REPRÉSENTER SHANGHAI DANS LE TEMPS

par Charlotte Aubrun
UMR IRASIA, CNRS[1]

et Christian Henriot
UMR IRASIA, AMU

Institut de recherches asiatiques
Maison Asie Pacifique,
Aix-Marseille Université
3 place Victor Hugo F-13331 Marseille Cedex 3

Plusieurs disciplines des sciences sociales, géographie, archéologie, histoire, ont mené des travaux sur la représentation de leurs objets de recherche dans l'espace et le temps. L'utilisation de modélisations qualitatives ou quantitatives permet l'application des signes graphiques particuliers pour représenter le changement. Comment, dans le cas d'une ville détruite lors de plusieurs conflits sur une période d'un siècle (1842-1950), peut-on rendre compte de l'évolution de cet espace urbain ? A partir d'un corpus de données rassemblant différentes sources compilées dans le projet War Made Shanghai, en histoire contemporaine (coordonné par Christian Henriot et Ma Jun), plusieurs méthodes et outils sont utilisés pour représenter les transformations de la ville, convergeant tous vers des problématiques de représentation de ces évolutions : en quoi les aspects du langage graphique sollicités varient-ils selon la nature de la donnée, la méthode ou la technique mais également le support utilisés pour ces représentations ? Sur un support statique, la figure permet de représenter le déplacement de troupes au combat, la série de cartes une évolution de flux de migrations sur 50 ans. La déconstruction puis la reconstruction des données en entités attributaires, spatiales et temporelles vise à représenter l'évolution de données de population plutôt que les seuls états démographiques à différentes dates, par la série de cartes. La figure et la carte mettent ainsi en avant certains aspects du langage graphique sur un support statique pour la représentation des processus de changement. Par ailleurs, les méthodes et outils développés permettent, via l'interpolation informatique notamment, une utilisation animée des figurés et variables visuelles à partir de l'interrogation du même ensemble de données historiques.

Contexte et démarche

Lorsque les Européens arrivent à Shanghai en 1845, Shanghai est à la fois le siège administratif d'un comté (xian), doté d'une muraille qui ceinture l'espace urbain et une ville de commerce portuaire, bordée de faubourgs commerciaux et d'entrepôts, le long du fleuve Huangpu. Avec la création des concessions étrangères, la configuration spatiale de la ville se modifie par l'émergence de deux entités autonomes, la Concession française et la Concession anglaise, simples appendices humains et spatiaux au regard des 300 000 habitants de la ville de Shanghai. Les concessions croissent et, vers 1900, font jeu égal avec la ville originale, avant de l'emporter par la suite et devenir le cœur d'une ville recomposée au plan spatial, mosaïque faite de trois entités territoriales et administratives : municipalité chinoise, concession internationale et concession française (Henriot, 2003). Du milieu du 19e siècle jusqu'en 1949, la métropole voit son territoire s'élargir par une extension croissante de l'urbanisation avec en parallèle une forte dynamique démographique. De quelque 300 000 habitants vers 1850, la population s'accroît à trois millions en 1937 et 5,5 millions la veille de la victoire du Parti communiste chinois (PCC). La croissance démographique s'est nourrie presque exclusivement des flux migratoires issus des provinces chinoises. Au cours du siècle, la ville a été confrontée à plusieurs crises sociales graves, notamment lors de rébellions de grande ampleur au 19e siècle (Petits Couteaux, Taiping), mais aussi de conflits militaires internes à la Chine (1911, 1925-1927) et, surtout, entre la Chine et le Japon (1932, 1937). Dans chaque territoire, les administrations municipales ont mis en place des dispositifs différents d'administration de la ville et de la population dont il est souvent difficile de suivre les évolutions, faute de sources cohérentes dans le temps. De même, il est difficile de produire une vision globale en raison des discontinuités de tous ordres, en particulier statistiques, qu'a entraînées l'éclatement administratif de la ville. De fait, l'un des moyens de rendre compte de la transformation de la ville et, en particulier ici, des migrations de populations est précisément le recours aux outils d'analyse et de modélisation qu'apportent systèmes d'information

1 Avec l'assistance de Nicolas El-Sayegh pour la programmation informatique.

géographique (ArcGis, Qgis), logiciel d'analyse statistique (Rstudio) et langages de programmation pour l'utilisation de pages web (HTML, JavaScript). Le travail produit ici tentera de faire la démonstration, avec quelques exemples précis, des enjeux et des apports de notre démarche.

Les sciences sociales, qui s'intéressent aux aspects temporels (géographie, archéologie, histoire) ont mené des travaux pour explorer les différentes manières de représenter les changements opérés dans le temps et dans l'espace. Du point de vue disciplinaire, il est souvent difficile d'appréhender les questions de représentation spatio-temporelle sans privilégier l'une des deux dimensions. En effet, la conception de l'espace par les archéologues relève le plus souvent de la notion d' « espace support », empruntée à la géographe Denise Pumain, sur lequel sont organisées les activités humaines (Rodier, 2006). Les géographes ou les historiens, qui s'intéressent à l'évolution de l'organisation spatiale de la démographie, considèrent le maillage comme un simple outil de localisation de la population (Mathian, Sanders, 2014). Pourtant, des travaux tentent d'inclure les deux dimensions simultanément et d'observer ainsi des dynamiques d'évolution spatio-temporelles, c'est-à-dire les processus de changement séparant les différents états des territoires, à différents moments. La question posée par la recherche présentée ici s'attache à comprendre comment l'histoire envisage la représentation de trajectoires miliaires et des migrations démographiques ? En prenant l'exemple de des changements constatés à Shanghai durant presqu'un siècle, nous tenterons d'y répondre. La définition de certains concepts clefs est cependant un préalable nécessaire afin de poser les bases d'un vocabulaire précis.

Selon le *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés,* le changement est défini comme un processus de transformation de l'état d'une réalité sociétale avec l'idée qu'il produit de l'histoire. Ce changement peut intégrer des objets divers, dont l'espace qui nous intéresse ici, sous différentes formes (qualitatives ou quantitatives) et selon plusieurs modalités (la migration en est une) (Lévy, Lussault 2003). Le processus est alors à définir comme les éléments qui agissent sur les objets ou les propriétés de ce changement, entre des événements caractérisant les apparitions, disparitions ou autres changements (Mathian, 2014). L'événement est ce qui advient, ce qui arrive à une date et en un lieu précis (Lévy, Lussault, 2003) ou encore, du point de vue des historiens, un épisode historique important et nouveau dont l'extension temporelle est délimitée par un début et une borne terminale (Offenstadt, 2009). L'événement se distingue de l'état par le fait que ce dernier est plus marqué dans la synchronie que dans la diachronie.

L'utilisation de modélisations qualitatives ou quantitatives permet de représenter des trajectoires au cours du temps avec des échelles spatio-temporelles variables. La trajectoire est une ligne décrite par un point matériel en mouvement, définie par son origine, sa flèche et son point d'impact. Cette notion inclut donc la dimension spatiale et temporelle. Le type de modélisation qualitative fait référence ici à la figuration, inspirée de la modélisation graphique. Le modèle repose sur des structures et n'est pas le compte rendu ou le bilan d'un état de fait mais propose une interprétation (Ferras, 1993). Les modélisations de type quantitatif font appel à des réflexions et méthodes telles que le cube spatio-temporel de Brian Berry (1964) ainsi qu'à leur formalisation sous système d'informations géographiques déjà bien établies, incluant la dimension temporelle aux coordonnées géographiques.

