
Patrons de mobilité : proposition de définition, de méthode de représentation et d'interrogation

S. Chardonnel[†], C. du Mouza[‡], M.-C. Fauvet*, D. Josselin^Φ P. Rigaux^Ψ

[†] lab. Territoires, UMR 5194, Grenoble, France, sonia.chardonnel@ujf-grenoble.fr

[‡] éq. VERTIGO, lab. CEDRIC, CNAM, Paris, France, dumouza@cnam.fr

* lab. CLIPS-IMAG, Grenoble, France, Marie-Christine.Fauvet@imag.fr

^Φ lab. UMR ESPACE, Avignon, France, didier.josselin@univ-avignon.fr

^Ψ lab. L.R.I., univ. Paris-Sud, Orsay, France, rigaux@lri.fr

RÉSUMÉ. *Le travail présenté dans cet article associe des géographes et des informaticiens dans la perspective de définir un cadre logiciel pour la modélisation et l'interrogation de comportements d'individus afin de pouvoir les analyser et les interpréter. L'article étudie tout d'abord la problématique sur le plan thématique puis propose un modèle de classification et d'interrogation des déplacements et activités des individus. Un patron de mobilité est une forme récurrente apparaissant dans la succession des différentes valeurs prises par un (groupe d')individu(s) pour une dimension donnée (motivation, localisation, activité, etc.). Il se concrétise par une séquence de symboles, chaque symbole représentant un état de l'individu au cours de ses déplacements ou de ses activités. Le texte présente ensuite un modèle formel, basé sur ces patrons de mobilité qui offre des outils de classification et d'interrogation et qui a conduit à l'implantation du prototype SENTINELLE.*

ABSTRACT. *This article presents a work that results of a collaboration between geographers and computer scientists and aims at defining a software framework for modelizing, querying and analysing individual or group behavior. The article starts with a study about thematic problematics, then proposes a classification and interrogation model for the movements and activities of people. A mobility pattern is a recurring pattern which occurs in the sequence of different values taken by an individual for a given dimension (motivation, location, activity, etc.). It is designed by sequences of symbols standing for a particular state of the person along its moves or activities. The article presents a formal model based on these mobility patterns that provide classification and interrogation tools and that led to the implementation of the prototype SENTINELLE.*

MOTS-CLÉS : *mobilité des individus, comportements des individus, patrons de mobilité*

KEYWORDS: *mobility of individuals, behaviors of individuals, mobility patterns*

1. Introduction

L'article présenté ici s'inscrit dans le cadre d'un travail méthodologique interdisciplinaire sur le champ thématique de la connaissance et de la gestion des mobilités des individus et des véhicules ¹. La question de la mobilité n'est pas abordée dans une perspective de mesure des déplacements entre deux lieux et deux instants mais plutôt de compréhension de la logique des actions des individus et de la logique d'organisation des territoires.

L'objectif du travail est de fournir un cadre permettant la modélisation et l'interrogation de déplacements d'individus dans un espace géographique, afin de pouvoir les analyser et les interpréter. Plus particulièrement, s'appuyant sur un travail préliminaire de collecte des données intervenant dans la motivation des déplacements, l'étude rapportée dans cet article vise à caractériser les mouvements observés dans un environnement donné en fonction des programmes d'activités qui leur sont associés. Nous proposons d'effectuer cette caractérisation sous forme de « patrons de mobilité » que l'on définit comme des formes de mobilité déterminées par la combinaison de séquences de lieux et d'activité.

Le texte est organisé comme suit : la section 2 présente les motivations de ce travail et situe ses apports sur le plan thématique. La section 3 détaille la notion de « patron de mobilité » et introduit un langage d'interrogation de patrons. La section 4 présente brièvement le prototype *SENTINELLE*. Les conclusions et les perspectives de l'étude présentée ici sont données dans la section 5.

2. Positionnement du problème

2.1. L'évolution des mobilités

Les individus développent aujourd'hui des logiques d'action de plus en plus complexes dues à des emplois du temps plus chargés et plus individualisés qui s'étendent sur des lieux plus nombreux et variés. Ceci affecte particulièrement les déplacements des individus et incite à développer des études visant une meilleure connaissance des comportements de mobilité. Aujourd'hui, une volonté partagée par de nombreux acteurs consiste à mieux appréhender ces dimensions complémentaires de la mobilité en mesurant leur ampleur et en déterminant la façon dont elles interagissent. Ceci afin de faciliter l'accès aux ressources par les populations, via les structures et l'offre de transport et, d'une manière plus générale, tout ce qui peut améliorer la mobilité des individus, des biens et des services sur le territoire [BEA 99, BOU 02].

