RENOUVELER L'ENSEIGNEMENT DE LA CARTOGRAPHIE GRÂCE AUX CONTRIBUTIONS DE LA RECHERCHE

par Jean-François Girres

Université Paul-Valéry Montpellier 3 – UMR GRED
Route de Mende 34199 MONTPELLIER Cedex 5
jean-francois.girres@univ-montp3.fr

Avec l'avènement de l'ère numérique, la cartographie, comme de nombreuses autres disciplines, a vécu ces dernières années de profonds bouleversements, qui amènent à s'interroger sur la manière de l'enseigner aujourd'hui. En effet, la disponibilité nouvelle de logiciels libres, de bases de données géographiques, et la démocratisation des outils cartographiques ont eu pour conséquence de modifier les priorités pédagogiques relatives à l'enseignement de la cartographie. Si bien qu'aujourd'hui, dans de nombreuses formations où la cartographie et la sémiologie graphique étaient autrefois traditionnellement enseignées, les priorités pédagogiques se sont davantage orientées vers la pratique des SIG et le traitement de données géographiques. Mécaniquement, la part consacrée à l'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique s'est considérablement réduite. Au sein du Master Géomatique de Montpellier, l'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique conserve malgré tout un volume horaire substantiel. Cependant, enseigner la cartographie à de futurs géomaticiens implique une approche nécessairement techniciste du contenu, afin que ceux-ci maîtrisent la myriade d'outils et de données disponibles aujourd'hui pour produire des cartes. Mais afin de renouveler le contenu de l'enseignement et de moderniser davantage l'approche pédagogique, il est proposé d'intégrer dans le programme d'enseignement des contributions de recherche, afin notamment de répondre à des problèmes de représentation cartographique non-triviaux. Cette démarche pédagogique cherche avant tout à faire prendre conscience à l'étudiant des difficultés inhérentes à la conception cartographique, en le confrontant à des problèmes concrets, et permet de le sensibiliser aux travaux de recherche du domaine, qui demeurent bien souvent confidentiels dans les enseignements. Cette intégration de travaux de recherche, relevant parfois du domaine de l'informatique graphique ou de la géovisualisation, participe également à une forme de décloisonnement disciplinaire, qui contribue au renouvellement de l'enseignement de la cartographie en Master Géomatique.

Ces dernières années, de nombreux changements ont profondément bouleversé le paysage de la cartographie. Ces changements se sont principalement manifestés par l'émergence de nombreuses applications cartographiques – ou géoportails – sur Internet, avec notamment l'arrivée de *Google Earth* en 2004. Ils se sont également traduits par la mise à disposition de nombreux logiciels libres (dont le projet QGIS est aujourd'hui le plus emblématique) ou encore par la multiplication de bases de données (institutionnelles ou collaboratives) accessibles gratuitement en ligne, rendant l'information géographique toujours plus disponible. Cette modification profonde du paysage a eu pour effet principal de démocratiser auprès du grand public « la carte » et surtout l'outil cartographique, qui était autrefois réservé à une communauté d'initiés. Cette démocratisation de la cartographie fait qu'aujourd'hui quiconque connaissant les outils et les données peut s'improviser « cartographe », sans pour autant avoir de formation de base en cartographie ou en sémiologie graphique. Il suffit d'observer le nombre de « mauvaises cartes » (Bord, 2014) recensées sur Internet ou dans la presse pour s'en apercevoir.

Par ailleurs, ces récents changements ont facilité une forme de décloisonnement disciplinaire autour de la cartographie. En effet, là où l'intérêt pour la cartographie était autrefois principalement porté par les géographes, de nombreuses disciplines – en particulier l'informatique – lui portent désormais un intérêt nouveau. Cependant, ce décloisonnement disciplinaire a également eu des effets indésirables, amenant à certaines formes « d'appropriation » de la cartographie par l'informatique. En effet, les contraintes technologiques impliquées par la représentation informatisée de cartes, associées à un manque manifeste de culture cartographique, ont eu pour conséquence de banaliser des représentations qui ignorent totalement les règles de lisibilité ou les bonnes pratiques élaborées au cours du temps, au profit de fonctionnalités qui se veulent avant tout pratiques. L'exemple le plus frappant à ce titre est certainement celui de la prolifération des « punaises » (ou *markers*), introduites par *Google*, dans les différents portails cartographiques, qui se sont peu à peu imposées au grand public, au point de devenir pratiquement une norme.

Ces différents exemples, volontairement critiques, cherchent à interroger sur les bénéfices réels que la cartographie a pu tirer de ces changements technologiques récents. Mais au delà de la pratique de la cartographie, ce nouveau contexte interroge également sur la façon d'enseigner la cartographie et la sémiologie graphique, ainsi que sur les défis pédagogiques à relever. En effet, force est de constater que l'émergence de ce nouveau paysage technique et informationnel a profondément modifié la manière d'enseigner la cartographie dans les différentes formations où celle-ci est traditionnellement dispensée (notamment en licence de géographie et dans les masters spécialisés). Si autrefois des unités d'enseignement entières étaient consacrées à la sémiologie graphique et la cartographie, aujourd'hui ces dernières sont généralement intégrées au sein de cours sur les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), et la pratique de la cartographie est bien souvent vue à travers le spectre des logiciels SIG utilisés.

Cette situation s'avère doublement pénalisante pour l'enseignement de la cartographie. Tout d'abord, le temps consacré à l'acquisition des règles de sémiologie graphique et aux bonnes pratiques de la cartographie s'est vu considérablement réduit (Bord, 2014) au profit de l'apprentissage d'autres fonctionnalités proposées par les SIG. Mais surtout, appréhender l'enseignement de la cartographie à travers la pratique de logiciels SIG, qui par définition ne sont pas des logiciels de cartographie, s'avère pénalisant, puisque ces outils ne disposent que de capacités de représentation très limitées, voire parfois médiocres. Ce contexte peut par conséquent s'avérer préjudiciable pour l'étudiant, qui risque de voir ses compétences et exigences en cartographie réduites à la portion congrue. Cette observation rejoint le constat malheureusement soulevé dans beaucoup de discussions (notamment au cours des rencontres « Enseigner la sémiologie » en mai 2014 à Montpellier), où la cartographie et la sémiologie graphique sont désignées comme les grandes perdantes de la révolution technologique et informationnelle des années passées.