La sémiologie graphique, introduite par Jacques Bertin, est définie comme la science générale des signes appliquée à la cartographie pour désigner les règles de bon usage des signes et symboles cartographiques de la légende. C'est le langage cartographique permettant l'utilisation de signes graphiques en relation avec les informations qu'ils expriment (Zanin, Trémélo, 2003). Du point de vue du langage graphique utilisé, ces modélisations impliquent une utilisation de figurés et de leur implantation qui s'adapte en fonction des échelles géographique et temporelle. Le figuré, ou figuration, étant la représentation d'une donnée, d'une image ou d'un objet graphique symbolique ou géométrique (Zanin, Trémélo, 2003) et l'implantation sa représentation géographique et la façon de le disposer sur une image cartographique selon trois modes : ponctuel, linéaire ou zonal (Zanin, Trémélo, 2003). Nous évoquons ici les termes de « langage » et de « graphique » pour désigner de façon large ce qui fait partie des systèmes de signes que l'homme a construits pour retenir, comprendre et communiquer les observations qui lui sont nécessaires, comme langage bénéficiant des propriétés de la perception visuelle (Bertin 1967). En effet, les variables visuelles, l'implantation de l'information ou le type de figurés seront de nature différente selon qu'il s'agit d'exprimer une information sur un événement ou un processus de changement. Nous utiliserons plutôt un figuré ponctuel pour représenter deux populations à deux dates différentes (deux événements), tandis que pour donner à voir le processus, l'évolution, le calcul d'un indicateur sera cartographié par des plats de couleurs avec gradation de valeurs et la donnée traitée différemment donnera lieu à un changement d'implantation (passage du ponctuel au zonal). Enfin, le type de support implique également l'utilisation d'un langage graphique qui s'adapte selon que l'on représente une information spatio-temporelle sur support statique (papier) ou numérique (notamment pour l'animation).

Nous présenterons notre travail en deux grandes parties, selon le type de support, statique ou numérique, envisagé pour cette représentation. Nous déclinons les types de modélisation de données historiques que nous expérimentons, ainsi que les différentes manières d'interroger la sémiologie graphique, pour cartographier les événements et les changements dans la ville de Shanghai. Symboles ponctuels pour représenter une population chinoise sur leur province d'origine ou symboles linéaires pour représenter cette même population avec l'idée du mouvement, vers leur destination (Shanghai) sans pour autant figurer leur déplacement (c'est-à-dire leur cheminement formé par une succession de points dans l'espace). A partir des données de flux de migrants notamment, nous avons testé plusieurs types de représentations. Les données que nous traitons dans cet article sont d'une part de nature qualitative, à partir d'une collection de cartes japonaises réalisées ex post facto en 1932 par l'état-major japonais en vue de représenter le cours de la bataille qui s'est déroulée à Shanghai pendant l'hiver 1931-1932. Cet ensemble de documents figure la position et le déplacement des troupes engagées au cours du temps, selon un pas de temps irrégulier relatif qui tient aux choix de conception, des « hauts » moments de la bataille et de la disponibilité d'information. D'autre part, à partir d'une base de données démographiques issue de diverses sources historiques (dont les recensements quinquennaux) dans la Concession internationale, la Concession française et la Municipalité chinoise de Shanghai, nous avons sélectionné deux jeux de données pour tester des types de représentation spatio-temporelle : le premier porte sur la population étrangère dans la Concession internationale de Shanghai, le second sur les flux de migration vers Shanghai dont nous avons voulu comparer les résultats obtenus sur les supports statiques et numériques animés.

Sur support statique : représenter des événements historiques et leurs processus

Une représentation qualitative de la bataille de Shanghai en 1932 : la figure

La modélisation graphique de données historiques a été très utilisée lors des ateliers de chrono-chorématique urbaine du Centre national d'archéologie urbaine (CNAU) à Tours (Rodier, Saligny, 2010). Ces ateliers, de nature pluridisciplinaire réunissant archéologues et géographes, ont donné lieu à un ensemble de réalisations s'inspirant de la chorématique (Brunet, 1980) et proposant, à partir d'une démarche hypothético-déductive, la conception de modèles-types de villes dans le temps long. Nous nous sommes inspirés de ces travaux pour réaliser, dans le contexte de la bataille sino-japonaise à Shanghai en 1932, une série de figures (fig. 1). Très éloignée de la « Carte Figurative des pertes successives en hommes de l'Armée Française dans la campagne de Russie (1812-1813) » de Charles-Joseph Minard, les figurations présentes ici marquent néanmoins un parallèle avec cette référence majeure pour ce qui concerne la nature de la donnée. En effet, si la carte figurative de Minard contient une dimension quantitative combinée à la trajectoire des troupes de l'armée française, nous n'avons tenté de dégager qu'une perspective qualitative de déplacements des troupes de l'armée chinoise sans y ajouter de donnée chiffrée.

La figure 1 permet ici de représenter spatialement un épisode de la progression de l'armée chinoise dans la région de Shanghai. Les militaires japonais ont représenté sur cet ensemble de cartes soit la position des armées chinoises à un moment donné, soit leur processus de déplacement, en utilisant plusieurs échelles spatiales et temporelles. Nous présentons ici une modélisation des déplacements des troupes sur l'espace d'un « grand » Shanghai qui va, à l'ouest, jusqu'à Nanjing et, à l'est, jusqu'à la boucle dessinée par le fleuve Yangzi. Nous avons ainsi établi cette série de figures dont le pas de temps varie de l'événement à la période. Le premier pas de temps représente une à deux journées (l'événement, ici le placement des militaires sur le site de Shanghai) tandis que la semaine est représentée par une période. L'association des variables visuelles « couleur » pour distinguer les divisions armées, « forme » pour différencier les éléments de fonction militaire et « texture-structure » pour figurer le temps, nous a permis de faire la synthèse de l'ensemble des informations. Ces choix permettent de valider visuellement l'hypothèse d'une arrivée des troupes chinoises de l'ouest vers l'est, suivant les voies de communication vers Shanghai, pour reculer à nouveau à l'ouest à la fin de la bataille. Les déplacements sont indiqués par des figurés linéaires orientés (flèches) qui suivent les rivières ou le chemin de fer et les étapes de ce déplacement par des taches en pointillés. Le tracé du littoral marque les possibilités d'accès à Shanghai pour les armées japonaises. Les figurés, en implantation zonale, représentant l'emprise des divisions armées permet d'accrocher l'œil en marquant une « empreinte » ou « trace » (Bahoken *et al.* 2011) afin de visualiser plus aisément le déplacement des troupes chinoises dans la série chronologique de figures réalisées. Si le pas de temps n'est pas régulier, pour marquer la différentiation entre « ici maintenant » et « après ailleurs » (car nous ne savons pas précisément de quel moment il est question, sur la période), c'est-à-dire le lieu d'origine et de destination de la troupe, nous avons figuré le lieu d'origine par des cercles de même couleur que le lieu de destination, mais ce dernier en pointillés afin de laisser penser à un positionnement

à venir. Ce positionnement « à venir » étant connu par la collection de cartes japonaises qui représente successivement les étapes d'avancement des troupes, la durée de la présence étant équivalente à une journée. L' « événement » se distingue ainsi du « périodique » par un symbole ponctuel vide dans le premier cas, et une tache pleine dans le second. La figure représentant les troupes chinoises entre le 7 et le 14 février montre les lieux de départ des militaires au début de la période, à l'ouest et au sud, les étapes de déplacements en taches aux contours pointillés, puis leur lieu de destination où ils se positionnent durant cinq jours en tache pleine (divisions 87D et 88D aux portes de la ville). Il est exclu de parler ici de chorotype ou de chrono-chorème qui ont fait l'objet du dossier de chrono-chorématique publié dans la revue *Mappemonde* (Djament-Tran, Grataloup, 2010). En effet, notre figuration ne reprend pas la particularité figurative des chorèmes, spécifique aux modèles graphiques. Néanmoins, une tentative de figuration spatio-temporelle a été esquissée pour rendre compte de la logique d'implantation et de déplacement des troupes chinoises lors de la bataille. Le langage graphique utilisé à partir des trois types d'implantation spatiale (ponctuelle, linéaire, zonale), en l'occurrence les variables visuelles associées à la représentation des informations qualitatives (position et déplacement des troupes de l'armée chinoise) peut ainsi être mis en avant comme aide à la visualisation de l'avancée des troupes adverses, du point de vue japonais. Cette approche valorise plus l'événement que le processus, de par sa nature statique. Aussi avons-nous réalisé les mêmes figures sur un support numérique animé, l'objectif étant de renforcer la distinction entre la position de l'armée à certaines dates et les étapes de son déplacement.

