

GRAPHOMAP

Un ciber cartogramme 1D

par Sébastien Caquard et Jean-Pierre Fiset

Geomatics and Cartographic Research Center (GCRC)

Carleton University

Ottawa, Ontario, Canada

E-mail : scaquard@connect.carleton.ca

Le cartogramme présenté dans cet article est destiné à faciliter l'analyse visuelle de données spatio-temporelles 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 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.

Mots-clefs : Géovisualisation, Cybercartographie, Cartogramme, Commerce, Canada

1 INTRODUCTION

Les représentations abstraites de l'espace géographique contribuent à améliorer notre compréhension des phénomènes géographiques complexes. Elles offrent souvent plus de flexibilité que les représentations réalistes pour communiquer simultanément les trois aspects fondamentaux du schéma triad spatio-temporel (D.Peuquet, 1994) que sont les dimensions spatiale (où), temporelle (quand) et thématique (quoi). Les cartographes et autres experts en visualisation ont développé des trésors d'ingéniosité pour intégrer simultanément ces trois dimensions dans les cartes statiques (cf. M.Monmonier, 1990 ; M-J.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* réalisée en 1869 par l'ingénieur Charles Joseph Minard (cf. fig. 1). Cette carte représente simultanément les dimensions temporelles, spatiales et quantitatives de l'évolution de l'armée napoléonienne au cours de la campagne de Russie (cf. D.Peuquet et M-J.Kraak, 2002). Elle privilégie la simplification du message au détriment de sa précision géographique et préfigure ainsi le potentiel des cartogrammes pour la représentation et l'analyse de l'information géographique (cf. D.Dorling 1992).

L'intérêt des représentations abstraites de type cartogramme réside souvent dans leur capacité à se détacher partiellement des contraintes liées à l'espace euclidien, en favorisant ainsi la prise en compte d'autres dimensions telles que la dimension temporelle. Ce type de représentation s'avère particulièrement bien adapté dans des domaines comme les télécommunications 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, les représentations cartographiques conventionnelles deviennent inadaptées voire même trom-

peuses. 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. Le cartogramme présenté dans cet article s'inscrit dans ce contexte et vise à pallier en partie cette absence.

Ce cartogramme s'adresse en premier lieu à des personnes qui veulent analyser des volumes de données importants mais sans avoir nécessairement d'expertise en géomatique. L'objectif premier du cartogramme est de permettre une exploration visuelle facilement compréhensible de structures spatio-temporelles complexes. Les composantes conceptuelles et technologiques du cartogramme ainsi que son contexte de création sont présentés dans un premier temps. Ses potentialités et limites sont ensuite discutées à travers des exemples issus d'une utilisation au sein de l'atlas cybercartographique des échanges commerciaux canadiens. Cet article reprend les grandes lignes d'une communication présentée lors de la conférence SAGEO 2007 (S.Caquard et J-P.Fiset, 2007).

2 UN CYBER CARTOGRAMME 1D : PRÉSENTATION

2.1 Qu'est-ce que la cybercartographie

Le cartogramme présenté dans cet article 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 ; D.R.F.Taylor et S.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 deux atlas

cybercartographiques : l'atlas de l'Antarctique (cf. P.Pulsifer et al., 2006) et l'atlas du commerce canadien (cf. B.Eddy et D.R.F.Taylor, 2005). 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. L'objectif de ces atlas est de permettre à des individus et communautés de concevoir, créer et gérer leur propre atlas cybercartographique dédié aux thématiques et lieux de leurs choix.

Le cartogramme a été initialement développé pour l'atlas cybercartographique du commerce canadien. L'objectif principal de cet atlas est de faire émerger des tendances 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).

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, la proximité relative et la taille de la Russie n'en font aucunement 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 canadiens. La nécessité de développer de nouvelles formes de géovisualisation pour explorer cette notion de proximité économique s'est alors imposée et a débouché sur la conception du cyber cartogramme.

