

Un cyber cartogramme gravitationnel pour l'analyse visuelle de données spatiotemporelles complexes

Sébastien Caquard et Jean-Pierre Fiset

Geomatics and Cartographic Research Center (GCRC)

Carleton University

Ottawa, Ontario, Canada

scaquard@connect.carleton.ca

<https://gcrs.carleton.ca/confluence/x/rQI>

Résumé. Le cartogramme présenté dans cet article est destiné à faciliter l'analyse visuelle de données spatiotemporelles complexes. Pour cela, il offre la possibilité de représenter simultanément les trois dimensions nécessaires à toute forme d'analyse géographique que sont les dimensions spatiale (où), thématique (quoi) et temporelle (quand), à partir de trois composantes principales : (1) une représentation unidimensionnelle (1D) de l'espace géographique de forme semi-circulaire centrée sur une origine (ex. le Canada) ; (2) des entités géographiques (ex. pays) qui viennent graviter autour de cette origine en fonction de valeurs attributaires ; et (3) une ligne de temps interactive permettant d'explorer la dimension temporelle de l'information représentée. La combinaison de ces trois composantes offre de multiples potentialités pour l'analyse spatio-temporelle de différentes formes de proximités qu'elles soient économiques, culturelles, sociales ou démographiques. Les fonctionnalités et potentialités de ce cartogramme développé en source ouverte sont illustrées à partir d'exemples issus de l'atlas cybercartographique du commerce Canadien. Cet article reprend les grandes lignes d'une communication présentée lors de la conférence SAGEO 2007.

1 Introduction

Le succès récent des représentations géographiques technologiques réalistes illustré par l'omniprésence des globes virtuels de type Google Earth dans notre quotidien, ne doit pas pour autant nous faire oublier l'importance des représentations abstraites pour l'analyse et la compréhension de phénomènes spatiotemporels complexes. L'intérêt des représentations abstraites réside souvent dans leur capacité à se détacher partiellement des contraintes liées à l'espace euclidien, en favorisant ainsi la prise en compte de dimensions non spatiales mais néanmoins fondamentales. Ces formes abstraites offrent en effet plus de flexibilité que les représentations réalistes pour communiquer simultanément les trois aspects du schéma « triad spatio-temporel » (Peuquet 1994) que sont les dimensions spatiale (où), temporelle (quand) et thématique (quoi).

Ce type de représentation s'avère particulièrement bien adapté dans des domaines comme les télécommunications, les nouveaux médias ou les échanges commerciaux, pour lesquels la proximité spatiale n'est pas l'élément prégnant pour la compréhension de leur structure et de leur organisation géographique. Comme le souligne Qing Shen (2004), lorsque la distance physique ne correspond plus à la distance fonctionnelle, c'est-à-dire lorsque la proximité spatiale ne permet pas d'expliquer les relations de causes à effets entre deux phénomènes, les représentations cartographiques conventionnelles deviennent inadaptées voire même trompeuses. Des représentations alternatives plus abstraites doivent alors être envisagées. C'est notamment ce que préconise John Pickles (2004) en stigmatisant l'absence de modèles spatiaux cartographiques de surfaces économiques, ou encore Daniel Dorling (1992) en mettant en évidence le potentiel des cartogrammes pour la représentation et l'analyse de l'information géographique. Ces représentations doivent désormais compter avec l'Internet qui offre notamment de nouvelles opportunités en termes d'interopérabilité et d'évolutivité.

Dans cet article nous présentons un cyber cartogramme conçu pour l'analyse et la comparaison spatiotemporelle d'entités géographiques diverses et distantes. Ce cartogramme s'inscrit dans le domaine de la géovisualisation dont les principales caractéristiques sont présentées dans une première partie. Les composantes conceptuelles et technologiques du cartogramme sont ensuite développées dans une deuxième partie. Ses potentialités et limites sont alors discutées dans une troisième partie, à travers des exemples issus de son utilisation au sein de l'atlas cybercartographique des échanges commerciaux canadiens.

2 Géovisualisation et spatio-temporalité

2.1 Géovisualisation : présentation

La *Visualization in Scientific Computing (ViSC)*, qui est apparue à la fin des années 80 (McCormick et al. 1987), correspond à la création de représentations visuelles facilitant la réflexion et la résolution de problèmes à l'aide de technologies sophistiquées (Hearnshaw and Urwin 1994). Cette approche s'est avérée particulièrement bien adaptée dans différents domaines tels que : la représentation d'objets physiques sous des angles ne pouvant être visualisés dans la réalité (ex. les couches géologiques) ; l'exploration de bases de données complexes à l'aide de métaphores visuelles (Peuquet 2002) ; la production d'hypothèses dans les démarches exploratoires (Goodchild and Janelle 2004) ; ou encore pour pallier certaines limites inhérentes aux méthodes d'inférence statistique ou d'analyse multivariée (Gahegan 2000 ; Koua and Kraak 2004). Stan Openshaw et al. (1994) estiment même que les résultats obtenus à l'aide de la visualisation peuvent servir de base pour le développement de modèles ou théories, voire même pour produire des conclusions suffisantes qui ne requièrent pas nécessairement d'autres formes d'analyse. Ces différents éléments contribuent à faire de l'analyse visuelle de larges bases de données un axe de recherche majeur des sciences de l'information géographique (Koua and Kraak 2004), généralement regroupé sous le terme de géovisualisation.

La géovisualisation se rapporte plus particulièrement à la visualisation de données ayant une dimension géographique. La géovisualisation cherche à rendre visible les contextes et problèmes spatiaux. Elle se base sur les capacités de l'œil et du cerveau à détecter des structures et des anomalies ainsi qu'à se remémorer des informations spatiales de manière à favo-

riser l'analyse scientifique (Peterson 1994 ; Goodchild and Janelle 2004). Elle remplace ou complète la « visualisation mentale » lorsque celle-ci est rendue impossible par le volume et la complexité des données (McEachren 1995). Son principal intérêt réside dans sa capacité à combiner la puissance informatique analytique avec l'aptitude de l'être humain pour l'interprétation des représentations graphiques de manière à favoriser l'émergence de phénomènes non anticipés (Peuquet and Kraak 2002).