Pourtant, la cartographie demeure une discipline complexe et innovante, et la richesse des travaux de recherche menés aujourd'hui témoigne du dynamisme des questions scientifiques qu'elle soulève. De plus, le décloisonnement disciplinaire autour de la cartographie (en partie autour de l'informatique) offre de nouvelles perspectives en termes de représentation et de visualisation de l'information géographique. Malgré tout, les travaux de recherche menés dans le domaine demeurent assez confidentiels au sein du monde académique, et sont rarement abordés dans les enseignements. Ainsi, dans ce contexte récent, l'apport de contributions de recherche en cartographie et en géovisualisation peut offrir de nouvelles pistes pour un renouvellement de l'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique.

Cet article a donc pour objectif de présenter un témoignage relatif à l'enseignement de la cartographie au sein du Master Géomatique de Montpellier. Il cherche à illustrer comment, devant un public de futurs géomaticiens, des contributions de recherche sont intégrées au sein d'un enseignement de cartographie, afin de sensibiliser l'étudiant à la difficulté de la représentation cartographique et aux questions scientifiques sous-jacentes. Cet article montre également comment des résultats de recherche peuvent être intégrés concrètement pour enrichir le panel de ressources mobilisables pour la conception cartographique.

La prochaine section de cet article présentera de manière générale le contexte de l'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique au sein du master géomatique de Montpellier, ainsi que les grandes lignes du projet pédagogique. La section suivante présentera des exemples de contributions de recherche introduites dans le programme d'enseignement afin d'en renouveler le contenu.

L'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique au sein du Master Géomatique de Montpellier

Le Master Géomatique de Montpellier (Université Paul-Valéry Montpellier 3, Université de Montpellier, AgroParisTech) a été créé en 2007. Il propose à un public d'étudiants aux profils variés (originaires principalement de licences de géographie, d'informatique, ou encore de licence professionnelle en SIG) d'acquérir sur deux ans les connaissances nécessaires à l'acquisition, au traitement, et à la représentation des données à référence spatiale. Pour cela, l'articulation des Unités d'Enseignement (UE) cherche à proposer un équilibre entre informatique, méthodes et outils de la géomatique, et thématiques d'application.

L'UE « Sémiologie Graphique, Cartographie, DAO/CAO »

Contrairement à de nombreuses autres formations de niveau Master, l'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique demeure bien représenté au sein du Master Géomatique de Montpellier, à travers l'existence d'une UE « Sémiologie graphique, cartographie, DAO/CAO » de 50 heures. Celle-ci se

tient au cours du premier semestre de la première année de Master. Les compétences acquises au cours de cet enseignement (fig. 1) constituent un ensemble de pré-requis qui seront largement mobilisés dans la suite du Master, comme par exemple au sein des UE d'analyse spatiale ou encore de webmapping.

Au sein de ce programme de 50 heures, la moitié du volume horaire est dédiée à des enseignements théoriques en cartographie et en sémiologie graphique, tandis que la seconde moitié porte sur des enseignements techniques. Les pratiques d'enseignement qui seront présentées au sein de cet article ne portent que sur la seconde partie de cet enseignement, c'est à dire la partie technique.

Acquisition des compétences en cartographie

Les compétences à acquérir au terme de l'enseignement portent autant sur les volets techniques, méthodologiques, que réflexifs de la conception cartographique. Ainsi, au terme de l'enseignement, l'étudiant doit bien évidemment connaître et appliquer les règles de sémiologie graphique de Jacques Bertin (1967), être en mesure de concevoir des documents cartographiques (corrects), et surtout être en mesure d'anticiper les difficultés de conception graphique. Pour cela, il devra être capable de maîtriser plusieurs logiciels de SIG-CAO-DAO, mobiliser les formats d'échange adaptés, identifier les ressources disponibles, et appliquer des techniques d'optimisation graphique. Enfin, l'étudiant devra apprendre à être rigoureux, critique et avant tout patient.

Par ailleurs, le contenu de l'enseignement proposé s'inscrit dans une approche volontairement techniciste. En effet, si dans leur avenir professionnel, ces futurs géomaticiens ne sont pas nécessairement amenés à produire directement des cartes (mais certainement davantage à gérer des données géographiques, ou à développer des applications métiers), ils seront certainement désignés comme référents sur les outils et méthodes de représentation cartographique dans leur future structure. Par conséquent, s'il convient de former ces étudiants aux règles élémentaires de sémiologie graphique et aux bonnes pratiques cartographiques au cours de cet enseignement, il paraît fondamental qu'ils disposent d'une bonne vision de la myriade d'outils et de données disponibles aujourd'hui pour produire des cartes. Ceci suppose également qu'ils soient capables d'appréhender les limites de ces outils et les verrous technologiques ou méthodologiques sous-jacents.

Pourtant, force est de constater que les étudiants, à leur arrivée en Master Géomatique, ne maîtrisent pas toujours les subtilités existantes entre Systèmes d'Information Géographique (SIG), Cartographie Assistée par Ordinateur (CAO) et Dessin Assisté par Ordinateur (DAO). Ceci peut s'expliquer par des pratiques d'apprentissage antérieures de la cartographie via des logiciels SIG, qui intègrent souvent des fonctionnalités basiques de CAO et de DAO. Au final, cet enseignement cherche à faire comprendre à l'étudiant les bénéfices et inconvénients de chaque outil, en fonction des objectifs de représentation cartographique. Pour cela, une progression pédagogique a été pensée en fonction du type de cartes, mobilisant différents outils et confrontant l'étudiant aux limites de ceux-ci.