Modélisation de données démographiques : Space-Time Composite Model

Pour les modélisations formalisant des données quantitatives et localisées dans un système d'information géographique (SIG), une équipe d'archéologues français du réseau Information Spatiale et Archéologie (ISA) a établi une modélisation des données historiques en partant de la triade *What, Where, When* de Donna Peuquet pour caractériser les objets historiques (OH). Ces OH sont ainsi définis selon leur fonction, leur position dans l'espace et dans le temps (Rodier, Saligny, 2010). Alors que la collection de cartes présente l'état des données et/ou des configurations spatiales à différentes dates avec une certaine redondance (en présentant une carte par type de changement et donnant lieu parfois à un grand nombre de représentations rendant la lecture de l'ensemble peu aisée), ce type de modélisation propose l'implémentation d'un SIGH[2] pour la modélisation spatio-temporelle de données historiques. Il suppose, pour ce faire, la reconstruction des entités temporelles et attributaires lorsque les opérations impliquent des changements sur les objets spatiaux ; les entités temporelles faisant référence à la fonction temps de l'OH et entités attributaires, à la fonction. Les entités géographiques sont alors décomposées en fragments d'objets spatiaux (May, 1996). Cette méthode permet par la suite d'observer et d'analyser des dynamiques, des processus de changement plutôt que d'en observer les états successifs.

À partir d'un échantillon de données sur la population étrangère dans la Concession internationale de Shanghai et en considérant que la configuration spatiale change au cours du temps, nous avons appliqué cette modélisation (fig. 2). En croisant les deux fonds de carte avec un outil de géotraitement, nous avons ensuite, à partir du nouveau fond de carte, redistribué la population originellement appliquée aux districts, dans les nouvelles entités spatiales (ES). En supposant que la population soit régulièrement répartie, un calcul de proportionnalité de la population à la surface a été appliqué aux ES. Nous aurions pu faire une série de deux cartes pour représenter la densité de population pour chacune des deux dates. La collection de cartes n'étant qu'une manière permettant de représenter l'évolution d'un phénomène, nous avons ici choisi de cartographier cette évolution grâce à un indicateur (un taux de croissance annuel moyen de la densité de population entre 1900 et 1930). Nous avons donc vu comment les différentes étapes d'une telle modélisation se déroulaient, d'une part relativement aux données spatiales dans le SIG et d'autre part concernant, à partir des entités spatiales créées, les nouvelles données attributaires par ES, ce type de modélisation rendant possible la lecture de l'évolution des données (démographiques dans notre cas). Il devient plus aisé de les comparer et donc de les interpréter.

Concernant le langage graphique, la méthode utilisée inclut intrinsèquement ces problématiques de représentation et de perception, les réflexions portent ici sur l'idée de « rémanence visuelle » (Cheylan, 2007). En effet, en conservant les contours des unités spatiales à différentes dates que l'on « superpose », la méthode propose une lecture simultanée de leurs états successifs. L'objectif n'est pas de mettre l'accent sur la réalité des contours de chaque objet (ici les districts de police) mais plutôt sur l'espace le plus sollicité dans le temps. A partir d'une donnée quantitative de stock, nous avons calculé un taux de croissance annuel moyen, que nous avons ensuite

2 SIGH = Système d'information géographique historique

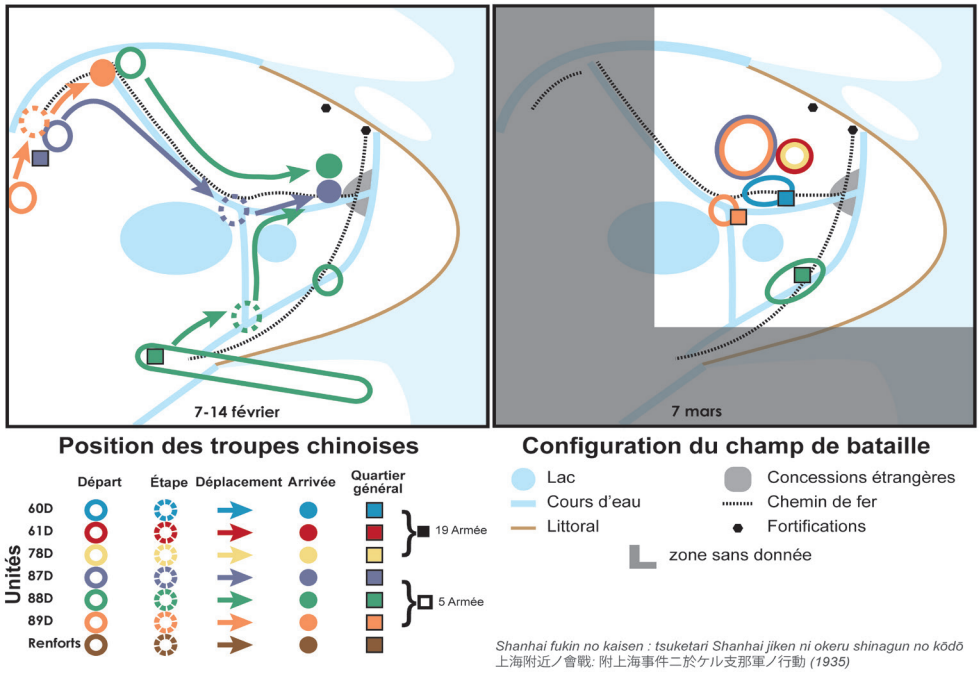
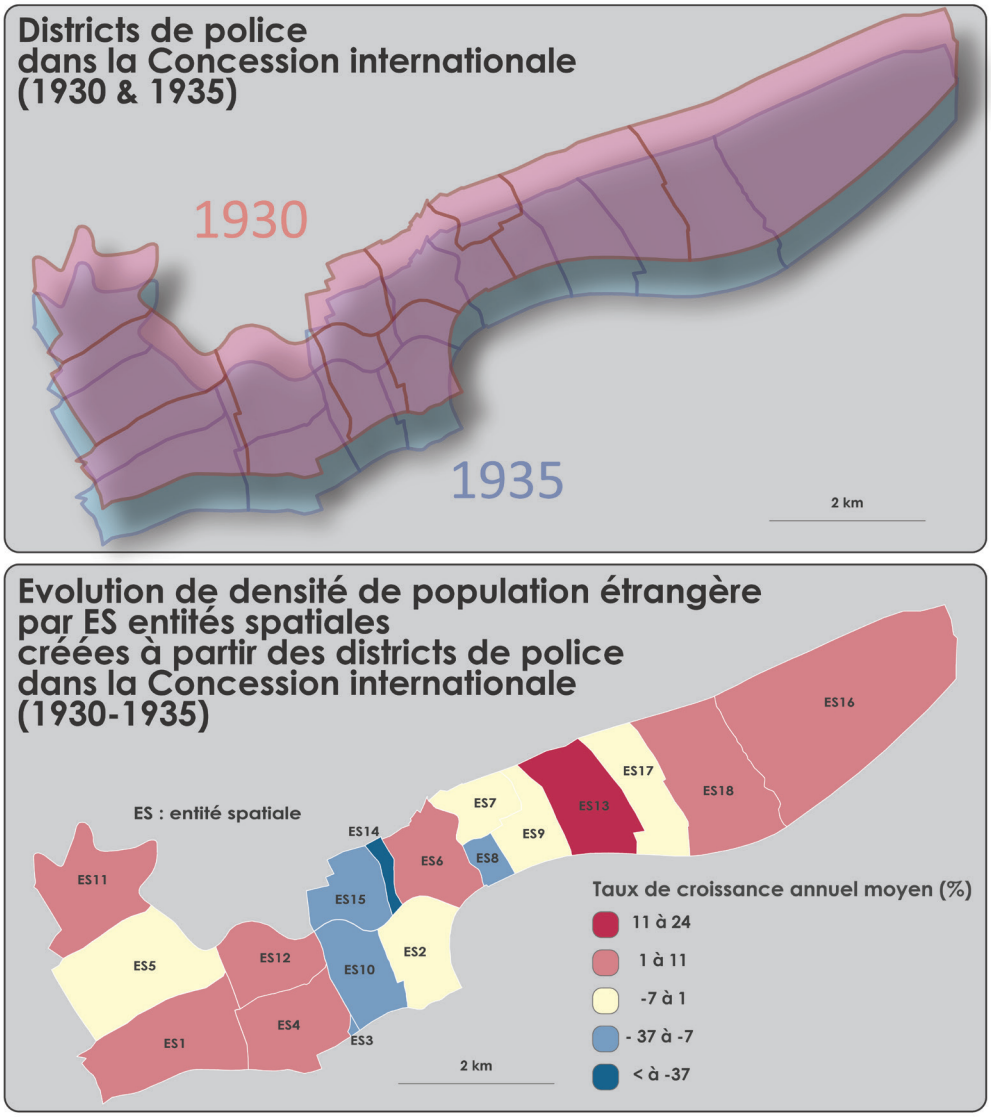


