

AMÉLIORER LA RECHERCHE DE VICTIMES EN MONTAGNE GRÂCE À LA GESTION D'HYPOTHÈSES ET À LA GÉOVISUALISATION

par Matthieu Viry^a, Marlène Villanova-Oliver^a, Jacques Gautier^a, Matthew Sreeves^a et Paule-Annick Davoine^{a,b}

^a Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble

^b INP, LIG, 38000 Grenoble

matthieu.viry@univ-grenoble-alpes.fr, marlene.villanova-oliver@univ-grenoble-alpes.fr, matthew.sreeves@univ-grenoble-alpes.fr, jacques.gautier@univ-grenoble-alpes.fr, paule-annick.davoine@univ-grenoble-alpes.fr

Cet article s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche visant à améliorer la localisation de victimes en montagne. Après avoir passé en revue les enjeux scientifiques qui sont les nôtres, nous proposons un prototype d'interface caractérisé par la transformation d'indices de localisation en filtres spatiaux, leur addition dans un ou plusieurs scénarios de recherche pour créer des zones de localisation probable ainsi que la possibilité de gérer simultanément plusieurs hypothèses de recherche. Enfin nous discutons des améliorations possibles, sur la base de tests utilisateurs.

This article is part of a research program aimed at improving the location of victims in the mountains. After having reviewed the various scientific challenges, we propose a prototype of interface characterized by the transformation of location clues into a list of spatial filters, their addition within a search scenario to create probable location area(s) as well as the simultaneous management of competing search scenarios. We also present the results of user tests and discuss the improvements underway on the basis of this prototype.

Introduction

Dans certains cas, quand des technologies comme le positionnement par GPS ne sont pas disponibles, les secouristes du PGHM (Peloton de Gendarmerie de Haute-Montagne) qui reçoivent un appel doivent eux-mêmes déduire et trouver la localisation de la victime. La phase de recherche de la victime débute par l'exploitation de ce que le requérant (la personne qui déclenche l'alerte - ce n'est pas nécessairement la victime) raconte, souvent en décrivant là où il/elle est actuellement ou le chemin suivi jusqu'ici.

Un exemple d'une telle description peut prendre la forme suivante : « je suis parti il y a 2 heures du refuge de la Pra et j'ai marché en direction de la cascade de l'Oursière ; maintenant je vois une partie de plan d'eau ». Ces différents fragments d'information sont des indices, analysés par le secouriste qui utilise différentes sources de données (guides papiers, fonds de carte ou couches de données numériques, etc.) pour trouver des éléments correspondants qui vont permettre de localiser la victime. Par ailleurs, cette phase d'alerte fait particulièrement appel à

l'expérience des secouristes et à leur connaissance experte du domaine montagneux.

Plusieurs éléments compliquent la tâche de localisation : le requérant décrit généralement sa position ou le chemin emprunté avec des éléments de localisation imprécis ou relatifs à des objets de référence parfois ambigus (l'ambiguïté pouvant aussi bien être dans la dénomination ou dans la description de l'objet que dans la description de la relation de localisation en elle-même).

Les données nécessaires aux secouristes pour cette tâche sont hétérogènes, multi-sources, dispersées et insuffisamment structurées pour être appelées efficacement. Si ce problème de recherche de localisation est nécessairement spatial (Michal et Robert, 2015), il peut bénéficier d'une meilleure exploitation des informations collectées durant la phase d'alerte. Ces éléments représentent le point de départ du projet CHOUCAS, financé par l'ANR. L'ensemble du projet cherche à lever différents verrous scientifiques : structuration de données à partir de sources textuelles hétérogènes, raisonnement spatial flou et qualitatif, géovisualisation de données multidimensionnelles pour l'aide à la décision, etc. Cet article se concentre

sur notre travail relatif au développement d'une approche basée sur la géovisualisation pour supporter le raisonnement spatial du secouriste qui traite une alerte de localisation. Nos objectifs visent à aider les secouristes à : i) saisir les indices de localisation du requérant pour aider à leur traitement, ii) prendre ces indices en compte tout en construisant, explorant et raffinant des hypothèses à propos de la localisation de la victime, iii) visualiser les zones de localisation probables correspondant à leurs hypothèses.

L'article s'organise comme suit : dans la partie 2 nous exposons les besoins auxquels doit répondre la solution à base de géovisualisation que nous visons pour aider au raisonnement des secouristes. Nous présentons ensuite quelques travaux existants dans la partie 3. Une vue d'ensemble du prototype est donnée en partie 4. Dans la partie 5 nous présentons les premières expérimentations que nous avons menées avec des utilisateurs. Enfin, dans la partie 6 nous discutons les enseignements à retenir de ces expérimentations en terme d'améliorations pouvant être implémentées dans un futur prototype.

Exigences pour une approche de géovisualisation aidant le processus de raisonnement des secouristes

Exemple introductif

Le raisonnement mis en œuvre lors de la recherche de la victime consiste en la formulation d'hypothèses à partir de la première information, souvent incomplète ou non précise, fournie par le requérant, puis à raffiner graduellement cette hypothèse en prenant en compte les indices pour déduire et inférer la localisation probable de la victime.

L'exemple suivant présente les indices spatiaux (mais pas seulement) obtenus successivement par les secouristes. Cet exemple correspond à une situation réelle qui sert de fil rouge aux différents membres du projet Choucas.

Pour plus de clarté, nous donnons seulement ici les expressions qui décrivent comment le secouriste a interprété l'information donnée par le requérant sous forme d'un indice (voir Bunel *et al.*, 2019 pour une description de la façon dont nous identifions les entités de références et les relations spatiales utilisées dans les appels d'urgence en montagne).