De manière concomitante, les espaces géographiques connaissent des mutations sensibles. L'évolution des structures territoriales apporte des niveaux d'action mul-

1. Travail réalisé dans le cadre du projet pluridisciplinaire MOTIF, associant des géographes et des informaticiens, déployé dans un programme GETM (Géomatique, Espace, Territoire et Mobilité) du CNRS. Le présent article décrit les premiers résultats obtenus.

tiples pour les gestionnaires et les représentants de ces espaces, qui doivent désormais trouver des méthodes d'observation *articulant plusieurs échelles*, intégrant de multiples logiques explicatives dans les processus décisionnels.

Il s'agit de passer d'une représentation du déplacement reliée essentiellement aux logiques de systèmes de transport à celle d'une demande découlant de besoins pour d'autres activités indépendantes de la mobilité. Plutôt que d'identifier des catégories traditionnelles de motifs de déplacements (domicile-travail), il faut davantage s'attacher à explorer l'enchaînement et la durée des activités, en les reliant de manière explicite aux séquencements des déplacements. Cette démarche nous a amené à réfléchir à une modélisation unifiée et générique, capable d'intégrer les différentes dimensions du problème abordé : (i) les projets et les niveaux d'activité des individus et des groupes d'individus, (ii) les modalités des pratiques de mobilité, compte tenu des structures des réseaux et de l'offre de transport (iii) les besoins technologiques en termes de modélisation, d'interrogation et de suivi de ces mobilités.

2.2. Contexte et objectif scientifique

Dans le courant des années 70, des approches sur les questions de mobilité par les programmes d'activité ont été tentées. On trouve par exemple des bases conceptuelles solides dans les travaux de l'école suédoise de la Time-Geography notamment au travers des études de Bo Lenntorp [LEN 76] sur les systèmes de transport en commun qui sont aujourd'hui encore citées ([CHA 01]) pour l'originalité de la méthodologie employée : le réseau et l'organisation des transports en commun dans une ville sont testés en simulant des programmes d'activités-type à partir de différentes localités de l'espace. On citera aussi, parmi les travaux précurseurs, les études menées au sein du Laboratoire d'Economie des Transports [RAU 83]. De telles approches ont été développées [MCN 00] dans le domaine et plusieurs équipes de recherche développent des outils de modélisation et de géo-visualisation [KWA 00] pour alimenter l'approche basée sur les activités (The activity-based approach). Un volet complémentaire des recherches développées actuellement concerne les SIG et les outils de gestion des services de transport. Il s'agit notamment des modèles de trafic à quatre étapes davantage réservés aux aménageurs [THI 00], et des Systèmes d'Aide à l'Exploitation (SAE) destinés à la gestion de flotte de véhicules [SCé 98] et à la gestion des impératifs de sécurité et des contraintes de circulation [BAI 01]. Un apport vient également des SIG dédiés aux transports (SIG-T) [DUE 98, THé 02], et de développements informatiques plus spécifiques d'interfaces [CLA 00] et d'outils d'animation de cartes pour l'analyse de la mobilité [FRI 03].

Le travail présenté ici peut être mis en relation avec d'autres domaines comme par exemple celui de la représentation multi-échelles dans les applications SIG. L'article le plus proche de notre travail est un article proposé par Meratnia et de By dans [MER 02], mais leur partition en cellules égales n'est pas compatible avec la partition multi-échelles et thématique que nous désirons. D'autres approches comme [ZHO 01] ne sont pas adaptées pour la gestion et l'interrogation de pérégrinations.

Il existe dans le domaine des séries temporelles des techniques de recherche de patrons de similarité (par exemple [VLA 02, RAF 00]). Cependant ces approches s'appuyant sur la continuité et sur des transformations mathématiques n'ont pas de sens dans notre modèle. L'expression de séquences de déplacements et le mécanisme d'interrogation proposé ici sont proches des techniques utilisées dans les bases de données de séquences (voir par exemple [SAD 01]) et dans les bases de données temporelles (voir par exemple [DUM 98]). Un dernier aspect important concerne la représentation [FAU 98, DUM 00] et la visualisation des objets temporels et mobiles [DAA 02, MOU 02], et la modélisation des trajectoires d'objets mobiles et des langages d'interrogation [MOU 00].