Figure 1 : La bataille sino-japonaise de 1932



Source : Annual report of the Shanghai Municipal Council, 1885, 1935

Figure 2 : Space-Time Composite Model

représenté en implantation zonale. La variable visuelle couleur, associée également à la valeur – en particulier le principe de l'opposition colorée - permet notamment une nette distinction par son caractère différentiel, entre les valeurs fortes et les valeurs négatives. En jouant sur la variable visuelle couleur et en associant la taille pour l'épaisseur du trait, l'œil perçoit aisément l'opposition entre les valeurs négatives et positives avec des nuances que la taille du figuré linéaire met en avant. Ce travail met l'accent sur le processus observé, l'évolution, tandis que la série de figures ou de cartes oriente la visualisation vers les événements apparaissant aux différentes dates concernées.

Si la méthode exposée ci-dessus permet de reconstruire des données pour une cartographie comparative entre deux dates (minimum) et si l'œil peut percevoir l'ensemble des contours de toutes les unités géographiques ayant existé durant la période, elle doit cependant être interprétée avec précaution car le maillage auquel est reliée la population ne correspond plus à une réalité administrative à proprement parler. D'autre part, on peut se demander s'il existe une réelle pertinence dans le fait de donner à voir en une seule figure l'ensemble des unités géographiques dans leur évolution sur une période plus ou moins longue. Ce type de modélisation a néanmoins l'avantage de nous permettre, dans un premier temps, de réfléchir à la manière d'appréhender les représentations de données spatio-temporelles tant du point de vue des méthodes que du langage graphique, dans le cadre de notre projet de recherche. Ceci nous laisse envisager une perspective de valorisation des résultats par la mise en place de cartographie animée ou dynamique. Avant d'évoquer les tests d'animation, nous souhaitons revenir sur les collections de cartes que nous avons établies à partir des données concernant les migrants à Shanghai et à partir desquelles seront réalisées les animations.

Cartographie des migrants à Shanghai entre 1885 et 1930 : la série de cartes de flux

Pourquoi parler de flux dans ce contexte ? Si au sens strict, le flux est défini comme l'expression d'une circulation entre lieux, il comprend également une distinction méthodologique qu'il est ici important de souligner, le flux en un point ou bien le flux entre deux lieux. De cette distinction découlera le choix sémiologique du cartographe pour figurer le mouvement (Lévy, Lussault, 2003) , le mouvement, représenté lorsqu'une information traduit à la fois le temps et l'ordre géographique (Bertin, 1967). Pour Shanghai, les recensements de population ont fourni le stock de population aux lieux, avec pour destination la Concession internationale de Shanghai. Cette donnée nous permet d'une part, de représenter cartographiquement les migrants sur leurs lieux d'origine (les provinces) et d'autre part, leurs déplacement vers leur lieu de destination (Shanghai) par des flèches exprimant les flux. Sur support statique, la série de cartes est l'une des possibilités permettant de figurer une évolution de données dans le temps (Bertin 1967). C'est une des solutions que propose Jacques Bertin pour représenter le mouvement, en dehors de l'animation ou d'une variable visuelle de troisième dimension. La série d'images, comme au cinéma, peut s'appliquer aux mouvements les plus complexes (Bertin, 1967). Pour figurer le mouvement, le déplacement, il est possible de réaliser des cartes de flux avec différents outils : systèmes d'information géographique ou logiciel de traitement et d'analyse statistiques.

Pour représenter la venue des migrants chinois vers la Concession internationale de Shanghai au cours de la période 1885-1935, avec un état tous les cinq ans, nous avons utilisé le logiciel Rstudio pour produire une cartographie automatisée de flux. Nous avons utilisé trois fonds de cartes différents avec un changement des limites des unités géographiques qui sont au nombre de dix-huit sur l'ensemble de la période. Le logiciel nous permettant de cartographier les données année par année (voir la Cartographie de flux avec R dans Hypothèses), aucune comparaison n'est possible entre chaque événement, chaque carte faisant apparaître ses flux, indépendamment des autres cartes et donc des autres années (fig. 3). Nous n'aurions pas pu figurer cet ensemble avec une méthode telle que le Space-Time Composite Model, car si la superposition des trois fonds de cartes est possible pour créer de nouvelles entités spatiales, nous avons souhaité conserver les contours de chaque province administrative comme unité spatiale de départ. Nous avons donc recherché d'autres manières de cartographier ces migrations. Comme en géographie statistique classique, en calculant la proportionnalité des figurés à partir de l'ensemble du jeu de données, la comparaison devient alors possible et la série de cartes représente, grâce à une légende commune, le nombre de migrants par province et la population totale ayant migré vers Shanghai pour chaque année donnée dont nous ne présentons ici, pour des raisons pratiques et ergonomiques, que les deux extrêmes temporels (fig. 4). La lecture des cartes de flux permet de visualiser globalement l'augmentation des migrations entre 1885 et 1935 vers Shanghai. Les flèches permettent d'indiquer le sens du mouvement, de la province d'origine vers Shanghai. La variable visuelle taille est utilisée ici autant pour les flux en implantation linéaire que pour les cercles en implantation ponctuelle, les deux informations étant quantitatives (les cercles représentant la somme totale des flux émis vers Shanghai).