Les indices ont été collectés dans l'ordre donné ci-dessous. La victime :

- a quitté le Bourg d'Oisans sur un chemin,
- a marché pendant plusieurs heures en direction d'une station de ski,
- est tombée de plusieurs mètres,
- voit une partie de plan d'eau,
- est sous une route et entend des véhicules,
- est sous une ligne électrique,
- était au soleil mais est maintenant à l'ombre.

Dans cet exemple, à l'exception du nom de la ville de départ, le Bourg d'Oisans, aucune information n'est donnée pour aider à identifier les objets de référence sur le terrain : pas de numéro de sentier de randonnée, pas de nom pour la station de ski ou pour le plan d'eau.

Peu d'outils d'aide à la décision sont capables d'aider les secouristes dans le traitement des tels indices pour les aider à déterminer la localisation possible de la victime (voir partie 3).

Notre hypothèse est qu'un outil interactif de géovisualisation peut faciliter la localisation des victimes en accompagnant le raisonnement spatial des secouristes tout en prenant en compte l'imperfection des informations qui sont mobilisées et en permettant aux secouristes d'explorer plusieurs hypothèses simultanées.

Formulation d'hypothèses

Le processus de raisonnement des secouristes peut être assimilé à une démarche hypothético-déductive appliquée de manière répétée : à chaque étape du raisonnement le secouriste formule une hypothèse à propos de la localisation qui pourrait correspondre spatialement avec les indices collectés. Par exemple, dans notre cas d'étude, la première hypothèse qui est faite est que la victime doit être recherchée dans une large zone autour du centre de Bourg d'Oisans, d'où partent des chemins piétons. À ce moment, aucune supposition ne peut être faite sur le fait que la victime soit toujours ou non sur ce chemin de randonnée.

Lors du processus de raisonnement, cette première zone est ensuite confrontée aux nouveaux indices collectés successivement, afin que ces derniers contribuent progressivement à réduire spatialement les possibilités.

L'indice « a marché pendant plusieurs heures en direction d'une station de ski » va ici aider à raffiner la première hypothèse de localisation au regard de l'emplacement des stations de ski à proximité du

Bourg d'Oisans. Ainsi, nos suppositions sous-jacentes sont les suivantes :

- le secouriste essaie de traduire chaque information donnée (si possible) en une relation spatiale impliquant un ou plusieurs objets de référence qui prennent le rôle d'indices spatiaux dans son raisonnement.

- son raisonnement repose sur des hypothèses successives qui correspondent aux zones de localisation probable de la victime, construites sur la base des indices spatiaux précédents.

- la zone de localisation de ces hypothèses est construite comme l'intersection des zones correspondant aux différents indices.

Le processus de raisonnement des secouristes est complexe en plusieurs aspects. Premièrement car la collecte des indices en soi peut être difficile en raison de la condition physique et psychologique de la victime ; deuxièmement car la traduction d'information en indices spatiaux n'est pas toujours une traduction directe mais nécessite parfois de gérer un référencement indirect ou des situations d'inter-visibilité ; troisièmement car les indices spatiaux peuvent conduire à l'obtention de plusieurs zones distinctes, ce qui peut donner comme résultat plusieurs hypothèses de localisation à explorer ; enfin, quatrièmement, car la nature imparfaite des informations fournies par le requérant (voir partie 2.3) et/ou sa crédibilité telle que perçue par le secouriste, doivent être prises en considération. Cela nécessite des moyens pour explorer des hypothèses de localisation concurrentes offrant ainsi la possibilité de poursuivre différents scénarios. Un outil de géovisualisation peut être d'un grand intérêt ici, comme le souligne (Andrienko *et al.*, 2007) pour qui un outil efficace d'analyse géovisuelle et de décision spatiale devrait permettre de « créer des scénarios plausibles représentant des plans d'action possibles, calculer et visualiser leurs impacts, tester la stabilité des scénarios et les hiérarchiser pour aider à choisir la bonne marche à suivre ».

Information imparfaite

Comme vu précédemment, les informations obtenues par le secouriste auprès du requérant mais aussi les zones de localisation qui vont émerger de son raisonnement peuvent être de nature imparfaite. Des travaux précédents ont déjà définis des taxonomies des types d'informations imparfaites. Par exemple, le framework donné par Snoussi et Davoine (2014) et adapté par Saint-Marc (2017) distingue trois types d'imperfection :

- l'imprécision, lorsque « la vraie valeur

appartient à un sous ensemble défini de valeurs », correspond aux situations au cours desquelles la victime est à côté d'une pièce d'eau mais ne peut pas dire lequel, parmi l'ensemble des plans d'eau présents dans la zone.

- l'incohérence qui est définie comme « un conflit ou une incohérence entre valeurs » correspond aux situations d'incohérence dans les indices issus des descriptions faites par le requérant.

- l'incertitude qui est définie comme « une connaissance partielle à propos de la véracité de l'information » correspond à la difficulté de quantifier précisément la distance séparant la victime d'un objet par exemple.

Travaux existants

« L'analyse géovisuelle » s'intéresse au processus cognitif mis en œuvre lors de l'analyse visuelle de supports cartographiques dynamiques et/ou interactifs. Elle fait souvent référence à l'analyse de grands volumes de données, par exemple pour voir l'émergence de grandes tendances (Robinson *et al.*, 2017). Dans notre cas, il s'agit plutôt de guider le secouriste vers une prise de décision efficace et de lui faire explorer d'autres options de recherche plausibles.