2.2 Nunaliit : un logiciel source ouverte pour la cybercartographie

Ce 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 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 correspondant 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 XML¹ 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 géosonorisatation (cf. G.Brauen, 2006 ; S.Caquard et al., en revue) ou le cyber cartogramme. C'est donc au sein du document XML que le contenu, la structure et la représentation du module seront définis par l'auteur à l'aide d'outils. Une fois créé ou modifié, le fichier XML est ensuite traité par le compilateur qui le transforme en fichiers HTML dynamiques (DHTML), JavaScript et SVG², produisant ainsi des documents hautement interactifs générés à partir de différentes applications géomatiques en ligne (cf. fig. 2) (cf. P.Pulsifer et al., à paraître, pour une description détaillée de Nunaliit).

2.3 Les composantes du cartogramme

Le 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 (ex. le Canada) autour de laquelle 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 et 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); et (3) une ligne de temps interactive permettant d'explorer la dimension temporelle de l'information. Chacune de ces entités est générée automatiquement à la volée par le logiciel Nunaliit à partir d'une ou plusieurs bases de données.

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

1. Langage informatique utilisé en particulier pour structurer l'échange d'informations sur Internet.

2. Langages informatiques pour définir la présentation d'information et l'interaction sur les pages Web.

représenté de manière semi-circulaire (cf. fig. 2). 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.

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. 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 donner à la deuxième dimension du plan des valeurs attributaires. Chaque point se positionne donc sur le rayon du demi-cercle en fonction d'une valeur attributive : 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.

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. fig. 3). Plus la taille des symboles croît 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.

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 (cf. fig. 4). 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 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 visualisation et l'analy-

se. 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, États-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) permettant 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 celle 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, p.280) «sur une carte dynamique, les éléments qui bougent attirent plus l'attention que ceux qui ne bougent pas et les choses qui se déplacent attirent probablement plus l'attention que les choses qui bougent sur place ». L'impression d'animation qui en découle génère une variable cartographique supplémentaire, représentant de manière intuitive les processus dynamiques et stimulant notre capacité à identifier les changements (A.MacEachren, 1994 ; M.Peterson, 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 (cf. fig. 5).

3 LE CARTOGRAMME : APPLICATION ET DISCUSSION

3.1 Étude des échanges commerciaux canadiens relatifs aux produits de la mer

Au Canada, l'industrie de la pêche commerciale représente annuellement plus de 5 milliards de dollars canadiens, ce qui fait de ce pays un des principaux producteurs mondiaux. Le Canada exporte près de 85% des 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). Le 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 fait apparaître des tendances nombreuses et 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 l'Asie en général et de la Thaïlande en particulier durant la période 1985-1994 (cf. fig. 6).

La capacité du cartogramme à faire émerger ces tendances a suscité l'intérêt de nombreux utilisateurs. Même si son utilisation n'a pas fait l'objet d'une évaluation formelle, les experts en commerce international impliqués dans le projet ont très rapidement exprimé leur intérêt pour cette forme de représentation de la notion de proximité économique. 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. Le cartogramme a par ailleurs généré de nombreuses réactions positives et discussions lors de sa présentation aux partenaires de Statistiques Canada au cours d'une réunion de travail. Cette présentation a débouché sur une proposition de collaboration visant notamment à adapter les fonctionnalités du cartogramme aux besoins spécifiques de Statistiques Canada. Ce projet est en cours d'évaluation.

Même si un tel cartogramme a été conçu pour l'analyse géographique de la proximité économique, 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, mais aussi des communautés (ex. communautés autochtones), des entités géographiques cohérentes (ex. agglomérations urbaines), administratives (ex. régions), environnementales (ex. parcs naturels), écologiques (ex. biotopes), etc. 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, mais proches culturellement, socialement, économiquement, etc. D'autre part ce cartogramme permet de générer des lignes de temps à partir de n'importe quel champ numérique, quel que soit le pas de temps (ère géologique ou seconde). Il permet donc d'envisager de multiples analyses historico-géographiques. Les possibilités combinatoires des dimensions thématiques, temporelles et spatiales ainsi offertes sont illimitées si ce n'est par la disponibilité et l'accessibilité des données. Or même si ses possibilités sont illimitées, le cartogramme comporte néanmoins certaines limites.

3.2 Les limites

La première limite du 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.

