
Vers la diffusion d'itinéraires adaptés, adaptables et adaptatifs pour des personnes à mobilité réduite

Michel David Nebnoma Sawadogo¹, Frédéric Hubert¹, Mir Abolfazl Mostafavi^{1,2}, Patrick Morales Coayla¹

1. Centre de Recherche en Géomatique, Université Laval
G1V 0A6 Québec, Québec, Canada
michel-david-nebnoma.sawadogo.1@ulaval.ca, frederic.hubert@scg.ulaval.ca,
mir-abolfazl.mostafavi@scg.ulaval.ca, patrick.morales-coayla.1@ulaval.ca

2. Centre Interdisciplinaire de Recherche en Réadaptation et Intégration Sociale
525, boul. Wilfrid-Hamel, bureau H-1312 Québec (Québec) G1M 2S8

Résumé. Les travaux de cet article s'inscrivent dans le cadre du projet MobiliSIG dont l'objectif est de développer un outil mobile et multimodal d'assistance au déplacement de personnes à mobilité réduite, avec pour lieu d'expérimentation la ville de Québec au Canada. Le projet MobiliSIG se concentre sur la construction d'une base de données d'accessibilité en faisant interagir les facteurs environnementaux et les facteurs personnels de la personne à mobilité réduite. Les travaux effectués dans le cadre de cet article visent à définir la diffusion d'itinéraires adaptés, adaptables et adaptatifs liés à des contextes multi-utilisateurs, multiplateformes, multimodaux (interfaces utilisateurs) et multi-environnements. Plusieurs scénarios permettront d'identifier les représentations souhaitées de l'itinéraire et de proposer une architecture pour permettre la diffusion de ces itinéraires à travers le web.

ABSTRACT. This paper presents a part of research work carried out within MobiliSIG project which aims to design and develop a multimodal mobile technology for helping people with disabilities to navigate in Quebec City (Canada) as an experimentation location. MobiliSIG project focuses on building an accessibility database based on environmental factors and personal factors of people with disabilities. The works done in the framework of this article aim to define adapted, adaptable and adaptive itineraries related to multi-user, multiplatform, multimodal (user interfaces) and multi-environment contexts. Here, we will define several scenarios which will allow us to identify different desired representations of the itinerary and to propose an architecture for their communication through the web.

MOTS-CLÉS : Diffusion web, itinéraire, multimodalité, appareils mobiles, mobilité réduite, fauteuil roulant, accessibilité

KEYWORDS: Web diffusion, itinerary, multimodality, mobility, Mobile devices, wheelchair, accessibility

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

1. Introduction

Les activités quotidiennes en ville telles que se rendre à son lieu de travail, à des services gouvernementaux, à des banques ou à toute autre activité socio-économiques et culturelles mènent tout être humain à se déplacer dans son environnement en milieu urbain. En 2014, l'OMS¹ informe que plus d'un milliard de personnes serait en situation de handicap dans le monde (15 % de la population mondiale), se ralliant ainsi aux statistiques de Santé Canada: 3 300 000 canadiens avec un handicap, dont 200 000 en fauteuils roulant. Bien que destinés à faciliter les déplacements, les GPS portables et embarqués dans les voitures ou Google Maps Navigation sur téléphones intelligents se révèlent aussi souvent être très limités et limitatifs lorsqu'utilisés par des personnes avec incapacités physiques (ex. handicap moteur). Divers projets d'assistance à la navigation et d'accessibilité ont ainsi vu le jour à travers le monde, suite à des initiatives d'organismes privés, publics ou associatifs, tels que les projets Route Accessible (Canada), WheelMap (Allemagne), AccesSIG, Handimap (France) ou AXSmap (USA). En général, ces projets proposent aux personnes à mobilité réduite de définir leur itinéraire ou d'utiliser des données ouvertes et le crowd sourcing pour collaborer et contribuer à l'information disponible sur l'accessibilité des bâtiments et places publics. Malgré cela, plusieurs limites subsistent, notamment liées à une prise en compte inadéquate des utilisateurs en fauteuil roulant tels que l'usage de données géospatiales non précises (axes routiers au lieu des trottoirs et allées), la perception de l'environnement par l'utilisateur ou encore la faible exploitation des interfaces multimodales.

Au Canada, un projet multidisciplinaire nommé MobiliSIG a vu le jour en 2013 pour répondre à cette problématique de déplacement des personnes à mobilité réduite avec la Ville de Québec (Canada) comme lieu d'expérimentation. Ce projet a pour but de concevoir et développer une solution technologique orientée web, proposant des interfaces et interactions multimodales sur des supports mobiles destinés et adaptés aux personnes à mobilité réduite en fauteuil roulant. Pour ce faire, le projet se réfère au modèle PPH (Processus de Production du Handicap) (Fougeyrollas, 2010) pour construire une base de données d'accessibilité définissant les interactions entre les facteurs environnementaux (ex. trottoirs, pente, type de pavage, ...) issus de relevés terrain et de données ouvertes de partenaires (Ville de Québec, Université Laval, ...) et les facteurs personnels de la personne (capacité, confiance, aptitude à effectuer une tâche sans aide, ...), obtenus par sondage et expériences en laboratoire dans le but ultime de répondre à des habitudes de vie (ex. se rendre à l'épicerie, ...).

