



**HAL**  
open science

# Une nouvelle approche pour l'exploration de données spatio-temporelles

Sabine Cassat, Marcos Serrano, Pourang Irani, Emmanuel Dubois

► **To cite this version:**

Sabine Cassat, Marcos Serrano, Pourang Irani, Emmanuel Dubois. Une nouvelle approche pour l'exploration de données spatio-temporelles. 30eme conférence francophone sur l'interaction homme-machine, Oct 2018, Brest, France. 7p. hal-01899365

**HAL Id: hal-01899365**

**<https://hal.science/hal-01899365>**

Submitted on 19 Oct 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Une nouvelle approche pour l'exploration de données spatio-temporelles

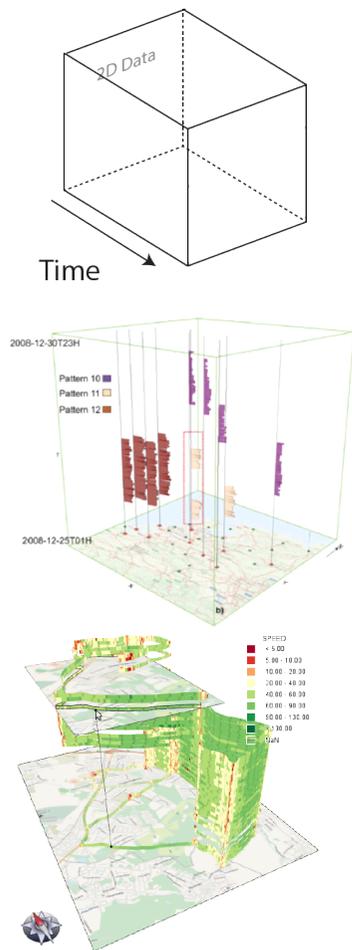


Figure 1 : Exemples de représentation de cubes spatio-temporels [1, 12, 11]

## Sabine Cassat

University of Toulouse - IRIT  
31400, Toulouse, France  
Sabine.cassat@irit.fr

## Marcos Serrano

University of Toulouse - IRIT  
31400, Toulouse, France  
marcos.serrano@irit.fr

## Pourang Irani

University of Manitoba  
Winnipeg, Canada  
Pourang.Irani@cs.umanitoba.ca

## Emmanuel Dubois

University of Toulouse - IRIT  
31400, Toulouse, France  
emmanuel.dubois@irit.fr

## Abstract

Spatio-temporal datasets (STD) are generated daily. Generally, their visualization includes 2D renderings or animated visualizations that do not fit to the exploration of such complex data. In this paper, we present an alternative approach to current STD visualizations. Our approach uses tangible and visual tools such as mini-robots and a tactile interaction screen to facilitate access, interpretation and manipulation of this kind of data. While tangible elements have been introduced to represent information, our system provides a new approach to explore multidimensional datasets that conventional tools would not allow.

## Author Keywords

Spatio-temporal dataset; data visualization; tangible interaction; robotics.

## CSS concepts

**Human-centered computing** → Interaction design

## Résumé

Des ensembles de données spatio-temporelles (DST) sont générés quotidiennement. Généralement, leur visualisation est basée sur des rendus 2D ou des visualisations animées, peu adaptés à l'exploration de telles données. Dans cet article, nous présentons une alternative aux approches existantes en termes de visualisations. Notre approche propose d'explorer la combinaison d'interfaces tangibles, de

robots et d'un écran tactile pour faciliter l'accès, l'interprétation et la manipulation de ce type de données. Si l'apport des interfaces tangibles a déjà été exploré pour représenter des informations simples, notre approche vise à dépasser ces associations directes pour permettre d'explorer des ensembles de données multidimensionnelles au-delà de la 3D.

### Mots Clés

Données spatio-temporelles ; visualisation de données ; interaction tangible ; robotique.