Selon Adrienko *et al.*, l'analyse géovisuelle pour l'aide à la décision spatiale (« *Geovisual Analytics for Spatial Decision Support* ») "couvre toutes les phases du processus de prise de décision : analyse de la situation du problème, recherche ou construction des solutions possibles et évaluation de ces options afin de sélectionner les meilleures options" (Adrienko *et al.*, 2007) et ils soulignent plusieurs points qui correspondent à nos préoccupations, notamment :

- permettre une prise de décision rationnelle,
- faciliter la prise de décision dans un contexte d'urgence,
- permettre de prendre en compte des informations hétérogènes.

La représentation d'une information imparfaite et son effet sur la prise de décision ont été cités depuis plusieurs années comme un défi en termes de visualisation de l'information et de géovisualisation (Çöltekin *et al.*, 2017). Les propositions concernant sa représentation sont nombreuses (MacEachren, 1992 ; MacEachren *et al.*, 2005 ; Deitrick et Wentz, 2015 ; Koo *et al.*, 2018), mais elles ne semblent pas toutes être adoptées aussi unanimement que d'autres

caractéristiques de sémiologie traditionnelles. Nombre de ces propositions ne concernent qu'une représentation ponctuelle de l'incertitude (Berjawi *et al.*, 2014), ce qui ne convient pas aux représentations de surface. Lorsqu'ils concernent des surfaces, ces travaux abordent généralement le niveau de confiance d'un phénomène prédit (MacEachren *et al.*, 2005) ou d'une variable calculée pour un territoire administratif donné (Koo *et al.*, 2018) alors que nous nous intéressons particulièrement au calcul et la représentation incertaine d'une zone pour laquelle ni les limites ni l'emplacement ne sont connus *a priori*.

Les représentations de l'incertitude et leurs impacts sur la prise de décision ont été étudiés (Kinkeldey *et al.*, 2017), afin de pouvoir caractériser divers effets tels que la performance de la décision, le résultat de la décision et la confiance de la décision. Des travaux récents dans le domaine des opérations de recherche et de sauvetage aéronautiques (Riveiro *et al.*, 2016) étudient la prise de décision avec une représentation géovisuelle et incertaine des données de positionnement issues de capteurs. En particulier, cette étude nous indique que la représentation de l'incertitude n'a pas augmenté la charge de travail des participants ni le temps requis pour les tâches de classification. De plus, la représentation de l'incertitude semble avoir un effet variable sur la confiance dans les décisions de classification prises par les opérateurs en fonction de leur niveau d'expertise : la moitié des experts se disent être plus confiants lorsque l'incertitude est affichée alors qu'aucun novice n'a fait ce commentaire.

Bien que les experts semblent moins influencés par la représentation de l'incertitude que les novices (Aerts *et al.*, 2003 ; Riveiro *et al.*, 2016), les effets du niveau d'expertise sur la prise de décision dans un contexte d'incertitude sont encore mal compris. Nous affirmons notamment qu'il est crucial de choisir des représentations qui ne conduisent ni à sous-estimer ni à surestimer l'incertitude des données, ce qui dans les deux cas serait contre-productif.

Plusieurs exemples de prototypes d'applications qui tentent de relever un ou plusieurs de ces défis ont été développés et testés ces dernières années. S'ils partagent l'utilisation de la géovisualisation pour l'aide à la décision, ils abordent des thèmes variés: épidémiologie (Robinson *et al.*, 2005), résilience du système de surveillance maritime (Vatin, 2014), opérations de recherche et sauvetage aéronautiques (Abi Zeid *et al.*, 2010), compréhension de la dynamique spatiale de la gestion des inondations (Saint-Marc, 2017).

Plus près de nos objectifs, une approche spécifique à la recherche et au sauvetage des personnes perdues est décrite dans Michal et Robert (2015). Cette approche, développée comme une extension d'une application SIG de bureau, se concentre sur la modélisation des comportements de personnes perdues à partir de leur dernière position connue et de leur point de destination. Plus récemment, en octobre 2018, une solution complète dédiée aux opérations de recherche et de sauvetage des personnes disparues est apparue (outil SHARON) permettant d'estimer la zone de recherche d'une victime dans un environnement intégré. L'originalité de cette solution est de faire des suggestions pour l'affectation des unités de recherche en fonction de leur emplacement en temps réel.

Notre approche est originale et innovante: elle propose de combiner la visualisation d'éléments géospatiaux pour l'aide à la décision, la création d'un ou plusieurs scénarios de recherche tout en essayant de prendre en compte le caractère imparfait de l'information.

Notre prototype d'accompagnement du processus de raisonnement

Vue d'ensemble

Afin de répondre aux besoins mentionnés dans la partie 2, nous proposons un prototype de système de localisation des victimes (figure 1) dont l'originalité consiste en la combinaison i) de la visualisation d'éléments géospatiaux à des fins d'aide à la décision et ii) de la création d'une ou plusieurs hypothèses de recherche, tout en prenant en compte la nature imparfaite de l'information. Ce prototype propose de créer et de combiner des zones de recherche simples, correspondant aux indices donnés par le requérant dans une interface permettant au secouriste de gérer et de manipuler ces indices afin de construire une ou plusieurs hypothèses de recherche (appelées scénarios dans l'interface).