Les travaux de recherche, présentés dans cet article, sont effectués dans le cadre du projet MobiliSIG, au niveau du processus de diffusion web d'itinéraires issus de l'interrogation de la base de données d'accessibilité. Tout en tenant compte du contexte général du projet MobiliSIG, cette diffusion est confrontée à plusieurs contraintes. La principale contrainte est la méconnaissance de la solution cliente

¹ Organisation mondiale de la santé (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs352/fr/>)

Itinéraires adaptés, adaptables et adaptatifs pour personnes en fauteuil roulant³

finale qui sera développée, étant donné la diversité des appareils mobiles et de leurs caractéristiques (système d'exploitation, taille d'écran, usage de la multimodalité, ...). Cette contrainte implique d'adapter le contenu à diffuser aux caractéristiques de l'appareil de l'utilisateur. Une deuxième contrainte émane de la diffusion web qui implique que l'application cliente puisse être développée à partir des navigateurs web ou de façon native, permettant l'accès ou non à certaines fonctionnalités des dispositifs mobiles (GPS, accéléromètre, ...). La prise en compte de l'utilisateur final est intimement liée aux précédentes contraintes, puisqu'il est nécessaire de lui proposer au final des données d'itinéraire et des données contextuelles adaptées aux modalités qui lui conviennent le mieux, ainsi qu'en fonction des contenus les plus appropriés selon le contexte d'usage de l'application finale (un PC ou une tablette à domicile ou au bureau, ou un téléphone intelligent pendant un déplacement).

Au regard de ces différentes contraintes, il se pose la question de recherche de savoir comment transmettre les informations d'itinéraire le plus adapté, le plus adaptable et le plus adaptatif possible au contexte d'usage des appareils mobiles dotés de capacités multimodales pour des personnes à mobilité réduite, tout en étant le plus générique possible. Par adapté, nous entendons un système qui est fait pour répondre aux besoins spécifiques d'un utilisateur après avoir pris en compte son profil. Un système est adaptable lorsque l'utilisateur peut modifier le comportement du système par des actions explicites (clic sur un bouton par exemple) pendant qu'il interagit avec celui-ci. Par contre, un système adaptatif est un système qui, pendant l'interaction avec l'utilisateur, sans action explicite de ce dernier, est capable de modifier son comportement en tenant compte du profil de l'utilisateur, ses préférences et ses habitudes. Notre objectif général de recherche consiste donc à concevoir et développer une infrastructure géo-informatique dédiée à la diffusion de données géospatiales et d'informations d'itinéraire propres à l'accessibilité des réseaux piétonniers selon les profils des personnes à mobilité réduite et à leurs dispositifs mobiles multimodaux suivant le contexte d'usage. L'objectif de cet article est d'identifier les besoins et les représentations voulues de l'itinéraire liés à cette diffusion afin de proposer une architecture fonctionnelle principalement orientée vers la conception de services web de diffusion d'itinéraire selon le contexte particulier de nos travaux. Nos travaux se veulent distinctifs en voulant offrir un système de diffusion web générique et flexible qui pourra servir les principales plateformes existantes en produisant des itinéraires répondant aux besoins particuliers des utilisateurs.

Dans la suite de cet article, nous présenterons dans la section 2 un état de l'art sur les interfaces multimodales, des solutions de planification de déplacements et d'aide à la navigation et la représentation des itinéraires. Ensuite, dans la section 3, nous décrirons des scénarios nous aidant à identifier les contraintes et besoins à la réalisation de notre projet. La section 4 proposera et décrira une architecture fonctionnelle. Enfin, dans les dernières sections, nous discuterons sur l'orientation de nos travaux relativement à la plasticité des interfaces homme-machine et sur la mise en œuvre d'un service web et de son langage de requête.

2. Interfaces multimodales, systèmes d'aide à la navigation et itinéraires

Afin de mieux comprendre le contexte de notre travail, un aperçu de travaux sur les interfaces multimodales pour la diffusion de l'information géospatiale est présenté. Ces connaissances sont nécessaires, car centrales à notre projet et aussi pour mieux nous positionner par rapport aux systèmes d'aide à la navigation pour les personnes en situation de handicap. De tels systèmes seront notamment présentés et brièvement décrits lorsqu'un intérêt sera porté aux personnes en fauteuil roulant. Ceci nous conduira à présenter la notion d'itinéraire et ses différentes représentations, indispensables à une diffusion qui s'adapte aux contextes d'usage.

2.1. Interfaces multimodales pour la diffusion de l'information géospatiale

Les interfaces multimodales se définissent comme étant l'usage, simultané ou alterné, de modes ou modalités de communication (les modes tactile, visuel, sonore, gestuel, olfactif et gustatif) entre l'homme et la machine (Barthemess et Oviatt 2008). Ces interfaces visent, entre autres, à rendre plus intuitive l'interaction et l'expression pour l'humain, à diminuer l'ambiguïté liée à l'utilisation de certaines modalités comme la parole, pour offrir un support aux personnes avec des déficiences (Dumas et al. 2009). Ces interfaces multimodales ont été identifiées, il y a quelques années, comme solutions d'avenir pour améliorer significativement l'utilisabilité des systèmes géospatiaux (traitements, services, applications) tout en rendant plus naturelle l'interaction avec les utilisateurs (Barthemess et Oviatt 2008) (Taylor et Lauriault, 2006). Ceci se justifie davantage de nos jours avec l'omniprésence des téléphones intelligents ou tablettes, ainsi que les nouvelles technologies qui ont recours à la géolocalisation (lunettes de réalité augmentée, montres intelligentes). Parmi les innombrables travaux sur les interfaces multimodales, plusieurs ont touché la composante spatiale : navigation dans des globes virtuels Google Earth avec écran tactile, parole et geste (Tse 2007) ou « multitouch » et « Wii balance » (Schöning et al. 2009) ; gestion de crise collaborative avec le système de dialogue DAVE_G utilisant vision, parole, geste et suivi des yeux (MacEachren et al. 2005) ; usage de SIG sur appareils mobile (tablette) avec le système CoMPASS combinant geste et voix (Doyle et al. 2010). D'autres interfaces multimodales géospatiales s'adressent à des personnes avec déficiences physiques, comme le projet VEWGIS (Jacobson et Sam 2006) proposant 115 commandes vocales pour interagir avec une carte sur le web ou un projet de localisation d'objets graphiques sur des pages web combinant des retours sonores et haptiques pour des personnes partiellement aveugles (Murphy et al. 2007).