2.3. Notion de patron de mobilité et domaines de recherche

Le terme de patron (ou *pattern*) de mobilité est largement utilisé par diverses disciplines. Les trois principaux domaines traitant de cet objet de recherche sont la sociologie (voir par exemple le travail de [GOL 03]) les sciences régionales (incluant la géographie et l'économie spatiale, voir par exemple la revue relativement complète réalisée en 1995 par M. Fox [FOX 95]) et les sciences de l'information (incluant notamment la télématique, l'information géographique, voir par exemple [GOR 99]). Si les disciplines proposent des approches méthodologiques et théoriques qui leur sont propres, l'existence d'un patron peut, dans l'ensemble, découler d'une expertise *a priori* comme d'une étude statistique poussée ayant mis en évidence sa récurrence (comportement moyen de mobilité). Le terme de mobilité quant à lui, revêt un caractère moins équivoque. Il concerne le mouvement dans l'espace géographique d'individus, de biens ou d'informations. Un patron de mobilité est destiné, en ce qui nous concerne, à représenter de manière générique le comportement commun d'un groupe d'individus. Si l'on imagine une application permettant de suivre les déplacements et les activités d'un ensemble d'individus, dans la région urbaine grenobloise découpée en 4 zones (Grésivaudan, Agglomération, Bièvre et Voironnais), le patron de mobilité « Grésivaudan-Agglomération-Voironnais » (cf figure 1) permettrait de classer un certain nombre d'individus dont le déplacement correspond à ce patron. Pour la même application, un patron de mobilité « Ménage-Déplacement-Travail » (cf figure 2) caractérise des individus ayant une séquence d'activités similaire.

Ainsi la définition que nous adoptons pour un patron de mobilité est la suivante : *un patron de mobilité est une forme récurrente apparaissant dans la succession des différentes valeurs prises par un (groupe d')individu(s) pour une dimension donnée (motivation, localisation, activité, etc.). Il se concrétise par une séquence de symboles, chaque symbole représentant un état de l'individu au cours de ses déplacements ou de ses activités.*

2.4. Objets temporels et mobiles

Dans la perspective de la modélisation et de l'interrogation de patrons de mobilité, nous nous intéressons plus particulièrement aux objets dont les états évoluent au cours du temps. Nous qualifions ces objets de *temporels*. De manière générale, la représentation d'objets temporels s'appuie sur un modèle du temps et un modèle d'*historiques* (séquence d'états de l'objet en question, [DUM 00]). Plus précisément, un objet est temporel lorsqu'au moins une de ses propriétés est modélisée par un historique. Par exemple, un individu sera modélisé par son identité et un historique de localisations permettant de représenter ses déplacements. Dans ce cas on parlera d'*objet mobile*, du fait de l'historisation des localisations. Nous considérons par ailleurs un modèle du temps discret et multigranulaire, fournissant les types nécessaires à la modélisation d'unité de temps (par exemple, jour, année, seconde), d'instant (par exemple, 21/12/2003, 2003, 21/12/2003 :21H12M11S) et de durées (10 ans, 1 seconde). Tout historique est paramétré par une unité. Celle-ci fixe la granularité à laquelle sont faites les observations. Du point de vue de la modélisation, nous considérons l'objet comme une entité insécable ayant une identité forte. Ainsi, des groupes d'individus (classes d'écoliers, familles) auxquels sont attachées des activités à un moment de la journée ne sont pas décrits par les éléments qui les composent, mais comme un tout. Ces objets peuvent être vivants (hommes, animaux, algues...) ou matériels (véhicules).

2.5. Composantes de la mobilité

Voici une liste non exhaustive des caractéristiques historisées des objets mobiles que nous avons considérées, étant entendu que toute caractéristique peut potentiellement être prise en compte dans la modélisation générique que nous proposons, et que cette liste peut varier d'une application à l'autre.

Les objets se déplacent généralement dans l'espace géographique poussés par une *motivation* ou incités par une *raison*. Le terme de motif est écarté car trop polysémique (intégrant à la fois la motivation et la forme, voire le patron lui-même). Nous lui préférons l'intention du déplacement.

Le *mode* est le moyen utilisé pour se déplacer. Il peut être inhérent à l'objet lui-même (marche à pied d'un individu) ou concerner un second objet mobile avec lequel les historiques de localisation seront conjoints sur une durée définie.

On parlera de *trajet* pour désigner une série ordonnée de lieux visités par un objet mobile et de *trajectoire* pour qualifier un trajet où les lieux sont estampillés temporellement. Le trajet et la trajectoire sont obtenus à partir de l'évolution de la localisation, en ne gardant que la séquence des localisations (éliminant donc les autres caractéristiques) et conservant ou non, selon le cas l'aspect temporel. Dans notre approche, les localisations sont basées sur des découpages, généralement des partitions territoriales servant de support au déplacement des objets qui nous permettent, de par leur confi-

guration, d'analyser les caractéristiques, en termes de régularité et de récurrence, du mouvement des objets.