Même si sa dimension visuelle confère à la géovisualisation un caractère quasi universel qui la destine à un public large et diversifié, il a été mis en évidence que les utilisateurs novices ont généralement plus de difficultés pour utiliser et comprendre des représentations abstraites (Bishop 1994; Peuquet 2002). Les formes abstraites de visualisation de l'information géographique sont donc principalement destinées à un public d'experts dans le domaine étudié pour lesquels elles se révèlent généralement plus efficaces que les formes réalistes (DiBiase et al. 1992; Dorling 1992).

D'après Ronald Finke et al. (1992) les images qui stimulent le plus l'imagination sont celles qui sont nouvelles, incongrues, abstraites et/ou ambiguës. La création de formes de géovisualisations abstraites et originales peut donc être envisagée comme un moyen de stimuler la réflexion et de favoriser la découverte. D'autre part, les formes abstraites offrent souvent plus de flexibilité pour représenter simultanément les trois aspects fondamentaux du schéma « triad spatio-temporel » que sont les dimensions spatiale (où), temporelle (quand) et thématique (quoi) (Peuquet 1994). La représentation simultanée de ces trois composantes est cruciale pour l'analyse des phénomènes spatio-temporels. Les réponses potentielles aux trois principales questions qu'elle implique – quoi ? quand ? où ? - participent de la puissance et de l'intérêt réel de la géovisualisation (McEachren 1995). Plus que l'une ou l'autre de ces composantes, c'est véritablement leur combinaison qui peut permettre une meilleure analyse des données existantes ainsi qu'une meilleure compréhension des phénomènes géospatiaux qu'elles sous-tendent. Cette représentation simultanée demeure complexe et par conséquent marginale.

2.2 Géovisualisation et analyse spatiotemporelle : exemples d'applications

Depuis le XVIII^e siècle et l'apparition des premières isochrones (cf. Husson 2004), les cartographes et ingénieurs ont développé des trésors d'ingéniosité pour intégrer le temps dans les cartes statiques (cf. Monmonier 1990 ; Kraak 2005) à l'image de la fameuse « Carte figurative des pertes successives en hommes de l'armée française dans la campagne de Russie, 1812-1813 » publiée en 1869 par Joseph Minard. Cette carte représente simultanément les dimensions temporelles, spatiales et quantitatives de l'évolution de l'armée napoléonienne au cours de la campagne de Russie. Elle privilégie la simplification du message au détriment de son exactitude géographique et préfigure ainsi le potentiel des cartogrammes pour la représentation et l'analyse simultanée des trois dimensions de l'information géographique.

Le format numérique offre désormais de multiples potentialités pour représenter des phénomènes spatio-temporels sous des formes animées et/ou dynamiques (cf. Andrienko and Andrienko 2005). Ces représentations privilégient généralement la dimension spatiale au détriment de la dimension temporelle ou inversement. Il est donc possible de différencier ces formes visuelles en fonction de leur position le long d'un continuum espace / temps. À une extrémité de ce continuum se situent des représentations à forte dominance spatiale telles que

Google Earth - qui offre désormais la possibilité de visualiser des séries temporelles - ou encore TimeMap qui permet de représenter des séries temporelles à partir de cartes conventionnelles (Johnson 2004). Le développement de ces applications augure d'une généralisation de l'intégration du temps dans les représentations cartographiques conventionnelles, malgré la complexité que cette intégration implique au niveau de la structure des bases de données géographiques (Peuquet 1994 ; Sellis 1999 ; Beard 2004).

Ces applications privilégiant la dimension spatiale sont particulièrement bien adaptées pour l'étude de phénomènes pour lesquels la distance physique est primordiale tels que ceux caractérisés par une auto corrélation spatiale forte (ex. hauteurs de précipitations). En revanche ils sont beaucoup moins pertinents dans les contextes nombreux pour lesquels les relations géographiques ne sont que partiellement influencées par la proximité spatiale tels que les échanges commerciaux de matières premières.

Les applications situées à l'autre extrémité du continuum espace / temps, c'est-à-dire celles privilégiant la dimension temporelle, fournissent ici des solutions intéressantes à l'image de l'application Gapminder (Gapminder 2007) qui présente sous une forme innovante, interactive, animée, ludique et extrêmement sophistiquée des séries statistiques temporelles à l'échelle du monde. Cette application qui utilise le logiciel Trendalyzer couplé à une interface développée en flash privilégie l'étude des changements temporels et des similarités entre entités géographiques distantes spatialement (Figure 1).

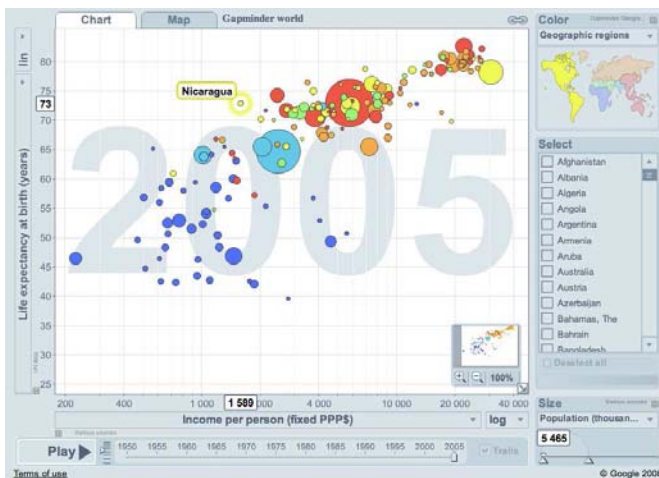


FIG. 1 – Capture d'écran de l'application Gapminder qui présente sous une forme innovante, interactive et extrêmement sophistiquée des séries statistiques temporelles à l'échelle du monde. Cet exemple représente le revenu moyen par pays et en ordonnée l'espérance de vie. La taille des cercles représente la population de chaque pays et la couleur le continent sur lequel ils se trouvent. Cette application n'intègre néanmoins pas de fonctions d'interopérabilité et utilise un langage de développement propriétaire (source : <http://tools.google.com/gapminder/>).

Cette application n'en est pas pour autant dénuée de limites. Elle ne permet en effet pas pour l'instant de visualiser des données autres que celles déjà fournies. Elle ne permet donc pas de combiner et de comparer en temps réel des données issues de bases de données distantes. En d'autres termes, elle ne comporte pas de fonctions d'interopérabilité, correspondant à la capacité qu'offre l'Internet d'intégrer des informations issues de bases de données distantes et variées. D'autre part, le langage utilisé pour cette application est propriétaire ce qui restreint potentiellement l'utilisation future des résultats obtenus et qui limite les possibilités d'adapter cette application à des besoins spécifiques.