Une troisième limite concerne la structure des données pouvant être représentées. Celle-ci diffère en effet quelque peu des structures conventionnelles des SIG de manière à pouvoir représenter la dimension temporelle. L'introduction d'informations temporelles au sein de bases de données objets et spatiales ne peut se faire qu'au prix d'un accroissement significatif du volume et de la complexité de ces données (D. Peuquet, 1994 ; T. Sellis, 1999 ; D. Peuquet, 2002 ; K. Beard, 2004). La solution privilégiée a été de créer dans la base de données une entrée pour chaque pays et pour chaque temps spécifique (ex. 'Pays A t1', 'Pays A t2', etc.). Cette structuration s'est avérée nécessaire pour pouvoir représenter à la volée des données spatio-temporelles. L'interopérabilité du cartogramme n'est donc possible qu'avec des bases de données structurées de manière spécifique. Le développement d'une application permettant de convertir les bases de données existantes en bases de données temporelles utilisables dans le cartogramme doit donc être envisagé.

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 consacrés 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. En effet, la création de modules se fait actuellement à partir d'un fichier XML qu'il faut modifier et compiler. 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.

4 CONCLUSION

Malgré certaines limites, le cartogramme présenté dans cet article constitue un véritable outil de géovisualisation, original et innovant. Il permet en effet 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 offre la possibilité de décliner ces combinaisons sur de nombreux modes, favorisant ainsi l'exploration de multiples formes de proximités, appliquées à divers domaines. Il se caractérise par sa simplicité d'utilisation, son évolutivité et son adaptabilité aux besoins des utilisateurs potentiels et aux spécificités des données représentées. N'importe qui ayant des notions de XML peut en effet télécharger le logiciel source ouverte Nunaliit (*nunaliit.org*) et commencer à modifier le cartogramme en fonction de ses propres données et objectifs.

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 stimulation de l'intérêt et imagination des utilisateurs d'information géographique en fournissant une alternative aux modèles réalistes dominants de représentation de l'information géographique ; et (3) une approche communautaire de la construction du savoir géographique et des outils de géovisualisation permettant cette construction et sa diffusion.

Remerciements

Cette recherche a été menée au sein du projet « Cybercartography and the New Economy » dirigé par le professeur D.R.F. Taylor et financé par le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH) dans le cadre de l'Initiative sur la nouvelle économie.

BIBLIOGRAPHIE

- Agriculture et agroalimentaire Canada*, 2007, <http://atn-riae.agr.ca/seafood/industry-e.htm>, accédé en Mars 2007.
- Atlas of Canada*, 2007, http://atlas.gc.ca/site/francais/maps/economic/rdc2001/rdcfish/1/maptext_view, accédé en Mars 2007.
- BEARD Kate, 2004, « A Spatial-Temporal Exploratory Framework for Events », *Proceedings of GIScience 2004*, p.17-19.
- BRAUEN Glenn, 2006, « Designing Interactive Sound Maps Using Scalable Vector Graphics », *Cartographica*, vol. 41, n°1, p.59-71.
- CAQUARD Sébastien, BRAUEN Glenn, WRIGHT Benjamin et JASEN Paul, en revue, « Designing Sound in Cybercartography; From structured narratives to unpredictable sound/image interaction », *International Journal of Geographic Information Sciences*.
- CAQUARD Sébastien et Fiset Jean-Pierre, 2007, « Un cyber cartogramme gravitationnel pour l'exploration de nouvelles formes de proximités », dans M. Batton-Hubert, T. Joliveau et S. Lardon (dir.), *Actes du Colloque International SAGEO 2007*, Clermont-Ferrand, France, CD-ROM, 18 p.
- DORLING Daniel, 1992, « Stretching Space and Splicing Time: From Cartographic Animation to Interactive Visualization », *CaGIS journal*, vol. 4, n°19, p.215-227.
- EDDY Brian et TAYLOR D.R. Fraser, 2005, « Applying a Cybercartographic-Human Interface (CHI) Model to Create a Cybercartographic Atlas of Canada's Trade with the World », dans D.R. Fraser Taylor (Dir.), *Cybercartography: Theory and Practice*, p.517-540.
- KRAAK Menno-Jan, 2005, « Timelines, Temporal Resolution, Temporal Zoom and Time Geography ». dans *Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference*, ICA, A Coruña, Spain.
- MACEACHREN Alan M., 1995, *How Maps Work - Representation, Visualization, and Design*, Guilford, New York.
- MACEACHREN Alan M., 1994, « Time as a cartographic variable », dans H.M. Hearnshaw et D.J. Unwin (dir.), *Visualization in GIS*, Wiley, New-York, p.115-130.
- MONMONIER Mark, 1990, « Strategies for the Visualization of Geographic Time-Series Data », *Cartographica*, vol. 27, n°1, p.30-45.
- PETERSON Michael P., 1994, « Spatial visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice », dans *Proceedings of GIS/LIS*, 8 p.
- PEUQUET Donna J., 2002, *Representations of Space and Time*, Guilford, New York.
- PEUQUET Donna J., 1994, « A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems », *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 84, n°3, p.441-461.
- PEUQUET Donna J., et KRAAK Menno-Jan, 2002, « Geobrowsing: Creative Thinking & Knowledge Discovery: Using Geographic Visualization », *Information Visualization*, vol.1, n°1, p.80-91.