L'*activité* est une composante des patrons de mobilité qui se surimpose aux classiques modes de transport, trajets et intentions de déplacements. L'historique des activités correspond à l'enchaînement des actions que réalise un objet (individu) successivement au cours d'une période donnée. Le terme activité peut comporter un certain degré de généralisation puisqu'il matérialise sémantiquement un type d'activité (travailler, faire les courses, se déplacer). Dans les historiques, un même type d'activité peut apparaître plusieurs fois et l'on peut alors parler d'occurrence des activités (le type « faire les courses » correspond à trois actions datées et localisées différemment, cette activité à une occurrence de 3 dans l'historique considéré). Cette formalisation des activités permet de décrire les patrons de mobilités par les séquences d'activités trouvées dans les historiques.

Enfin, si l'objectif ultime thématique des applications est d'extraire des patrons de mobilité, cela peut passer par l'analyse des *pérégrinations*. Une pérégrination est, dans notre acception, un patron correspondant à une pratique de mobilité suffisamment récurrente pour qu'elle soit considérée comme généralisable (à un type de population, par exemple). Une pérégrination doit être intentionnellement construite et considérée comme optimale par l'individu.

La pérégrination constitue ainsi une forme thématique et particulière du concept de patron de mobilité. L'analyse permettra de mieux saisir la relation entre les patrons révélés et le fonctionnement de la mobilité sur le territoire en question. Disposant de l'historique des caractéristiques temporellement variables des objets au cours d'une période donnée, on pourra extraire (et mesurer l'ampleur) de pérégrinations typiques reliant par exemple les zones d'habitat peu denses aux zones d'activité industrielle.

3. Formalisation des patrons de mobilité

Nous présentons tout d'abord une modélisation des patrons de mobilité dans la section 3.1. Dans la section 3.2, nous montrons comment étendre ces patrons de mobilité pour obtenir un langage d'interrogation des données.

3.1. Découpages spatial et sémantique

Afin de décrire les pérégrinations composées de nombreuses caractéristiques comme par exemple la localisation ou l'activité, nous proposons un modèle permettant de représenter non seulement l'information de type spatio-temporelle, mais également les données rendant compte des motivations, activités, etc. La définition d'un patron de mobilité présentée à la section 2.3 conduit à la définition suivante dans ce modèle : un patron de mobilité est essentiellement une *séquence* de symboles représentant les différents états d'un individu (au sens large) au cours de sa pérégrination. Ces symboles sont pris dans un vocabulaire censé représenter l'ensemble des valeurs possibles

pour ces états. Nous envisageons la prise en compte de plusieurs vocabulaires pour rendre compte de différentes dimensions (positionnement, activité, etc.).

Ces principes étant posés, voici un exemple montrant comment ils se concrétisent. Nous souhaitons représenter sous forme de patron les déplacements (au sens littéral de « changement de localisation ») de nos individus dans un espace donné. Nous allons regrouper ces déplacements en fonction d'un *découpage* de l'espace en zones d'intérêts, déterminées par un thématicien en fonction des objectifs de son étude. Ce découpage est multi-échelles car certaines zones sont obtenues par regroupements d'autres zones. À titre d'illustration, la figure 1 fournit un échantillon du découpage de la Région Urbaine Grenobloise (RUG). La région est décrite en secteurs composés de communes.

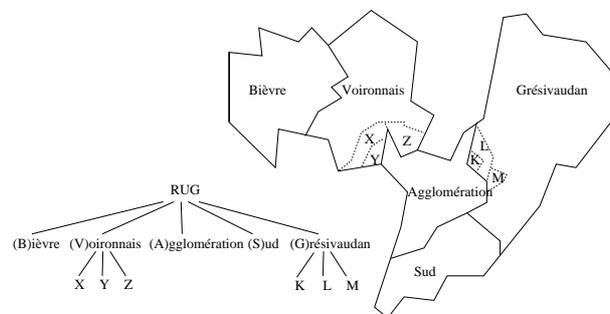


Figure 1. Partition multi-échelles de la RUG

Le découpage, ici de l'espace, fixe le vocabulaire pour l'expression des patrons. Ainsi, les symboles utilisés dans une expression de patron correspondent chacun à une zone du découpage : Bièvre (B), Voironnais (V), Grésivaudan (G), etc. Une expression de patron est une séquence de symboles pris dans ce vocabulaire (par exemple V . G . B). Il faut souligner que chaque zone peut être un ensemble de zones non contiguës. Donc on peut attribuer le même symbole (par exemple « commerces ») à plusieurs zones.