Progression pédagogique par types de cartes

D'un point de vue pédagogique, l'enseignement est basé sur une progression qui suit la typologie des cartes proposée par Poidevin (1999), comme illustré en figure 2. Celle-ci différencie les cartes d'inventaire, les cartes d'analyse, les cartes de synthèse, et enfin les chorèmes (Brunet, 1986) et autres formes de cartes. Cette structure d'enseignement permet d'une certaine manière de monter en difficulté en termes de conception cartographique, étant donné que progressivement, les possibilités d'automatisation proposées par les différents logiciels mobilisés s'avèrent de plus en plus réduites.

D'un point de vue purement technique, le recours aux logiciels libres et/ou gratuits est privilégié au cours de l'enseignement. Ainsi les étudiants sont principalement amenés à utiliser les logiciels QGIS (SIG), PhilCarto (CAO) et Inkscape (DAO) pour préparer leurs données, concevoir leurs cartes et réaliser la mise en page et la finalisation graphique. Ils sont par ailleurs familiarisés aux principaux formats d'échange entre logiciels (fig. 3), ainsi qu'aux formats standards du domaine, comme le format SLD (*Style Layer Descriptor*).

Au terme de l'enseignement, il est convenu que les étudiants soient capables de mobiliser les outils adéquats en fonction des besoins cartographiques demandés. Enfin, en termes d'évaluation, les étudiants sont examinés sur la base de rendus hebdomadaires de cartes, par le biais d'une épreuve sur machine, et par la réalisation d'un dossier de cartes, les obligeant à contextualiser les productions cartographiques sur une zone d'étude (département, région, EPCI...) ainsi qu'une thématique sélectionnée (emploi, tourisme, agriculture...), afin de donner davantage de sens à leur travail.

Après avoir présenté les grandes lignes de l'enseignement technique de la cartographie et de la sémiologie graphique au sein du Master Géomatique

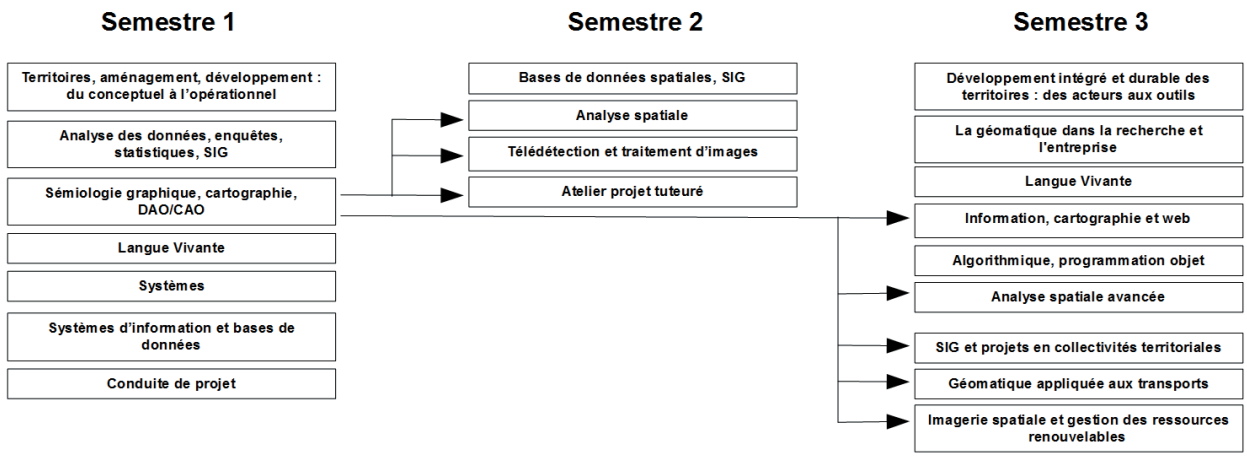

Figure 1 : Les unités d'enseignement du Master Géomatique de Montpellier en lien avec la cartographie et de la sémiologie graphique.

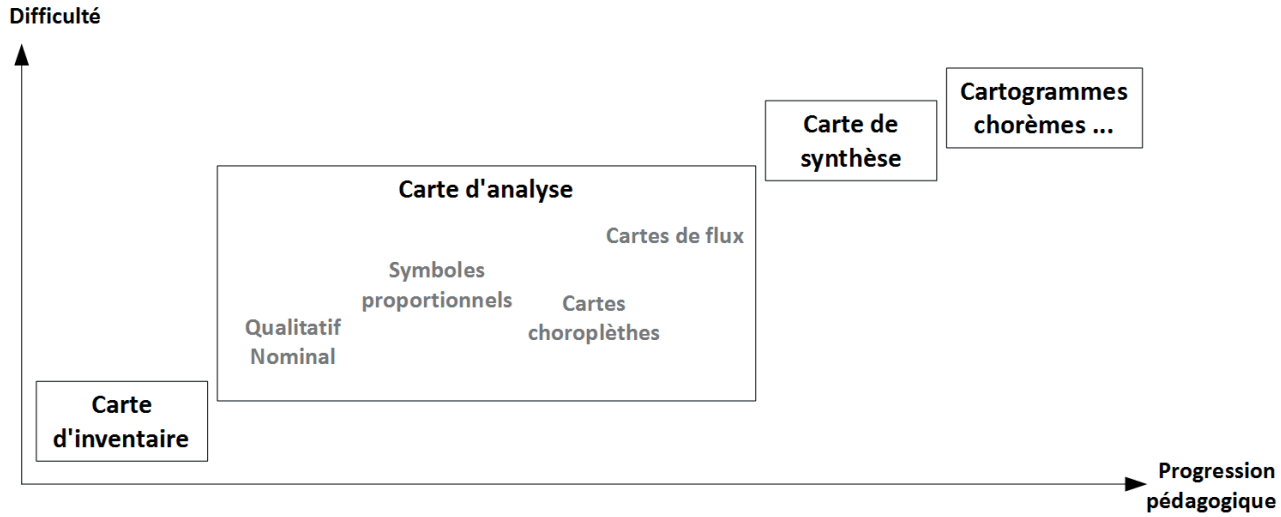

Figure 2 : Progression pédagogique selon la typologie des cartes de Poitevin (1999)