PICKLES John, 2004, *A History of Spaces: cartographic reason, mapping and the geo-coded world*, Routledge, London and New York.

PULSIFER Peter, CAQUARD Sébastien et TAYLOR D.R. Fraser, 2006, « Toward a New Generation of Community Atlases - The Cybercartographic Atlas of Antarctica », dans William Cartwright, Georg Gardner et Michael P. Peterson (Dir.), *Multimedia Cartography*, Elsevier, Amsterdam.

PULSIFER Peter, HAYES Amos, Fiset Jean-Pierre et TAYLOR D.R. Fraser, à paraître, « An Open Source Development Framework in Support of Cartographic Integration », dans Michael P. Peterson (dir.), *International Perspectives on Maps and the Internet*, Springer.

SELLIS Timos K. 1999. "CHOROCHRONOS - Research on Spatio-temporal Database Systems", *Proceedings of Integrated Spatial Databases 1999*: p. 308-316.

SHEN Qing, 2004, « Updating Spatial Perspectives and Analytical Frameworks in Urban Research », dans Michael F. Goodchild et Janelle D. G. (dir.), *Spatially Integrated Social Science*, Oxford University Press, New York.

TAYLOR D.R. Fraser, 1997, « Maps and Mapping in the Information Era », dans L. Ottoson (dir.), *Proceedings of the 18th ICA Conference*, Stockholm, Vol. 1, p.1-10.

TAYLOR D.R. Fraser, 2003, « The Concept of Cybercartography », dans Michael P. Peterson (dir.), *Maps and the Internet*, Elsevier, Amsterdam, p.405-420.

TAYLOR D.R. Fraser (dir.), 2005, *Cybercartography: Theory and Practice*, Elsevier Science, Amsterdam.

TAYLOR D.R. Fraser et CAQUARD Sébastien (dir.), 2006, Special Issue on Cybercartography,

