

— GÉOVISUALISATION DES ESPACE-TEMPS QUOTIDIENS. PROPOSITION D'OUTILS D'AIDE À LA RÉFLEXION

Olivier Klein, Chargé de recherche
Centre d'Études de Populations, de Pauvreté et de Politiques
Socio-Economiques
Département Géographie et Développement
Esch-sur-Alzette, Grand-Duché de Luxembourg

Courriel :
olivier.klein@ceps.lu

RÉSUMÉ

Depuis une vingtaine d'années, les mutations du travail et l'individualisation croissante des modes de vie se manifestent par des territoires quotidiens de plus en plus éclatés et des temps désynchronisés. Rendre compte de cette évolution nécessite des outils adaptés afin de pouvoir observer, analyser et représenter ces espaces et ces territoires. Face à l'inadaptation de la cartographie classique, le recours à des formes de représentations alternatives issues des principes de la visualisation scientifique s'avère incontournable. Illustré d'exemples variés, cet article se focalise aussi bien sur des représentations spatio-temporelles de changements que de mouvements, permettant de révéler des structures et des processus spatiaux non directement visibles sur le terrain.

MOTS-CLÉS

Temps, géovisualisation, cartographie, mouvement, changement.

ABSTRACT

In the last twenty years, changes in working conditions as well as the increased individualization of lifestyles have contributed to broad everyday territories and to desynchronize time. In order to take into account these major changes

appropriate tools are required so as to observe, analyze and represent these spaces and territories. Given the inadequacy of traditional cartography, the use of alternative representations forms resulting from the principles of scientific visualization are unavoidable. Illustrated by various examples, this article focuses on spatiotemporal representations of changes and movements. This kind of representation should enable to reveal structures and spatial processes not directly visible on the ground.

KEYWORDS

Time, geovisualization, cartography, movement, change.

—

Les temps de la ville autrefois rythmés par le triptyque «météo-boulot-dodo», synchronisés par les cadences de la production industrielle, sont aujourd'hui désuets. L'activité urbaine ne connaît plus de limite et s'effectue en quasi-continu ; une ville en « 24/7 » (Gwiądzinski, 2002a). Ainsi, bon nombre de citoyens partagent les mêmes espaces mais selon des temporalités diverses et variées. Preuve en est, les conflits liés à l'extension des horaires en soirée sur l'avenue des Champs Élysées à Paris (Le Monde, 2013a) ou les récurrents conflits au sujet de l'ouverture dominicale de grandes enseignes dans bon nombre de zones commerciales françaises (Le Monde, 2013b). Ces exemples illustrent bien que la conciliation des différents temps de la ville est devenue un enjeu complexe de société. Et, bien entendu, cette « *coordination des horaires ne se décrète pas* » (Gwiądzinski, 2002b). Dans une logique de confrontation de l'offre urbaine de commerces et de services avec la demande de la population, la carte fait figure de véritable outil de concertation entre les différentes parties. Toutefois, préalablement, un état des lieux dans les dimensions spatiales et temporelles est nécessaire pour connaître avec précision les rythmes et les horaires des activités urbaines. Les représentations qui en découlent sont essentielles pour une bonne compréhension des phénomènes à l'œuvre. Pourtant les outils cartographiques combinant l'espace et le temps permettant de telles concertations sont encore très rares. Les solutions proposées ne sont hélas pas encore standardisées dans les logiciels commercialisés. Malgré quelques travaux précurseurs et un retour de ces thématiques au premier plan dans les années 2000, peu de recherches ont abouti à des résultats satisfaisants et généralisables. Parmi les travaux plus connus, on peut mentionner ceux de l'école de Lund sous la direction de T. Hägerstrand dans les années 1970, qui ont initié les concepts de *Time Geography*. Cette carence peut être expliquée par trois aspects majeurs (Klein, 2007) : (1) une insuffisance des informations spatio-temporelles très lourdes à collecter, (2) l'absence ou l'inadaptation de la structuration de ces données et (3) des représentations bien souvent inadaptées. C'est donc essentiellement faute de données que la cartographie spatio-temporelle tarde à se développer. La présente communication développe quelques pistes portant principalement sur le troisième aspect à savoir la visualisation de données spatio-temporelles avec des exemples développés en milieu urbain se focalisant successivement sur les représentations du temps, des espaces-temps et des mouvements.

— VERS UNE CARTOGRAPHIE DU TEMPS ?

Le temps est une dimension fondamentale sans laquelle tout resterait figé. Pourtant, bien qu'incontournable, le temps est complexe à définir, à la fois « [...] *évident et impalpable, substantiel et fuyant, familier et mystérieux* » (Klein,