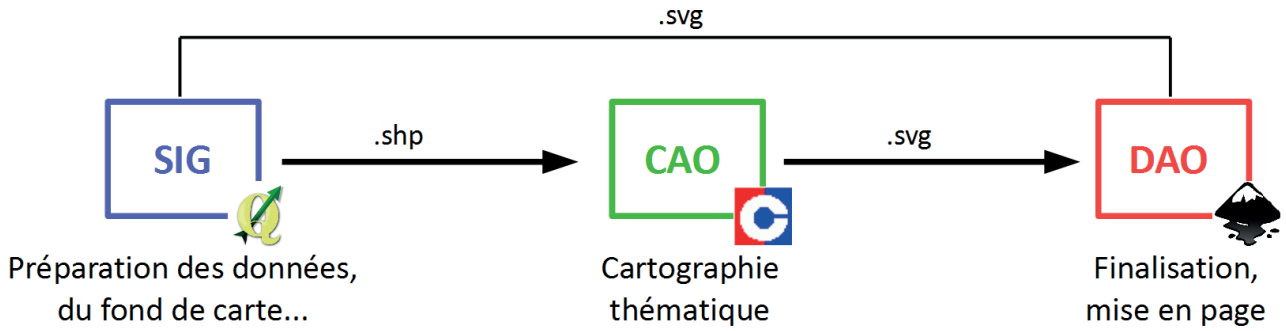

Figure 3 : Outils et formats d'échange mobilisés durant l'enseignement de cartographie

de Montpellier, nous allons présenter dans la section suivante comment cet enseignement est enrichi de contributions de recherche, permettant d'en renouveler le contenu.

Contributions de la recherche pour un renouvellement de l'enseignement de la cartographie

En plus de proposer aux étudiants une maîtrise technique sur un panel d'outils qu'ils mobilisent progressivement sur un large spectre de cartes, cet enseignement vise aussi à sensibiliser l'étudiant aux questionnements de recherche en cartographie et en sémiologie graphique, qui demeurent souvent confidentiels d'un point de vue académique. En effet, afin que l'étudiant perçoive davantage la complexité de la tâche de construction cartographique, il peut s'avérer pertinent de le familiariser avec des problèmes de conception et de représentation cartographique. Pour cela, il est proposé de confronter l'étudiant à des verrous méthodologiques et techniques, que les fonctionnalités de base des logiciels étudiés ne permettent pas de résoudre directement, et qui peuvent impliquer un fastidieux travail de cartographie manuelle. Pour cela, des travaux de recherche sont introduits au cours de l'enseignement afin de présenter les problèmes, des pistes de solution à mettre en œuvre, ainsi que des contributions innovantes permettant d'y répondre.

Les travaux de recherche présentés au cours de cet enseignement partent systématiquement du principe que la cartographie est « une science, un art et une technique ». Ainsi, si des solutions techniques sont proposées afin de résoudre un problème de conception cartographique, l'étudiant ne doit pas oublier que celles-ci s'inscrivent dans une démarche cherchant à aboutir à une esthétique de l'image cartographique, en vue de faciliter une transmission correcte de l'information au lecteur. Ainsi, au cours de la progression pédagogique présentée dans la section précédente, des contraintes de représentation cartographique sont introduites pour chaque type de carte et une contribution scientifique est présentée en rapport avec cette contrainte de représentation. Pour que l'étudiant se familiarise avec la communication scientifique, un article est associé à chaque problème abordé.

Nous allons donc présenter dans cette section la manière dont des contributions scientifiques sont introduites au cours de cet enseignement, afin d'illustrer comment la recherche en cartographie et en sémiologie graphique peut permettre d'en renouveler le contenu. Ainsi, cette section détaille, pour chaque type de carte identifié dans la progression pédagogique, excepté pour les cartes de synthèse (dont la réalisation est principalement effectuée manuellement), des questionnements de recherche sous-jacents ainsi que les contributions scientifiques associées.

Cartes d'inventaire et généralisation cartographique

Les cartes d'inventaire (ou cartes descriptives) ont pour but de localiser ou situer de façon précise les éléments constitutifs d'un territoire. On y retrouve par exemple les cartes topographiques ou les cartes routières (Poidevin, 1999). Pour illustrer les problèmes relatifs à la représentation des cartes d'inventaire, il est proposé aux étudiants de réaliser, à partir d'une base de données qui leur est fournie, une représentation cartographique à différentes échelles en respectant le style cartographique des cartes topographiques de l'IGN. Pour cela, l'étudiant dispose d'un échantillon de la BDTOPO (IGN, 2011b) et d'une légende des anciennes cartes TOP25. Cet exercice vise à confronter l'étudiant à deux problèmes de représentation : le respect d'un style cartographique, et les problèmes de généralisation cartographique.

En effet, contrairement à une époque pourtant récente, les étudiants actuels ont toujours envisagé la disponibilité de bases de données à grande échelle sur le territoire français comme une évidence. Il est vrai qu'aujourd'hui, les données provenant des producteurs institutionnels comme l'IGN, ou de projets collaboratifs comme OpenStreetMap, facilitent grandement les représentations cartographiques d'inventaire à grande échelle, et la tâche cartographique sous-jacente peut forcément paraître triviale. Pourtant, la disponibilité de données à grande échelle n'implique pas directement une facilité de représentation, comme certains pourraient le présumer. En effet, l'application d'un style cartographique sur des données à une échelle définie peut engendrer des problèmes basiques de lisibilité impliquant le recours à des méthodes de généralisation cartographique.

Ainsi, cette confrontation volontaire à des contraintes de représentation a pour objectif de montrer à l'étudiant que la donnée ne fait pas la carte. Ceci permet d'introduire les questions de généralisation cartographique (que les étudiants ont déjà abordées dans l'ouvrage de Béguin et Pumain, 1994). Par ailleurs, pour faciliter la représentation du même territoire à de plus petites échelles, un échantillon de la BDCARTO (IGN, 2011a) est également fourni à l'étudiant, afin que celui-ci intègre les différences entre bases de données géographiques et cartographiques. Pour cela, l'article de Ruas et Mustière (2005), introduisant ces deux types de bases de données, est également proposé aux étudiants.