Dans le cadre de la recherche présentée dans cet article, nous avons privilégié le développement d'une application de géovisualisation évolutive de type source ouverte qui utilise les potentialités de l'interopérabilité et qui permette de représenter simultanément, de manière aisée et intuitive, les trois aspects fondamentaux du schéma « triad spatio-temporel ».

3 Un cyber cartogramme gravitationnel : présentation

3.1 Contexte général de la cybercartographie

Un cartogramme est généralement considéré comme une abstraction de la réalité dans laquelle la surface des entités est proportionnelle à des données autres que géographiques (Dent 1990). Dans le cas du cartogramme présenté dans cet article, ni la taille, ni la forme, ni la localisation latitudinale des objets géographiques représentés – en l'occurrence les pays du monde – n'ont été conservées. Ce cartogramme a été conçu dans le cadre d'un large projet de recherche intitulé « Cybercartographie et la nouvelle économie » mené à l'université Carleton (Ottawa, Canada). Ce projet explore le concept de cybercartographie introduit et développé par Fraser Taylor (1997, 2003, 2005 ; Taylor and Caquard 2006). Ce concept vise à fournir des éléments de réponse aux multiples défis contemporains auxquels fait face la cartographie, que ce soit du point de vue technologique, représentationnel, conceptuel, ou sociétal. Ces défis sont notamment étudiés à travers le développement de différents atlas cybercartographiques. Ces atlas ont été conçus pour aborder les questions relatives à la mise à disposition d'informations géospatiales sur Internet sous forme multimédia, multi sensorielle, interactive et animée. Ils sont conçus pour être évolutifs et pour être développés de manière collaborative. Ils offrent en effet la possibilité à des individus et communautés de concevoir, créer et gérer leur propre atlas dédié aux thématiques et lieux de leurs choix.

Le cyber cartogramme a été initialement développé pour l'atlas cybercartographique du commerce canadien (cf. Eddy and Taylor 2005). L'objectif principal de cet atlas est de faire émerger des tendances et changements en termes d'échanges commerciaux à partir de l'analyse d'une base de données complexe et volumineuse. Cette base de données, compilée au fil des ans par Statistiques Canada, comprend la valeur en dollars canadiens des exportations et importations du Canada en direction de 120 pays du monde, pour une cinquantaine de critères sur une période de 25 ans (1976-2000), ce qui correspond à une base de données volumineuse.

Les représentations cartographiques conventionnelles se sont rapidement révélées limitées pour la représentation simultanée des dimensions spatiales, temporelles et thématiques de ces données. En effet, la prégnance visuelle des formes géographiques et des distances physiques inhérentes aux cartes conventionnelles est apparue surdimensionnée par rapport à leur importance réelle dans les échanges commerciaux. Par exemple, malgré sa proximité

relative, la Russie ne constitue pas pour autant un partenaire commercial privilégié du Canada. Si la distance physique reste un des éléments affectant les échanges commerciaux, ceux-ci sont aussi largement influencés par d'autres critères non spatiaux tels que les coûts énergétiques, les choix politiques ou stratégiques. La notion de « proximité économique » s'est donc avérée beaucoup plus pertinente que celle de proximité spatiale pour l'analyse des échanges commerciaux. Cette notion de proximité économique privilégie les caractéristiques commerciales au détriment de la distance géographique. Deux pays distants géographiquement peuvent être proches économiquement du fait de leurs similarités commerciales. C'est cette volonté de représenter visuellement cette proximité économique qui a inspiré la conception du cyber cartogramme.

Ce cyber cartogramme a été conçu à l'aide de Nunaliit (<http://nunaliit.org>), un logiciel source ouverte développé spécifiquement pour la création d'atlas cybercartographiques. En Inuktitut, qui est le nom donné par les canadiens au dialecte Inuit, Nunaliit signifie « communauté », « implantation », « habitat ». Le choix de ce nom pour l'infrastructure cybercartographique illustre d'une part la dimension canadienne du projet et d'autre part sa finalité communautaire. Nunaliit est un logiciel qui aspire à être développé par une communauté d'informaticiens afin de permettre à des communautés d'auteurs de créer leurs propres atlas et de les mettre à la disposition de l'ensemble des communautés d'utilisateurs intéressés. Nunaliit a été conçu à partir de concepts et modèles développés tout au long du projet Cybercartographie et la Nouvelle Économie. Il intègre une partie des résultats obtenus au cours de ce projet. Ce logiciel vise à permettre à des auteurs sans connaissances informatiques poussées, de combiner relativement aisément des données géospatiales disponibles en ligne avec différents médias (ex. son, texte, narration, vidéo), de manière à produire de nouvelles formes d'exploration et d'expression géospatiale. Ces formes d'expression sont généralement regroupées au sein de « modules » qui correspondent à des composantes de l'atlas dédiées à l'étude d'un lieu et/ou d'un thème spécifique et qui combinent pour cela des éléments cartographiques, narratifs et multimédias. Nunaliit permet la création, la mise à jour et l'interconnexion des modules correspondants à autant de chapitres ou sections d'un même atlas.

De manière un peu plus spécifique, Nunaliit se présente comme un kit de développement logiciel composé d'un schéma, d'une librairie d'outils source ouverte et d'un compilateur. Le schéma dicte la structure des documents XML au sein desquels l'auteur de l'atlas définit les cartes, les géovisualisations, le texte et les éléments multimédias nécessaires à la création de son module. Chaque document XML comporte les liens et actions associés à chaque module. Ces liens et actions sont générés à l'aide d'une librairie d'outils incluant aussi bien des outils courants des SIG (ex. le zoom), que des outils beaucoup plus novateurs tels que la géosonorisation (cf. Brauen 2006 ; Caquard et al. à paraître) ou le cyber cartogramme. C'est donc au sein du document XML que le contenu, la structure et la représentation du module sont définis par l'auteur. Une fois créé ou modifié, le fichier XML est ensuite compilé par le compilateur qui le transforme en fichiers HTML dynamiques (DHTML) et SVG, produisant ainsi des documents hautement interactifs générés à partir de différentes applications géomatiques en ligne (cf. Figure 2) (cf. Pulsifer et al. 2008, pour une description détaillée de Nunaliit).