Les différents éléments de l'interface sont les suivants :

- La zone principale qui est composée d'un fond de carte (à droite sur la figure 1) qui permet une représentation de la situation (i.e. des hypothèses en cours).
- Une liste d'objets organisée sous forme d'un arbre, permettant la sélection d'un objet spécifique ou d'une catégorie d'objets (par exemple: «tous les lacs») auquel se réfère l'information donnée par le requérant.

- Un tableau interactif qui répertorie les indices élaborés par le secouriste à partir de ce qu'il/elle obtient lors de l'appel et offre les moyens de construire et de comparer des hypothèses de localisation simultanées.

Ces trois composants sont interconnectés : les objets choisis dans l'arborescence peuvent être ajoutés en entrée dans le tableau des indices et les indices de la table qui participent à un scénario sont représentés sur la carte. La localisation potentielle de la victime se construit progressivement sur la base de la représentation de l'intersection des zones qui correspondent aux indices. Par exemple, sur la figure 1, la carte décrit la situation qui correspond à un scénario dans lequel trois indices sont donnés en entrée, c'est-à-dire: 1) à environ 3 km pour le sommet connu sous le nom de « Croix de Chamrousse » ; 2) à proximité immédiate d'un plan d'eau ; 3) sous une remontée mécanique. Ces indices ont permis d'identifier quatre zones probables (polygones en rouge). Dans les sections suivantes nous détaillons les possibilités offertes par notre prototype pour accompagner le processus de raisonnement du secouriste : le tableau de filtres permet de gérer les indices et de gérer les hypothèses ; l'arborescence d'objets de recherche permet de sélectionner les objets spatiaux de référence.

Table de filtres

Le panneau de gestion des filtres est l'élément central dans la gestion des indices par le secouriste.

Chaque ligne du tableau correspond à un indice construit à partir des informations du requérant. Les colonnes à droite de chaque ligne correspondent aux hypothèses de recherche (les scénarios) dans lesquelles ces indices sont mobilisés ou non. Sur la figure 2, un seul scénario apparaît, composé de la combinaison de trois indices retenus comme filtres. Chaque fois que le secouriste doute de la véracité d'un indice, il/elle peut facilement créer un nouveau scénario dans lequel sera décochée la case correspondante (tout en laissant les autres cases cochées). En cliquant sur le numéro du scénario, l'utilisateur voit sur la carte la représentation de la localisation probable résultant de ce scénario.

Cet exemple illustre la flexibilité offerte par notre prototype pour construire et comparer des hypothèses. En effet, l'utilisateur peut ajouter et supprimer des filtres, les réorganiser et décider de les inclure, temporairement ou tout au long de l'analyse, dans une ou plusieurs hypothèses de recherche. Il/elle peut également, pour chacun de ces filtres,

choisir d'afficher le ou les objets et/ou la ou les zones créées correspondantes ou non sur la carte. Dans les sections suivantes, nous décrivons comment acquérir les indices à l'aide de l'arborescence des objets interrogeables et comment exprimer une certaine incertitude.

Liste d'objets interrogeables

L'arborescence des objets interrogeables (figure 3) propose une liste d'objets extraits d'OpenStreetMap et organisés en groupes thématiques : cols de montagne, lignes électriques (3 câbles, 6 câbles, autres), pistes de ski (bleu, noir, vert, rouge), plans d'eau (lacs, petits plans d'eau, réservoirs), sentiers de randonnée, remontées mécaniques, rivières, routes, ruisseaux, sommets, tours téléphoniques et villes.

Ce composant permet à l'utilisateur de sélectionner les objets mentionnés par le requérant, de créer des indices qui servent de filtres, comme décrit ci-dessus. Les objets peuvent être ajoutés individuellement (par exemple dans la figure 2 « Croix de Chamrousse » qui est un sous-élément de l'entrée « Sommets ») ou par groupe (par exemple dans la figure 2, « Tou. Remontées Mécaniques », « Tou » pour « Toutes les » ici). Cette liste d'objets est complétée par une barre de recherche textuelle permettant à l'utilisateur de commencer à taper le nom d'un objet recherché : la liste est automatiquement filtrée en fonction des caractères saisis. Les objets choisis sont ensuite ajoutés à la table des filtres.

Prise en compte de la distance et de l'incertitude

Lors de la création d'un filtre, après avoir sélectionné un objet ou un groupe d'objets, l'utilisateur peut entrer une ou deux informations de distance (figure 2, respectivement colonnes *Buff* et *Dist*) :

- « *buffer* » (en kilomètres) pour choisir la taille de la zone à créer autour d'un objet pour restituer la localisation possible de la victime par rapport à cet objet ;
- « *distance* » (en kilomètres) pour modéliser le cas où la victime est à une certaine distance d'un objet: ce champ crée une ligne autour d'un objet ou d'un type d'objet à la distance souhaitée, la valeur de *buffer* choisie est ensuite appliquée à cette ligne plutôt qu'à l'objet lui-même.

