

REPRÉSENTATION DES COULEURS D'UNE CARTE POUR L'ANALYSE

Proportions, relations, harmonie ?

par Laurent Jégou

Cartographe-enseignant, LISST-CIEU, UMR 5193 CNRS

Dépt. de Géographie, Université de Toulouse-Le Mirail (<http://www.univ-tlse2.fr/geoprdc>)

E-mail : jegou@univ-tlse2.fr

Introduction

En cartographie thématique, la couleur joue un grand rôle, au premier plan en tant que variable visuelle (décomposée alors en couleur et valeur), pour reprendre le concept issu de la Sémiologie graphique de J. Bertin (Bertin, 1967), mais aussi comme propriété esthétique du document cartographique. Les relations entre art et cartographie ont toujours été présentes dans la recherche cartographique, les ressemblances entre la carte et l'art pictural, dans les résultats comme dans les techniques, créant des liens évidents. Depuis quelques années, la dimension esthétique dans la recherche cartographique se développe avec des approches plus concrètes. L'étude des couleurs utilisées par les grands peintres est notamment une thématique importante dans les publications récentes (Christophe, 2009 ; Cartwright, 2009). Pour participer à ce mouvement et faciliter l'analyse comparative, nous proposons des pistes de recherche et des outils infographiques pour l'analyse des proportions et de la répartition des couleurs ainsi que des relations que ces propriétés réalisent dans une image.

La méthodologie d'utilisation de la couleur en cartographie est notamment enseignée, au travers de commentaires d'exemples de réalisations, la description des résultats obtenus par l'application de procédés graphiques. Ces commentaires descriptifs pourraient être facilités par des outils visuels qui présenteraient, de manière simple et spécifique, les proportions et relations des couleurs utilisées dans un document cartographique, plutôt que d'en rester à un niveau descriptif général. L'approche par la description et le commentaire, méthodes classiques en histoire et critique d'art, offre une passerelle vers les disciplines artistiques. Ainsi, certains outils descriptifs et

interprétatifs des couleurs, employés en histoire de l'art, sont potentiellement utilisables en cartographie, et peuvent faire l'objet de représentations visuelles qui les mettent en évidence. En parallèle, l'évolution des possibilités de programmation informatique permet aujourd'hui de disposer de moyens d'analyse et de représentation graphique plus accessibles, par exemple sous la forme d'applications Internet exécutées dans le logiciel navigateur, donc sans installation préalable et de manière transparente pour le système d'opération.

Nous rappellerons tout d'abord la place et le rôle de la couleur dans la sémiologie graphique, puis les moyens classiques d'analyse informatique des couleurs d'une image, avant de proposer de nouveaux outils et d'en exposer des exemples d'utilisation.

1 La couleur en cartographie thématique

Dans la *Sémiologie graphique* (op. cit.), le manuel incontournable en cartographie thématique, le concept de couleur est une variable visuelle (ou « rétinienne »), c'est-à-dire un élément graphique que l'on peut faire varier pour symboliser une variation du phénomène à représenter. Cette acception particulière du terme couleur correspond en fait à celui de teinte ou « couleur pure » dans le vocabulaire plus technique des infographistes. La variation de couleur consiste en effet dans la sémiologie graphique à changer complètement de teinte, pour indiquer un changement de catégorie de phénomène. La figure 1 reprend les différents types de variables visuelles définis par J. Bertin. C'est souvent un point difficile à faire comprendre aux étudiants dans les cours de cartographie thématique, car la confusion peut être faite avec la variable visuelle de **valeur**, qui

correspond à une variation de la saturation et/ou de la luminosité de la teinte, toujours pour employer un vocabulaire de référence normalisé en infographie. Ainsi, lorsque l'on observe les couleurs d'un document cartographique, elles correspondent à deux types de significations potentielles, de représentation d'information : des différences et des relations proportionnelles. Le cartographe a utilisé des teintes et des nuances pour représenter graphiquement des phénomènes différents et gradués.