Ce type de collection de cartes reste difficile pour une lecture plus en détails comme la comparaison du nombre de migrants issus de deux provinces différentes au sein

d'une même carte. De plus, figurer les flux du point de vue de leur relation par des flèches pose un problème graphique pouvant s'apparenter à ce que Françoise Bahoken appelle « l'effet spaghetti » qui correspond au chevauchement des liens préjudiciable à la perception des différents motifs de flux (Bahoken, 2014). Pourtant, aucun critère d'agrégation de données ne permettrait dans notre cas de produire une cartographie plus « légère », ce type de cartes a donc ses limites. Pour plus de lisibilité et de complémentarité, nous avons cherché à représenter les données par des figurés ponctuels, en cartographiant les flux du point de vue des lieux (fig. 5). Pour chaque année, des cercles proportionnels au nombre de migrants permettent une lecture plus aisée de la comparaison entre les volumes de chaque province. Ces cartographies nous autorisent également à ajouter, grâce à la transparence des cercles et donc avec plus de clarté pour la lecture de la carte, une deuxième information quantitative, à savoir le poids de chacune de ces provinces dans le nombre total de migrants en aplats de couleurs. La série de cartes, plus lisible, nous fait toutefois perdre la perception générale du déplacement et donc la perception visuelle du processus.

Tout comme pour la figure qui représente des informations historiques de nature qualitative, nous observons ici l'évolution générale des migrations à travers une succession d'événements à différentes dates, à partir d'un jeu de données quantitatives et un pas de temps régulier. Si une série de cartes privilégie la figuration du déplacement au détriment d'une lecture aisée et précise des informations et si, à l'inverse, une meilleure lecture de ces informations supprime la cartographie du mouvement, comment alors représenter l'idée de déplacement des migrants et leur poids simultanément, dans un ensemble de données, sans charger la carte d'un trop grand nombre de signes graphiques ? Nous nous sommes ainsi penchés sur les questions de cartographie animée pour tenter de mieux appréhender ces problématiques.

L'animation pour représenter les données historiques

Dans le cadre du projet War Made Shanghai, les objectifs de publication d'un atlas en ligne et d'un atlas imprimé nous ont amenés à réfléchir aux méthodes et aux outils à utiliser pour le passage en ligne des données historiques de nature différente. Le groupe *Cartomouv* a porté ses réflexions sur les modalités de transfert des représentations cartographiques sur écran dynamique. Les chercheurs ont ainsi réalisé environ 200 prototypes en distinguant les données à représenter et le type de représentation souhaité (Bahoken et *al.)*. Ces réalisations constituent un formidable outil expérimental pour appréhender le passage de la cartographie statique à la cartographie animée en conservant les règles propres à la sémiologie graphique. Ainsi, par exemple, nous avons pu réfléchir à la pertinence de conserver la trace des « étapes précédentes » lorsqu'il s'agit de faire apparaître le changement du fond de carte pour la cartographie animée. De même, les travaux menés sur les variables visuelles dynamiques (Zanin, Ben Rebah, 2011 ; Kaddouri, 2008) ont amené des questionnements dans ce sens en apportant une définition des variables visuelles appliquées à l'animation dynamique. Ces questions méthodologiques amènent ensuite à la recherche des outils à utiliser pour la formalisation de l'animation graphique et cartographique. Les solutions du type Adobe Flash ont été évoquées au départ pour la figuration des évolutions historiques. Cependant, dans une approche plus directe et plus accessible (Jegou, 2014) nous avons voulu tester des animations avec des bibliothèques de fonctions *javascript,* notamment D3, qui permettent à la fois un large éventail de représentations graphiques et cartographiques susceptibles de répondre aux exigences de la sémiologie graphique, et le géoréférencement de données spatiales. Nous avons procédé par étapes pour figurer les flux de migrants des provinces vers Shanghai en partant tout d'abord d'une représentation graphique animée (Bostock, 2012), puis en reprenant le procédé d'animation pour l'appliquer à un fond de carte. Ces représentations sont les résultats de premiers essais qui nous invitent à envisager des perspectives d'évolution.

Représentation de données démographiques : test d'animation graphique

Les travaux mis en ligne par l'américain Mike Bostock (Bostock, 2012) nous ont interpellés pour ce qui concerne l'utilisation d'éléments graphiques rendue plus aisée par les nouvelles fonctions ou bibliothèques comme D3js (Jegou L., 2014) combinée aux possibilités d'animation. Toujours à partir des données de migration nous avons testé ce type de représentation afin de visualiser comparativement, d'une donnée à l'autre, les volumes de migrants sur la période 1890 à 1935, les données étant disponibles tous les cinq ans (fig. 6). Les données inscrites dans des tableurs sont aisément transformables en format *Json*, lisible par la librairie *javascript*. Le graphique met en avant une gamme de couleurs différentielles parmi plusieurs gammes proposées par la bibliothèque de données. Les volumes sont exprimés par des cercles proportionnels se positionnant sur deux axes pour indiquer la proportion des hommes et des femmes pour chacune des provinces (le pourcentage restant, non figuré, indiquant le nombre d'enfants dont l'information par sexe n'est pas apportée dans les recensements). Le pas de temps défile par