2.2 Les systèmes d'aide à la navigation

Les systèmes d'aide à la navigation sont de plus en plus présents dans nos vies pour accomplir des tâches courantes de déplacement pour un rendez-vous dans un

lieu inconnu ou identifier une destination lors de nos vacances. Le GPS mobile ou embarqué (i.e. Garmin, Tom Tom) dans les voitures est l'exemple le plus connu de ces systèmes pour trouver notre chemin. Les systèmes de guidage alors offerts reposent sur des modalités d'interaction comme la visualisation de notre itinéraire sur écran accompagné d'un guidage vocale. Google Maps nous permet également de chercher et produire des itinéraires vers des destinations souhaitées. Son usage sur téléphones intelligents permet un guidage en temps réel. Outre les véhicules, ces systèmes d'aide à la navigation existent pour les personnes lors de leurs déplacements à pied, comme NAVITIME sur téléphone mobile pour utiliser des transports collectifs (Arikawa et al. 2007), l'usage de la réalité augmentée et la parole (Rehrl et al. 2012), l'exploitation de multimodalités sonore, haptique, visuelle (Newcomb et Harding 2006).

Notre recherche s'est davantage intéressée aux projets destinés à des personnes à mobilité réduite et plus particulièrement en fauteuil roulant ou quadriporteur. A l'instar des projets issus d'associations ou d'entreprises mentionnés en introduction, des systèmes issus de projets de recherche ont été proposés récemment pour aider les personnes à mobilité réduite. Le projet WeGoTo (Mourcou et al. 2013), issu du laboratoire AGIM (Université de Grenoble - France), analyse le profil des utilisateurs avec handicap en considérant leurs caractéristiques physiques et les fauteuils roulants qu'ils utilisent dans le but de leur fournir un itinéraire visible et adapté en tant qu'application web sur dispositif mobile en utilisant les capteurs de ces appareils mobiles pour capturer et localiser de nouveaux obstacles. Le projet PAM (Karimi et al. 2014) est un service de recherche d'itinéraire basé sur le réseau de trottoir du campus de Pittsburgh (USA) destinés à des étudiants avec des déficiences motrices, visuelles ou auditives. Ce service propose d'assister ces étudiants en cours de navigation sur le campus dont les données géospatiales sont définies selon les normes d'accessibilité. Le projet mPASS (Mirri et al. 2014) propose des itinéraires personnalisés au-dessus d'OpenStreetMap selon des besoins de personnes avec déficiences physiques en se basant sur des données géospatiales ouvertes et aussi issues du crowd sourcing quant aux obstacles et facilitateurs dans la ville de Bologne (Italie).

Bien que ces projets proposent tous de créer des itinéraires pour planifier des déplacements en fonction des besoins particuliers des personnes en situation de handicap, les outils d'assistance à la navigation en temps réel qui tiennent compte de la perception que l'utilisateur a de l'environnement sont rares dans ce cas précis. Même les solutions mobiles développées diffusent et affichent principalement des cartes avec un itinéraire au lieu de proposer un outil de guidage.

2.3 L'itinéraire et ses représentations

L'élément central des systèmes de planification et d'aide à la navigation est l'itinéraire, étudié à maintes reprises (Gluck 1990). Pour diffuser un itinéraire, il faut en connaître ses représentations possibles. Naturellement, la carte est le principal support de propagation de l'information d'itinéraire. La carte 2D de base représente

l'information contextuelle sur laquelle est superposée une représentation graphique particulière d'un itinéraire sous forme de points de départ et d'arrivée, ainsi que de lignes. Les styles graphiques (i.e. couleur, épaisseur), le contraste ou l'opacité, voire l'usage d'animations interviennent alors pour différencier l'itinéraire sur la carte (Reichenbacher 2004). Des symboles (flèches) pour indiquer l'orientation du trajet peuvent aussi être ajoutés directement sur la ligne ou affichés à côté.

La représentation d'un itinéraire prend aussi d'autres formes avec le texte, la voix ou encore les photographies. Ainsi, l'usage du texte est courant pour décrire un itinéraire, même si cela n'est pas nécessairement le plus pratique lorsqu'on se déplace (Mackanness et al. 2014). Comme déjà mentionné, le guidage vocal est très répandu lors du guidage pour les personnes avec des déficiences visuelles (Moulton et al. 2009) (Kammoun 2013). Les photographies quant à elles permettent de visualiser des repères le long de trajet d'itinéraire pédestre à partir de photographies « géotaguées » augmentées (ou non) d'indications de direction (Beeharee et al. 2006) (Hile et al. 2009) (Laurini et al. 2008). La combinaison de plusieurs représentations d'itinéraire de base est courante comme en atteste les GPS embarqués qui exploitent l'affichage de l'itinéraire sur une carte couplé avec un guidage vocal. La combinaison de textes descriptifs et d'extrait de cartes est proposée par Google Maps pour décrire les itinéraires. L'exploitation de photographies sur des cartes 2D le long des trajets d'itinéraire existe aussi (Amirian et al. 2015). La réalité augmentée mobile a aussi été exploitée pour aider les personnes à naviguer dans leur environnement augmenté d'objets graphiques 2D ou 3D comme indicateurs de direction d'un itinéraire (Dünser et al. 2012). Enfin, l'usage, plus insolite, de vibrations émises à partir d'une ceinture portée par des personnes avec des déficiences visuelles existe (Heuten et al. 2008).