Il est important de noter que cette méthodologie est analytique et inductive : des phénomènes spatiaux sont symbolisés selon leurs caractéristiques individuelles et placés sur une carte. C'est une méthodologie pratique, pédagogique, destinée au géographe-cartographe. L'approche synthétique et déductive consiste alors à observer et commenter une carte pour en tirer des informations à partir de l'observation de la répartition des symboles. Dans l'épistémologie de la cartographie, ce second mode d'interrogation est longtemps resté du domaine du discours, souvent à un niveau intuitif plus que raisonné. À l'inverse, la description des couleurs en infographie est essentiellement technique, et leur analyse assez peu intuitive.

2 Les moyens standard de visualisation des couleurs : les histogrammes par composantes

La représentation de la répartition des couleurs dans une image possède un outil canonique en infographie : l'histogramme. Cette représentation consiste à calculer et dessiner un histogramme de fréquence pour chacune des composantes colorées d'une image, voire de leur somme ou de leur superposition.

La carte de la figure 2 est dite choroplèthe . Elle utilise les variables visuelles de couleur (rouge / vert) et de valeur (double dégradé vers un jaune pâle). Ses couleurs sont analysées par les histogrammes de la figure 3. Le premier graphique combine les trois histogrammes des composantes rouge, verte et bleue (distinguées dans les graphiques inférieurs), en utilisant les couleurs des composantes et leur synthèse additive là où les courbes se recouvrent. L'axe des abscisses correspond au « niveau » de la composante, c'est-à-dire grossièrement à sa valeur de luminosité : de gauche à droite on passe des valeurs les plus sombres aux plus claires.

Le trait le plus visible du premier graphe est une bosse bleue dans la partie gauche, qui correspond en fait à la composante bleue de la couleur la plus présente sur la carte : un vert bleuté qui représente la classe de la plus forte présence de résidences secondaires dans les logements. Ainsi une grande quantité

(relative) de bleu sombre se trouve dans les faits à l'intérieur d'un vert moyen. La composante verte ne présente pas de bosse aussi marquée, car la carte présente plusieurs verts de luminosité variée, ainsi que des jaunes lumineux qui comportent une part de vert (nous sommes en trichromie de lumière, en synthèse additive des couleurs, le jaune est un mélange de rouge et de vert). C'est dire que la description intuitive n'est pas du tout favorisée par ce type de représentations...

Comment représenter graphiquement la répartition des couleurs d'une image cartographique et éventuellement les relations qu'elles présentent ? Un indice se trouve dans la formulation de la question : on cherche à *représenter* une information quantitative **graphiquement**, pourquoi ne pas utiliser les règles de sémiologie graphique, mais dans un référentiel spatial différent, où les dimensions ne sont plus géographiques, mais liées aux composantes colorées ?

3 Une visualisation qui se rapproche des couleurs perçues, plus intuitive

Il existe différents moyens pour décrire quantitativement une couleur. On a vu précédemment que le raisonnement par les composantes rouge, verte et bleue n'était pas très intuitif, on le réserve plutôt aux considérations techniques de la production des couleurs . Un modèle beaucoup plus adapté existe, qui décrit les couleurs selon une autre combinaison de trois composantes : teinte, saturation et luminosité (TSL, HSV en anglais). On dispose ainsi d'une composante spécifiquement dédiée à la teinte, et deux autres qui permettent de faire varier la valeur, ce qui correspond bien aux usages cartographiques.

3.1 Les histogrammes teinte saturation luminosité

Les histogrammes simples n'offrant que deux dimensions, la visualisation des trois composantes teinte, saturation et luminosité peut se réaliser au travers de deux histogrammes distincts, teinte+saturation et teinte+luminosité, (fig. 4 et 5). Pour ne créer qu'un seul graphe, on peut réaliser un regroupement de petits histogrammes teinte+luminosité alignés selon la saturation, (fig. 6).