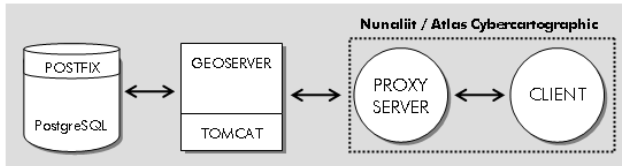


FIG. 2 – Structure simplifiée des applications utilisées pour la création d'atlas cybercartographiques.

3.2 Les composantes du cyber cartogramme

Le cyber cartogramme correspond donc à un des outils de la librairie cybercartographique. Il est constitué de trois composantes principales que sont : (1) un espace géographique unidimensionnel représenté sous forme semi-circulaire et centré sur une origine servant de pôle (ex. le Canada) autour duquel viennent graviter (2) des entités géographiques (ex. pays). Ces entités se répartissent autour du demi-cercle en fonction de leur position géographique par rapport à l'origine. Elles se déplacent ensuite le long du rayon du cercle en direction de l'origine en fonction de valeurs attributaires (ex. le volume des échanges commerciaux). Enfin, (3) une ligne de temps interactive permet d'explorer la dimension temporelle de l'information. Chacune de ces entités est générée automatiquement à la volée par le logiciel Nunaliit.

L'espace géographique est donc matérialisé sous une forme circulaire correspondant à une représentation unidimensionnelle (1D) du monde centrée sur une entité géographique définie. Dans le cas de l'atlas du commerce canadien, le cartogramme est centré sur le Canada et le monde est représenté de manière semi-circulaire (cf. figure 3). Le choix d'une forme semi-circulaire, plutôt que circulaire, s'explique par la position septentrionale du Canada. Le Canada n'ayant pas de partenaires commerciaux au nord, il devenait inutile de représenter cette direction sur le cartogramme.

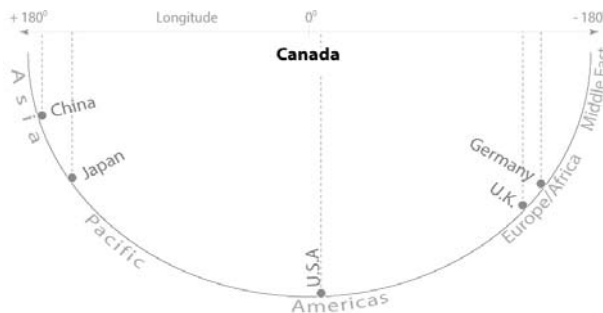


FIG. 3 – La forme semi-circulaire correspond à une représentation longitudinale unidimensionnelle (1D) de l'espace géographique centrée sur une entité spécifique, ici le Canada. Chaque point représentant chaque pays se positionne sur la circonférence du demi-cercle en fonction de sa longitude par rapport à celle de l'origine (ex. Canada).

Les partenaires commerciaux du Canada sont représentés par des points qui se répartissent autour de l'hémicycle en fonction de la position longitudinale de leurs centroïdes par rapport à celle du Canada (cf. Tab. 1). Ces points correspondent à la deuxième composante du cartogramme. Les pays situés à l'ouest du Canada (Asie) se retrouvent à gauche, ceux situés au Sud (Amérique) se retrouvent en bas et ceux situés à l'est (Europe, Afrique, Moyen Orient) se retrouvent à droite. Seule la dimension longitudinale est utilisée pour représenter l'espace géographique, ce qui permet de réserver la deuxième dimension du plan pour représenter des valeurs attributaires. Chaque point se positionne donc sur le rayon du demi-cercle en fonction d'une valeur attributaire : plus cette valeur est élevée et plus le point se rapproche du centre, c'est-à-dire plus le pays qu'il représente est proche économiquement et visuellement du Canada. Dans notre exemple la position de chaque pays est définie par le pourcentage de ses échanges commerciaux avec le Canada dans un domaine spécifique (ex. l'énergie) par rapport à l'ensemble des autres pays pour une année donnée.

Le cartogramme transforme la position géographique de l'objet en un angle proportionnel à sa longitude par rapport à l'origine. Le demi cercle débute à l'angle 180° et se termine à l'angle 360° (l'origine est à droite et l'angle croît en sens inverse des aiguilles d'une montre). L'épaisseur de l'arc est de 100 unités et débute à 10 unités du centre. Les points sont tous représentés en fonction de leurs positions angulaires à l'intérieur de l'aire limitée par :

- une droite de 180°,10 à 180°,110
- un arc de rayon 110 et centré sur 0,0 débutant à 180°,110 et se terminant à 0°,110
- une droite de 0°,110 à 0°,10
- un arc de rayon 10 et centré sur 0,0 débutant à 0°,10 et se terminant à 180°,10

Pour déterminer l'angle de chaque point, la longitude doit être normalisée de manière à ce que le point le plus à l'ouest soit représenté à l'angle 180° alors que le point le plus à l'est se situe à l'angle 0°. Les longitudes minimale et maximale doivent être déterminées en fonction des limites longitudinales.

La formule suivante est utilisée pour déterminer l'angle d'un point:

- $\text{domaineLongitude} = \text{longitudeMaximum} - \text{longitudeMinimum}$
- $\text{longitudeCentre} = (\text{longitudeMaximum} - \text{longitudeMinimum}) / 2$
- $\text{positionNormale} = (\text{longitude} + \text{longitudeCentre} - (0.5 * \text{longitudeMaximum}) - (1.5 * \text{longitudeMinimum})) / \text{domaineLongitude}$
- si $\text{positionNormale} < 0.0$ alors $\text{positionNormale} = \text{positionNormale} + 1.0$
- $\text{angle} = (0.5 - \text{positionNormale}) * 180$

Pour déterminer la distance du centre du graphe, l'amplitude doit être normalisée de manière à ce que les points ayant l'amplitude maximale soient situés à 10 unités du centre, alors que les points ayant l'amplitude minimum se positionnent à 110 unités du centre.

- $\text{domaineAmplitude} = \text{amplitudeMaximale} - \text{amplitudeMinimum}$
- $\text{distance} = 110 - ((\text{amplitude} - \text{amplitudeMinimum}) / \text{domaineAmplitude} * 100)$

TAB. 1 – Méthode de calcul du positionnement des objets sur le cartogramme.