Cette liste, non exhaustive, de diverses représentations d'un itinéraire et de moyens de communication nous permet de mieux appréhender les contenus qui pourraient être diffusés au travers du web dans le contexte de planification d'itinéraires et de guidage en déplacement. Même si toutes ces solutions ne sont pas adaptées pour des personnes à mobilité réduite, il est nécessaire de les considérer dans notre contexte particulier de non connaissance a priori de la solution d'interface multimodale à offrir aux utilisateurs. Dans la suite, nous nous concentrons sur notre proposition d'une solution de diffusion web d'itinéraires.

3. Vers la diffusion d'itinéraires adaptés, adaptables, adaptatifs

Le projet MobiliSIG repose sur une base de données d'accessibilité, un modèle PPH et une interface multimodale mobile, ce qui le différencie des autres projets présentés dans la section 2. Afin de mieux cerner nos besoins en terme de diffusion, nous avons défini des scénarios (cas d'utilisation), présentés dans cette section. Une analyse de besoins génériques sera également décrite.

3.1. Scénarios

Les scénarios décrits ici se concentrent sur l'usage d'une application dite MobiliSIG (non réalisée actuellement) et sur une personne à mobilité réduite, nommée M. Boulanger. M. Boulanger est un employé de l'IRDPQ qui se déplace en fauteuil roulant manuel et en transport en commun dans la ville de Québec. Pour être reconnu par l'application, il remplit au préalable un formulaire de profil type renseignant sur son/ses type(s) de handicap, ses capacités et ses préférences. Pour planifier ses déplacements, M. Boulanger utilise l'application sur son ordinateur de bureau, sa tablette et son téléphone intelligent. Le guidage est disponible uniquement sur ses appareils mobiles.

Scénario 1 : M. Boulanger apprend par un de ses amis que son groupe de rock préféré *RockBand* donnera une prestation au Festival d'été de la Ville de Québec, sur la scène Loto-Québec, dans la soirée. Il sait où ce festival se déroule dans le centre-ville, mais il ne sait pas exactement où se trouve la scène Loto-Québec, ni son accessibilité en fauteuil roulant. Partant du café Tom Hortins équipé du Wi-Fi, il planifie son déplacement, à effectuer dans l'heure suivante, avec sa tablette en utilisant l'application MobiliSIG. En saisissant le nom de la scène dans la zone de recherche, il obtient sa localisation située au « Parc de la Francophonie », ainsi que l'itinéraire affiché sur une carte et adapté à son handicap, incluant ainsi un parcours en autobus. Pour s'y rendre, M. Boulanger utilise son téléphone intelligent avec guidage vocal pour suivre l'itinéraire du café à une station de bus accessible. Pendant le trajet en bus, M. Boulanger peut suivre sa position en temps réel sur l'application (point se déplaçant sur une carte). Une alerte sonore et/ou par vibration le prévient qu'il est à proximité de sa station de descente. Une fois sur le trottoir, l'application mobile s'adapte au changement de transport de M. Boulanger en lui proposant une carte. Or il n'arrive pas à s'orienter. Il décide donc de modifier son affichage pour obtenir un repère visuel représenté par une photographie de la rue étaguementée d'une flèche indiquant la direction à suivre. Une fois de retour en déplacement, l'application bascule automatiquement en mode guidage vocal.

Scénario 2 : Suite au scénario 1, M. Boulanger s'est rendu au spectacle et s'y est installé avec d'autres personnes à mobilité réduite. Pendant le déroulement de la prestation, M. Boulanger ressent le besoin d'aller aux toilettes, mais étant donné qu'il se trouve dans un parc, il ne sait pas où trouver des toilettes accessibles. Il recherche des toilettes à proximité en cliquant sur un menu de sélection pour choisir les toilettes dans une liste de points d'intérêts (POI) dans l'application MobiliSIG sur son téléphone intelligent. Des toilettes proposées, il sélectionne les toilettes accessibles les plus proches et obtient l'itinéraire sur la carte pour s'y rendre. Cependant de crainte de ne pas avoir assez d'énergie dans la batterie de son téléphone, il décide d'emprunter le mobile d'un de ses amis, en fauteuil roulant aussi. En utilisant le mobile de son ami, M. Boulanger constate que l'itinéraire pour se rendre aux mêmes toilettes accessibles est différent de celui qu'il a obtenu sur son propre téléphone. Il doit donc se déconnecter de l'application et se reconnecter avec son identifiant personnel pour obtenir l'itinéraire adapté à son profil.

3.2 Analyse des besoins multiples pour la diffusion

Puisque les solutions clientes avec interfaces multimodales sont encore en cours de définition et de conception, nous avons délibérément pris le parti d'adapter nos mécanismes de diffusion à ce fait. Comme expliqué auparavant, nous souhaitons mettre un effort de généricité dans la personnalisation de l'itinéraire proposé à l'utilisateur en fauteuil roulant. C'est pourquoi, outre les interfaces multimodales, cinq (5) autres caractéristiques de multiplicité ont été identifiées : multimédia, multi-utilisateurs, multi-plateformes, multi-environnements et multi-usages.