Ces deux champs d'entrée peuvent être utilisés pour exprimer des informations telles que «la victime se situe entre 200 et 800 mètres d'un lac» : la zone

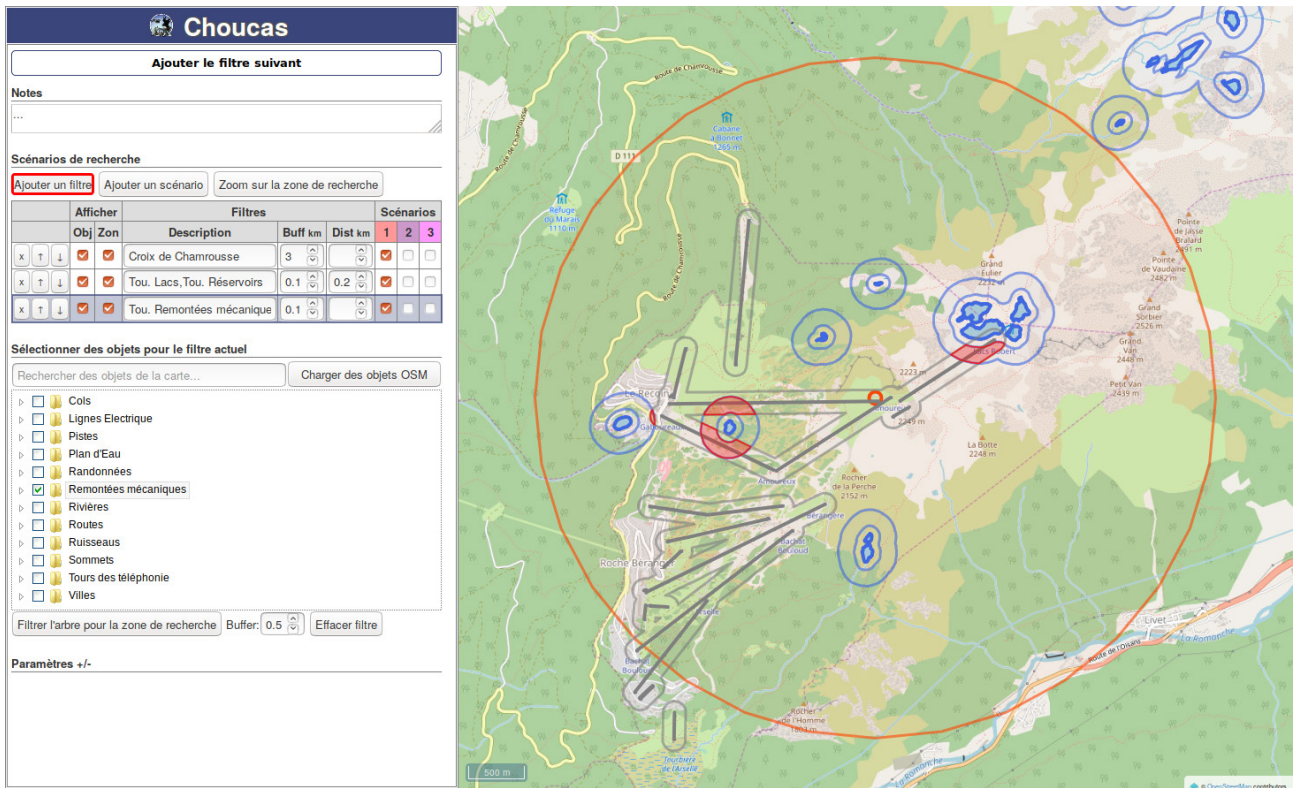


Figure 1: Vue d'ensemble de l'interface du prototype

	Afficher		Filtres			Scénarios		
	Obj	Zon	Description	Buff km	Dist km	1	2	3
x ↑ ↓	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Croix de Chamrousse	3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
x ↑ ↓	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Tou. Lacs, Tou. Réservoirs	0.1	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
x ↑ ↓	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Tou. Remontées mécanique	0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 2 : Exemple de table de filtres après saisie : elle contient actuellement 3 filtres qui traduisent les indices mentionnés dans la partie 4.1.

tampon est fixée à 0,2 km et la distance à 0,8 km. Cela offre un moyen de retranscrire l'incertitude sur les distances. Chaque fois qu'un filtre est spécifié, la carte est mise à jour pour représenter l'indice correspondant et son impact sur le (ou les) zone(s) de localisation probable de la victime.

Affichage des indices et des zones de localisation probable

La figure 4 montre l'état de la carte dans le cas du scénario précédemment décrit.

Les objets et les zones correspondant à chacun des indices mobilisés ont leurs contours dans une couleur associée au type d'objet concerné : le petit cercle orange au centre de la carte représente la Croix de Chamrousse avec un tampon autour (grand cercle également en orange) ; les masses d'eau et leurs zones correspondantes sont représentés en bleu ; les remontées mécaniques (objets et zones tampons) sont en noir. On peut noter que les polygones associés au même type d'objets qui s'intersectent sont fusionnés.

Les zones de localisation probables sont celles calculées comme étant l'intersection de polygones des trois filtres (c'est-à-dire ceux correspondant aux trois indices). Quatre zones sont trouvées. Ils sont remplis avec la couleur correspondant au scénario dans l'interface (ici le rouge). En lisant de gauche à droite la figure 4, nous pouvons voir une zone de faible surface à l'extrémité du téléski, puis deux zones autour d'un même lac et une dernière zone de l'autre côté de la Croix de Chamrousse. Cette visualisation est utile pour permettre à l'utilisateur d'orienter la discussion avec l'appelant afin de trouver un nouvel indice. Ce point est abordé en partie 6.

Expérimentations

Le prototype a été testé par deux secouristes de haute-montagne et par cinq autres utilisateurs (n'étant pas secouristes mais experts en information géographique et à l'aise avec la manipulation de ce type d'interface).

Il a d'abord été proposé aux utilisateurs d'effectuer un didacticiel (un cas de recherche simplifié dans lequel l'utilisateur est guidé sur les différents panneaux à utiliser), suivi du traitement du scénario du fil rouge (voir section 2.1). Dans les deux cas, l'objectif est de traduire les indices successifs dans l'interface et de définir l'emplacement probable de la victime. Nous avons observé les utilisateurs au cours des deux parties de ce test et nous avons recueilli leurs réactions.