Différentes variables visuelles telles que la taille, la couleur, la transparence ou la valeur peuvent aussi être attribuées à chaque point multipliant ainsi les combinaisons possibles de données représentées simultanément. Dans notre exemple la taille est utilisée pour représenter le montant en dollars canadiens des échanges commerciaux de chaque pays avec le Canada (cf. Figure 4). Plus la taille des symboles s'accroît et plus les échanges commerciaux qu'ils représentent sont importants ; plus ces symboles se rapprochent du centre du demi-cercle et plus le rôle des pays qu'ils représentent est proportionnellement important par rapport aux autres pays. L'auteur peut aussi décider du seuil au-delà duquel les pays apparaissent sur le cartogramme. Ici, les pays totalisant moins de 1% des échanges commerciaux avec le Canada pour chaque année n'apparaissent pas pour des raisons de clarté et de lisibilité.

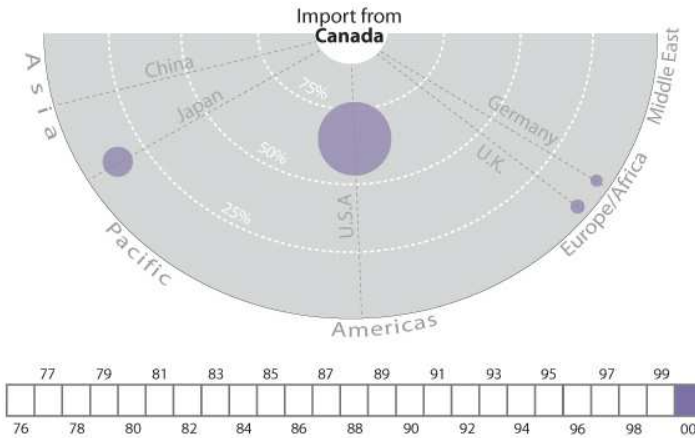


FIG. 4 – Chaque pays se positionne sur le rayon du demi-cercle en fonction d'une valeur attributive (ici le pourcentage du commerce de chaque pays par rapport aux autres pays). La taille du point varie en fonction d'une autre valeur attributive (ici le volume total des échanges en dollars canadiens). L'utilisateur peut sélectionner les données temporelles à l'aide d'une ligne de temps interactive générée automatiquement à la volée à partir du champ de la base de données sélectionné.

La troisième composante du cartogramme est la ligne de temps interactive. Tout comme les deux composantes précédentes cette ligne de temps est générée à la volée à partir de la sélection d'un champ de la base de données comportant des données temporelles. Cette ligne de temps se présente sous la forme d'un rectangle allongé de la longueur de la fenêtre de l'atlas subdivisé en autant de rectangles qu'il y a de valeurs temporelles dans le champ sélectionné. Dans notre exemple, la base de données comporte une série temporelle composée de 25 années. La ligne de temps est donc subdivisée automatiquement en 25 rectangles identiques. Chaque fois qu'une nouvelle année est ajoutée dans la base de données, un nouveau rectangle vient s'ajouter automatiquement à la ligne, réduisant ainsi proportionnellement la taille de chacun. Lorsque l'utilisateur clique sur un des rectangles matérialisant une année, les données relatives à cette année apparaissent sur le cartogramme. Lorsque les données temporelles sont trop nombreuses ou correspondent à des échelles temporelles différentes (ex. annuel Vs. mensuel) la ligne de temps peut être dédoublée afin de faciliter la visualisa-

tion et l'analyse. La création automatisée de cette ligne de temps à partir de bases de données géographiques diverses, pouvant être distantes, ainsi que son haut niveau d'interactivité, en font un outil extrêmement utile pour l'intégration de la dimension temporelle dans l'analyse géographique.

La combinaison de ces trois composantes offre de multiples possibilités et présente différents avantages. D'un point de vue spatial elle favorise la comparaison intercontinentale (Asie, Etats-Unis, Europe) qui est un élément clé de l'analyse des relations commerciales du Canada. Chaque continent est matérialisé par une agrégation visuelle de différents points représentant chacun un pays. Chaque pays participe donc au regroupement visuel (clustering) nécessaire à la comparaison intercontinentale. À une échelle plus fine, chaque pays peut rapidement être identifié et comparé visuellement et quantitativement à tout autre pays.

La ligne de temps interactive permet à l'utilisateur de sélectionner une date de référence et de comparer visuellement la situation à d'autres dates. Le fait que les points se déplacent de manière linéaire le long d'un axe qui leur est propre (le rayon du cercle) accroît leur prégnance visuelle et favorise la mise en évidence des changements. En effet, comme le souligne Alan MacEachren (1995) sur une carte dynamique, les éléments qui bougent attirent plus l'attention que ceux qui ne bougent pas et ceux qui se déplacent attirent plus l'attention que ceux qui bougent sur place, c'est-à-dire que ceux qui se dilatent ou se rétractent. L'impression d'animation qui découle du déplacement des points le long des rayons du demi-cercle génère une variable cartographique supplémentaire représentant de manière intuitive les processus dynamiques et stimulant notre capacité à identifier les changements (MacEachren 1994). Enfin, le fait que les composantes du cartogramme (hémicycle, points et ligne de temps) soient indépendantes les unes des autres, tout en étant interconnectées, multiplie les possibilités combinatoires et étend ses domaines potentiels d'application.

4 Le cyber cartogramme : applications et discussion

4.1 Les échanges commerciaux canadiens relatifs aux produits de la mer

Une première phase de l'analyse exploratoire des échanges commerciaux du Canada a été de mettre en évidence les principales tendances spatio-temporelles pour chacune des thématiques étudiées. Pour cela, une première version du cartogramme a été utilisée. Elle comportait deux hémicycles (importations et exportations) sur lesquels se répartissaient les pays agrégés par grandes régions géographiques (Etats-Unis, Amérique du Sud, Afrique, Europe, Moyen Orient, Asie, Pacifique). Ce cartogramme a été utilisé pour analyser les 15 principales thématiques de la base de données de Statistiques Canada. Ce cartogramme exploratoire a permis de faire rapidement émerger différentes tendances spatio-temporelles du commerce canadien comme les variations interannuelles importantes dans l'origine de l'approvisionnement énergétique du Canada, comparées à la stabilité de ses exportations dans ce domaine en direction des Etats-Unis. Cette première version a donc permis d'identifier certaines thématiques pour lesquels un approfondissement de l'analyse pourrait s'avérer pertinent, ce qui a été fait de manière plus spécifique pour le commerce des produits de la mer.