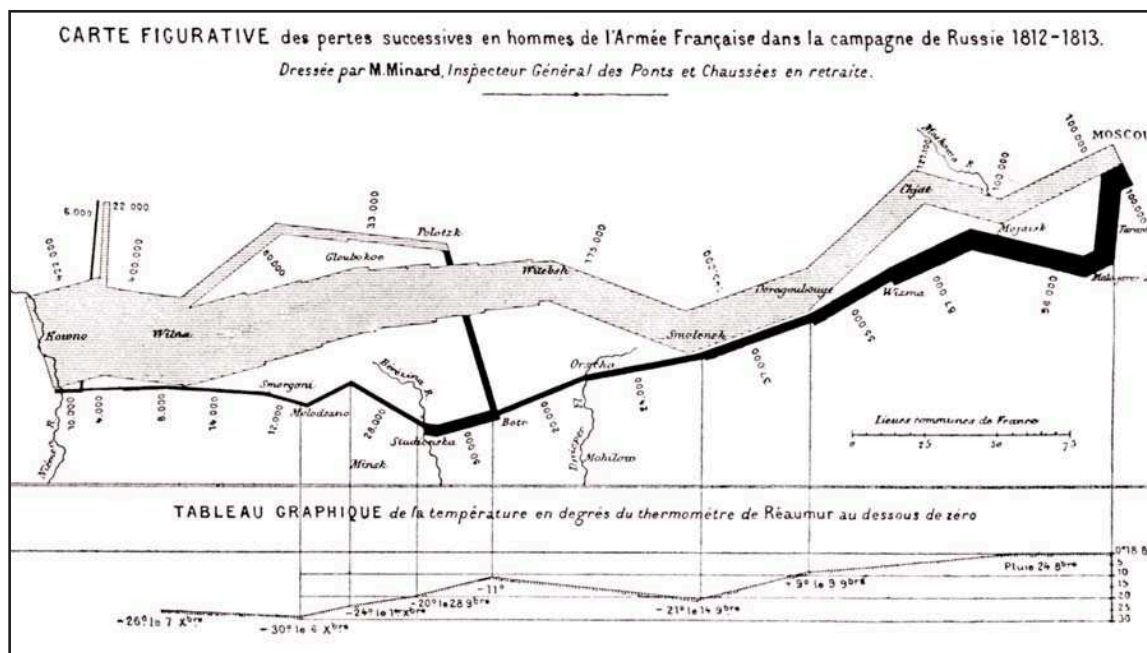


Figure 1 : Cette fameuse carte de Charles Joseph Minard privilégie la simplification du message au détriment de sa précision géographique et préfigure ainsi le potentiel des cartogrammes pour la représentation et l'analyse de l'information géographique

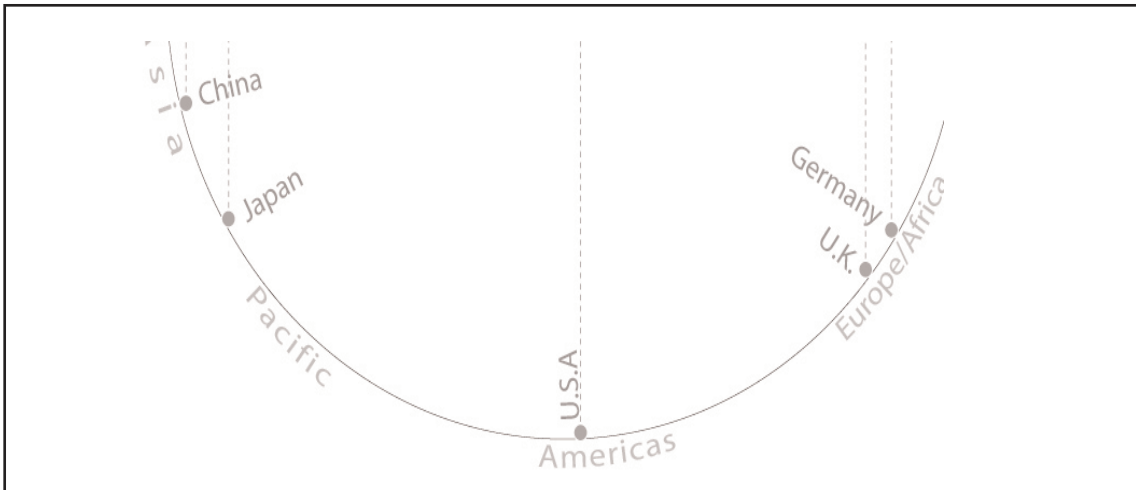


Figure 2 : La forme semi-circulaire correspond à une représentation longitudinale unidimensionnelle (1D) de l'espace géographique centrée sur une entité spécifique, ici le Canada. Chaque point représentant un pays se positionne sur la circonférence du demi-cercle en fonction de sa longitude par rapport à celle de l'origine (ex. Canada)