### Introduction

De nombreuses données spatio-temporelles (DST) sont collectées chaque jour. Elles sont utilisées dans de nombreux domaines d'application que ce soit pour de l'analyse de flux (notamment dans le cas de l'étude du trafic routier [13]) ou le suivi temps réel d'une ou plusieurs entités (par exemple pour le suivi de l'évolution d'une maladie [4]). Ces données riches et complexes peuvent être décomposées en trois éléments principaux : 1) l'objet, qui est souvent l'entité clé ; 2) sa temporalité; et 3) le mouvement de cet objet dans l'espace à travers le temps.

Leur visualisation utilise généralement des rendus 2D, des visualisations animées [5] ou encore le concept de cube spatio-temporel [1, 14] (cf. Figure 1). Les outils d'interaction classiques explorés jusqu'ici pour manipuler ce type de représentations incluent notamment la souris 2D, les interactions tangibles ou les interactions mid-air [16]. Cependant, ces outils présentent certaines limitations face à ce type de données multidimensionnelles : nombre de degrés de liberté limité, fatigue ou encore manque de feedback.

Nous proposons donc de combiner des interfaces tangibles robotisées et des visualisations 2D sur une table interactive.



L'utilisation de robots comme interface a pour but de représenter physiquement des entités dans un ensemble de DST [8], de leur conférer une certaine autonomie, et de les enrichir en intégrant des moyens d'exploration basés sur la manipulation physique de ces robots (cf. figure 2). L'objectif est d'exploiter des technologies émergentes pour contribuer à faciliter la compréhension des DST, faire avancer les normes d'analyse de données actuelles et répondre à un besoin clé en analyse visuelle.

### État de l'art

Contrairement aux autres types de données multidimensionnelles, les attributs spatiaux et temporels des DST sont indissociables : une information spatiale est obligatoirement associée à un instant donné. Par conséquent, ces données sont généralement exprimées sur trois dimensions ou plus, ce qui rend difficile leur exploration avec des outils classiques. Une manière simple de représenter des données spatio-temporelles est d'utiliser le concept de cube spatio-temporel [1]. En effet, cette représentation 3D des données est relativement intuitive à explorer : deux dimensions sont logiquement attribuées aux informations spatiales, tandis que la troisième dimension traduit les informations temporelles. L'exploration des données spatiales comme des données temporelles peut donc être ramenée à une visualisation 2D animée ou statique [5]. Cela peut donc permettre d'explorer des ensembles de données denses et complexes [13, 14].

Interagir avec de telles représentations en utilisant la souris classique présente toutefois des limitations [9]. En raison de sa nature 2D, cet outil ne permet pas de manipuler aisément les données sur 6 degrés de liberté (DDL). Pour pallier cette limitation, des périphériques tels que la souris 3D [12] furent étudiés, permettant de manipuler ces données

multidimensionnelles selon 6 DDL. Cependant, ce type d'outil présente un manque de précision lorsqu'il s'agit de sélectionner un sous-ensemble contraint de données. Les représentations de DST correspondant à des représentations en 3D, Katzakis *et al.* [7] ont montré que la manipulation physique d'un smartphone comme intermédiaire d'interaction pour manipuler des objets 3D est plus intuitif et rapide qu'un clavier et une souris. Ils mettent en avant ces résultats en particulier pour le cas de la rotation d'un objet virtuel 3D à partir d'un objet réel muni d'un accéléromètre et d'un magnétomètre. En supplément de l'interaction tangible, il est possible d'ajouter de l'interaction tactile permettant ainsi d'élargir la gamme d'interaction avec le système [2].

Ces différentes techniques d'interaction se limitent cependant à une visualisation 2D. Il existe alors d'autres formes de visualisations des données utilisant, par exemple, des objets physiques représentant les données virtuelles 3D [6], permettant ainsi d'aider l'utilisateur à interpréter les données qu'il explore. Cependant, ce type de visualisations physiques n'est pas adapté à des données complexes ou en évolution. Enfin, l'impact croissant de la robotique dans de nombreux domaines permet aujourd'hui de créer des interfaces physiques dynamiques telles que celles observées dans [8,10,11,17]. Cela permet ainsi de bénéficier des avantages liés aux visualisations physiques tout en permettant une actualisation des données qu'il est difficile à réaliser avec des objets physiques statiques [6].