Concernant les **interfaces multimodales**, dans les scénarios, nous avons utilisé des modes de communication combinés ou non : visuel, vocal, sonore et tactile. Le mode visuel est rencontré lorsque des cartes de base sont affichées avec une représentation de l'itinéraire. La modalité vocale est utilisée pour guider l'utilisateur dans ses déplacements en fauteuil roulant. La modalité sonore est combinée à la modalité tactile ou haptique par l'usage respectif de bips sonores et de vibration. Ces modes impliquent la transmission de données ou informations spécialisées pour que l'application cliente puisse restituée la modalité (fichier textuel ou audio,...). Même s'il n'est pas mentionné dans les scénarios, l'usage de la parole est aussi envisagé en plus d'utiliser les écrans pour cliquer ou saisir des informations d'adresses pour procéder à la planification d'un déplacement.

Même si cela reste proche des interfaces multimodales, le **multimédia** est également présent pour la représentation d'un itinéraire. Les photographies pour s'orienter en sont un exemple et une volonté de les combiner avec les autres représentations. Le son et la voix sont également des sources de média différentes.

L'aspect **multiplateformes** est fortement présent dans nos travaux et dans les scénarios présentés, car nous prévoyons « jouer » avec trois types d'appareils dotés de capacités et caractéristiques différentes (système d'exploitation, navigateur web, puissance de calcul, taille de l'écran, capteurs, ...). Ces dernières doivent être prises en compte pour pouvoir adapter adéquatement nos contenus à diffuser, comme la taille d'une carte 2D qui sera vue différemment sur un écran d'ordinateur versus un écran de téléphone (par exemple, conservation de la visibilité et la lisibilité de la carte par généralisation cartographique ou les cartes à échelle variable).

L'un des besoins exprimés dans le scénario 2 est la prise en compte de différents profils d'utilisateur (**multi-utilisateurs**). En effet, les utilisateurs peuvent présenter différents types de handicap et/ou différents niveaux de sévérité de leur handicap. Il faut donc tenir compte de cet aspect dans la diffusion des données géoréférencées car l'itinéraire le plus accessible dépend du profil de l'utilisateur. Il est donc important de pouvoir identifier l'utilisateur (par son profil) pour modifier adéquatement les modalités et médias en conséquence.

L'aspect **multi-environnements** s'applique aussi à notre application, comme décrit dans nos scénarios. Par exemple, un environnement « calme » avec le bus n'impliquera pas la même diffusion d'informations que pour un environnement bruyant (concert) ou encore un environnement de bureau (lieu de travail), ayant un

Itinéraires adaptés, adaptables et adaptatifs pour personnes en fauteuil roulant⁹

impact sur les dispositifs informatiques utilisés. Les coordonnées GPS sont ici une des principales sources d'information pour déterminer dans quel environnement se trouve une personne, afin de pouvoir adapter les données à diffuser en conséquence. Le microphone de l'appareil représente aussi une source pertinente d'informations utiles à la détection de l'environnement.

Enfin, la caractéristique **multi-usages** a un impact sur les diffusions produites puisque nous devons adapter le contenu en conséquence. Les deux principaux usages de l'application concernent la planification d'un déplacement et l'aide à la navigation (guidage). Bien que ces deux usages soient fortement liés et indispensables l'un envers l'autre, ils n'impliquent pas les mêmes mécanismes de diffusion tant en entrée qu'en sortie. Lors de la planification, nous devons connaître les points de départ et d'arrivée, fournis ou non par l'utilisateur (saisie adresse, reconnaissance vocale, clique sur une carte, GPS appareil mobile), ainsi que des informations sur son profil afin de lui envoyer les données qui lui sont les plus adaptées possibles. En cours de déplacement, la position et l'orientation de l'utilisateur doivent être connues à tout moment, afin de le guider au mieux. Aussi, il doit être averti lorsqu'il ne suit pas l'itinéraire indiqué ou est proche d'un point d'intérêt (ex. bip sonore et vibration dans le bus à proximité d'une station d'arrivée). En plus des données GPS, les différents capteurs des appareils mobiles peuvent être nécessaires pour savoir comment l'appareil est utilisé et adapter la diffusion en conséquence (ex. si le mobile est dans la poche ou l'utilisateur regarde l'écran).

Toutes ces multiplicités conduisent aussi à garantir la faisabilité de mécanismes d'adaptation, d'adaptabilité et d'adaptativité. En effet, dans nos scénarios, ces mécanismes ont été illustrés à diverses reprises, respectivement, par la création d'itinéraire selon le profil d'utilisateur, ce qui remplit la fonction d'adaptation, le choix d'une représentation différente de l'itinéraire par l'utilisateur pour mieux se repérer qui remplit la fonction d'adaptabilité et le changement de représentation de l'itinéraire suivant l'environnement d'usage (dans le bus) qui répond à l'adaptativité.

4. Architectures

La définition de notre architecture doit, dans un premier lieu, tenir compte des spécificités des interfaces multimodales pour pouvoir diffuser les itinéraires le plus adéquatement possible. Afin d'assurer une compatibilité matérielle et une indépendance vis-à-vis de la plateforme et du domaine d'application, le W3C a défini des recommandations sur les architectures et interfaces multimodales²(MMI). Une telle architecture comporte cinq (5) composants : traitement des entrées (parole, souris, clavier, ...), fusion (unification des entrées issues des modalités), gestionnaire de dialogues/interactions (contrôle des interactions, tâches à effectuer), fission (préparation de la réponse à fournir selon les modalités identifiées) et présentation en sortie (voix, carte, son vibration, ...). Dans un second lieu, nous avons choisi de nous orienter vers la mise en place d'une architecture orientée

²<http://www.w3.org/TR/mmi-arch/>

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

services (SOA) afin de pouvoir plus facilement être découplée des interfaces clientes et de la base de données d'accessibilité liée au processus de calcul d'itinéraire. Le composant central de cette architecture présentée à la figure 1 est ainsi un service web de diffusion d'itinéraire qui doit respecter les standards OWS (OGC Web Services) de l'OGC (Open Geospatial Consortium) quant aux services web géospatiaux.