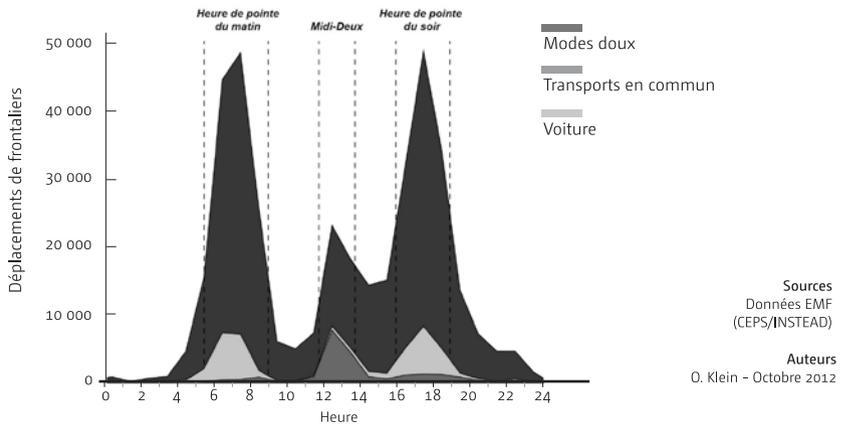
1995). Il n'est généralement perçu qu'à travers ses effets, ce que nombre de définitions rendent compte par l'expression du changement et de la permanence, deux termes qui eux-mêmes intègrent le temps. Dès lors qu'il s'agit de représenter le temps, tout se complexifie encore davantage. Cependant, le temps peut être appréhendé par le changement. Mathématiquement, ce dernier se définit alors comme le passage d'un état E_1 en t_1 à un état E_2 en t_2 , avec $E_1 \neq E_2$. Plus généralement, on parle de changement dès lors qu'une différence entre E_1 et E_2 peut être observée. Celui-ci peut être caractérisé par une nature, une durée et une intensité. Ce sont ces changements et les processus les engendrant qui font tout l'intérêt de chercher à analyser des phénomènes dans le temps, dans l'espace et dans l'espace-temps.

Sachant que les méthodes de visualisation de données temporelles peuvent être classées en fonction des caractéristiques du temps (Andrienko *et al.*, 2010), il convient d'en distinguer deux conceptions élémentaires, l'une linéaire et l'autre cyclique. Celles-ci se matérialisent par la juxtaposition d'échelles temporelles (Klein, 2010), d'une part les temps long de l'histoire et, d'autre part, les temps cycliques, dont la périodicité plus courte caractérise des phénomènes qui se reproduisent de manière quasi-identique à intervalles réguliers. À ces deux types de temps peuvent également se superposer des temps événementiels plus brefs mais bouleversant souvent de manière irréversible les temps longs et/ou cycliques. Parmi ces phénomènes, certains sont temporellement continus, alors que d'autres ne s'observent qu'à certains moments et peuvent être considérés comme pseudo-continus (Klein, 2007).

Chercher à représenter le temps n'est pas forcément une idée nouvelle et innovante. L'ouvrage publié par Rosenberg et Grafton (2013) intitulé *Cartographie du temps. Des frises chronologiques aux nouvelles timelines* en est la preuve. L'une des premières table chronologique connue, la Chronique de Paros établie durant la Grèce antique est daté de 264 av. J.C. Celle-ci retrace les principaux événements historiques. De là, tout au long de l'histoire, différents calendriers et autres diagrammes historiques, plus ou moins élaborés, témoignent de l'importance de garder une mémoire temporelle à travers ces tentatives successives. Ces représentations présentent toutefois un intérêt dès lors qu'on cherche à croiser le temps avec une autre dimension, en règle commune thématique. De tels diagrammes décrivant une évolution ou un changement temporel sont cependant très communs. L'article de Monmonier intitulé *Strategies for the visualization of Geographic Time-Series Data* publié en 1990 en produit une synthèse relativement complète avec une attention plus particulière pour les données géographiques. Ainsi, traditionnellement, les séries temporelles sont représentées par des diagrammes statistiques, à l'instar de la figure 1a, disposant le temps sur l'axe des abscisses et une variable thématique sur l'axe des ordonnées. En résulte une ligne de tendance (*figure 1a*) ou une série de barres représentant chaque

modalité de la variable étudiée. Plusieurs lignes permettent, dans l'exemple proposé, de comparer la pratique modale des frontaliers travaillant au Luxembourg, effectuant des déplacements respectivement en modes doux, en transports en commun ou en voiture. Cette vision linéaire du temps quotidien peut éventuellement être agencée différemment. En effet, les graphiques de séries temporelles s'assimilent quasiment systématiquement à des diagrammes débutant à 0h et

NOMBRE DE DÉPLACEMENTS PAR MODE
DÉPARTS TOUS MOTIFS



NOMBRE DE DÉPLACEMENTS PAR MOTIF
DÉPARTS TOUS MODES CONFORDUS

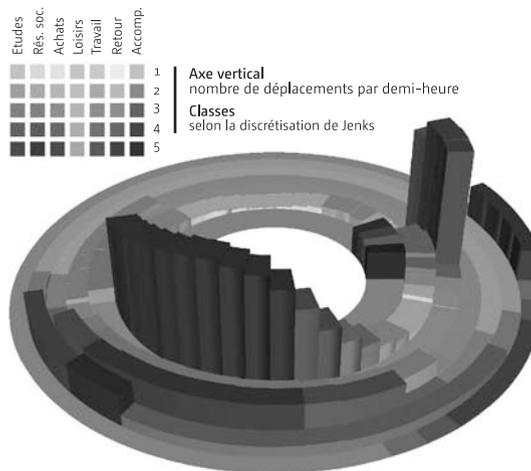


Figure 1 : Représentations graphiques de séries temporelles.

finissant à 24h. Cette forme linéaire est dans certains cas limitative, étant donné qu'elle ne permet pas de visualiser la continuité de phénomènes cycliques, à l'instar de ce qui se passe autour de minuit (Antoni *et al.*, 2012). Une représentation circulaire, bidimensionnelle ou tridimensionnelle (*figure 1b*) permet assez simplement de remédier à ce problème. Alors que les graphiques linéaires sont très utiles pour montrer des tendances sur un temps long, les graphes circulaires sont plus adaptés pour analyser un temps cyclique (Tominski *et al.*, 2008 ; Andrienko *et al.*, 2010 ; Antoni *et al.*, 2012). Cette visualisation circulaire permet, non seulement, de mieux prendre en compte ce qui se passe en début et en fin de cycle, mais aussi, de révéler la fréquence et la rythmicité de phénomènes périodiques, notamment quotidiens.