### **Couplage de tangible, robotique et tactile**

En prenant en compte les différents bénéfices des techniques d'exploration précédemment mentionnées, nous proposons une approche couplant la robotique, l'interaction tangible et un écran tactile pour explorer des DST. Nous expliquons les

principaux avantages d'un tel couplage puis détaillons les points saillants de sa mise en œuvre.

#### *Apports du couplage*

Visualiser des DST sur une surface tactile permet de créer une coupe temporelle dans le volume de données : les données visualisées sur la surface correspondent aux données au temps  $t$  du volume de données.

Amener une dimension tangible dans l'interaction avec des DST est vecteur de multiples manipulations physiques, représentant autant de degrés de liberté pour explorer l'espace d'information. Ainsi l'accès à certaines dimensions du volume de DST est rendu physiquement perceptible, un nombre limité de widgets numériques est requis pour accéder aux autres dimensions des DST.

Enfin le véritable apport d'un robot dans la représentation d'un ensemble de données spatio-temporelle est qu'il permet de matérialiser physiquement une donnée parmi cet ensemble numérique de données : le robot réifie donc un point d'intérêt de l'espace d'information. De plus, son autonomie permet de suivre et refléter l'évolution du point d'intérêt lorsque la coupe temporelle visualisée sur la surface tactile est modifiée. Cette mise en évidence facilite la collaboration entre utilisateurs et le déclenchement de commandes au sujet de ce point d'intérêt.

#### *Extraction des DST*

Notre étude de cette combinaison de technologies d'interaction (robotique, tangible et tactile), nous avons choisi l'exploration des données relatives à un itinéraire, tel que le suivi d'un itinéraire réalisé par un cycliste. Cela nous a permis d'extraire aisément les informations spatiales et temporelles du cycliste et de les représenter à l'intérieur d'un

cube conceptuel spatio-temporel. Bien qu'un point à l'intérieur de ce cube ne soit exprimé qu'en  $(X, Y, T)$  (cf. Figure 1), il est possible d'accéder aux informations relatives à chaque point du parcours comme, entre autres, l'élévation ou la vitesse instantanée, la fréquence de pédalage ou encore le temps cumulé depuis le début de l'itinéraire. Ces nouvelles informations permettent alors de définir des points d'intérêt que l'utilisateur peut visualiser et parcourir.

#### *Visualisation des DST*

Une fois les données extraites et segmentées, notre système affiche alors des coupes planaires de ce cube spatio-temporel sur un écran 2D (cf. Figure 3) sur lequel un robot à roues peut se déplacer de manière autonome : le déplacement du robot peut alors par exemple représenter l'évolution de la position du cycliste au cours du temps, sa vitesse relative, etc.

L'exploration du volume de données dans le temps peut être automatique, couvrant alors du début à la fin du parcours, ou manuel, i.e. avancer ou reculer dans le temps à la demande de l'utilisateur. A chaque instant du parcours  $(X, Y, T)$ , l'utilisateur a accès à l'intégralité des données relative à cette position spatio-temporelle. La granularité d'exploration des DST peut être adaptée de manière à correspondre à une période de temps donnée, comme par exemple minute par minute ou jour par jour. En mode manuel, l'utilisateur a également accès aux points d'intérêt déterminés à partir des informations  $(X, Y, T)$  des DST telles que les zones à fortes pentes (cf. Figure 4).