Contraintes à l'automatisation des cartes d'analyse

Conformément à la figure 2, qui présente les différents types de cartes abordées progressivement au cours de cet enseignement, la partie relative aux cartes d'analyse demeure la plus volumineuse. Les cartes d'analyse sont, par définition, des cartes à thèmes (ou cartes thématiques) permettant de représenter l'extension et la répartition spatiale d'un phénomène. Au cours de l'enseignement, différentes cartes d'analyse, basées sur des variables qualitatives ou quantitatives, sont abordées : cartes par symboles proportionnels, cartes choroplèthes, cartes de flux... Nous allons présenter comment, pour ces différents types de cartes d'analyse, des contributions de recherche permettent de faire évoluer l'apprentissage lié à ces modes de représentation.

Pour les variables qualitatives nominales, il est proposé aux étudiants de réaliser des cartes d'occupation du sol sur un département (à partir de données *Corine LandCover*), en associant des éléments significatifs du relief. Pour faciliter la constitution d'une légende d'occupation du sol optimisant les contrastes de couleurs entre classes, les travaux de Chesneau (2007) sur l'optimisation des contrastes à l'aide du cercle chromatique sont introduits aux étudiants. Cette méthode est ensuite mise en application à l'aide de l'outil en ligne *Adobe Color CC* (fig. 4).

Par ailleurs, pour associer des éléments significatifs du relief à la cartographie de l'occupation du sol, il est également proposé aux étudiants d'intégrer le relief par estompage dans la carte. Pour cela, les méthodes de calcul d'ombrage sont introduites aux étudiants, ce qui offre l'occasion de montrer que dans beaucoup de cartes où le relief est représenté par estompage, un ombrage obtenu à l'aide d'un soleil provenant du Nord-Ouest est généralement utilisé. Même si aucune explication scientifique ne permet de justifier l'efficacité de cette orientation pourtant largement pratiquée, les travaux de Biland et Coltekin (2016), qui ont proposé une étude empirique des effets de l'orientation du soleil sur l'efficacité des représentations du relief, sont présentés aux étudiants. Ces travaux montrent par ailleurs que la représentation considérée comme la plus efficace est générée avec un rayon de soleil provenant d'une orientation Nord-Nord-Ouest.

En ce qui concerne la réalisation de cartes sur des variables quantitatives, l'introduction au logiciel *PhilCarto* (Waniez, 2010), développé par Philippe Waniez, est rapidement entreprise au cours de l'enseignement. Le principal objectif est de faire prendre conscience aux étudiants des bénéfices d'un véritable logiciel de CAO pour réaliser des cartes thématiques par rapport aux fonctionnalités, souvent limitées dans ce domaine, d'un logiciel SIG comme QGIS.

Un exemple classique d'exercice permettant d'illustrer les bénéfices d'un logiciel de CAO comme *PhilCarto* porte sur la représentation de variations brutes de population entre deux dates à l'aide de cercles de tailles proportionnelles colorés. Lorsque quelques interactions sont suffisantes avec le logiciel *PhilCarto* pour aboutir à une représentation correcte (fig. 5), il est généralement nécessaire d'en réaliser plus d'une dizaine, avec le risque de commettre des erreurs, avec un logiciel SIG comme QGIS. Cet exemple démontre, par la pratique, le bénéfice apporté par un logiciel de CAO construit à partir des règles de sémiologie graphique, contrairement à un logiciel SIG classique.

Pour la représentation de variables quantitatives relatives sous forme de cartes choroplèthes, les travaux de Harrower et Brewer (2003), qui proposent des légendes pré-construites, sont également présentés aux étudiants. Cette contribution montre également comment des résultats de recherche, comme l'outil *ColorBrewer 2.0* (fig. 6), peuvent être introduits concrètement dans le monde opérationnel de la cartographie, en étant mis à disposition du plus grand nombre.

Enfin, la réalisation de cartes de flux, dont l'élaboration demeure en grande partie manuelle lorsque les flux doivent être valués et courbés, est illustrée par les contributions de Bahoken (2014) qui propose quelques améliorations pour la réalisation des cartes de flux.

Innovation cartographique : styles originaux, cartogrammes et anamorphoses

Pour illustrer le dynamisme actuel des contributions scientifiques en cartographie et en sémiologie graphique, notamment en lien avec le domaine de la géovisualisation, des travaux de recherche proposant des formes d'innovations cartographiques sont introduits dans l'enseignement.

Ainsi, la création de cartes en anamorphoses est proposée aux étudiants. Après avoir présenté les différents types d'anamorphoses par le biais des articles de Cauvin (1996) ou encore de Langlois et Denain (1996), une initiation au logiciel *ScapeToad*, développé par le laboratoire Chôros de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne est proposée. Après avoir décrit les principes de l'algorithme de Gastner et Newman (2004), des cartes en anamorphose scalaire sont réalisées (fig. 7). Si l'aspect ludique de cet outil rencontre un très