En rajoutant l'espace à ces dimensions thématiques et temporelles, c'est-à-dire en cherchant à spatialiser le phénomène temporel étudié, la complexité s'intensifie nécessairement. Que l'on soit géographe, urbaniste ou architecte « *on doit faire l'effort [...] d'imaginer la ville comme un être à quatre dimensions ou un labyrinthe dans lequel l'individu se déplacerait [...] à la fois dans le temps (t) et dans l'espace (x,y,z)* » (Gwiazdzinski *et al.*, 2001). Malgré le challenge, la nécessité d'appréhender simultanément l'espace et le temps ne fait aucun doute.

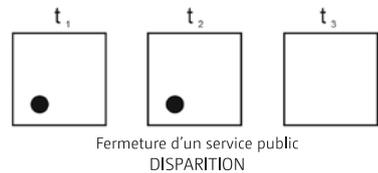
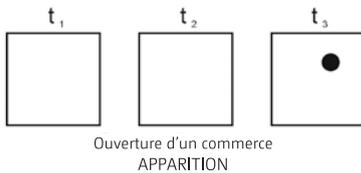
— ESPACE ET TEMPS, DEUX NOTIONS INDISSOCIABLES

Quand on cherche à analyser un phénomène de quelque nature qu'il soit, temps et espace ne peuvent être dissociés. Associer ces notions permet de spatialiser les changements de structures et les processus qui agissent. Pourtant le temps a longtemps été un grand oublié en cartographie, où il était essentiellement utilisé de manière implicite avec des cartes décrivant uniquement des états, retraçant des situations à un temps *t*. En témoigne les définitions conventionnelles de la carte trouvées dans la littérature : « *représentation géométrique conventionnelle, plane, en positions relatives, de phénomènes concrets ou abstraits, localisables dans l'espace à un moment donné* » (CFC, 1990). Si l'aspect plan peut être remis en cause avec la 3D et l'apparition ultérieure des globes virtuels, il en est de même pour le temps. L'expression « à un moment donné » est effectivement aujourd'hui bien discutable. La prise en compte explicite du temps en cartographie, c'est-à-dire l'ajout d'une dimension dynamique, nécessite de recourir à d'autres formes cartographiques faisant appel, par exemple, aux techniques du multimédia. Un des avantages de cette cartographie dynamique est de permettre la représentation spatiale de phénomènes scandés dans le temps (Antoni *et al.*, 2004), le long d'une année, d'un mois ou d'un jour par exemple. L'association de l'espace et du temps peut prendre deux significations (Cauvin

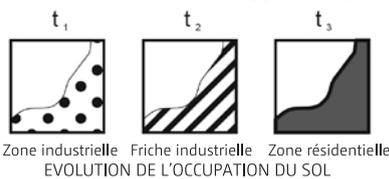
et al., 2008). En premier, le changement peut être attributaire lorsqu'un phénomène [Z] est localisé dans un lieu donné [XY] constant à différents temps $[t_1, t_2, \dots, t_n]$ et que le contenu associé peut varier (figure 2a). C'est le cas lors d'une analyse de la fréquentation de commerces pour une journée de semaine. La position des commerces est fixe et pour chaque tranche horaire, le nombre de clients peut varier. En second, le changement peut affecter la composante spatiale lorsqu'un phénomène [Z] est localisé en $[X_1Y_1]$ au temps $[t_1]$ et en un autre lieu $[X_2Y_2]$ au temps $[t_2]$. Ce changement de position ou de géométrie (figure 2b) implique ainsi un déplacement, un mouvement. La localisation successive des différents lieux d'activités d'un frontalier français travaillant au Luxembourg est un exemple pouvant illustrer ce cas de figure. De la sorte, un mouvement correspond donc à un changement de position dans l'espace en fonction du temps par rapport à un système de référence.

A. CHANGEMENTS DANS LA COMPOSANTE ATTRIBUTAIRE

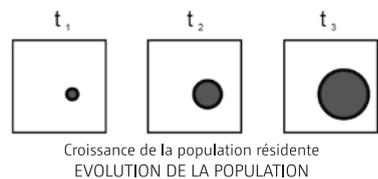
EXISTENCE DE L'OBJET CARTOGRAPHIQUE



PROPRIÉTÉS ATTRIBUTAIRES (QUALITATIF)

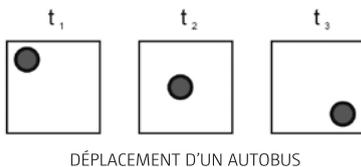


PROPRIÉTÉS ATTRIBUTAIRES (QUANTITATIF)

