Radu	H	constantin.radu@ensicaen.fr	Octobre 2016	Master 2	France		GREYC	Ingénieur d'étude	6	Aout 2014	CDD	Enseignement et recherche publique	Ingénieur	Oui	Oui
Jessica Guilbert	F	j-guilbert@hotmail.fr	Octobre 2016	Doctorat	France		PALM	Post-doc	12	Juin 2016	CDI	Enseignement et recherche publique	Mcf	Non	Oui
Waseem Safi	H	Waseem.safi@unicaen.fr	Novembre 2016	Master 2	France et Syrie	Ingénieur (1 an en syrie)	GREYC	Doctorant	36	Août 2016	CDD	Enseignement et recherche publique	ATER	Oui	Oui