Un patron P est interprété comme désignant l'ensemble de tous les déplacements qui passent successivement, et dans le bon ordre, dans les zones désignées par les symboles de P . Voici quelques exemples de patrons de mobilités, avec leur interprétation :

- 1) X . Y . A . G représente tous les déplacements qui passent successivement dans les communes X puis Y dans le Voironnais, vont ensuite dans l'Agglomération, et finissent dans le Grésivaudan.
- 2) V . A . K . L représente les déplacements qui passent du Voironnais à l'Agglomération, et finissent par les communes K et L du Grésivaudan.
- 3) V . A . G représente les trajets qui partent du Voironnais pour aller en Grésivaudan en passant par l'Agglomération.

Certains patrons sont plus « précis » que d'autres, dans le sens où ils correspondent à une caractérisation plus fine des déplacements qu'ils représentent. Il est assez facile de définir une relation d'inclusion entre patrons : par exemple le premier et le second patron ci-dessus sont des cas particuliers du troisième.

Pour l'utilisateur, le choix d'un niveau d'échelle particulier (par exemple le niveau des communes, ou des départements, ou une combinaison des deux, avec les communes dans le Voironnais et le Grésivaudan, tout le reste étant considéré au niveau des secteurs) fournit un outil d'analyse flexible pour agréger et comparer les déplacements.

Le mode d'expression de patron proposé ici s'applique à d'autres aspects de la mobilité des individus, comme par exemple leurs activités. La figure 2 propose un découpage des activités et fixe le vocabulaire pour l'expression des patrons associés.

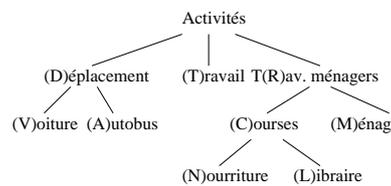


Figure 2. *Un découpage multi-échelles des activités*

Des patrons de mobilité basés sur le découpage multi-échelles de la figure 2 peuvent être par exemple :

- le patron T . D . C représente les séquences d'activités correspondant aux individus se déplaçant de leur lieu de travail à un lieu pour réaliser des achats
- le patron L . V . N représente les séquences d'activités correspondant aux déplacements des individus qui sont allées chez le libraire, puis ont utilisé leur voiture pour aller acheter de la nourriture.

3.2. *Patrons d'interrogation*

Outre ce modèle de représentation, nous avons également défini des fonctionnalités d'interrogation de patrons. Une interrogation consiste à donner simplement un patron de mobilité pour obtenir tous les déplacements qui lui correspondent.

La granularité choisie pour le patron lors d'une requête indique le niveau d'abstraction auquel se place la recherche, ainsi que le degré d'agrégation des résultats. On peut ainsi souhaiter connaître tous les objets qui étaient à un instant donné dans le Voironnais puis dans l'Agglomération pour atteindre le Grésivaudan où ils sont actuellement. Dans ce cas le patron pour l'interrogation est : V . A . G.

Si l'on souhaite une requête qui soit plus précise et retourne uniquement les objets qui étaient dans les communes X puis Y du Voironnais, ont traversé l'Agglomération et sont maintenant dans la commune K du Grésivaudan, le patron est alors : X . Y . A . K.

Le résultat de la seconde requête est un sous-ensemble du résultat de la première, le patron étant utilisé pour l'interrogation étant un patron plus « précis » que celui de la première requête.

Nous avons étendu ces possibilités avec des *patrons d'interrogation* qui permettent d'exprimer de manière concise des critères puissants de recherche. Un patron d'interrogation s'interprète dans le contexte d'un *niveau de granularité donné*, et consiste en une expression comprenant des symboles de l'espace de référence, ainsi que des *variables*.

La granularité indique le niveau d'échelle auquel se place la recherche, ainsi que le degré d'agrégation des résultats. Considérons un exemple simple : supposons que l'on se place au niveau mixte évoqué précédemment, à savoir les communes dans le Voironnais et le Grésivaudan, tout le reste étant considéré au niveau des secteurs. Voici un patron d'interrogation : A . @x . A . Z. Le symbole @x désigne une *variable* qui peut prendre comme valeur n'importe quel symbole du niveau de granularité considéré, donc le symbole d'une des communes X, Y, Z, K, L ou M, ou d'un secteur B ou S. Cette expression représente donc tous les déplacements qui partent de l'Agglomération, vont ensuite n'importe où, reviennent dans l'Agglomération et finissent dans la commune Z du Voironnais. On peut constater que ce patron d'interrogation permet d'exprimer de manière très concise des recherches assez complexes.