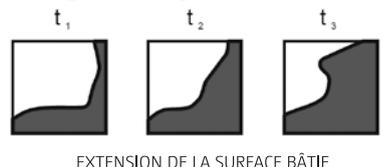


B. CHANGEMENTS DANS LA COMPOSANTE SPATIALE

CHANGEMENT DE POSITION



CHANGEMENT DE GÉOMÉTRIE



O. Klein - 2013, d'après C. Cauvin, 2008

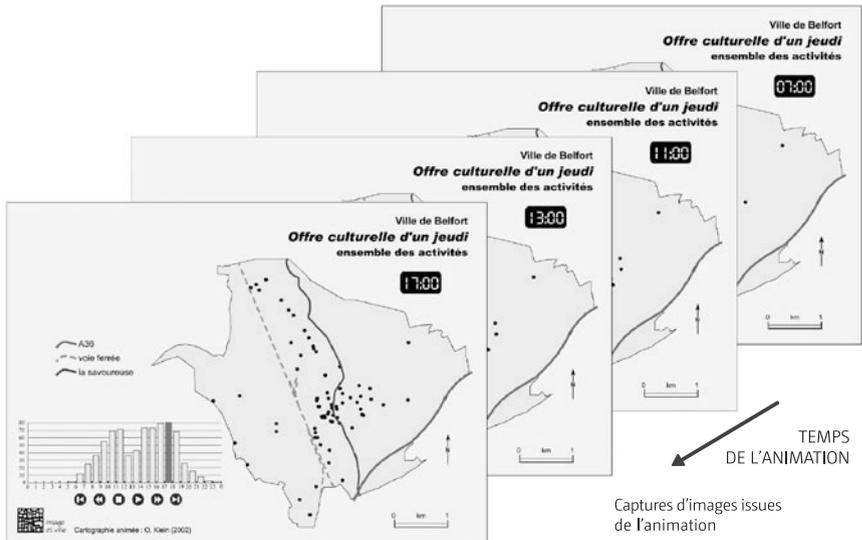
Figure 2 : Représenter les changements attributaires et spatiaux.

Les représentations cartographiques associées à ces deux formes principales de changement peuvent s'avérer complexes à établir. En effet, les solutions classiques issues de la sémiologie graphique semblent bien modestes face à ces données multidimensionnelles. Des auteurs émettent toutefois quelques propositions. J. Bertin, dès 1967, présente trois propositions ayant des objectifs bien spécifiques : la construction d'une série d'images où chaque image correspond à un temps t distinct, la division du temps en catégories ordonnées, ou l'utilisation de flèches et traces orientées. Ces propositions ont été reprises, complétées et structurées par I. Vasiliev (1996 et 1997). Cet auteur propose une classification croisant des dimensions géométriques (point, ligne, surface) et des catégories de temps (moment, durée, temps structurant, temps comme distance et espace comme horloge). De toute évidence, malgré l'effort graphique mis en avant dans ces travaux, il est indéniable que la sémiologie graphique a beaucoup de difficultés à figer la dynamique du temps. Aussi, il est indispensable d'augmenter les dimensions mobilisées dans ces représentations. Par cette orientation, l'idée générale est de chercher à représenter le temps par le temps. La mise en oeuvre de cette idée est rendue possible par l'informatique qui permet d'ouvrir la cartographie classique à d'autres possibilités introduites par le multimédia comme la 3D, l'interactivité et/ou l'animation. La combinaison de plusieurs de ces solutions permet par exemple de créer des animations 3D qui ajoute à la largeur (x), la hauteur (y) et la profondeur (z), une dimension supplémentaire, la quatrième dimension temporelle (t) dont la variation explicite le changement. Par ailleurs, l'intégration de degrés d'interactivité plus ou moins complexe permet d'introduire des échanges homme-machine, en l'occurrence utilisateur-carte, plus ou moins élaborés. Cet ajout d'interactivité bouleverse le schéma classique de communication en changeant le statut du destinataire final de la carte qui passe d'un rôle passif de lecteur à celui d'utilisateur. Ce dernier peut ainsi directement interagir avec le canal de communication (Antoni *et al.*, 2004). Dans ces approches renouvelées, le rôle de la carte change et le message à transmettre n'est plus forcément connu dès la conception de la carte, qui a davantage pour vocation de stimuler les idées et l'exploration. Cette idée s'appuie sur les principes issus de la visualisation scientifique, dénommée géovisualisation dans le cadre de la visualisation de données géographiques. Elle renforce les méthodes scientifiques existantes en ayant recours à des procédés visuels qui intègrent le processus de recherche. Dans notre contexte, l'objectif principal de cette géovisualisation est d'aider à identifier et à révéler des problèmes spatio-temporels.

— REPRÉSENTER LES CHANGEMENTS D'ATTRIBUTS

Les cartes animées, qui permettent de décrire des changements, attributaires et spatiaux, ont ainsi le pouvoir de faire apparaître les interrelations des diverses composantes, par la présentation d'images cartographiques distinctes se succédant en une séquence logique que l'œil de l'utilisateur peut percevoir (Cauvin *et al.*, 2009). L'animation résultante, temporelle, est une représentation dynamique où le temps d'affichage de l'animation sur écran est en relation directe avec le temps réel défini dans un rapport d'échelle. Par exemple, 10 secondes de l'animation correspondent à une heure dans la journée type observée. Selon la fonction qui permet de passer du temps du réel au temps de l'animation, la cartographie dynamique peut porter sur une accélération, une équivalence ou un ralentissement du temps (Klein, 2007 ; Antoni *et al.*, 2012).

LOCALISATION ET OUVERTURE DES ÉTABLISSEMENTS CULTURELS
VILLE DE BELFORT



O. Klein - 2013, d'après O. Klein 2002

Figure 3 : Le recours à l'animation pour mieux percevoir le changement.