Notre architecture fonctionnelle est composée des tiers suivants :

– **le tiers ressources** : il contient les bases de données d'accessibilité, de profil et d'historique. La *base de données de profil* stocke les informations relatives au handicap et au niveau de confiance de l'utilisateur pour se déplacer sur un trottoir. La *base de données d'accessibilité* contient le réseau de trottoir avec ses caractéristiques (pente, revêtement, etc.) et les obstacles et facilitateurs qui s'y trouvent (bancs publics, regard d'égouts, etc.). Un outil de calcul d'itinéraires permet la création et l'actualisation des itinéraires en produisant un ensemble de segments de trottoir ayant des cotes d'accessibilité calculées à partir des bases de données profil et accessibilité. La *base de données historique* permet de conserver les requêtes et données de l'utilisateur sur ses appareils et peut servir à la gestion de ses préférences lors de la diffusion.

– **le tiers serveur** : c'est le cœur du système qui gère le processus d'adaptation et de représentation des itinéraires selon les informations fournies par les clients du système. Ce serveur est en fait notre service web de diffusion d'itinéraires, mais il peut remplir des tâches plus basiques afin de permettre la diffusion de la base de données d'accessibilité par exemple sous forme de carte, sans considération du calcul d'itinéraire. Le service web de transformation d'itinéraires est un élément central pour obtenir des itinéraires adaptés à façon, comme la transformation de segments de trottoirs en version textuelle.

– **le tiers client** : ce tiers correspond aux applications clientes qui vont être en relation avec notre service web de diffusion d'itinéraire au travers des mécanismes de requête à transmettre et réponses à afficher ou communiquer. Certains de ces tiers (ordinateurs et tablette) sont utilisés uniquement lors de la planification du déplacement tandis que les autres le sont pour la planification et le guidage. Ces applications clientes doivent aussi correspondre à des interfaces multimodales et multimédias adaptées aux informations contextuelles (profil de l'utilisateur, localisation,...) transmise en temps réel (appareils mobile avec connexion) ou non.

Itinéraires adaptés, adaptables et adaptatifs pour personnes en fauteuil roulant11

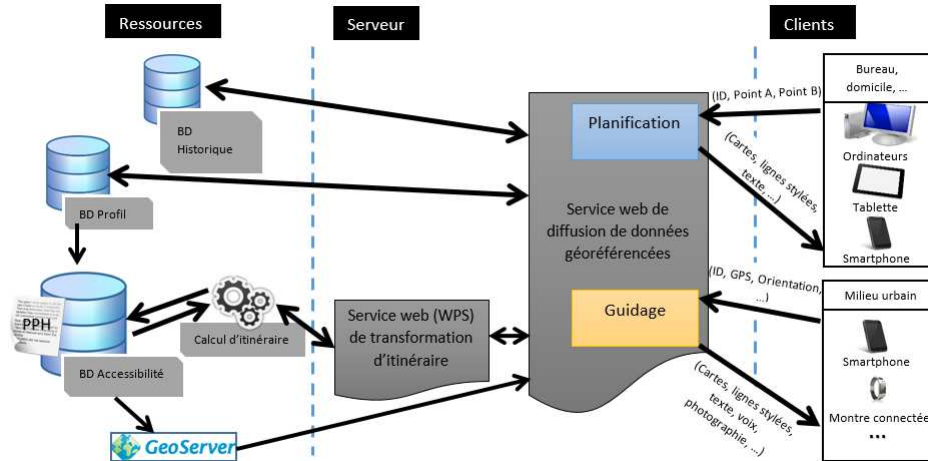


Figure 1. Architecture fonctionnelle de l'infrastructure proposée

Le fonctionnement de notre système débute par un client qui effectue une demande d'itinéraires via l'interface cliente. Cette demande est transmise à notre service web de planification/guidage avec toutes les données nécessaires (identifiant, point A, point B, appareil utilisé). Ce service web fusionne et encode les entrées, si nécessaire, et les transmet à l'outil de calcul d'itinéraire. Cet outil retourne un itinéraire sous de forme de segments accompagnés de leurs cotes d'accessibilité vers notre service web (WPS) spécialisé de transformation d'itinéraire. Les traitements réalisés à ce niveau visent à produire les représentations souhaitées de l'itinéraire, à savoir des lignes stylées du point de départ au point d'arrivée qui ont une couleur spécifique selon leur cote d'accessibilité (vert pour accessible, orange pour moyennement accessible,...) et/ou du texte avec des icônes directionnelles pour les directions à suivre. Les représentations obtenues sont ensuite transmises au service web de planification/guidage qui les utilisera en fonction des modalités disponibles et des préférences utilisateur pour lui présenter l'itinéraire sur un fond de carte (ou non) qu'il aura obtenu à partir d'un service (WMS). Lorsque l'utilisateur déclenche la navigation (clic bouton), un système de suivi de sa position utilisant le capteur GPS de son appareil (tracking) est mis en service par le service web de planification/guidage qui interagit ensuite avec le service web de transformation pour produire la représentation de la prochaine instruction de guidage vocale et l'envoyer à l'utilisateur. Aussi, le suivi de la position permet à l'utilisateur de visualiser sa position courante, d'être alerté sur la présence d'obstacles et/ou de points d'intérêt ou de se voir proposer un nouvel itinéraire s'il décide en cours de chemin de ne plus suivre l'itinéraire proposé au départ. La journalisation des requêtes et des actions de l'utilisateur dans la base de données historique est effectuée au fur et à mesure. Ces actions serviront à des fins de personnalisations et de recommandations de l'itinéraire et de ses représentations pour l'utilisateur.