Les testeurs ont mis en évidence les points positifs de notre outil, notamment en ce qui concerne l'arborescence des éléments. Tout d'abord, le côté pratique de l'arborescence des éléments affichés est souligné, ainsi que le fait qu'il peut être filtré pour correspondre à la fenêtre d'affichage. Deuxièmement, la vue d'ensemble de toutes les instances disponibles pour un type d'objet est appréciée (car elle permet par exemple de ne pas rater une masse d'eau qu'un secouriste pourrait ne pas connaître). Troisièmement, ils reconnaissent que, contrairement au système utilisé jusqu'à présent, notre prototype permet d'afficher les zones de localisation probable, en fonction de l'intersection des zones par rapport à chaque indice, et de dessiner manuellement des zones spécifiques pour indiquer la présence éventuelle de la victime

En comparaison avec le système utilisé précédemment, ces différents points facilitent l'identification d'une zone de localisation probable, puis la définition précise d'une zone, ce qui est particulièrement vrai pour les personnes qui n'ont aucune connaissance de la région (les secouristes ont effectivement une connaissance approfondie du domaine montagneux, mais pas nécessairement de leur territoire spécifique d'intervention).

Les utilisateurs de notre test ont également soulevé plusieurs points négatifs:

- Le manque d'interactivité de la carte (en effet, la manipulation des indices n'est effectuée que par l'arbre des objets), ce qui a entraîné une perte du contexte spatial des indices avec l'un des secouristes, qui a abandonné sa connaissance du terrain pour se concentrer uniquement sur l'arbre des éléments.
- La difficulté de modéliser certaines situations avec les paramètres proposés (tampon, distance et objet ou groupe d'objets) pour traduire ce que dit la victime.
- Des problèmes de performances (opérations coûteuses, telles que des intersections, sur un nombre parfois élevé d'objets OpenStreetMap) s'ajoutant à l'absence d'indicateur visuel de type sablier indiquant que l'interface est actuellement occupée.
- La structure hiérarchique de l'arborescence des éléments, qui a été considérée comme un point positif par les premiers testeurs, nécessite un certain niveau d'expertise du domaine et des capacités en termes d'exploitation de l'imprécision pour gérer les situations dans lesquelles des objets doivent être trouvés dans l'arbre (par exemple, les victimes ne feront pas référence à un « plan d'eau » par « réservoir » et *vice versa*).

Sélectionner des objets pour le filtre actuel

Rechercher des objets de la carte... Charger des objets OSM

- Coles
- Lignes Electrique
- Pistes
- Plan d'Eau
- Randonnées
- Remontées mécaniques
- Rivières
- Routes
- Ruisseaus
- Sommets
- Tours des téléphonie
- Villes

Filterer l'arbre pour la zone de recherche Buffer: 0.5 Effacer filtre

Figure 3 : Liste d'objets interrogeable

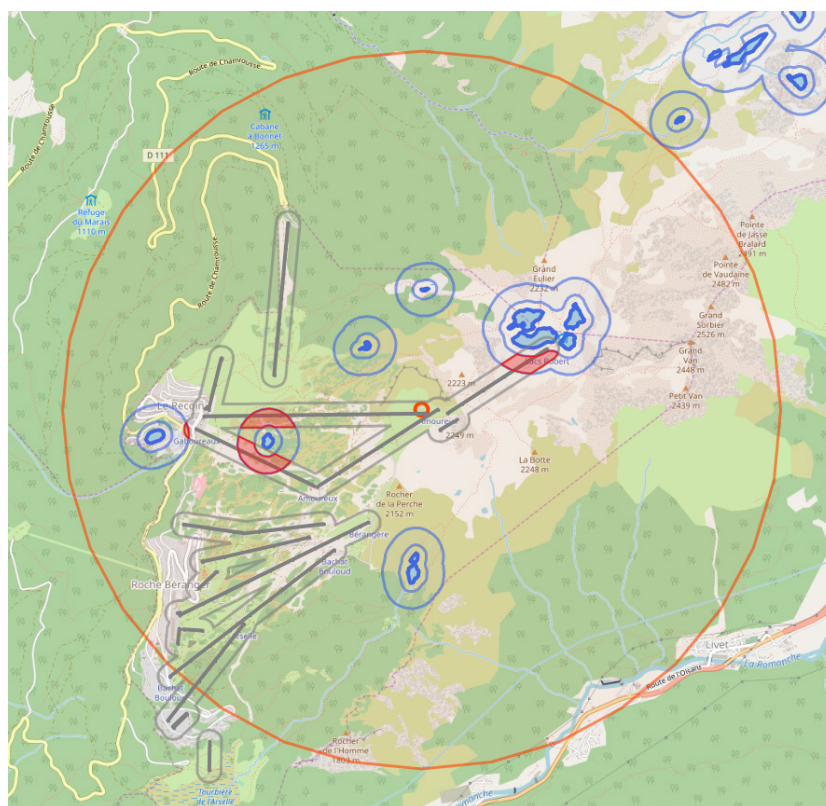


Figure 4 : Affichage des zones de localisation probables pour le cas de la partie 4.1 (le contour de chaque type d'objet est dans une couleur spécifique et la zone de localisation probable est remplie dans la couleur du scénario).