La figure 3 présente une cartographie animée et interactive de changements attributaires consacrée à l'offre culturelle de la ville de Belfort, durant un jour classique de semaine. Dans cette animation, la localisation des lieux d'activités culturelles est fixe. Le seul changement intervenant dans l'animation concerne l'ouverture publique, ou non, des dits lieux culturels selon les tranches horaires considérées. Cette variation de l'offre est simplement matérialisée sur la carte, ou non, selon que l'attribut existe, ou non, au temps considéré. De ce fait, un lieu culturel apparaît uniquement s'il est en fonctionnement durant la plage horaire considérée. Cette animation présente une succession d'instantanés qui répondent entre autres aux questions «Est-ce que l'activité k est présente en XY au moment t ?» et «Est-ce que l'activité k est présente en XY entre t_1 et t_2 ?». Elle peut être complétée d'un histogramme permettant de visualiser les variations globales de l'offre sur le cycle considéré dont les «barres» deviennent surbrillantes lorsque les lieux de la tranche horaire considérée apparaissent sur la carte. Une interactivité de cet histogramme permet de se placer directement dans la tranche horaire souhaitée. Une fois l'animation exécutée, elle se poursuit et les images se succèdent à la vitesse prévue par le concepteur avec une équivalence entre le temps d'affichage et le temps réel. Dès lors que la position XY varie entre deux périodes de temps, la finalité de la représentation change et on parle donc de cartographie des mouvements.

— REPRÉSENTER LES CHANGEMENTS SPATIAUX

Chercher à représenter le mouvement implique à la fois l'espace et le temps et constitue une synthèse naturelle de ces deux notions (Auffray, 1998). Toutefois, en se focalisant sur le mouvement plusieurs notions complémentaires doivent être introduites et précisées pour clarifier sa signification, sa nature et les dimensions qui entrent en jeu. En effet, que l'on travaille sur les déplacements, les trajectoires, les vitesses, les accélérations, les flux, les débits ou la variation de l'occupation de l'espace, l'objet d'étude essentiel est toujours l'étude des mouvements. En se focalisant sur l'une ou l'autre de ces notions, l'éventail des solutions cartographiques en sera directement impacté (Klein et Cauvin, 2011). De la sorte, en fonction de la spécificité du mouvement, les représentations cartographiques sont différentes, ce qui implique en outre l'association d'un corpus heuristique spécifique. Cette communication cible principalement deux formes de représentations, d'une part, les mouvements de points mobiles et, d'autre part, une de leurs conséquences, la variation de l'occupation de l'espace.

VISUALISER LES MOUVEMENTS DES INDIVIDUS

Dans une approche classique, la visualisation des mouvements des individus est communément exprimée sous la forme de flux reliant origines et destinations. Ce flux exprime une masse en mouvement entre une origine et une destination suivant une trajectoire matérialisée ou non. Bien que très communes, ces représentations sont encore graphiquement problématiques et souffrent d'un problème de lisibilité dès que le nombre de lieux concernés augmente. C'est pourquoi, la visualisation des mouvements des individus peut davantage se focaliser sur les déplacements individuels. Cette notion de déplacement peut se définir comme un mouvement où un objet ou une personne va d'un point à un autre. Contrairement aux flux, les données sont ici désagrégées afin de travailler à un niveau individuel, à partir des positions XY de chaque individu i pour chaque instant t . Chaque individu i est ainsi identifié par une succession de coordonnées (X_t, Y_t) qualifiant ses positions successives dans l'espace-temps au sens de la *Time Geography* (Hägerstrand, 1970). L'acquisition de ces données est la principale limite d'une telle démarche, même si ce problème peut être résolu, par exemple, à l'aide d'un suivi par GPS. Toutefois cette solution est relativement contraignante compte tenu du fait que le nombre d'individus peut être relativement élevé, démultipliant ainsi le nombre de capteurs GPS nécessaires. Une autre alternative peut être le recours à des données de localisation issues de la téléphonie mobile. Cette option peut également s'avérer délicate à mettre en œuvre compte tenu des problèmes de droits d'accès. Finalement, la mobilisation d'enquêtes déplacements relativement fines associées à des modélisations pour reconstituer l'ensemble des positions occupées par les individus (Klein, 2007) est un choix satisfaisant. Les représentations obtenues permettent à l'utilisateur final d'analyser directement les mouvements des individus, soit de manière globale – dynamique de l'ensemble des points – soit individuelle – suivi d'un point particulier – (*figure 4*).

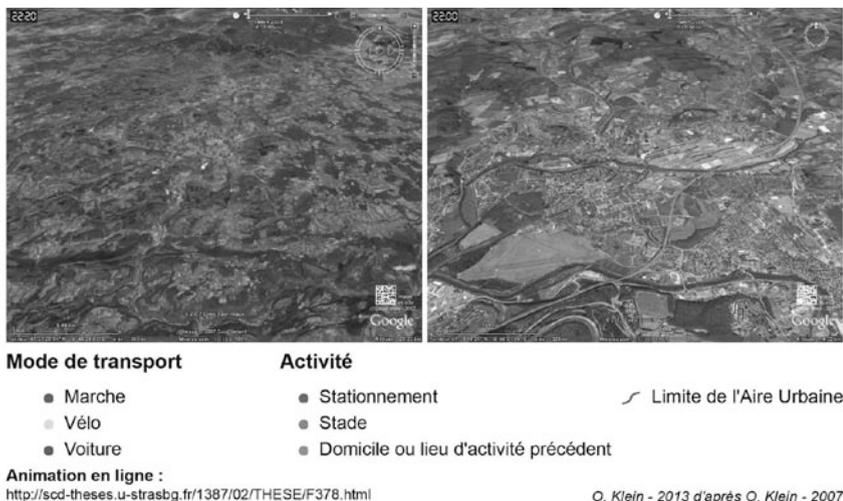


Figure 4 : Des points mobiles pour une visualisation analytique.