5. Discussions

Notre service de diffusion aspire à produire des itinéraires appropriés aux contextes d'usages. Pour cela, il doit présenter quelques caractéristiques essentielles, principalement des fonctions liées à la multimodalité des interfaces, à la planification d'itinéraire et à la navigation (guidage). Cela implique de définir des langages de requête et des formats d'échange de données au sein de notre serveur et entre notre serveur et les clients. Pour ce faire, nous basons les spécifications de nos services web sur des normes d'organismes tels que le W3C (World Wide Web Consortium), l'OGC ou l'ISO (International Organization for Standardization). La norme W3CEMMA (Extentible MultiModal Annotation) permet d'annoter et d'encoder les entrées utilisateur dans les systèmes multimodaux. Elle n'est cependant pas explicitement utilisée pour la sortie, qui est notre principale préoccupation. Plusieurs spécifications existent pour les formats d'échange en diffusion avec GML (Geography Markup Language) et KML (Keyhole Markup Language) de l'OGC, XML du W3C ou encore des formats non standardisés mais très utilisés comme JSON et GeoJSON. Enfin, des langages comme VoiceXML (reconnu par le W3C) et UsiXML (en attente de reconnaissance par le W3C) sont intéressants à explorer pour le codage des instructions de guidage vocal. Ces formats sont en train d'être étudiés et seront étendus, le cas échéant pour répondre à nos besoins de diffusion.

Nos travaux se rapprochent aussi des concepts liés à la plasticité des interfaces homme machine, définie comme la capacité d'une IHM (Interface Homme-Machine) à s'adapter à son contexte d'usage dans le respect de son utilisabilité et de son usage (Coutaz et al. 2012). Le contexte d'usage fait ici référence à l'utilisateur (profil et préférences), à son environnement physique et social et à la plateforme utilisée (matériel et logiciel). Ce qui est intéressant avec la plasticité par rapport à nos travaux concerne les actions de redistribution et de remodelage de l'interface. La redistribution de l'interface consiste à migrer l'interface utilisateur d'une plateforme à une autre. Par exemple, l'utilisateur peut reprendre sur un téléphone intelligent là où il s'était arrêté sur un ordinateur de bureau ou une tablette. Le remodelage permet de changer les représentations graphiques des composants visuels d'une interface afin de s'adapter à un changement de contexte lié soit à l'appareil utilisé, à l'environnement d'usage ou à l'utilisateur et ses aptitudes.

6. Conclusions et perspectives

Nos travaux nous ont menés vers l'acquisition de plus amples connaissances dans le domaine de l'aide à la navigation pour personnes à mobilité réduite à travers une revue de littérature. Cela nous a permis de mieux cerner le problème de la diffusion web d'itinéraires adaptés, adaptables et adaptatifs, notamment en faisant ressortir plusieurs modes possibles de représentation de l'itinéraire. En imaginant quelques cas d'utilisation, nous avons identifié des besoins primaires et obligatoires pour garantir cette diffusion. Une architecture n-tiers a été proposée avec pour élément central un service web. Des réflexions sont encore en cours quant à la définition même de ce service web qui doit s'imprégner des architectures

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

d'interfaces multimodales, tout en gardant à l'œil le couplage éventuellement possible avec la plasticité des interfaces dans notre contexte particulier. Évidemment, les spécifications d'un langage de requête pour la diffusion d'itinéraire doivent être pensées et approfondies pour tenir compte de nos multiples besoins. Les prochaines étapes visent à définir et implémenter ce langage de requête pour pouvoir rapidement diffuser des données adaptées à des profils d'utilisateurs distincts sur des plateformes mobiles ou pas. Les considérations liées à l'adaptabilité et à l'adaptativité devront aussi être intégrées dans nos processus et nos interfaces de test qui seront développées à des fins de validations de notre processus de diffusion.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les fonds IRSC-CRSNG pour leur soutien financier au projet MobiliSIG. Nos remerciements vont aussi à toute l'équipe du projet MobiliSIG et au ROP03 pour leurs contributions enrichissantes aux discussions.