Les deux secouristes n'avaient pas la même stratégie face à l'interface du prototype. L'un était axé sur la traduction de chaque indice en zones tampons afin de générer des zones intersectées, l'autre utilisait plus souvent sa connaissance de la zone afin de sélectionner visuellement sur la carte les éléments dignes de confiance. Par conséquent, nous ne devrions pas nous attendre à un seul type de comportement mais explorer différents comportements ou différentes stratégies de recherche. De plus, il est intéressant de noter que l'indice « (...) de Bourg d'Oisans et vers une station de ski » ne précise pas explicitement quelle est la station de ski. L'un des secouristes, bien qu'il ait exploré mentalement les implications possibles de deux stations de ski probables (situées à deux côtés opposés du point de départ de la victime), ne se considérait pas comme « explorant plusieurs scénarios ». Ces premières observations confirment l'intérêt d'aider le raisonnement spatial du secouriste dans la gestion des indices, tandis que la gestion des hypothèses semble moins prioritaire. Cela confirme également qu'il faut aller plus loin dans la prise en compte de l'incertitude (qui n'est ici abordée que par la valeur *buffer* dans l'interface). Nous sommes également encouragés à continuer à chercher des moyens de soutenir le raisonnement du secouriste sans être envahissants dans l'interface.

Discussion

Gestion des informations imparfaites

La méthode de calcul permettant de déterminer les zones de localisation probable a vocation à être affinée dans le cadre du projet afin d'envisager plus d'options que la simple intersection utilisée et d'inclure une expression plus complexe de l'imperfection. Actuellement, l'imperfection des informations fournies est approchée par le paramètre de tampon utilisé lors de la création des filtres. Nous travaillons sur de nouveaux composants d'entrée pour permettre au secouriste de gérer plus efficacement cette incertitude au sein de l'interface. Une autre forme d'incertitude qui n'est pas utilisée actuellement est le niveau de confiance que le secouriste prête aux informations fournies par l'appelant. Nous pensons qu'il est nécessaire, en plus de prendre en compte l'incertitude, que le secouriste puisse noter le niveau de confiance qu'il/elle a concernant les informations. Ce niveau de confiance pourrait être utilisé par la suite de différentes manières : en tant que pondération lors du calcul de la zone de localisation probable, pour rechercher des éléments permettant de réduire les incertitudes quant à la localisation de la victime

(voir paragraphe suivant), pour mettre en évidence sur la carte une confiance forte ou faible sur certains indices, etc.

Collecte d'information guidée pour le secouriste

Une amélioration possible pour le secouriste consiste à lui suggérer quoi demander à l'appelant en tenant compte des éléments présents dans la ou les zones de recherche afin d'obtenir de nouveaux indices et d'affiner la localisation probable de la victime.

En effet, dans le cas illustré à la figure 4, certaines des zones de localisation probables contiennent des éléments distinctifs et très discriminants (occupation des sols particulière, présence de routes dans l'une des zones, présence d'un refuge près de l'une des autres zones). Cette information pourrait être relayée par notre système au secouriste pour tenter d'obtenir des informations sur ces éléments : « Êtes-vous à proximité d'une route ? », « Entendez-vous des véhicules ? », « Avez-vous été à proximité d'un refuge ? ».

De plus, pour modéliser plus facilement le raisonnement du secouriste lors de l'obtention de telles informations, notre système doit fournir une fonctionnalité inverse de la création actuelle de filtres afin de permettre au secouriste de gérer le fait qu'un objet spécifique n'est pas vu par la victime ou n'est pas à proximité immédiate de la victime.

Chargement automatique des objets de la zone de recherche

Actuellement, le chargement des objets correspondant à une zone, afin de remplir l'arborescence des objets interrogeables, s'effectue par un clic sur le bouton «chargement des objets de la zone» (ce qui entraîne une requête auprès de l'API Overpass¹) tandis que le fond de carte est proposé sous la forme d'un assemblage de tuiles raster (images envoyées à la demande au client au format PNG). Une amélioration possible est l'utilisation de tuiles vectorielles pour remplacer les tuiles raster actuelles. Cela permet d'avoir une connaissance directe des objets OpenStreetMap présents sur la zone affichée ou dans la zone d'emplacement probable, réduisant ainsi la charge cognitive et le délai d'accès à l'information, le secouriste n'ayant plus à cliquer sur un bouton pour exécuter cette demande. Cette amélioration, basée sur des technologies récentes, libérerait le secouriste d'une logique de récupération de données pour

1 L'API Overpass est une API en lecture seule permettant d'obtenir des extraits personnalisés des données OpenStreetMap lors de requêtes client.

bénéficier d'une logique d'exploitation des données (Noucher, 2009).

Contrairement aux tuiles raster, les tuiles vectorielles ne sont pas des images statiques, mais des extraits d'un jeu de données : elles contiennent les géométries, les données d'attributs et les métadonnées des différents objets. Le style leur est appliqué à la volée, dans le navigateur Web du client, lors de la réception de chaque tuile. Le style est donc indépendant des données elles-mêmes. Les tuiles vectorielles sont généralement plus petites que les tuiles raster pour une meilleure résolution, de meilleures vitesses de chargement et une mise en cache efficace (Hayat, 2017).

Représentation/gestion des scénarios multiples et amélioration des interactions avec la carte

Une nouvelle version du prototype sur lequel nous travaillons vise à représenter graphiquement les

indices et le fait qu'ils soient mobilisés dans un ou plusieurs scénarios. Cette représentation des indices est plus proche de la manière dont le sauveteur les organise intuitivement et les exploite dans des scénarios. Un effort porte aussi sur les possibilités de modifier de manière interactive les indices pour créer plusieurs scénarios de recherche avec de légères différences (par exemple, un scénario avec uniquement le lac spécifique cité par le demandeur et un second scénario avec tous les lacs de la région). Cela permet de confronter efficacement ces différents scénarios à l'aide de représentations cartographiques *ad hoc* interactives et synchronisées. Cela permet également de faire apparaître plus efficacement des zones d'emplacements probables ou des zones dans lesquelles rechercher d'autres éléments discriminants sur lesquels interroger l'appelant.