Ce type d'animation appréhende différemment les mouvements quotidiens en s'inscrivant dans un processus d'analyse exploratoire de données, qui permet de révéler des éléments inconnus jusqu'ici comme des formes spatiales, des tendances ou des clusters spatio-temporels. L'objectif est double : identifier des formations spatiales à un moment du temps (état) et/ou comparer des formes spatiales évoluant dans les temps. Pour ce faire, il est essentiel, voire incontournable, d'utiliser un environnement informatisé hautement interactif et multimédia. La combinaison de cartes interactives, de graphiques et de tableaux permet à l'utilisateur de voir le jeu de données de multiples façons. Ainsi, l'utilisateur final est en mesure d'analyser directement les mouvements, selon ses intérêts particuliers, dans un espace ou pour un itinéraire spécifique en fonction des heures de la journée. Dans une logique d'aide à la décision, de tels produits permettent de mieux comprendre et de mieux prendre en compte divers problèmes tels que la congestion d'axes routiers. Couplé à un système multi-agent, ce type de représentation permet même de simuler la création de nouvelles infrastructures, la mise en place de solutions alternatives de transport ou des solutions d'ajustements d'horaires tels que prônés par les bureaux du temps. En la circonstance, ces simulations permettent directement de tester l'adaptabilité et la compatibilité des scénarios d'aménagements. À partir de la reconstitution des positions successives des

individus, l'ensemble des déplacements individuels et quotidiens peut être recréé. La somme des comportements individuels montre la ville de manière animée, telle une fourmilière urbaine comme définie par A. Banos (Banos, 2005 et 2006). Ces visualisations mettent en avant toute la complexité des dynamiques de la ville. Toutefois, dans un but d'analyse, l'interactivité est une condition *sine qua non* sans laquelle aucune conclusion ne pourrait être tirée. Les filtrages, sélections, et *zooms* sont autant de fonctionnalités auxquelles il est nécessaire d'avoir recours pour mener correctement l'analyse. L'ajout de statistiques spatiales permet également de réduire la masse d'informations (Klein *et al.*, 2012) en cherchant à décrire les répartitions, leurs caractéristiques spatiales, et leurs évolutions dans le temps (centre moyen, ellipse de variabilité, hot spot, etc.).

Dans le cadre des déplacements liés à une rencontre de football (*figure 4*), la visualisation de points mobiles représentant les déplacements des individus produit une image globale de l'impact d'un événement sur le territoire considéré. La figure 4 présente les mouvements spécifiques liés à un match de football de Ligue 1 française au stade Bonal de Sochaux-Montbéliard. Elle permet de mieux comprendre plusieurs aspects relatifs aux déplacements des spectateurs. Ainsi, l'arrivée des spectateurs avant la rencontre n'est pas forcément massive mais plutôt progressive. Ceci peut être expliqué par les animations et les accommodations prenant place autour du stade (restauration, *merchandising*, commerce, liens sociaux, etc.). Les stratégies de parking sont également particulières, puisque les premiers arrivés se garent très loin du stade, à proximité des échangeurs autoroutiers afin d'anticiper l'après-match pour pouvoir repartir rapidement sans encombrements. D'ailleurs, ce trafic d'après-match est bien différent du précédent. Dès le coup de sifflet final de la rencontre, quasiment l'ensemble des spectateurs cherche à quitter rapidement le stade, quel que soit le score de la rencontre. Cet afflux concentré dans un temps très court explique les encombrements plus massifs après le match. L'utilisation de la visualisation de points mobiles représentant les déplacements des spectateurs produit une image globale de l'impact de l'événement sur le territoire représenté et fournit véritablement une aide à la décision aux acteurs locaux. L'utilisateur pouvant se focaliser sur un aspect spécifique qui l'intéresse : stratégies de parking, encombrements routiers, entrées au stade, etc. Dans cette logique, lors des travaux menés par la Maison du Temps, des recommandations sur l'offre de soirée d'après-match ont pu être faites aux autorités compétentes afin de rendre les spectateurs davantage captifs du lieu et d'échelonner ainsi leurs départs. En se concentrant sur certaines zones clés, des problèmes de congestion sur une partie des échangeurs et des axes routiers, ou de stationnement peuvent être identifiés. Les gestionnaires de l'événement disposent par ce moyen d'une connaissance des pratiques des

spectateurs et peuvent envisager de mettre en place des solutions de transports en commun ou de parkings relais sur des zones plus éloignées du lieu de l'événement.