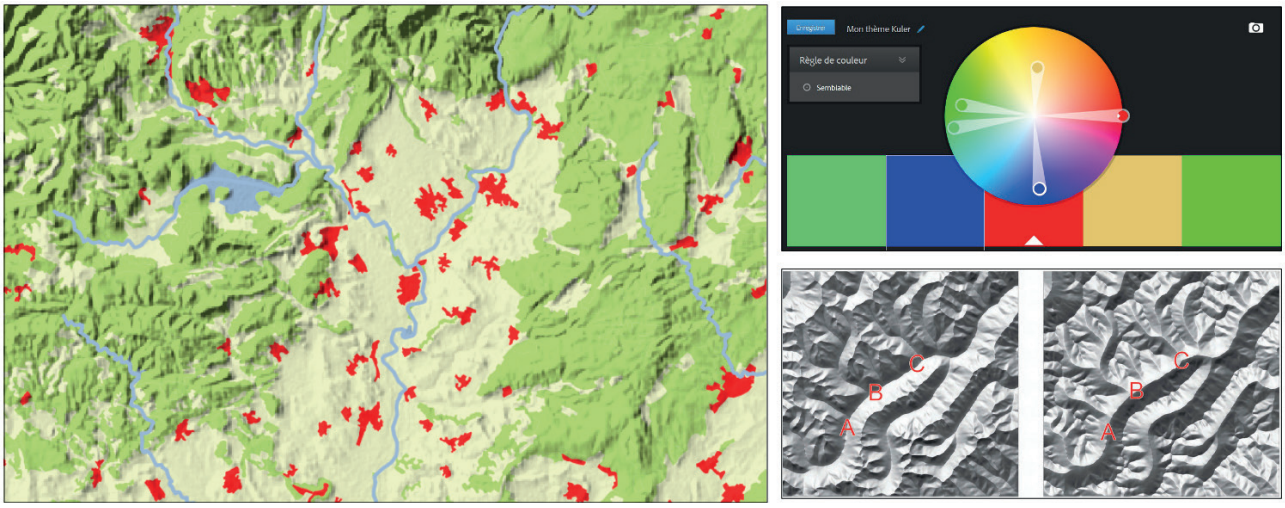

Figure 4 : Représentation de l'occupation du sol en utilisant le cercle chromatique pour optimiser les contrastes de couleurs entre classes (en haut à droite) et en intégrant le relief par estompage (en bas à droite)

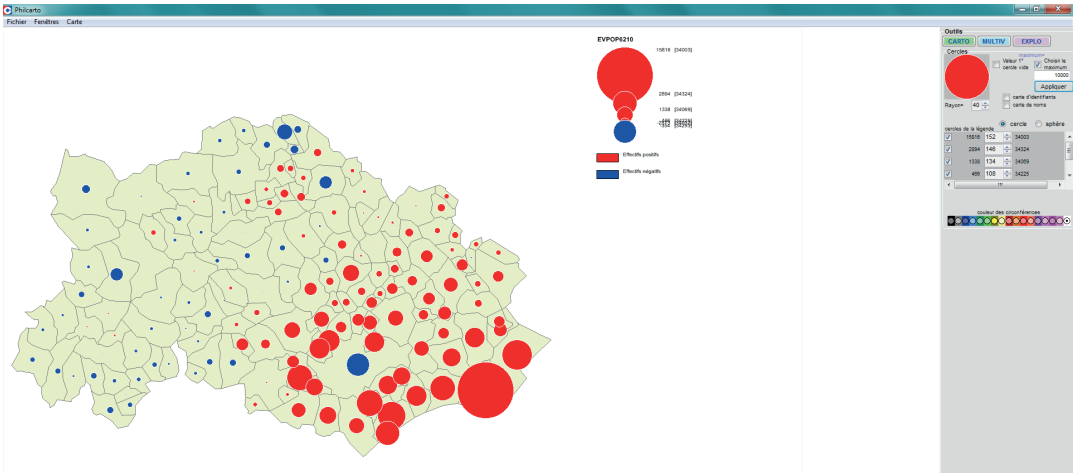

Figure 5 : Représentation de la différence de population des communes de l'arrondissement de Béziers entre 1962 et 2010, réalisée avec PhilCarto (Waniez, 2010)

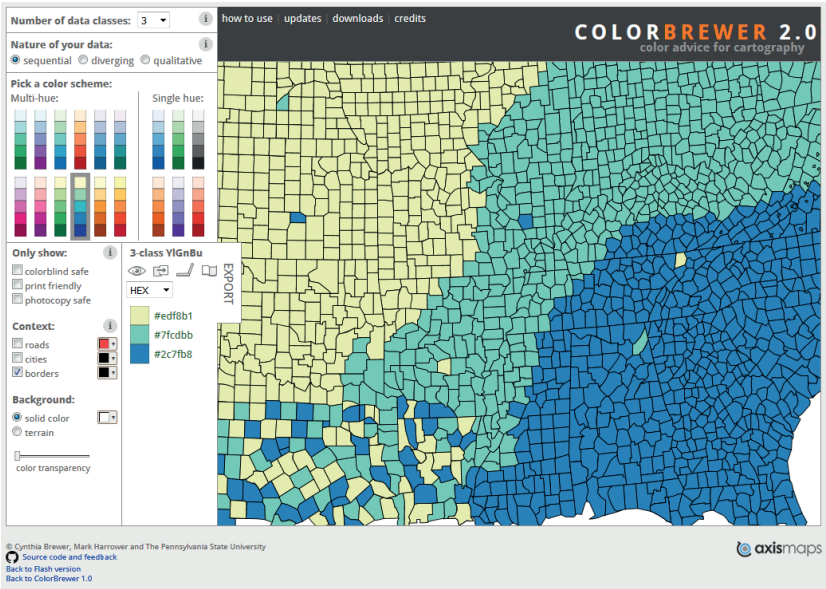

Figure 6 : L'outil ColorBrewer 2.0 introduit pour la réalisation de cartes choroplèthes

grand succès auprès des étudiants, les travaux réalisés sont souvent accompagnés de discussions afin de mesurer les bénéfices de ce type de représentation, et d'en éviter une utilisation abusive et inadaptée.

Par ailleurs, la sensibilisation à l'innovation cartographique est également introduite par la présentation de rendus novateurs ou originaux, comme par exemple les styles *Pop-Art* (fig. 8) proposés dans les travaux de Christophe et Hoarau (2012) ou encore les légendes inspirées des palettes de peintre proposées par Christophe (2008). Ces légendes originales ont également pour objectif de montrer qu'il est possible de proposer des représentations cartographiques créatives, en veillant avant tout à préserver la lisibilité de la carte en fonction de son but et du message à transmettre au lecteur.

Enfin, l'innovation cartographique est également illustrée par le biais de contributions du monde de la géovisualisation, notamment celles permettant de représenter sur un même support des volumes importants d'informations par le biais de techniques originales. C'est par exemple le cas des travaux de Wood *et al.* (2010) et de Kelly *et al.* (2013), qui proposent de représenter des matrices origines-destinations sans avoir recours à des implantations linéaires sous formes de flèches orientées et valuées (fig. 9), qui rendraient la carte illisible. Si ces nouvelles formes de représentation peuvent aller à l'encontre des règles de représentation cartographique reconnues et instituées, elles offrent cependant l'opportunité de réinventer la sémiologie graphique en cartographie, afin de l'adapter aux nouveaux enjeux impliqués par la représentation de masses d'informations spatialisées.