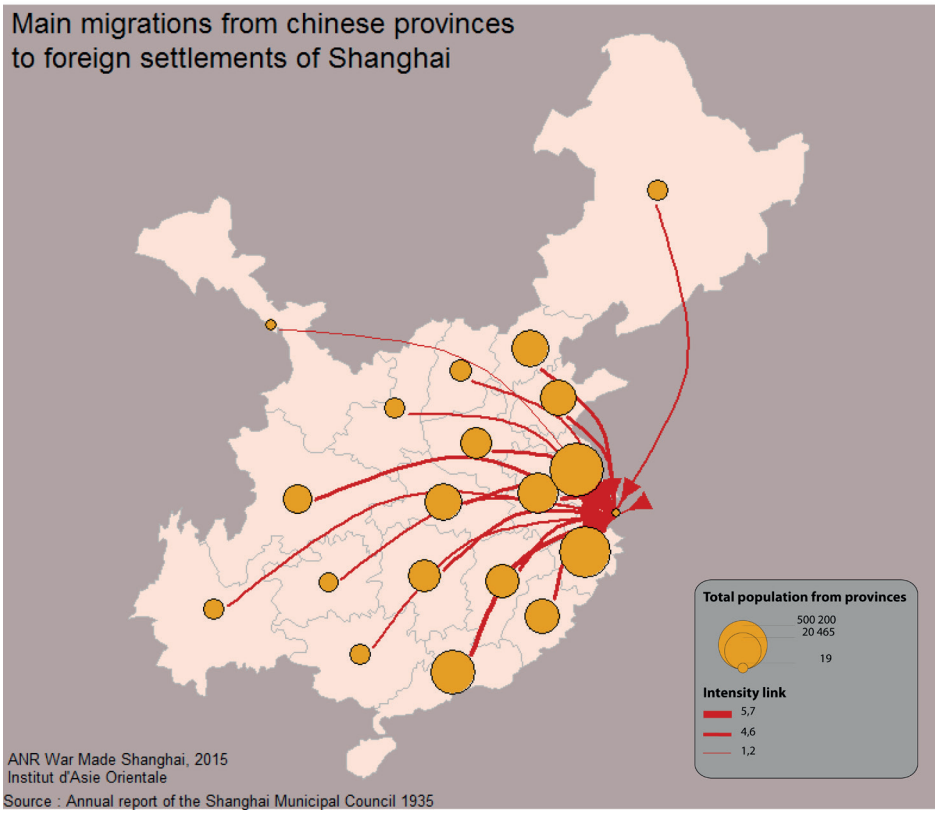


Figure 3 : Migrations principales des provinces chinoises vers Shangaï

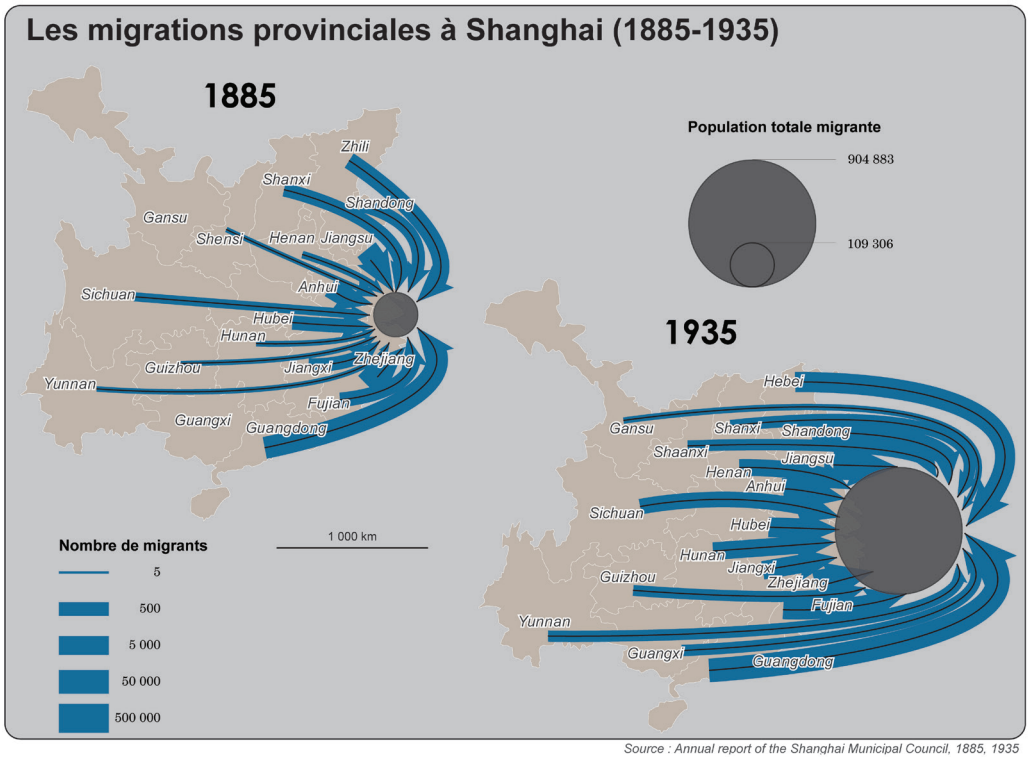


Figure 4 : Les migrations provinciales à Shanghai (1885-1935)

année, une interpolation linéaire permettant de lisser les données représentées en figurant une estimation de l'évolution entre deux dates, périodes pour lesquelles nous ne possédons pas les informations.

Nous pouvons aisément visualiser l'augmentation globale du volume des migrants sur l'ensemble de la période, ce volume étant figuré par des cercles proportionnels et la disparité entre les provinces, ces provinces étant différentiées par une couleur. Ce type d'interpolation par objet donne une lecture fluide de l'information historique sur l'ensemble de la période, sans laisser paraître de discontinuités temporelles. Grâce à ces techniques de *morphing*, il est possible de souligner davantage l'idée de continuité, spatiale et temporelle, qu'à la lecture d'une série de cartes statiques (Bahoken et *al.*, 2011). Cette dernière, bien que construite avec une légende commune pour la comparaison de données, mettra l'accent sur les événements plus que sur les processus de changement entre deux événements donnés. Ce premier résultat nous a permis d'envisager une seconde étape de visualisation du processus du changement par la carte.

Modélisation de données démographiques : l'animation cartographique

À partir d'un premier test d'animation graphique, nous avons voulu représenter l'évolution des migrations sur un fond de carte représentant la « Chine des dix-huit provinces ». Au cours de la période, les limites de certaines provinces, en marge du pays, se modifient. L'objectif de cette cartographie animée était de donner à voir d'une part les migrations domestiques du point de vue des lieux d'installation (volumes de migrants entre 1885 et 1935) en lien avec les provinces d'origine (figuration du déplacement en pointillés) et d'autre part, l'information concernant la part relative de chaque province dans le volume total partant à destination de Shanghai (fig. 7).

La méthode de représentation des flux, sous forme dynamique et interactive, cherche à représenter le déplacement des migrants à partir de leur lieu d'origine (les provinces) vers leur destination (Shanghai). La technique utilisée requiert la librairie *JavaScript D3*. Cette bibliothèque de données interroge le tableau de données originelles normalisé en *Json* et permet la projection du fond de carte et des centroïdes des provinces par le langage *GeoJson* compatibles avec des logiciels de cartographie libres comme QGIS (Jégou, 2014). Pour animer le déplacement des migrants, nous avons appliqué une interpolation par objet permettant de simuler la trajectoire entre le point de départ (le centroïde de la province) et le point d'arrivée (la Concession Internationale de Shanghai) rendant ainsi une lecture de la carte sans discontinuité spatiale. La figuration de cette trajectoire par la variable visuelle orientation permet ainsi au lecteur de comprendre le sens du mouvement et d'intégrer l'idée de processus, répondant ainsi à son objectif initial. Grâce à une méthode informatique (queue) jargon technique correspondant à l'assemblage de fonctions JavaScript, nous avons pu ajouter un autre type d'interpolation pour figurer l'évolution des volumes de migrants, en plus de leur déplacement. Cette interpolation par image donne à voir l'augmentation du nombre de migrants durant la période par seuils, tous les cinq ans (fréquence à laquelle nous avons les données) mais la perspective est d'intégrer également pour ces volumes une interpolation par objet car ce lissage permettrait une lecture plus fluide et progressive de l'évolution de la population. En effet, si la technique d'interpolation par image, la construction de l'animation, se fait comme un diaporama où chaque image affichée correspond à un état connu et enregistré, l'interpolation par objet utilise le morphing et une interpolation linéaire afin de fluidifier le rendu visuel (Bahoken et *al.*, 2011). Enfin, concernant les trois fonds de carte différents, nous avons testé les deux types d'interpolation : d'abord par image, où nous pouvons observer la succession et donc la superposition des fonds de cartes apparaissant aux différentes dates concernées, mais ce résultat n'a pas donné satisfaction car la superposition finale brouillait une information que l'on considère ici comme secondaire ; ensuite par objet, proposant un morphing pour la reconstruction des entités au fil du temps : une fois encore la perception visuelle se centrait trop sur cette information. Nous avons choisi de figurer la succession des fonds de carte, privilégiant les informations ponctuelles et zonales relatives aux migrations. Nos choix concernant le langage graphique se sont appuyés sur la variable visuelle valeur en aplats de couleurs pour la classification appliquée au poids relatif des migrations provinciales, et sur des figurés ponctuels pour le volume et le déplacement des migrants.

Le passage de la carte statique à la carte animée nous a amenés à privilégier une représentation de ces migrations du seul point de vue des lieux de départ (par des cercles proportionnels) plutôt que leurs relations (par des flèches), l'animation se suffisant à elle-même pour représenter l'expression de ces flux sur les lieux. Néanmoins, cette méthode laisse entrevoir des perspectives d'amélioration pour les interactions entre la représentation et son utilisateur. D'une part, il nous faut intégrer la possibilité d'interagir avec la dimension