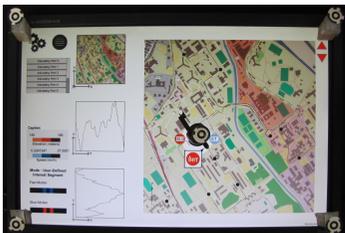
#### *Interaction tangible avec le système*

A tout moment, lorsque le robot se place ou est placé à proximité de l'itinéraire, l'élévation et la vitesse instantanée du point spatio-temporel le plus proche est affiché sous

forme de vignettes colorées et textuelles (cf. Figure 5). L'interaction tangible avec le robot intervient si l'utilisateur souhaite obtenir plus d'information en lien avec l'un des points spatio-temporels. En effet le principe consiste à saisir le robot, le soulever et l'orienter pour visualiser jusqu'à six informations différentes et complémentaires en ce point. Trois paliers ont été définis et peuvent être détectés par notre système; pour chacun d'eux deux orientations distinctes peuvent aussi être détectées. Ainsi, selon le palier et l'orientation, des informations complémentaires et relatives au point le plus proche du robot sont affichées telles que la vitesse moyenne, ou encore l'élévation positive et négative déjà parcourue. L'ajout du robot permet donc non seulement de mettre en évidence physiquement et spatialement les données à explorer, mais constitue également un outil d'interaction pour accéder à davantage d'informations.

#### *Création de points d'intérêt*

A l'initialisation de notre système, il est possible de définir manuellement des points d'intérêt, comme par exemple le centre-ville de chacune des villes traversées. Si l'utilisateur souhaite les ajouter, il peut mettre dans un fichier les coordonnées GPS de ces points (et d'autres informations relatives à ce point s'il le souhaite) pour que le système reconnaisse ce point spatial comme un point d'intérêt. Cela permet notamment de personnaliser l'exploration des DST en fonction des demandes utilisateurs, ou encore d'annoter le volume de données. Il est aussi possible de marquer automatiquement chaque point du parcours où la vitesse dépasse un certain seuil : un algorithme d'annotation automatique de ce type d'information a été inséré dans notre prototype. Sur le même modèle des points d'intérêts peuvent être ajoutés manuellement ou automatiquement, et porter sur tout type de données du volumes de DST.



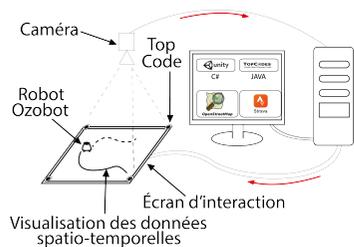


Figure 6 : Schéma représentatif des différents outils matériels et logiciels utilisés

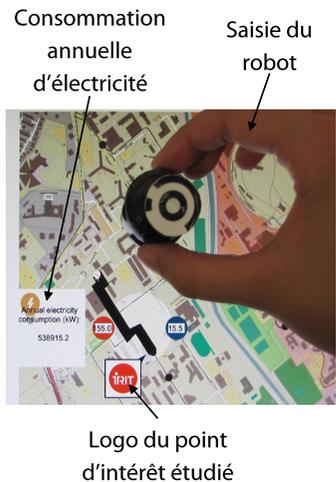


Figure 7 : Illustration de la saisie du robot à proximité d'un bâtiment d'intérêt

### Outils matériels et logiciels

Notre système est divisé en trois parties (cf. Figure 6). Une première partie est en charge de créer les DST à partir du suivi de position d'un cycliste enregistré depuis la plateforme web Strava, et de récupérer les cartes géographiques associées à l'aide de l'API OpenStreetMap. Une seconde partie du système, développée sous Unity, a pour but de concevoir la représentation 3D du cube spatio-temporel à partir des données récupérées et de permettre leur visualisation grâce à l'écran d'interaction sur lequel des coupes planaires du cube sont visibles et où le robot peut être utilisé. Le robot Ozobot [3] utilisé pour ce projet possède des capteurs lui permettant de suivre des lignes noires ou de couleur, ce qui nous permet d'adapter sa trajectoire et son comportement de manière dynamique. Du fait que ce robot soit un suiveur de ligne, un certain nombre de paramètres (longueur de la fenêtre temporelle, épaisseur de la ligne à suivre, luminosité de l'écran...) ont fait l'objet de définition empirique pour permettre au robot de se déplacer de manière cohérente avec les informations affichées sur l'écran. Enfin, un programme externe, développé en Java et utilisant la librairie TopCode permet de localiser le robot sur l'écran d'interaction et le transmettre au programme principal développé sous Unity en charge de la visualisation des données.