Au Canada, l'industrie de la pêche commerciale représente annuellement plus de 5 milliards de dollars canadiens, ce qui en fait un des principaux producteurs mondiaux. Le Cana-

da exporte près de 85% de ses produits de la pêche et importe annuellement environ 2 milliards de dollars ce qui contribue à faire de ce secteur un domaine économique stratégique (Agriculture et Agroalimentaire Canada 2007). Ce secteur est aussi fondamental d'un point de vue social puisqu'il emploie plus de 130 000 personnes et que 207 communautés à travers le pays étaient encore dépendantes de la pêche en 2001 (Atlas du Canada 2007). Un cyber cartogramme dédié à l'analyse des échanges commerciaux par pays a donc été conçu et intégré dans un module spécifique de l'atlas du commerce canadien dédié à cette thématique. Ce cartogramme a permis de faire apparaître de nombreuses tendances intéressantes telles que la réduction relative des exportations en direction de l'Europe au profit principalement du Japon à la fin des années 90 ou encore l'accroissement constant des importations en provenance de la Thaïlande durant la période 1985-1994 (cf. Figure 5).

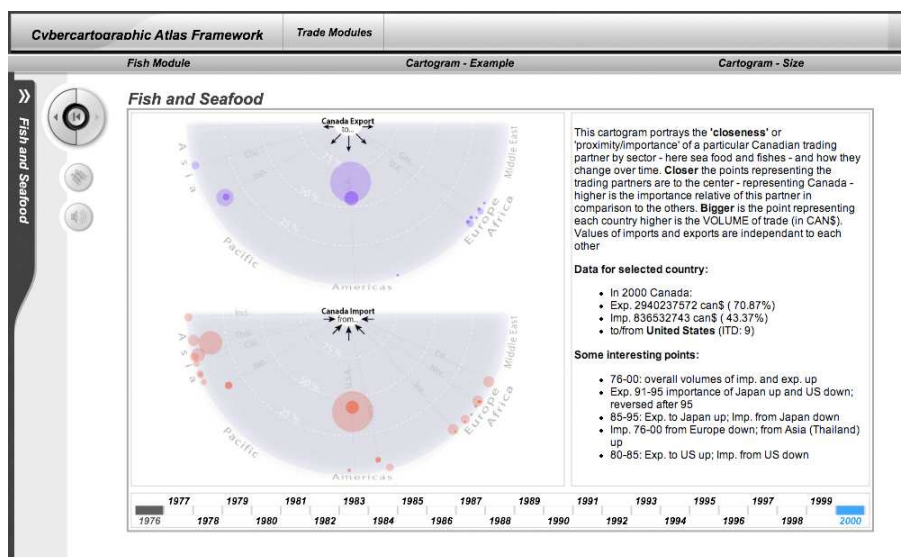


FIG. 5 – Copie d'écran du cartogramme intégré dans le module de l'atlas du commerce canadien traitant de l'industrie de la pêche (<http://gcr.ccarleton.ca/graphomap>). Dans cet exemple, l'année sélectionnée est 1976 (points de couleur foncée) et elle est comparée à 2000 (points plus clairs) pour les exportations (en haut) et les importations (en bas). La taille des points représente les montants (en dollars canadiens) alors que la proximité du centre représente le pourcentage de chaque pays dans la valeur commerciale annuelle du Canada. Dans la partie droite de la fenêtre, apparaissent notamment les valeurs numériques des entités sélectionnées.

Au-delà de ces résultats, la capacité du cartogramme à faire émerger ces tendances a suscité l'intérêt de nombreux utilisateurs. Ce cartogramme a ainsi été utilisé de manière quasi exclusive par l'experte en commerce international chargée d'analyser les données et de mettre en évidence des structures et tendances. Ce cartogramme a par ailleurs fait l'objet d'une évaluation informelle qui s'est déroulée le 27 novembre 2007 dans les locaux de Statistiques

Canada à Ottawa et à laquelle 6 membres de la division géographique de cette institution se sont prêtés. Cette évaluation a tout d'abord permis de mettre en évidence certaines limites inhérentes au cartogramme, notamment en termes de design (ex. texte trop petit) et a suscité différentes suggestions en vue de son amélioration (ex. représentation sous forme animée de l'évolution temporelle). Au-delà de ces quelques limites et suggestions, le cartogramme est apparu simple à comprendre une fois son fonctionnement expliqué (pour 5 des 6 utilisateurs) et simple à utiliser pour tous. Les utilisateurs ont été principalement intéressés par l'originalité et l'interactivité de l'application. La plupart d'entre eux (4 sur 6) ont estimé que ce cartogramme pourrait être utile pour analyser leurs propres données. Au final cette évaluation informelle a permis de mettre en évidence l'intérêt que peut susciter ce type de représentation abstraite et originale et a fait émerger différents domaines potentiels d'application.

En effet, si ce cartogramme a été conçu pour l'analyse géographique de proximités économiques, il peut tout aussi bien être utilisé pour l'analyse de proximités culturelles, linguistiques, démographiques, sociales, économiques, environnementales ou écologiques. Celles-ci peuvent concerner des pays, aussi bien que des communautés (ex. communautés autochtones), des entités géographiques cohérentes (ex. agglomérations urbaines), administratives (ex. régions), environnementales (ex. parcs naturels), ou écologiques (ex. biotopes). La multiplicité des formes de proximité pouvant ainsi être générées favorise l'émergence de nouvelles perspectives sur les relations existantes entre des entités spatiales diverses et distantes.

4.2 Les limites du cyber cartogramme

Même si les possibilités combinatoires des dimensions thématiques, temporelles et spatiales qu'offre ce cartogramme apparaissent illimitées, cette application n'en est pas pour autant dénuée de limites. La première limite de ce cartogramme concerne la représentation d'objets géographiques de manière unidimensionnelle. Cette approche comporte en effet un risque évident de superposition d'entités éloignées latitudinalement mais situées sur la même longitude. C'est par exemple le cas entre l'Europe et l'Afrique et plus particulièrement entre des pays aussi distants géographiquement, économiquement, historiquement et culturellement que la Finlande et la République Démocratique du Congo. Ce problème reste néanmoins marginal dans notre application étant donnée la faible part des échanges commerciaux du Canada avec l'Afrique et par conséquent la présence limitée des pays Africains sur le cartogramme. Ce problème pourrait par ailleurs facilement être résolu par l'utilisation de couleurs ou formes distinctes pour différencier des entités géographiques se situant à des latitudes éloignées, ou sur des continents différents.