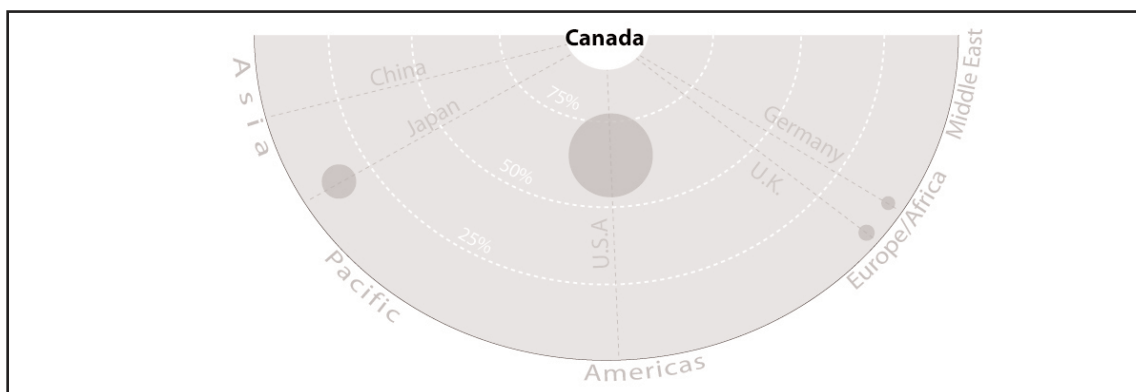


Figure 3 : Chaque pays se positionne sur le rayon du demi-cercle en fonction d'une valeur attributaire (ici le pourcentage du commerce de chaque pays par rapport aux autres pays). La taille du point varie en fonction d'une autre valeur attributaire (ici le volume total des échanges en dollars canadiens)

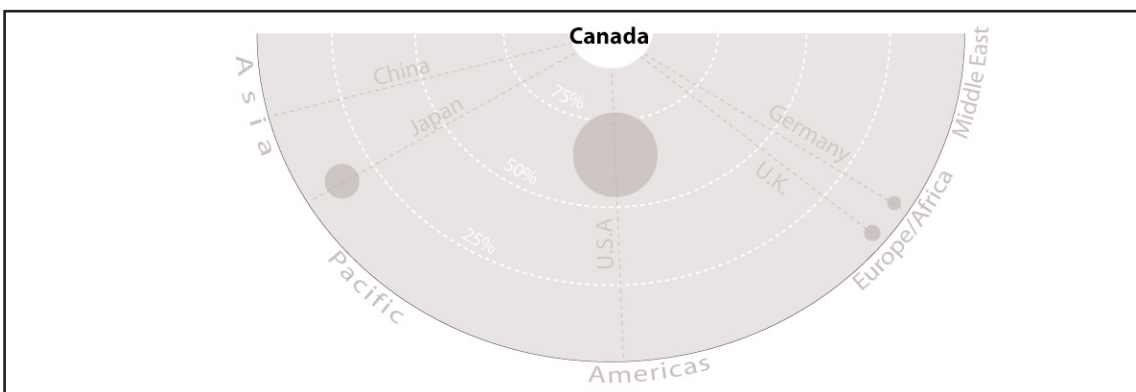


Figure 4 : L'utilisateur peut sélectionner les données temporelles à l'aide d'une ligne de temps interactive générée automatiquement à la volée à partir du champ de la base de données sélectionné