### Scénario d'utilisation neOCampus

Pour illustrer la généricité de notre approche, nous avons développé un second scénario dans le cadre du projet neOCampus. Ce projet regroupe aujourd'hui 11 laboratoires combinant leurs compétences dans différents domaines (informatique, matériaux, électricité, écologie, etc.), pour construire le campus universitaire de demain, smart, innovant et durable. Dans ce contexte, nous nous intéressons au suivi et à l'analyse de données en lien avec la

consommation énergétique de l'ensemble des bâtiments du campus universitaire. Notre système peut notamment faciliter l'exploration et l'analyse de ces grandes quantités de données pour gérer au mieux la consommation énergétique à l'échelle d'un campus.

Nous avons donc adapté notre système afin qu'il puisse étudier la consommation électrique et en eau d'une dizaine de bâtiments au sein du campus universitaire d'après un parcours réalisé par un étudiant visitant l'ensemble des laboratoires impliqués dans ce projet. Ainsi, lorsque l'utilisateur voudra étudier la consommation énergétique de l'un de ces bâtiments, il lui sera possible de saisir le robot au-dessus de l'un d'eux pour accéder aux informations telles que la consommation électrique ou en eau, instantanée ou annuelle (cf. Figure 7).

### Limites et Perspectives

Cette preuve de concept présente encore un certains nombres de limitations. En particulier, dans le cas du suivi d'un cycliste, le passage à l'échelle et donc au suivi de plusieurs cyclistes soulève la question de la gestion d'une flotte de robots : comment gérer les collisions, où afficher l'information relative au robot sans occulter celle du robot voisin, comment distinguer les robots les uns des autres.

Par ailleurs d'un point de vue technique, le robot utilisé dans ce prototype ne permettait pas d'établir une communication temps réel entre le robot et l'application. La création d'une ligne à suivre par le robot est le seul moyen de communication disponible. Il serait pourtant utile de pouvoir modifier le type d'affichage autour du robot en fonction de différents paramètres tels que la tâche de l'utilisateur, la densité et la nature des données disponibles en un point, etc.

A court terme nous prévoyons de rendre le système capable d'accueillir plusieurs ensembles de données simultanément partageant une même zones géographiques : ceci permettra par exemple de comparer deux cyclistes parcourant le même jour un même parcours ou deux occurrences du même parcours par un même cycliste. Nous envisageons donc d'intégrer la gestion d'une flotte de robots, chacun représentant un ensemble de données.

De plus, il serait intéressant d'explorer des technologies émergentes telles que la réalité augmentée ou la réalité mixte. Celles-ci permettraient de mettre en évidence certaines données [13] en conservant le contexte cartographique décrit précédemment. Cet enrichissement permettra de mettre en évidence les différents points d'intérêt des DST, et de visualiser des informations supplémentaires [12] sans surcharger l'utilisateur par rapport au nombre d'informations visibles au même instant ou au nombre d'opérations nécessaire pour accéder à une information souhaitée.

D'autre part, dans le but d'étudier l'intérêt d'un tel système mettant en avant la physicalisation des données et l'interaction tangible, nous prévoyons de mettre en place des tests utilisateurs pour déterminer l'efficacité de notre système. Nous planifions entre autres d'évaluer la rapidité d'accès à une information comparativement à une interface 2D contextuelle. Nous étudierons aussi le temps d'apprentissage nécessaire à l'appropriation d'un tel système et explorerons l'effet de tels systèmes sur le temps requis pour accéder à l'information voulue, le nombre d'actions utilisateur nécessaires à l'accès d'une information précise, ainsi que la précision du système à sélectionner un sous-ensemble des DST que l'utilisateur souhaite analyser.