Bibliographie

- Amirian, P., Basiri, A., Gales, G., Winstanley, A., & McDonald, J. (2015). The Next Generation of Navigational Services Using OpenStreetMap Data: The Integration of Augmented Reality and Graph Databases. *OpenStreetMap in GIScience*. Springer International Publishing, p. 211-228
- Arikawa, M., Konomi, S. I., & Ohnishi, K. (2007). NAVITIME: Supporting pedestrian navigation in the real world. *Pervasive Computing*, vol. 6 n°3, p. 21-29.
- Barthelmess P., Oviatt S., (2008). Multimodal Interfaces: Combining Interfaces to Accomplish a Single Task. *HCI Beyond the GUI : Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces*. Morgan Kaufmann, p. 391-444.
- Beeharee, A. K., & Steed, A. (2006). A natural wayfinding exploiting photos in pedestrian navigation systems. *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*. p. 81-88.
- Coutaz, J., Calvary, G., Demeure, A., & Balme, L. (2012). *Interactive Systems and UserCentered Adaptation: The Plasticity of User Interfaces*. Computer Science and Ambient Intelligence, p. 147-202.
- Doyle, J., Bertolotto, M., & Wilson, D. (2010). Evaluating the benefits of multimodal interface design for CoPASS—a mobile GIS. *GeoInformatica*, vol. 14, n° 2, p. 135-162.
- B. Dumas, D. Lalanne, and S. L. Oviatt, "Multimodal Interfaces: A Survey of Principles, Models and Frameworks," in *Human Machine Interaction: Research Results of the MMI Program*, D. Lalanne and J. Kohlas, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, pp. 3–26.
- Dünser, A., Billingham, M., Wen, J., Lehtinen, V., & Nurminen, A. (2012). Exploring the use of handheld AR for outdoor navigation. *Computers & Graphics*, vol. 36 n°8, p. 1084-1095.

- Fougeyrollas, P. (2010). *La funambule, le fil et la toile. Transformations réciproques du sens du handicap*. Presses Université Laval, Québec.
- Gluck, M., (1990). Making Sense of Human Wayfinding: A Review of Cognitive and Linguistic Knowledge for Personal Navigation with a New Research Direction. Myke Gluck School of Information Studies, Syracuse University, Syracuse, NY.
- Heuten, W., Henze, N., Boll, S., Pielot, M. (2008). Tactile wayfinder: a non-visual support system for wayfinding. *Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction: building bridges*, p. 172-181.
- Hile, H., Grzeszczuk, R., Liu, A., Vedantham, R., Košcecka, J., & Borriello, G. (2009). Landmark-based pedestrian navigation with enhanced spatial reasoning. *Pervasive Computing*. Springer Berlin Heidelberg, p. 59-76.
- Jacobson, R.D., et Sam, K. (2006). Multimodal Web-GIS: Augmenting Map Navigation and Spatial Data Visualization with Voice Control, *AutoCarto 2006*, Electronic Proceedings, Vancouver.
- Kammoun, S. (2013). *Assistance à la navigation pour les non-voyants: vers un positionnement, un SIG et un suivi adaptés*. Thèse de doctorat en Mathématique, Informatique, Télécommunications. Université Toulouse III-Paul Sabatier.
- Karimi, H. A., Zhang, L., & Benner, J. G. (2014). Personalized accessibility map (PAM): A novel assisted wayfinding approach for people with disabilities. *Annals of GIS*, vol. 20, n°2, p. 99-108.
- Laurini, R., Gordillo, S., Raffort, F., Servigne, S., Rossi, G., Wang, N., & Fortier, A. (2008). A Primer of Picture-Aided Navigation in Mobile Systems. *In Headway in Spatial Data Handling*. Springer Berlin Heidelberg, p. 595-611.
- MacEachren A. M., Cai G., Sharma R., Rauschert I., Brewer I., Bolelli L., Shaparenko B., Fuhrmann S., Wang H. (2005). Enabling collaborative geoinformation access and decision-making through a natural, multimodal interface. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, n° 3, p. 293-317
- Mackaness, W., Bartie, P., & Espeso, C. S. R. (2014). Understanding Information Requirements in "Text Only" Pedestrian Wayfinding Systems. *Geographic Information Science*. Springer International Publishing, p. 235-252.
- Mirri, S., Prandi, C., & Salomoni, P. (2014, July). A context-aware system for personalized and accessible pedestrian paths. *High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2014 International Conference*, IEEE, Bologne.
- Moulton, B., Pradhan, G., & Chaczko, Z. (2009). Voice Operated Guidance Systems for Vision Impaired People-Investigating a User-Centered Open Source Model. *JDCTA*, vol. 3, n°4, p. 60-68.
- Mourcou, Q., Fleury, A., Dupuy, P., Diot, B., Franco, C., & Vuillerme, N. (2013). Wegoto: A Smartphone-based approach to assess and improve accessibility for wheelchair users. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 35th Annual International Conference 2013*, IEEE, Osaka.
- Murphy, E., Kuber, R., Strain, P., McAllister, G. & Yu, W. (2007). Developing sounds for a multimodal interface: conveying spatial information to visually impaired web users. *Proceedings of the 2007 International Conference for Auditory Display*.

Itinéraires adaptés, adaptables et adaptatifs pour personnes en fauteuil roulant¹⁵

- Newcomb, M., & Harding, C. (2006). A multi-modal interface for road planning tasks using vision, haptics and sound. Springer Berlin Heidelberg, p. 417-426.
- Rehrl, K., Häusler, E., Steinmann, R., Leitinger, S., Bell, D., & Weber, M. (2012). Pedestrian navigation with augmented reality, voice and digital map: results from a field study assessing performance and user experience. Springer Berlin Heidelberg, p. 3-20.
- Reichenbacher T. (2004). *Mobile Cartography – Adaptive Visualisation of Geographic Information on Mobile Devices*. PhD thesis in Civil Engineering and Geodesy, Technischen Universität München
- SchöningJ., Daiber F, Krüger, A., Rohs, M., (2009). Using Hands and Feet to Navigate and Manipulate Spatial Data. *CHI 2009: Adjunct Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems*, Boston.
- Taylor, D. R. F., Lauriault, T. P., (2006). Future Directions for Multimedia Cartography. *Multimedia Cartography*, Cartwright, W., Peterson, M. & Gartner, G. (eds), Springer-Verlag.
- Tse, E. (2007). *Multimodal Co-located Interaction*. PhD Dissertation in Computer Science, University of Calgary.