Ces différents exemples montrent qu'il est possible d'enrichir un contenu d'enseignement de cartographie, pourtant à l'origine très technique et pratique, de contributions de recherche offrant des méthodes et des pistes de solutions à des problèmes parfois non-triviaux de représentation cartographique. Cette démarche, qui permet de sensibiliser les étudiants aux travaux de recherche en cartographie, permet également de rafraîchir le contenu de l'enseignement en y introduisant des contributions provenant du domaine de la géovisualisation ou de l'informatique graphique. Ceci illustre qu'il est possible d'ouvrir l'enseignement de la cartographie à d'autres disciplines, tout en demeurant exigeant quant à l'efficacité des représentations cartographiques proposées.

Conclusion

Cet article a permis de présenter un témoignage relatif à l'apport de contributions de recherche dans l'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique au sein du Master Géomatique de Montpellier, afin de renouveler son contenu. En effet, suite aux grands bouleversements qu'a vécu le monde de la cartographie ces dernières années avec l'avènement du numérique (données, géoportails, logiciels libres...) et la démocratisation des outils cartographiques, une réflexion sur les méthodes d'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique devait nécessairement s'imposer.

Dans le cadre du Master Géomatique de Montpellier, le choix a été fait de conserver un volume d'enseignement conséquent dédié entièrement à la cartographie et à la sémiologie graphique. Cependant, afin de renouveler le contenu de la partie technique de cet enseignement, il s'est avéré pertinent, peu à peu, d'intégrer des contributions de recherche en cartographie et géovisualisation, qui demeurent bien souvent confidentielles ou inconnues du public étudiant. Ainsi, l'apport de ces contributions de recherche au sein du contenu d'enseignement permet de (1) illustrer des verrous méthodologiques ou techniques en termes de conception cartographique, (2) présenter des travaux permettant d'illustrer une démarche scientifique en cartographie, (3) démontrer que des résultats de recherche peuvent être exploités de manière opérationnelle, comme l'illustrent les projets *PhilCarto*, *Scapetoad*, ou encore *ColorBrewer*.

Au delà de l'aspect purement opérationnel, cette démarche vise également à sensibiliser l'étudiant aux thématiques et enjeux de la recherche en cartographie, qui sont souvent ignorés dans les contenus d'enseignement. Dans ce domaine, la représentation de masses d'informations spatialisées constitue aujourd'hui un enjeu majeur, auquel les étudiants doivent être sensibilisés. Par ailleurs, cette démarche participe à un décloisonnement disciplinaire dont la cartographie peut bénéficier d'un point de vue pédagogique, en illustrant des propositions issues du monde de l'informatique graphique ou de la visualisation de données.

Pour terminer, il semble fondamental aujourd'hui que l'étudiant géomaticien dispose d'un bagage culturel et d'un esprit critique en cartographie, tout en maîtrisant largement les méthodes, les langages, et les outils informatiques de manière avancée. En effet, le développement actuel de nouvelles bibliothèques de programmation intégrant de plus en plus de fonctionnalités cartographiques implique des compétences en informatique pointues. Il est donc nécessaire que les futurs géomaticiens soient capables de s'approprier ces outils, tout en étant en mesure de défendre les intérêts d'un cartographe. Étant donné la célérité des innovations en cours, le renouvellement de l'enseignement de la cartographie et de la sémiologie graphique en Master Géomatique peut donc être entrepris dans ce sens, et l'intégration de résultats de recherche peut légitiment y contribuer.

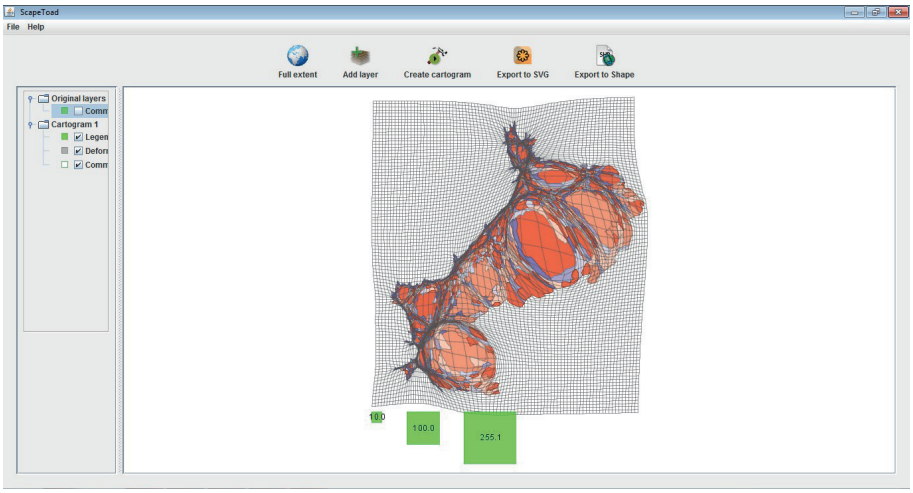

Figure 7 : Anamorphose scalaire des communes du département de l'Hérault selon leur population en 2010, réalisée à l'aide du logiciel ScapeToad.