## Conclusion

Dans ce papier, nous présentons un système original basé sur l'utilisation simultanée des interactions tangibles, de la robotique et des interactions tactiles pour accéder, interpréter et manipuler des ensembles de données spatio-temporels. L'utilisation d'un robot permet de mettre en évidence physiquement et spatialement un sous-ensemble des DST tout en autorisant l'utilisateur à le manipuler (saisir, tenir, déplacer) pour accéder à un plus grand nombre d'informations. Contrairement aux outils classiques d'interaction, cette interaction physique et directe avec le robot ouvre un large champ d'actions possibles sur le système.

Enfin, la perspective de pouvoir accueillir plusieurs ensembles de DST simultanément pourra ouvrir un nouveau champ d'exploration des données. En effet, il sera alors possible de comparer plusieurs entités entre elles, ou bien de comparer plusieurs parcours d'une unique entité sur une même zone géographique.

## Bibliographie

1. Bach, Benjamin, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, et Sheelagh Carpendale. 2014. « A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations ». *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis 2014)*.
2. Besançon, Lonni, Paul Issartel, Mehdi Ammi, et Tobias Isenberg. 2017. « Hybrid Tactile/Tangible Interaction for 3D Data Exploration ». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 23 (1): 881–890.
3. « Ozobot | Robots to code, create, and connect with ». s. d. Consulté le 16 juillet 2018. <https://ozobot.com/>.

4. Edlund, Stefan B., Matthew A. Davis, et James H. Kaufman. 2010. « The Spatiotemporal Epidemiological Modeler ». In , 817. ACM Press.
5. Elmqvist, N., P. Dragicevic, et J. D. Fekete. 2008. « Rolling the Dice: Multidimensional Visual Exploration using Scatterplot Matrix Navigation ». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 14 (6): 1539-1148.
6. Jansen, Yvonne, Pierre Dragicevic, et Jean-Daniel Fekete. 2013. « Evaluating the Efficiency of Physical Visualizations ». In , 2593. ACM Press.
7. Katzakis, N., et M. Hori. 2010. « Mobile devices as multi-DOF controllers ». In *2010 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 139-40.
8. Le Goc, Mathieu, Lawrence H. Kim, Ali Parsaei, Jean-Daniel Fekete, Pierre Dragicevic, et Sean Follmer. 2016. « Zooids: Building Blocks for Swarm User Interfaces ». In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, 97-109. UIST '16. New York, NY, USA: ACM.
9. Liang, J., et M. Green. 1994. « JDCAD: A Highly Interactive 3D Modeling System ». *Computers & Graphics* 18 (4): 499-506.
10. Patten, James, and Hiroshi Ishii. "Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces." Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, 2007.
11. Pedersen, Esben Warming, and Kasper Hornbæk. "Tangible bots: interaction with active tangibles in tabletop interfaces." Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2011.
12. Perelman, Gary, Marcos Serrano, Mathieu Raynal, Célia Picard, Mustapha Derras, et Emmanuel Dubois. 2015. « The Roly-Poly Mouse: Designing a Rolling Input Device Unifying 2D and 3D Interaction ». In *ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Seoul, South Korea.
13. Tominski, C., H. Schumann, G. Andrienko, et N. Andrienko. 2012. « Stacking-Based Visualization of Trajectory Attribute Data ». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18 (12): 2565-74.
14. Yusof, Norhakim, Raul Zurita-milla, M. J. Kraak, et V. Retsios. 2016. « Interactive Discovery of Sequential Patterns in Time Series of Wind Data ». *International Journal of Geographical Information Science* 30 (8): 1486-1506.
15. Perea, Patrick, Denis Morand, et Laurence Nigay. 2017. « Halo3D: a Technique for Visualizing Off-screen Points of Interest in Mobile Augmented Reality ». In *29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, édité par AFIHM, 10 p.
16. Cordeil, M., Bach, B., Li, Y., Wilson, E., & Dwyer, T. (2017). Design space for spatio-data coordination: Tangible interaction devices for immersive information visualisation. In *2017 IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)* (p. 46-50).
17. Rosenfeld, D., Zawadzki, M., Sudol, J., & Perlin, K. (2004). 17. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(1), 44-49.