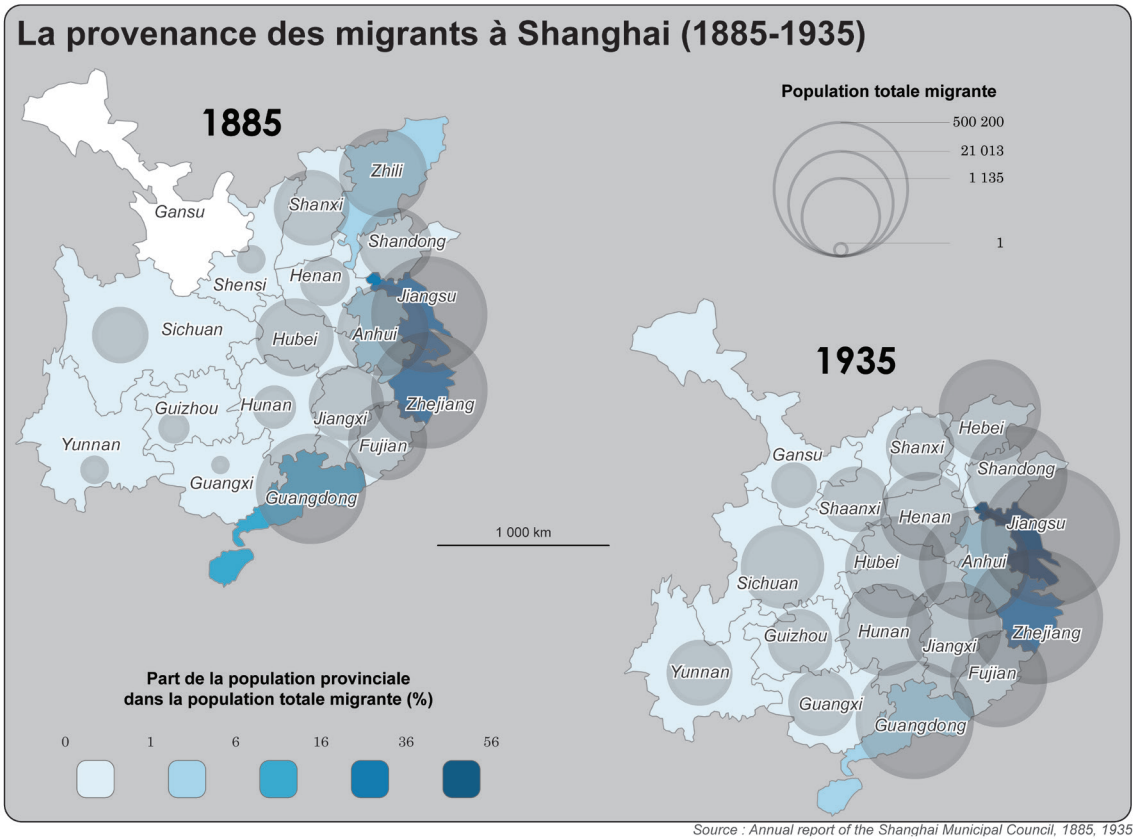


Figure 5 : La provenance des migrants à Shanghai (1885-1935)

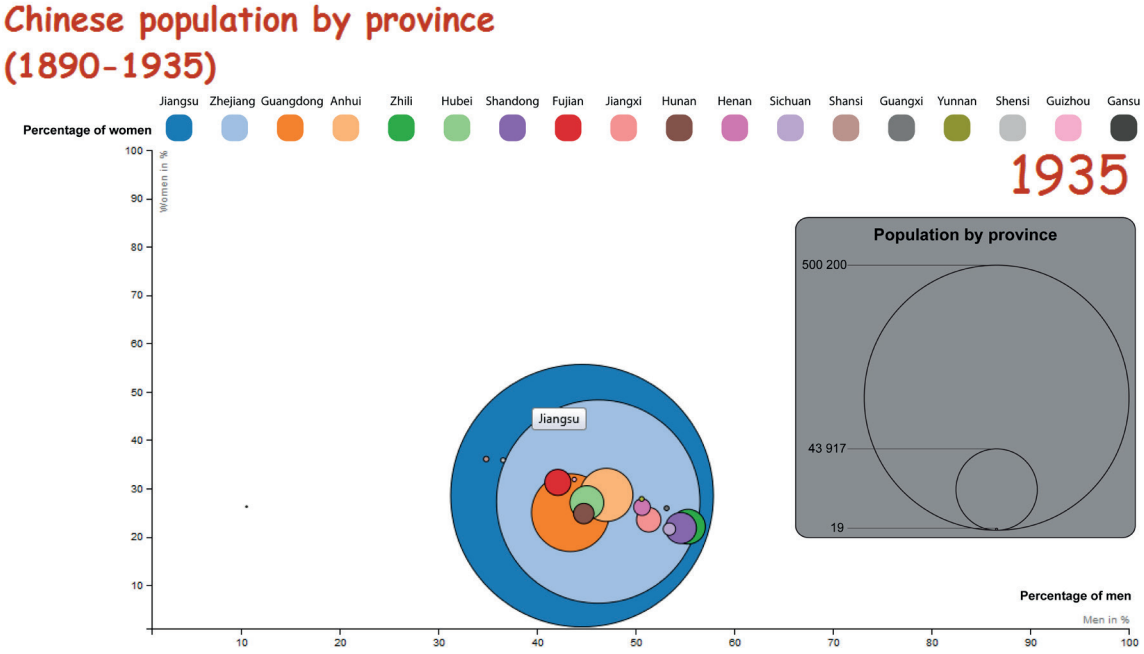


Figure 6 : Population chinoise par province (1890-1935)

temporelle : arrêt de l'animation sur une année, passage de la souris sur une province, un cercle de population (qu'il faudrait alors replacer au centre de la province) pour en obtenir l'information quantitative par info-bulles par exemple. D'autre part, il faudrait envisager les possibilités d'interrogation des données à référence spatiale. Des informations concernant la distance entre un point d'arrivée et de destination pourraient être affichées. L'interopérabilité entre systèmes de gestion de bases de données relationnelles et systèmes d'information géographique incluant le format *GeoJson* laisse entrevoir les possibilités d'interroger des données de façon dynamique. Enfin, l'information historique étant souvent éparse et manquante, il faudrait réfléchir aux manières de mettre l'accent sur la nature propre de la donnée. Sur l'ensemble de ce jeu de données portant sur des migrations dont les informations sont disponibles tous les cinq ans entre 1885 et 1935, comment représenter les possibles ruptures démographiques inter-périodiques liées aux guerres et conflits qui se sont produits à Shanghai ?

Conclusion

Nous conclurons en évoquant d'une part les apports complémentaires des différentes formes de représentations pour cartographier les changements dans la ville de Shanghai et d'autre part, sur les questions et perspectives qu'elles soulèvent. Les méthodes utilisées dans cet article sont inspirées de travaux issus des sciences sociales, en particulier l'archéologie urbaine, l'histoire et la géographie (cartographie et géomatique). Elles questionnent les modalités de la représentation du temps, (du phénomène, du processus et de la représentation). L'approche graphique, utilisée ici dans une perspective diachronique, met en œuvre les figurés selon une approche classique, en leur appliquant un principe de généralisation propre à la modélisation pour dégager une représentation de la configuration spatiale des troupes armées durant la bataille de 1932. Les différentes variables visuelles permettent de renforcer la perception de l'événement, l'étape, le déplacement puis la durée, en appliquant les principes de la sémiologie graphique adaptée à la représentation de données quantitatives en implantation surfacique (rapports aux taux) ou ponctuelles (discrètes, par exemple). En fonction du type de données, les méthodes spatio-temporelles de décomposition des objets historiques ou bien les séries de cartes seront privilégiées. Ces deux types de représentations, qui permettent la comparaison grâce à l'élaboration d'une légende commune sur l'ensemble des données, se focaliseront de façon préférentielle sur l'évolution ou la période dans le premier cas, tandis que, dans le second cas, la visualisation d'états successifs marquera davantage l'événement, bien que l'ensemble, grâce au langage graphique, admette la lecture de l'évolution globale de ces données. La représentation de la donnée, ce qui relève de la sémiologie graphique, fera ensuite l'objet des choix cartographiques (symboles ponctuels ou implantation zonale selon que l'on représente une population à une date ou un taux d'évolution ; choix des figurés ponctuels ou linéaires selon le type de flux représenté). Enfin, les représentations animées, sous la forme de graphique et carte, permettent également d'appréhender les changements, respectant les principes de la sémiologie cartographique (couleurs différentielles, proportionnalité des figurés ponctuels, lecture fluide grâce aux techniques d'interpolation) et l'animation conservant les mêmes caractéristiques d'interrogation de données numériques ou spatiales que dans un système d'information géographique (récupération du nombre correspondant au cercle proportionnel au passage de la souris, ou de la distance théorique parcourue lors de migrations par exemple).