Nous permettons également une classification non plus sur des données statiques (par exemple en interrogeant les trajets) mais une classification « à-la-volée » des trajets. En effet, d'un point de vue pratique, si on considère que les individus sont munis de GPS, l'objectif consiste à traiter des flots d'événements GPS afin de déterminer si pour un objet donné les derniers événements satisfont un certain patron. Autrement dit nous cherchons les individus dont la séquence des dernières localisations correspond au patron d'interrogation. De plus dans cette situation concrète, il ne s'agit plus d'évaluer une requête à un instant donné sur un ensemble de nuplets statiques, mais de maintenir le résultat de la requête continûment pour un intervalle de temps donné. Ce type de requêtes bien particulier, appelées *requêtes continues*, est un sujet de recherche récent et très actif (voir [MOU 02, MOU 04]). Ici le système doit donc notifier à l'utilisateur chaque fois que le résultat évolue, à savoir chaque fois qu'un objet entre ou quitte le résultat de la requête. L'exemple ci-dessous illustre comment évolue le résultat du patron d'interrogation A . C . B . A suivant les trajectoires de trois objets o_i , à trois instants différents :

temps	trajectoires			résultat
$T = i$	$t_1 = A.B.A.C.B$	$t_2 = A$	$t_3 = C.B.A.B$	\emptyset
$T = i + 1$	$t_1 = A.B.A.C.B.A$	$t_2 = A.C$	$t_3 = C.B.A.C.B$	o_1
$T = i + 2$	$t_1 = A.B.A.C.B.A.B$	$t_2 = A.C$	$t_3 = C.B.A.C.B.A$	o_3

Le patron apparaît dans les trajectoires t_1 (à $T = i + 1$) et t_3 (à $T = i + 2$). À noter que la trajectoire t_2 reste inchangé entre les instants $T = i + 1$ et $T = i + 2$. Cela signifie que l'objet n'a pas changé de zone entre $T = i + 1$ et $T = i + 2$.

Nous avons mené un travail de formalisation sur la base de ces idées ([MOU 04]), et nous travaillons actuellement sur les optimisations de nos requêtes. Parmi les pistes à explorer, nous envisageons d'étudier les partitions de l'espace rendant compte de manière pertinente des cadres de vie et des activités. À titre d'exemple, un environnement urbain peut être (grossièrement) découpé en quartiers d'habitation, de travail, de consommation. Sur la base d'un tel découpage il est possible de caractériser les déplacements par des patrons. Il restera alors, du point de vue thématique, à interpréter les résultats obtenus et à valider le découpage sous-jacent.

4. Le prototype *SENTINELLE*

Le prototype *SENTINELLE* a été réalisé dans le but d'évaluer le modèle proposé précédemment. Il s'agit actuellement d'une application permettant de suivre et d'interroger des objets mobiles se déplaçant sur un territoire divisé en zones. Nous avons choisi ici de suivre une flotte de véhicules se déplaçant sur le réseau autoroutier français. La carte considérée correspond à la carte des 21 régions administratives métropolitaines françaises.

On fait la supposition que chaque véhicule fournit régulièrement sa position au système par l'envoi d'événements GPS. En l'absence de données réelles, nous avons réalisé un simulateur qui génère des trajets pour un nombre choisi de véhicules, en prenant en considération différents paramètres du réseau, comme la taille d'une commune (et par conséquent du flux de véhicules qu'elle génère) et la distance entre deux communes, en attribuant aléatoirement une heure de départ. Les positions sont alors régulièrement calculées à partir de ces trajets et transmises au serveur.

Le serveur de l'application doit pouvoir accepter la connexion de nouveaux clients à l'application, enregistrer de nouvelles requêtes, intégrer les nouvelles positions des véhicules, évaluer les requêtes en continu et transmettre les mises à jour aux clients. Lorsqu'une demande de connexion d'un client est reçue, le serveur envoie en réponse le réseau et la carte. Il transmet ensuite régulièrement au client la position de tous les véhicules ainsi que le résultat des requêtes auxquelles ce client a souscrit. La technique d'évaluation des requêtes que l'on a choisie permet une évaluation « à la volée », basée sur des automates lors de la réception des nouvelles positions des véhicules.

Un client de l'application est un navigateur internet qui se connecte au système, visualise les déplacements de chaque véhicule, et peut souscrire à des requêtes, exprimées dans notre langage d'interrogation présenté précédemment, pour une certaine durée afin de sélectionner et visualiser les véhicules dont le trajet correspond à un patron donné. Le choix de l'affichage des données et de la présentation des résultats s'est porté sur un document de type SVG (*Scalable Vector Graphics*), s'appuyant sur XML et particulièrement adapté pour l'affichage de données graphiques complexes et animées. Pour notre application outre les nouvelles positions des véhicules, qui impliquent un déplacement du véhicule sur la carte, l'appartenance ou non au résultat d'une requête est visuellement représentée au moyen d'un code couleur, chaque couleur identifiant une requête donnée.

5. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons précisé les définitions de diverses composantes de la mobilité des individus. Nous avons également proposé un formalisme opérationnel de représentation et d'interrogation des patrons de mobilité, à la croisée de deux disciplines, la géographie et l'informatique. Le modèle proposé permet ainsi d'assurer le suivi d'objets mobiles tels que des personnes ou des véhicules se déplaçant dans l'espace géographique. Selon nous, il est original de par son formalisme basé sur des partitions où la localisation est prise en compte au même niveau que d'autres dimensions plus sociales, telle que l'activité. Cependant, quelques difficultés restent à surmonter dans les recherches futures. D'une part, il est délicat d'analyser des patrons de mobilité portant sur des découpages conjoints. Par exemple, l'association entre la localisation et l'activité peut-elle révéler des pratiques de mobilité particulièrement instructives. Ce type de requête n'est pour l'instant pas aisément réalisé par le modèle proposé. Soulignons d'autre part, la complexité des pratiques de mobilité qui pose des problèmes de sémantique au niveau : - (i) des grains temporels pertinents auxquels s'associe une dimension particulière (motivation, activité) décrivant l'individu (e.g. une personne « en déplacement » pendant la semaine 4 s'est « déplacée » en voiture à l'aller puis au retour et a effectué de courts « déplacements » pendant cette semaine); - (ii) des individus réalisant ces mobilités (e.g. Faut-il considérer la famille F comme un individu agrégé tant que sa composition ne varie pas ou doit-on au contraire en distinguer ses membres, dès lors que ceux-ci ont des activités différentes au cours du déplacement?) - (iii) du comportement de ces individus : localisation, intention et activité dépendent intimement du choix du grain temporel et de l'individu de référence.

Les travaux futurs se feront en lien avec les recherches en cours sur la géovisualisation et la cartographie dynamique et animée. Il conviendra de résoudre, en s'appuyant sur l'état de l'art et sur les contraintes sémiologiques, les problèmes d'agrégation et de généralisation de l'information propres aux flux et aux patrons de mobilité. La visualisation de données « animées » devient tout à fait intéressante quand il s'agit d'évaluer les impacts respectifs de déplacements les uns sur les autres. Par exemple, l'analyse de la couverture du territoire offerte par un ensemble de patrouilles de gendarmerie,

ou par un ensemble de véhicules de transports (taxis) peut être grandement facilitée par l'intermédiaire de l'affichage des patrons de mobilité. De même, la visualisation de la mobilité des individus permettra d'explorer les formes des trajets et surtout de les situer par rapport à l'ensemble des comportements observés afin de repérer intuitivement des régularités spatiales et temporelles ou des singularités. La concision et l'expressivité de ce mode de communication offrent une manière d'analyser et d'explorer de manière simultanée un grand nombre de données qu'il faudrait segmenter si l'on utilisait d'autres outils d'analyse (modèle statistique par exemple).