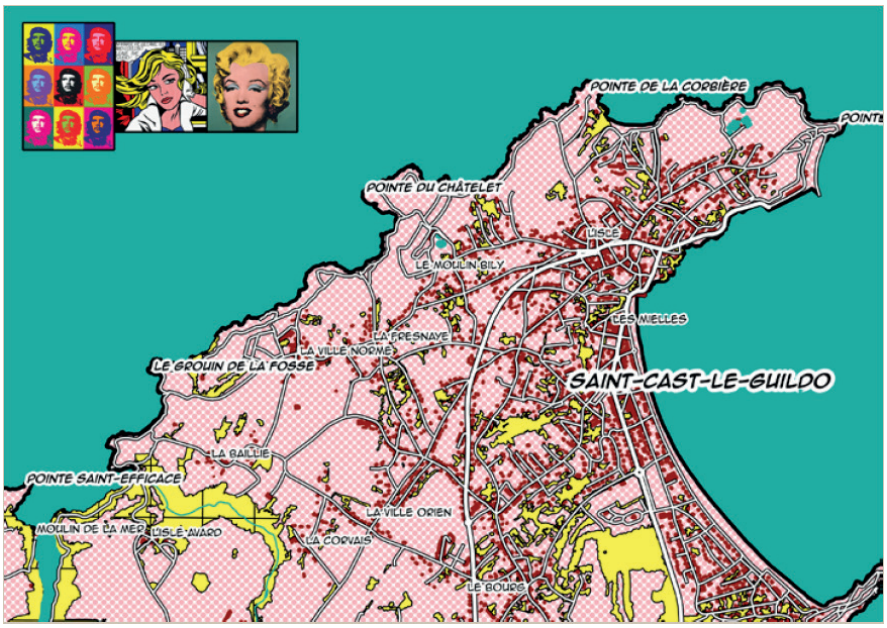

Figure 8 : Représentation selon un style Pop Art, d'après Christophe et Hoarau (2012)

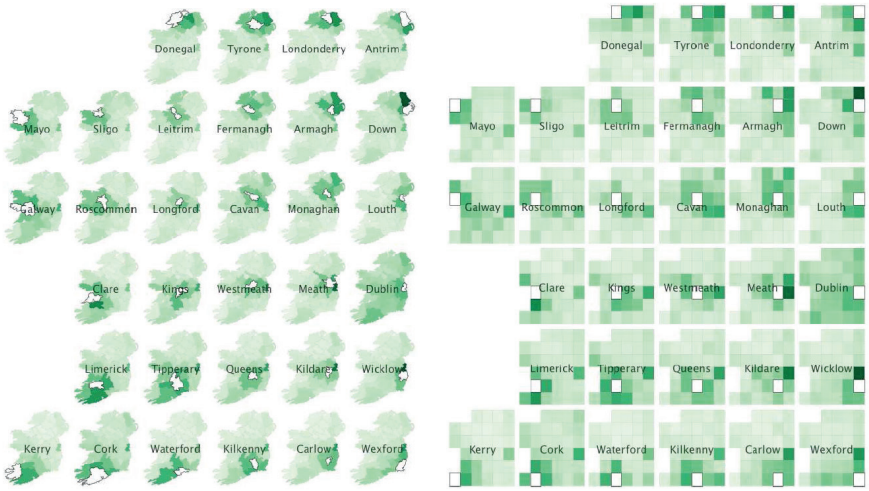

Figure 9 : Représentation des migrations internes en Irlande, d'après Kelly et al. (2013)

Bibliographie

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

Béguin M., Pumain D., 1994, *La représentation des données géographiques - Statistique et cartographie*, Paris, Armand Colin (Cursus)., 256 p.

Bertin J., 1967, *Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Paris - La Haye, Mouton, Gauthier-Villars, 431 p.

Biland J., Cöltekin A., 2016, « An empirical assessment of the impact of the light direction on the relief inversion effect in shaded relief maps: NNW is better than NW », *Cartography and Geographic Information Science*, p. 1-15.

Bord J-P., 2014, « Enseigner la sémiologie : constats et premiers bilans », *Cartes et Géomatique - Revue du Comité Français de Cartographie*, n° 222, p. 9-13.

Brunet R., 1986, « La carte-modèle et les chorèmes », *Mappemonde*, n°4, p. 2-6.

Cauvin C., 1996, « Cartographie théorique et anamorphoses », *Bulletin du Comité Français de Cartographie,* n°146-147, p. 82-88.

Chesneau E., « Propositions méthodologiques pour l'amélioration automatique des contrastes de couleur - application aux cartes de risque », *Cybergeo : European Journal of Geography*, n° 360

Christophe S., 2008, « Concevoir des légendes topographiques à l'aide de palettes de peintre », *Le Monde des Cartes-Revue du Comité Français de Cartographie*, n° 196, p. 21-30

Christophe S., Hoarau C., 2012. « Expressive map design based on Pop Art: revisit of Graphic Semiology? », *Cartographic Perspectives*, n° 73, p. 61-74

Gastner M., Newman M., 2004, « Diffusion-based method for producing density-equalizing maps », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, n°*101*, p. 7499-7504.

Harrower M., Brewer C., 2003, « ColorBrewer.org: an online tool for selecting colour schemes for maps », *The Cartographic Journal*, n°40, p. 27–37

IGN, 2011a, *BDCARTO Version 3.1 - Descriptif de contenu,* Rapport technique, Institut Géographique National, Saint-Mandé, France.

IGN, 2011b, *BDTOPO Version 2.1 - Descriptif de contenu,* Rapport technique, Institut Géographique National, Saint-Mandé, France.

Kasbarian A., Audusseau A., Hoareau C., Christophe S., 2012, « Conception de cartes stylisées – Exemple du Pop art », *Cartes et Géomatique - Revue du Comité Français de Cartographie*, n° 213, p. 145-152

Kelly M., Slingsby A., Dykes J., Wood J., 2013, « Historical Internal Migration in Ireland », *Actes de la conférence GISRUK' 2013*, Liverpool, Royaume-Uni.

Langlois P., Denain J-C., 1996, « Cartographie en anamorphose », *Cybergeo : European Journal of Geography*

Poidevin D., 1999, *La carte, moyen d'action*, Paris, Ellipses, 200 p.

Ruas A., Mustière S., 2005, « Bases de données géographiques et cartographiques à différents niveaux de détail », *Le Monde des Cartes – Revue du Comité Français de Cartographie,* n°185, p.5-14.

Waniez P., 2010, « Philcarto: histoire de vie d'un logiciel de cartographie », *Cybergeo : European Journal of Geography*, n° 497

Wood J., Dykes J., Slingsby A., 2010, « Visualisation of Origins, Destinations and Flows with OD Maps », *The Cartographic Journal*, n°47, p. 117-129