VISUALISER LES VARIATIONS DE L'OCCUPATION DE L'ESPACE

À l'opposé de l'approche précédente, l'utilisateur peut chercher à connaître les conséquences directes des mouvements des individus. Cette vision plus macroscopique peut alors être appréhendée par l'intermédiaire de l'occupation du territoire qui est l'espace où les mouvements se produisent, quelles que soient leurs spécificités. Cette démarche permet de connaître l'occupation réelle et ses variations au cours du temps, dépassant ainsi les approches cartographiques classiques et plutôt réductrices qui montrent simplement des cartes de populations de type « *homo-dormiens* ». Or, ce n'est pas forcément là où les individus dorment que la ville est réellement en action. Cartographier là où les individus vivent leur quotidien reflète davantage le fonctionnement urbain. La cartographie spatio-temporelle d'une journée urbaine type utilise comme base la population résidente et tout changement de quantité est répercuté en troisième dimension. Une augmentation de population se matérialise sous la forme de pics, supérieurs au plan, au contraire d'une perte de population, inférieure au plan qui apparaît comme un creux. De telles représentations (*figure 5*) permettent de mettre en évidence les banlieues résidentielles, de première ou seconde couronne, avec des creux majeurs durant les principales périodes d'activité. À l'inverse, des pics, principaux et secondaires, prennent place au centre-ville et dans les principaux secteurs d'activités. Ils permettent également de visualiser les horaires de fonctionnement de certains sites industriels de production, tel que le fonctionnement nocturne de l'usine PSA-Peugeot Citroën sur la *figure 5*. Ce type de solution cartographique, destiné principalement à des aménageurs et des urbanistes, permet de centrer les démarches d'aménagement sur des espaces et des temps spécifiques, notamment au moyen d'une visualisation spatio-temporelle dynamique. La possibilité de visualiser l'occupation réelle de l'espace sur des zones spécifiques, tels que le centre-ville, les sites industriels, la cité administrative, ou les équipements culturels et de loisirs, permet d'offrir une démarche temporelle d'aménagement en proposant par exemple une plus grande mixité de fonctions dans certains quartiers. C'est particulièrement le cas des centres d'affaires quasiment déserts en soirée et qui peuvent faire l'objet d'une occupation différente en soirée et durant les week-end.

VARIATION DE LA DENSITÉ PRÉSENTIELLE SUR UN CYCLE DE 24 HEURES
AIRE URBAINE BELFORT-MONTBÉLIARD

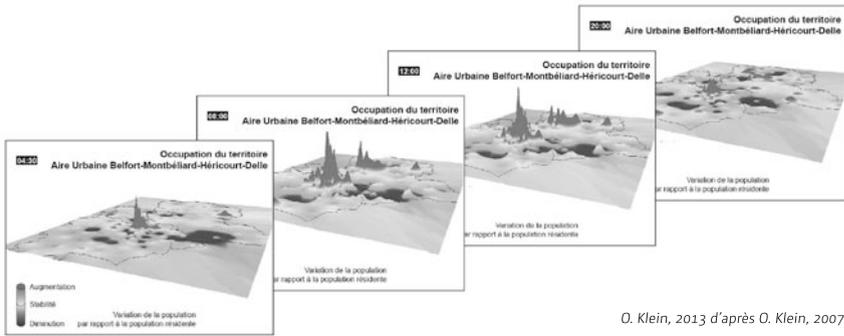


Figure 5 : Densités présentes.

Comme en témoigne les exemples présentés dans cet article, les progrès technologiques intégrés aux nouvelles formes de représentations apportent véritablement une valeur ajoutée à l'étude des temps quotidiens. L'approche proposée place l'image est au cœur même de la démarche et du raisonnement. Cette analyse visuelle – « *Visual Analytics* » – met l'accent sur le raisonnement analytique facilité par l'usage d'interfaces visuelles et interactives. L'idée consiste également à multiplier les types de représentations et à diversifier les approches en fonction des demandes et des connaissances des acteurs concernés. Ces outils constituent une aide à la réflexion pour solutionner des problèmes dont la complexité peut dépasser les capacités humaines d'analyse et qui resteraient autrement insolubles.

Par conséquent, les fonctions même de la carte évoluent selon trois directions principales. (1) La carte est outil de diagnostic du territoire permettant d'alimenter des tableaux de bord d'indicateurs pour des observatoires territoriaux. (2) Elle constitue un outil d'aide à la décision au service des aménageurs notamment dans la mise en place de plans de déplacements. (3) Elle est également un outil de dialogue sociétal dans la mise en place de démarches participatives associant l'ensemble des acteurs du territoires. Toutefois, multiplier la variété des produits cartographiques ne suffit pas toujours à répondre aux besoins des différents acteurs urbains. Le recours à des enquêtes spécifiques, lourdes et onéreuses, reste une étape bien souvent incontournable avant toute visualisation.

— CONCLUSION

Avec l'informatisation de l'ensemble du processus de conception cartographique, nous faisons face à un changement de paradigme passant de la cartographie à la géovisualisation. Il est évident que la fonction même de la carte change, elle devient interactive, ouverte et directement modifiable et adaptable par l'utilisateur final.

À travers cet article, nous pouvons aisément faire le constat qu'aujourd'hui nous ne produisons plus une seule carte à usages multiples, mais plusieurs, avec pour chacune d'elles, des objectifs bien spécifiques. Dans cette ère de la carte à jeter, la carte à usage unique, il est indispensable de disposer de bases de données adaptées et structurées contenant des objets localisés dans l'espace et dans le temps. Ces bases de données spatio-temporelles sont construites et structurées selon le problème à résoudre. Bien que l'*Open Data* et le *Volunteer GIS* soient des tendances actuelles qui permettent d'accéder de plus en plus facilement à un large éventail de données, les données temporelles, notamment d'activités urbaines restent encore trop rares. Pour aller plus loin, il est indispensable de mettre en place de véritables audits urbains combinant les dimensions spatiales et temporelles.