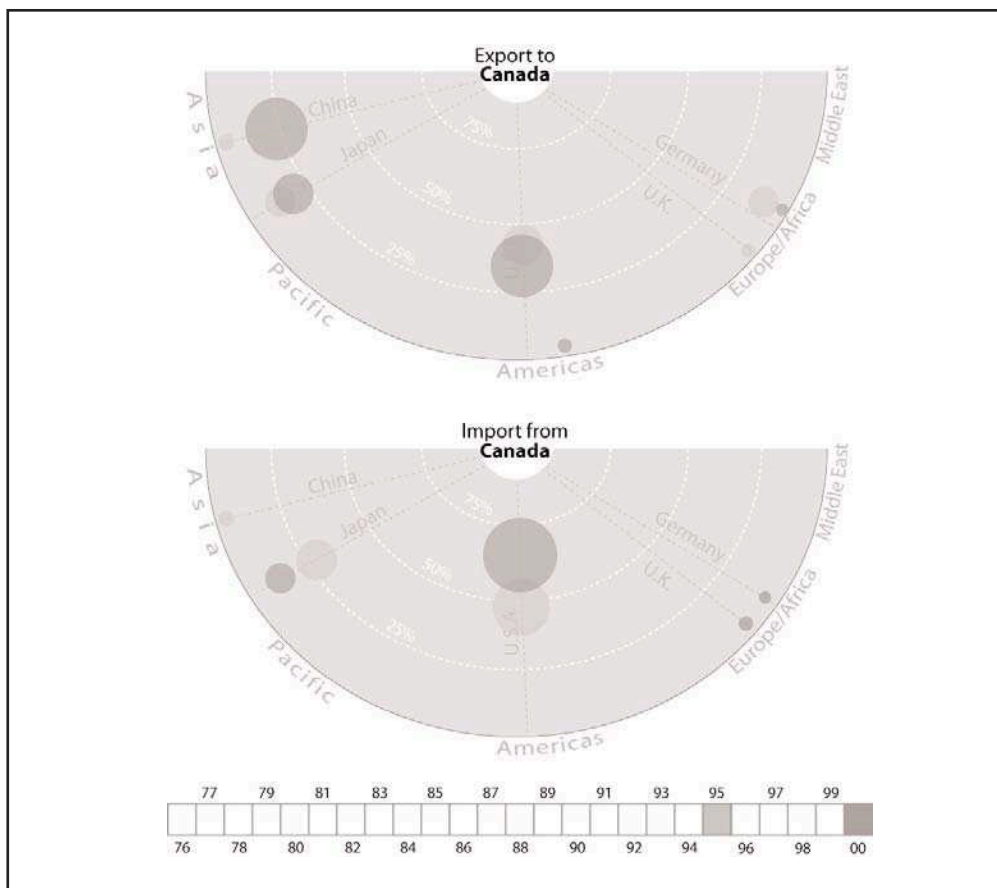


Figure 5 : L'utilisateur peut étudier simultanément les dimensions spatiales à une échelle globale (ex. Europe Vs. Asie), régionale (ex. pays) à des temps différents (ici 1995 et 2000) et pour des thématiques différentes (ex. import vs. Export)

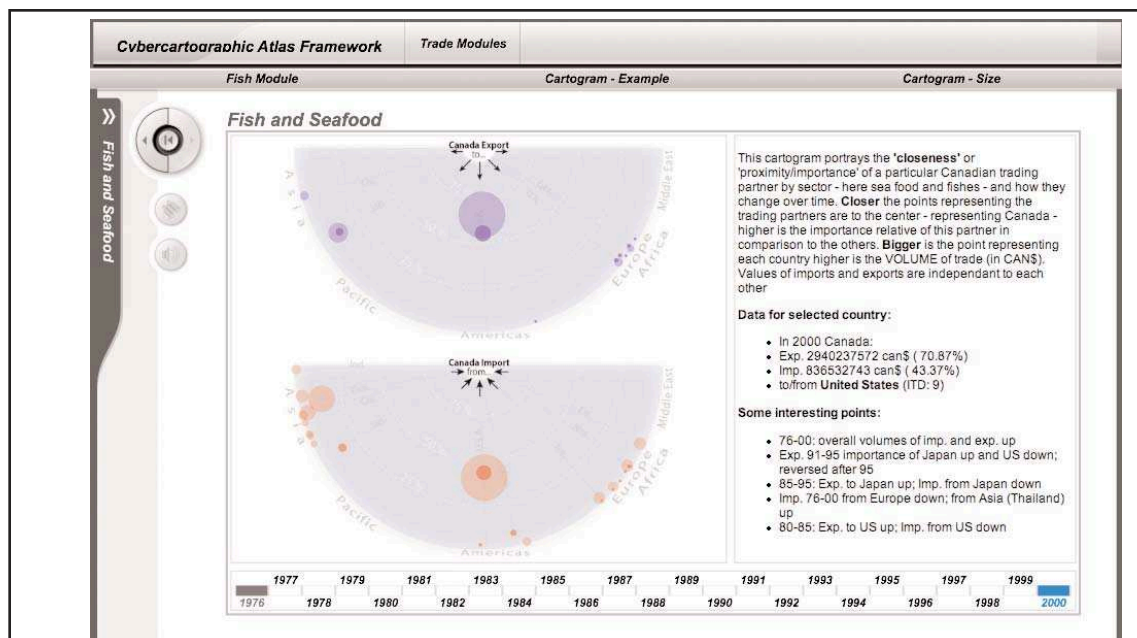


Figure 6 : Copie d'écran du cartogramme intégré dans le module de l'atlas du commerce canadien traitant de l'industrie de la pêche (http://atlases.gcrc.carleton.ca/trade/sebastien/grapho_24_size.xml.html). Dans cet exemple, l'année sélectionnée est 1976 (points de couleur foncée) et elle est comparée 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