Remerciements

Ces travaux sont financés par l'ANR dans le cadre du projet CHOUCAS (ANR-16-CE23-0018).

Bibliographie

Abi-Zeid, I., Nilo, O., Schwartz, S., Morin, M. 2010. "Towards a knowledge-based system prototype for aeronautical Search and Rescue operations". Dans 13th International Conference on Information Fusion (pp. 1–8). Edinburgh: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIF.2010.5712112>

Aerts, J. C. J. H., Clarke, K. C., Keuper, A. D. 2003. "Testing Popular Visualization Techniques for Representing Model Uncertainty." *Cartography and Geographic Information Science*, 30(3), 249–261. <https://doi.org/10.1559/152304003100011180>

Andrienko, G., Andrienko, N., Jankowski, *et al.*, 2007, "Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda". *International Journal of Geographical Information Science*, 21(8), 839–857. <https://doi.org/10.1080/13658810701349011>

Berjawi, B., Duchateau, F., Chesneau, É., *et al.*, 2014, "Uncertainty visualization of multi-providers cartographic integration". *Journal of Visual Languages & Computing*, 25(6), 995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2014.10.033>

Bunel, M., Duchêne, C., Olteanu-Raimond, A-M. *et al.*, "An approach for identifying and analysing reference features and spatial relations used in mountain emergency calls". ICC'2019, July 15-20, 2019, Tokyo, Japan.

Çöltekin, A., Bleisch, S., Andrienko, G., Dykes J., 2017, "Persistent challenges in geovisualization – a community perspective". *International Journal of Cartography*, 3(sup1), 115–139. <https://doi.org/10.1080/23729333.2017.1302910>

Deitrick S., Wentz E. A., 2015, "Developing Implicit Uncertainty Visualization Methods Motivated by Theories in Decision Science". *Annals of the Association of American Geographers*, 105(3), 531–551. <https://doi.org/10.1080/00045608.2015.1012635>

Hayat F., 2017, "Translation from the collaborative OSM database to cartography." Proceedings of the 2017 International Cartographic Conference. Washington, D.C., United States. <https://doi.org/10.5194/ica-proc-1-53-2018>

- Kinkeldey C., MacEachren A. M., Riveiro M., Schiewe J., 2017, "Evaluating the effect of visually represented geodata uncertainty on decision-making: systematic review, lessons learned, and recommendations". *Cartography and Geographic Information Science*, 44(1), 121. <https://doi.org/10.1080/15230406.2015.1089792>.
- Koo H., Chun Y., Griffith D. A., 2018, "Geovisualizing attribute uncertainty of interval and ratio variables: A framework and an implementation for vector data". *Journal of Visual Languages & Computing*, 44, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2017.11.007>
- MacEachren, A. M., 1992, "Visualizing Uncertain Information". *Cartographic Perspective*, (13), 10–19. <http://dx.doi.org/10.14714/CP13.1000>
- MacEachren A. M., Robinson, A., Hopper S., et al., 2005, "Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know". *Cartography and Geographic Information Science*, 32(3), 139–160. <https://doi.org/10.1559/1523040054738936>
- Michal W., Robert M. 2015, "Decision support system for search & rescue operations". *Computer Science*, 16(3), 281. <https://doi.org/10.7494/csci.2015.16.3.281>
- Noucher M. 2009, La donnée géographique aux frontières des organisations : approche socio-cognitive et systémique de son appropriation. Thèse de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00654203>
- Olteanu-Raimond A.-M., Davoine P.-A., Gaio M., et al., 2017, « Projet CHOUCAS : Intégration de données hétérogènes et raisonnement spatial pour l'aide à la localisation des victimes en montagne ». Spatial Analysis and GEomatics 2017. Rouen, France: INSA de Rouen. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01649156>
- Riveiro M., 2016, "Visually supported reasoning under uncertain conditions: Effects of domain expertise on air traffic risk assessment". *Spatial Cognition & Computation*, 16(2), 133–153. <https://doi.org/10.1080/13875868.2015.1137576>
- Robinson A. C., Chen J., Lengerich E. J., et al. 2005. "Combining Usability Techniques to Design Geovisualization Tools for Epidemiology". *Cartography and Geographic Information Science*, 32(4), 243–255. <https://doi.org/10.1559/152304005775194700>
- Robinson A. C., Demšar U., Moore A. B., et al., 2017, "Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter". *International Journal of Cartography*, 3(sup1), 32–60. <https://doi.org/10.1080/23729333.2016.1278151>
- Saint-Marc C., 2017, Formalization and geovisualization of historical natural risk events to understand spatial dynamics Thèse de l'Université Grenoble-Alpes. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01572326>
- Snoussi M., Davoine P.-A., 2014, "Methodological proposals to handle imperfect spatial and temporal information in the context of natural hazard studies". *Revue Internationale de Géomatique*, 3–4(23), 495–517. <https://doi.org/10.3166/riq.23.495-517>
- Vatin G. 2014. Formalization of a Geovisual Analytics Support Environment. Thèse der l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris ; CRC - Centre de recherche sur les Risques et les Crises. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01253688>