6. Bibliographie

- [BAI 01] BAILLY J., HEURGON E., *Nouveaux rythmes urbains : quels transports ?*, ed. de l'Aube, Coll. Prospective du présent, La Tour d'Aigues, 2001.
- [BEA 99] BEAUFILS M., JANVIER Y., LANDRIEU J., *Aménager la ville demain : une action collective*, ed. de l'Aube, 1999.
- [BOU 02] BOULIN J.-Y., DOMMARGUES P., GODARD F., *La nouvelle aire du temps*, ed. de l'Aube, DATAR, Bibliothèque des territoires, 2002.
- [CHA 01] CHARDONNEL S., « *Traité IGAT* », chapitre La Time-geography, in *Modèles en analyse spatiale*, p. 129-156, Hermès, Lavoisier, 2001.
- [CLA 00] CLARAMUNT C., JIANG B., BARGIELA A., « *Transportation Research Part C* », vol. 8, chapitre A new framework for the integration, analysis and visualisation of urban traffic data within geographic information systems, p. 167-184, 2000.
- [DAA 02] DAASSI C., FAUVET M.-C., NIGAY L., « Visual Mining : Multiple Representation of Temporal Data », *Proc. Intl. Conf. on Databases and Expert System Applications (DEXA)*, 2002.
- [DUE 98] DUEKER K., BUTLER A., « GIS-T Enterprise data model with suggested implementation choices », *Urban regional information system association journal*, vol. 10, 1998, p. 13-26.
- [DUM 98] DUMAS M., FAUVET M.-C., SCHOLL P.-C., « Handling Temporal Grouping and Pattern-Matching Queries in a Temporal Object Model », *Proc. Intl. Conf. on Information and Knowledge Management*, 1998, p. 424-431.
- [DUM 00] DUMAS M., « TEMPOS : une plate-forme pour le développement d'applications temporelles au dessus de SGBD à Objets », Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 2000.
- [FAU 98] FAUVET M.-C., CHARDONNEL S., DUMAS M., SCHOLL P.-C., DUMOLARD P., « Analyse de données géographiques : application des Bases de Données Temporelles », *Revue internationale de géomatique*, vol. 8, n° 1-2, 1998, p. 149-165.
- [FOX 95] FOX M., « Transport planning and the human activity approach », *Journal of transport geography*, vol. 3, n° 2, 1995, p. 105-116.
- [FRI 03] FRIHIDA A., MARCEAU D., THÉRIAULT M., « Dimension temporelle et modélisation d'une animation cartographique dans un SIG orienté objet », *Revue internationale de géomatique*, vol. 13, n° 1, 2003, p. 107-127, Eds. Josselin D., Fabrikant S.
- [GOL 03] GOLDTHORPE J., *Progress in sociology : the case of social mobility research*, rapport, 2003, <http://www.sociology.ox.ac.uk/swps/2003-08.pdf>.

- [GOR 99] GORDILLO S., BALAGUER F., MOSTACCIO C., NEVES F. D., « Developing GIS applications with objects : a design patterns approach », *Geoinformatica*, vol. 3, n° 1, 1999, p. 7-32.
- [KWA 00] KWAN M., « *Transportation Research Part C* », vol. 8, chapitre Interactive geovisualisation of activity travel patterns with three dimensional geographical information systems : a methodological exploration of large data set, p. 185-203, 2000.
- [LEN 76] LENNTORP B., Path in Space-Time Environments. Time-Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals, rapport n° Avhandlingar LXXXVII, 1976, Lund : Meddelanden från Lunds universitets geografiska institution.
- [MCN 00] MCNALLY M., « *Hand book of transport Modelling* », chapitre The activity based approach, p. 53-69, Hensher and Button, Elsevier Science Ltd, 2000.
- [MER 02] MERATNIA N., DE BY R. A., « Aggregation and comparison of trajectories », *Proceedings of the tenth ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, 2002, p. 49-54.
- [MOU 00] DU MOUZA C., RIGAUX P., « *Le temps, l'espace et l'évolutif* », chapitre Bases de Données Spatio-temporelles, Editions Cépaduès, école thématique du GDR I3, 2000.
- [MOU 02] DU MOUZA C., RIGAUX P., « Web architectures for scalable moving object servers », *Proc. Intl. Symp. on Geographic Information Systems*, 2002, p. 17-22.
- [MOU 04] DU MOUZA C., RIGAUX P., « Multi-scale Classification of Moving Object Trajectories », 2004, Available at <http://www.lri.fr/rigaux/DOC/MR04.pdf>.
- [RAF 00] RAFIEI D., MENDELZON A., « Querying Time Series Data Based on Similarity », *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2000.
- [RAU 83] RAUX C., « Modèles et prévision des comportements de mobilité quotidienne », Thèse de Doctorat, Université Lyon II, 1983.
- [SAD 01] SADRI R., ZANIOLO C., ZARKESH A. M., ADIBI J., « Optimization of Sequence Queries in Database Systems », *Proc. ACM Symp. on Principles of Database Systems*, 2001.
- [SCÉ 98] SCÉMAMA, GAUDIN, « Recherche Transport Sécurité », 1998, number 61, octobre-décembre.
- [THé 02] THÉVENIN T., « Quand l'information géographique se met au service des transports publics urbains, une approche spatio-temporelle appliquée à l'agglomération bisontine », 2002.
- [THI 00] THILL J., « *Transportation Research Part C* », vol. 8, chapitre Geographic information systems for transportation in perspective, p. 3-12, 2000.
- [VLA 02] VLACHOS M., KOLLIOS G., GUNOPULOS D., « Discovering similar multidimensional trajectories », *Proc. IEEE Intl. Conf. on Data Engineering (ICDE)*, 2002.
- [ZHO 01] ZHOU S., JONES C., « Design and Implementation of Multi-scale Databases », *Proc. Intl. Symp. on Spatial and Temporal Databases (SSTD)*, 2001.