Expérimenter ces méthodes nous a permis d'envisager des améliorations afin de réaliser une application de géovisualisation interactive sur les flux de migrants à Shanghai, dans le cadre du projet War Made Shanghai. En s'attardant en premier lieu sur d'autres variables visuelles pour la représentation des migrations (par exemple, l'animation des cercles dont le volume augmente simultanément à leur déplacement pourra être testée en restant au centroïde de la province, avec une interpolation par objet plutôt que par image pour éviter la lecture « en escalier » correspondant aux seuils d'augmentation ou de diminution de la donnée). Il faudra encore travailler l'habillage de la carte, éviter la cartographie « en île »[2], ajouter une échelle et bien sûr développer des possibilités d'interrogation de la carte par l'utilisateur, afin qu'elle devienne, plus qu'un outil de représentation d'un savoir scientifique, un instrument entrant en interaction avec celui qui l'interroge.

2 La cartographie en île représente un territoire donné sans lien avec son contexte spatial et la continuité territoriale.

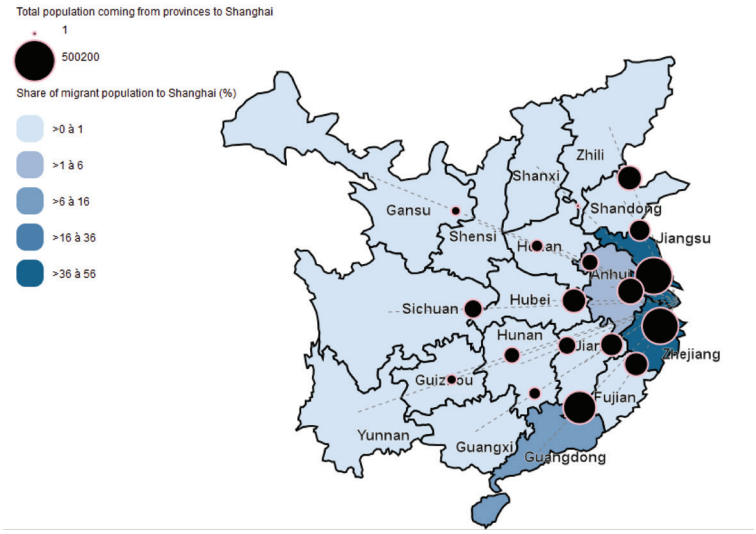


Figure 7: Flux de migrations intérieures vers Shangaï (1885-1935)

Encart Méthodes/Outils

Figure 1 :
Données : collection de cartes historiques et militaires japonaises
Traitement : Figuration qualitative de données représentées sur une collection de cartes japonaises géoréférencées sous ArcGis
Cartographie : Figuration sous Adobe Illustrator.

Figure 2
Données : population étrangère par districts de police dans la Concession internationale. Deux fonds de cartes (1900 et 1930) géoréférencés dans ArcGis
Modélisation à partir des outils de géotraitement sous ArcGis. Calcul de Taux de croissance annuel moyen dans Microsoft Excel
Cartographie : Adobe Illustrator

Figure 3
Données : Population chinoise par province d'origine en 1935
Traitement : Package sous Rstudio : igraph, maptools
Cartographie : Rstudio et Adobe Illustrator pour la légende

Figures 4 et 5
Données : Population chinoise par province d'origine entre 1885 et 1935 tous les 5 ans (sauf 1930)
Traitement : Proportionnalité des flux et des cercles sous Microsoft Excel et Adobe Illustrator
Cartographie : Adobe Illustrator

Figure 6
Données : Population chinoise par province d'origine entre 1885 et 1935 tous les 5 ans (sauf 1930)
Traitement : Transfert des données de Microsoft Excel en format json. Appel des données sous HTML 5 avec la librairie D3js de javascript
Cartographie : Mise en page sous Adobe Illustrator pour le format statique de publication

Figure 7
Données : Population chinoise par province d'origine entre 1885 et 1935 tous les 5 ans (sauf 1930)
Traitement : Transfert des données de Microsoft Excel en format json pour les données attributaires et de Qgis vers le format geojson pour les fonds de carte géoréférencés. Appel des données sous HTML 5 avec la librairie D3js de javascript
Cartographie : D3js

Bibliographie

Bahoken, F., 2014, « Pour le renouvellement de la sémiologie de la carte de flux », *Cartes et Géomatique*, n° 222, p. 109-121.

Bahoken F., Ben Rebah M., Boffet-Mas A., Cunty C., Fleury A., Lambert N., Lizzi L., Mathian H., Ribardière A., Zanin C., 2011, *Cartomouv' (Cartographie du changement – cartographie en mouvement) :* http://www.cartomouv.parisgeo.cnrs.fr/ (site consulté le 14 mars 2016).

Bertin J., 1967, *Sémiologie graphique*, Paris, Mouton/Gauthier-Villars.

Bostock M., 2012, *The Wealth & Health of Nations* : https://bost.ocks.org/mike/nations/ (site consulté le 14 mars 2016).

Brunet R., 1980, « La composition des modèles dans l'analyse spatiale », *L'Espace géographique*, n° 4.

Cheylan J-P., 2007, « Les processus spatio-temporels: quelques notions et concepts préalables à leur représentation », *M@ppemonde*, 87, 3-2007.

Djament-Tran G., Grataloup C., 2010, « E pluribus una : Modéliser les trajectoires de villes », Dossier Chrono-chorématique urbaine, *M@ppemonde*, 100, 4-2010.

Ferras R., 1993, *Les modèles graphiques en géographie*, Paris, Economica.

François J.-C., 1998, « Discontinuités territoriales et mise en évidence des systèmes spatiaux », *L'Espace* géographique, n° 4.

Henriot C., **Zheng Z.**, 2003, *Les divisions de la ville à Shanghai (XIX^e^-XX^e^ siècles). Les mots de la ville : Divisions*, CNRS, p.157-190.

Jegou L., 2014, « Nouvelles fonctionnalités (carto)graphiques offertes par le web », *M@ppemonde*, 115, 3-2014.

Kaddouri L., 2008, « Réflexion sur la sémiologie graphique animée des flux », *M@ppemonde*, 89, 1-2008.

Lévy J., Lussault M., 2003, *Dictionnaire de géographie et de l'espace des sociétés*, Paris, Belin.

Mathian H., **Sanders L.**, 2014, *Objets géographiques et processus de changement, approches spatio-temporelles,* ISTE, London.

May Y., 1996, *Temporal GIS and Spatio-Temporal Modeling* published in CD-ROM by the National Center for Geographical Information and Analysis.

Rodier X., 2006, « L'archéologue et la carte », *M@ppemonde*, 83, 3-2006.

Rodier X., Saligny L., 2010, « Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée », *Cybergeo* : *European Journal of Geography, Systèmes, Modélisations, Géostatistiques*.

Rodier X., Grataloup C., Guilloteau C. (dir.), 2010, « Dossier « Chrono-chorématique urbaine », *M@ppemonde*, 100, 4-2010.

Zanin C., Ben Rebah M., 2011, *Les variables visuelles de la cartographie dynamique : analyse, critique et propositions*, Dixièmes rencontres de Théoquant, Besançon, Université de Franche-Comté.

Zanin C., Trémélo M.-L., 2003, *Savoir faire une carte – Aide à la conception et la réalisation d'une carte thématique univariée*, Paris, Belin-Sup Géographie.