Une deuxième limite concerne les changements subits par les entités géographiques au cours du temps. Pendant les 25 années étudiées, certains pays ont disparu (ex. Yougoslavie), d'autres sont apparus (ex. Bosnie Herzégovine) et d'autres enfin se sont transformés (ex. l'URSS est devenue la Russie). Ces évolutions ont affecté les objets géographiques (ex. déplacement des centroïdes), et par conséquent leur position sur le cartogramme. Par exemple, au cours de la transformation de l'URSS en Russie le centroïde de ce pays s'est légèrement déplacé vers l'est du fait de ses modifications territoriales, ce qui a affecté radicalement sa position sur le cartogramme : de manière quelque peu paradoxale, la Russie s'est retrouvée à l'extrême gauche du cartogramme alors que l'URSS était positionnée à l'extrême droite. Ce type de problème peut aussi être aisément réglé (ex. déplacement manuel du centroïde ou affectation d'un coefficient spatial) et demeure de toute façon inhérent à toute représentation spatiale de séries temporelles.

Enfin une dernière limite concerne la complexité relative de la mise à jour des représentations. Pour l'instant, les efforts concernant le développement du logiciel Nunaliit ont été principalement dévolus à assurer sa stabilité et son efficacité. Si l'objectif final est d'offrir aux auteurs d'atlas cybercartographiques une interface facile d'utilisation, il reste encore beaucoup de chemin à parcourir dans ce domaine. En effet, la création de modules se fait actuellement à partir d'un fichier XML qu'il faut modifier et compiler (cf. Figure 6). Par conséquent, la mise à jour des modules, et donc du cartogramme, nécessite une connaissance de base du langage XML. Même si l'utilisation de ce langage s'avère de plus en plus courante dans les applications géomatiques destinées à l'Internet, il n'en reste pas moins que son usage peut rebuter nombre de créateurs potentiels d'applications cybercartographiques. Ce problème devrait être résolu sous peu grâce au développement d'une interface de type wiki, matérialisant ainsi la véritable finalité communautaire de Nunaliit et des atlas cybercartographiques en général.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<module
  xsi:schemaLocation="http://schemas.gcrc.carleton.ca/nunaliit/1.0/module
  ../schemas/1.0/module.xsd"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xmlns="http://schemas.gcrc.carleton.ca/nunaliit/1.0/module">
  <topic>
    <title>Fish and Seafood (24)</title>
    <text>
      <para>
        This cartogram represents the percentage of goods Canada exports to and
        imports from other countries based on yearly sum of exchange. It shows the importance of each
        country relative to other countries for a specific year. It also shows the volumes of trade
        through the size of the circles.
      </para>
    </text>
    <graphoMap id="grapho_map_export" centre="-102.97114515">
      <!-- Centred on Canada -->
      <background>
        <image width="630" height="315" source="grapho_exp_background.jpg"/>
      </background>
      <layer
        name="world countries"
        value-attribute="ca export percent adj"
        symbol="circle"
        colour="#8227FF"
        visible-attribute="visible"
        size-attribute="ca export value"
        opacity="20"
      />
      <layer
        name="world countries"
        value-attribute="ca export percent adj focus"
        symbol="circle"
        colour="#8227FF"
        visible-attribute="visible"
        size-attribute="ca export value focus"
        opacity="55"
      />
    </graphoMap>
  </topic>
```

FIG. 6 – Exemple du fichier XML utilisé pour générer le cartogramme représentant les échanges commerciaux canadiens appliqués aux produits de la mer (cf. Figure 5).

5 Conclusion

Malgré les quelques limites qui viennent d'être évoquées, le cyber cartogramme présenté dans cet article constitue un véritable outil de géovisualisation, original et innovant permettant de représenter de manière simple, intuitive et automatisée, les trois composantes inter-reliées du schéma « triad spatio-temporel » - où, quand, quoi - à partir de données variées et interopérables. De plus, ce cartogramme développé en source ouverte offre la possibilité de décliner ces combinaisons sur de nombreux modes, permettant ainsi d'explorer de multiples formes de proximités appliquées à divers domaines. Cette diversité des applications potentielles de ce cartogramme est illustrée par son utilisation au sein de l'atlas cybercartographique du cinéma canadien en cours de développement (www.atlascine.org). Dans le contexte de cet atlas, le cartogramme est utilisé pour analyser l'évolution spatio-temporelle des recettes générées par différents films canadiens lors de leur sortie en salle. Ce cartogramme se caractérise donc par sa simplicité d'utilisation, son évolutivité et son adaptabilité aux besoins de ses utilisateurs potentiels, mais aussi par la multiplicité de ses domaines d'application.

Enfin, il est important de rappeler que la conception de ce cartogramme participe d'une logique de diversification des modes de représentation de l'information géographique de manière à favoriser : (1) l'exploration des structures et phénomènes géographiques sous différents angles à travers différentes formes de proximité ; (2) la revalorisation de l'abstraction comme moyen de stimuler l'intérêt et l'imagination des utilisateurs d'informations géographiques. Cette logique vise à fournir une alternative aux modèles réalistes dominants dans les sciences de l'information géographique et stimuler ainsi l'émergence de nouveaux modes d'expression géospatiale ; et (3) une approche communautaire de la construction du savoir géographique et des outils de géovisualisation permettant cette construction et sa diffusion.

Références

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2007). <http://atn-riac.agr.ca/seafood/industry-e.htm>, visité en février 2008.
- Andrienko, N. and G. Andrienko (2005). *Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data: A Systematic Approach*, Berlin : Springer-Verlag.
- Atlas du Canada (2007). <http://atlas.gc.ca/site/francais/maps/economic/rdc2001/rdcfish/1>, visité en février 2008.
- Beard, K. (2004). "A Spatial-Temporal Exploratory Framework for Events", *Proceedings of GIScience 2004*, University of Maryland, October 20-23, 2004: 17-19.
- Bishop, I. (1994). "The role of visual realism in communicating and understanding spatial change and process", in H.M. Hearnshaw, and D.J. Unwin, (eds.), *Visualization in Geographical Information Systems*, New-York: Wiley, 60-64.