Face à un problème donné, il est également indispensable de bien connaître l'éventail des solutions cartographiques proposées afin de produire la meilleure solution en fonction de l'objectif thématique de la carte et du public visé. Ces représentations du temps et des mouvements impliquent nécessairement les dernières solutions technologiques de production. Celles-ci sont encore actuellement du domaine de la recherche et peu présentes dans les solutions logicielles commercialisées du fait de la complexité de la généralisation de telles solution.

— BIBLIOGRAPHIE

- Andrienko, G., Andrienko N., Demsar, U., *et al.* (2010). Space, time and visual analytics. *International Journal of Geographical Information Science*, 24 (10), 1577-1600.
- Antoni, J.-P., Klein, O., Moisy, S. (2012). La discrétisation temporelle. Une méthode de structuration des données pour la cartographie dynamique. *Cartes & Géomatique, Revue du Comité Français de Cartographie*, 213, 27-31.
- Antoni, J.-P., Klein, O., Moisy S. (2004). Cartographie interactive et multimédia : vers une aide à la réflexion géographique. *Cybergeographie : European Journal of Geography*. (288).
- Auffray, J.-P. (1998). *L'espace-temps*. Paris : Flammarion.
- Banos, A., Chardonnel, S., Lang, C., *et al.* (2005). Simulating the swarming city: a MAS approach. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*. London.
- Banos, A. (2006). Geosimulating the swarming city: a bouquet of alternatives. *Geoinformatics*, 8, 58-60.
- Bertin, J. (1967). *Sémiologie graphique*. Paris : Gauthier Villars et Mouton.
- Cauvin, C., Escobar, F. et Serradj, A. (2008). *Cartographie Thématique 5. Des voies nouvelles à explorer*. Paris : Hermès-Lavoisier.
- Cauvin, C. et Gwiazdzinski, L. (2002). Représenter l'espace, représenter le temps. In J.-Y. Boulon, P. Dommergues et F. Godard (Ed.). *La nouvelle aire du temps* (pp.63-89). Paris : l'Aube, DATAR.
- Comité Française de Cartographie (CFC). (1990). *Glossaire de cartographie*. Bulletin du Comité Français de Cartographie, 123.
- Gwiazdzinski, L. (2002a). *La ville 24 heures sur 24*. Paris : l'Aube, DATAR
- Gwiazdzinski, L. (2002b). La Maison du Temps et de la Mobilité de Belfort. In J.-Y. Boulon, P. Dommergues et F. Godard (Ed.). *La nouvelle aire du temps* (pp 223-241). Paris : l'Aube, DATAR.
- Gwiazdzinski, L., Pujo, E. et Klein, O. (2001). Une fonction essentielle d'observation et de représentation. *Territoires*, 420, 14-24.
- Hägerstrand, T. (1970). What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, 24 (1), 1-21.
- Klein, E. (1995). *Le Temps*. Paris : Flammarion.
- Klein, O. (2010). Visualiser les mobilités quotidiennes : vers d'autres modes de

représentations. In A. Banos et T. Thévenin (Ed.). *Systèmes de transport urbain. Caractérisation de l'offre et estimation de la demande* (pp 145-186). Paris : Hermès-Lavoisier.

Klein, O. (2007). *Modélisation et représentations spatio-temporelles des déplacements quotidiens urbains. Application à l'Aire Urbaine Belfort-Montbéliard*. Thèse de doctorat. Université de Louis Pasteur, Strasbourg, France.

Klein, O. et Cauvin, C. (2011). How to grasp the geographic movement? A heuristic guide for its cartographic representation. In *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference*. Paris.

Klein, O., Lord, S., Schneider, M. et Barra, L. (2012). Mieux comprendre les déplacements quotidiens des écoliers de Luxembourg-Ville grâce au GPS. *Vivre au Luxembourg*, 80.

Le Monde, (2013a, 4 octobre). Des sondages montrent un soutien à l'ouverture des magasins le dimanche [en ligne]. *Le Monde*. Disponible sur : http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/10/04/des-sondages-montent-le-soutien-des-francais-a-l-ouverture-des-magasins-le-dimanche_3489810_3234.html

Le Monde, (2013b, 23 septembre). Les salariés des Champs-Élysées mécontents de l'interdiction d'ouvrir après 21 heures. [en ligne]. Disponible sur : *Le Monde*, http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/09/23/sephora-contraint-de-fermer-son-magasin-des-champs-elysees-a-21-heures_3483018_3234.html

Monmonier, M. (1990). Strategies for the visualization of geographic time-series data. *Cartographica*, 27(1), 30-45.

Rosenberg, D. et Grafton, A. (2013). *Cartographie du temps : Des frises chronologiques aux nouvelles timelines*. Paris : Eyrolles.

Tominski, C. et Schumann, H. (2008). Enhanced interactive spiral display. In *Proceedings of the annual SIGRAD conference*. Stockholm.

Vasiliev, I.-R. (1996). Design issues to be considered when mapping time. In C.-H. Wood, H. Clifford et C.-P. Keller (Ed.) *Cartographic Design. Theoretical and Practical Perspectives* (pp 137-145). New-York : John Wiley & Sons.

Vasiliev, I.-R. (1997). Mapping Time. *Cartographica*, 34 (2), 1-50.