- Brauen, G., (2006). "Designing Interactive Sound Maps Using Scalable Vector Graphics", *Cartographica* 41 (1): 59-71.

- Caquard, S., Brauen G., Wright B., and P. Jasen. (À paraître). "Designing Sound in Cybercartography; From cinematic structured narratives to unpredictable sound/image interaction", *International Journal of Geographic Information Sciences*.
- Caquard, S., Pulsifer P., Fiset J-P. and Taylor D.R.F. (2007). "Introduction au concept d'acte cybercartographique - Genèse d'un atlas cybercartographique de l'Antarctique", *Cybergeo*, article 395, <http://www.cybergeo.eu/index9272.html>.
- Dent, D.D. (1990). *Cartography – Thematic Map Design*, Second Edition, W. C. Brown Publishers
- DiBiase, D., MacEachren A.M., Krygier J.B., and C. Reeves (1992). "Animation and the role of map design in scientific visualization", in A.M. MacEachren and D.R.F. Taylor (eds.), *Visualization in Modern Cartography*, Oxford: Pergamon, 201-14.
- Dorling, D. (1992). "Stretching Space and Splicing Time: From Cartographic Animation to Interactive Visualization", *CaGIS 4(19)*: 215-27.
- Eddy, B.G. and D.R.F. Taylor (2005). "Applying a Cybercartographic-Human Interface (CHI) Model to Create a Cybercartographic Atlas of Canada's Trade with the World", In D.R.F. Taylor (Ed.), *Cybercartography: Theory and Practice*: 517-40.
- Finke, R.A., Ward T.B. and S.M. Smith (1992). *Creative Cognition: Theory, Research and Applications*, London: The MIT Press.
- Gahegan, M. (2000). "Visualization as a tool for geocomputation", in S. Openshaw and R.J. Abrahart (eds.), *Geocomputation*, London: Taylor and Francis, 253-74.
- Gapminder. <http://tools.google.com/gapminder/>, visité en février 2008.
- Goodchild, M.F. and D.G. Janelle (2004). "Thinking Spatially in the Social Sciences", in M.F. Goodchild and D.G. Janelle (eds.), *Spatially Integrated Social Science*, New York: Oxford University Press, 3-17.
- Hearnshaw, H.M. and D.J. Unwin, (eds.) (1994). *Visualization in Geographical Information Systems*, New-York: Wiley.
- Husson, J-P. (2004). « La France dans ses frontières, les constructions de la France », Séminaire sur la Frontière, École doctorale n°78 « Langages, Temps, Sociétés » de Nancy, Université Nancy 2.
- Johnson, I. (2004). "Putting Time on the Map: Using TimeMap for Map Animation and Web Delivery", *GeoInformatics*, July/August 2004.
- Koua, E.L. and M-J Kraak (2004). "Alternative Visualization of Large Geospatial Datasets", *The Cartographic journal* 41(3): 217-28.
- Kraak, M.J. (2005). "Timelines, temporal resolution, temporal zoom and time geography", In *Proceedings of the 22nd international cartographic conference*, 9-16 July 2005, A Coruña, Spain: 7 p.
- MacEachren, A.M. (1995). *How maps work - representation, Visualization, and design*, New York: Guilford.

- MacEachren, A.M. (1994). "Time as a cartographic variable", in H.M. Hearnshaw and D.J. Unwin (eds.), *Visualization in GIS*, New-York: Wiley, 115-30.
- McCormick, B.H., Defanti, T.A. and M.D. Brown (eds.) (1987). Special issue of *Visualization in scientific computing* 6(21).
- Monmonier, M. (1990). "Strategies for the Visualization of Geographic Time-Series Data", *Cartographica* 27(1): 30-45.
- Openshaw, S., Waugh, D., and A. Cross (1994). "Some ideas about the use of map animation as a spatial analysis tool", in H.M. Hearnshaw and D.J. Unwin (eds.), *Visualization in Geographic Information Systems*, New-York: Wiley, 131-38.
- Peterson, M.P. (1994). "Spatial visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice", *GIS/LIS*, 8 p.
- Peuquet, D.J. (2002). *Representations of Space and Time*, New York: Guilford.
- Peuquet, D.J. (1994). "A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems", *Annals of the Association of American Geographers* 84(3): 441-61.
- Peuquet, D.J. and M.J. Kraak (2002). "Geobrowsing: Creative Thinking & Knowledge Discovery: Using Geographic Visualization", *Information Visualization* 1(1): 80-91.
- Pickles, J. (2004). *A History of Spaces: cartographic reason, mapping and the geo-coded world*. London and New York: Routledge.
- Pulsifer, P.L., Hayes, A., Fiset, J-P., and D.R.F. Taylor (2008). "An Open Source Development Framework in Support of Cartographic Integration", In M. Peterson (ed.), *International Perspectives on Maps and the Internet*, Springer.
- Sellis, T.K. (1999). "CHOROCHRONOS - Research on Spatio-temporal Database Systems", *Integrated Spatial Databases 1999*: 308-16.
- Shen, Q. (2004). "Updating Spatial Perspectives and Analytical Frameworks in Urban Research", in M. F. Goodchild and D. G. Janelle (eds.), *Spatially Integrated Social Science*, New York: Oxford University Press.
- Taylor D.R.F. (1997). "Maps and Mapping in the Information Era", Keynote address to the 18th ICA Conference, Stockholm, in L. Ottoson (ed.), *Proceedings, Vol. 1*: 1-10.
- Taylor, D.R.F. (2003). "The Concept of Cybercartography", in M. P. Peterson (ed.), *Maps and the Internet*, Amsterdam: Elsevier, 405-20.
- Taylor, D.R.F. (ed.) (2005). *Cybercartography: Theory and Practice*, Amsterdam: Elsevier Science.
- Taylor, D.R.F. and S. Caquard (eds.) (2006). Special Issue on Cybercartography, *Cartographica* 41(1).
- TimeMap. www.timemap.net, visité en février 2008.

Summary

The cartogram introduced in this paper has been designed to improve visual analysis of complex spatio-temporal data. It provides the means for representing simultaneously the three dimensions intrinsic to geospatial information: space (or location), theme (or event) and time (specific moments). The cartogram does so using three major components: (1) a one-dimensional (1D) geographical space represented by a semi-circle centered on a specific location (e.g. Canada); (2) certain geographical entities (e.g. countries) that gravitate around this location according to specific attributes; and (3) an interactive timeline offering the possibility to explore the temporal dimension of the information. Together these three components provides a range of possibilities for analyzing different forms of spatio-temporal proximity, including proximity expressed in economic, cultural, social and demographic terms. The potential this open source cartogram offers is illustrated by examples from the Cybercartographic Atlas of Canada Trade with the World. This article is based on a paper given at the SAGEO 2007 conference.

Un cyber cartogramme gravitationnel