Sur ces histogrammes, la hauteur des barres correspond directement à la quantité relative de la couleur sur la carte, selon une grille de mesure dont la finesse est paramétrable. Il s'agit en effet d'histogrammes de fréquences, dont les comptages de valeur sont fonction de la largeur des classes représentant des fréquences. On a donc un résumé visuel

de la répartition relative des différentes couleurs de l'image cartographique. Les règles de la sémiologie graphique sont évoquées au travers de la variable visuelle de taille, qui permet de représenter les quantités de couleurs en faisant varier les tailles des barres. Les deux dimensions du plan ne sont plus les dimensions géographiques, mais des composantes de l'information, en l'occurrence les composantes du système chromatique TSL.

3.2 Le cercle chromatique de symboles proportionnels

Il est possible d'améliorer cette analyse colorée en utilisant un mode de représentation encore plus proche des formes de la carte thématique : des symboles proportionnels. On emploie alors une imposition sur des axes en coordonnées polaires pour créer des relations spatiales représentant des relations colorées, plus lisibles. Le résultat est, à notre avis, un mode performant de représentation des couleurs d'une image, qui offre une visualisation simplifiée de nombreuses propriétés. Naturellement il ne s'agit ici que de la présentation d'une méthode *a priori* originale, qu'il faudra par la suite, bien sûr, tester par enquête et affiner.

La méthode de représentation est décrite par la figure 7 :

La teinte est représentée par l'angle de rotation, avec le rouge à 0° en haut de la figure et les couleurs dans l'ordre de l'arc-en-ciel, selon le nombre de classes de fréquences spécifié.

La saturation est représentée par la distance au centre du cercle, de zéro au centre à 100% sur le contour, selon le nombre de classes de fréquences spécifié.

Les cercles proportionnels sont représentés selon ces coordonnées en effectuant une classification des valeurs de luminosité selon le nombre de classes de fréquences spécifié, et en dessinant les plus fortes valeurs (proportions de la quantité totale de pixels) sous les plus faibles, pour éviter un masquage.

On obtient ainsi un empilement de cercles selon la luminosité dans des coordonnées polaires liées à la teinte et à la saturation (fig. 8). On retrouve donc le cercle chromatique TSL habituel, mais il n'est plus limité à la représentation d'une seule couleur, il exprime graphiquement la répartition de toutes les couleurs trouvées dans une image.

On peut ainsi y lire plus facilement des propriétés de l'image du point de vue des couleurs :

- nombre de teintes principales ;
- étendue des teintes utilisées (quantité de surface occupée) ;
- proportions respectives des couleurs.

Lire aussi les propriétés relationnelles des couleurs

- composition des dégradés selon les variables visuelles couleur et valeur ;
- harmonie des dégradés : camaïeux, transitions par les faibles saturations, les fortes luminosités ;
- proportions des couleurs obtenues sur la carte équilibre, déséquilibre ;
- présence éventuelle de couleurs distractives (noirs, gris).

D'autres exemples de cartes permettent d'illustrer différents types de relations colorées (fig. 9 et 11). On peut noter au passage sur la figure 9 la prégnance du noir, présent dans les contours des cercles des zones d'emploi, l'ombre et les textes. Si l'on enlève ce noir de l'image, le cercle chromatique de symboles proportionnels est beaucoup plus simple à interpréter (fig. 10).

L'analyse de dégradés et d'harmonies particulièrement réussies peut être facilitée par ces diagrammes, par exemple dans un but pédagogique. L'*Atlas des futurs du monde*, publié en 2010 chez Robert Laffont par V. Raisson et son équipe du Lépac (Raisson, el Aktaa, 2010), présente par exemple une harmonie de couleurs assez originale, basée sur des tons naturels, atténués. La figure 12 montre que les dégradés utilisent des teintes assez proches (paradoxalement) au lieu de teintes complémentaires, et des saturations moyennes, mais proches.

La représentation peut être encore améliorée en utilisant les trois dimensions de l'espace pour les trois dimensions colorées, (fig. 13). On obtient alors une visualisation découplée des teintes, saturations et valeurs de luminosité, mais comme la surface de dessin reste un écran en deux dimensions, il faut fournir un moyen de faire pivoter des axes interactivement pour pouvoir explorer les informations en trois dimensions.

Sur la carte de la figure 2, la saturation varie (le jaune intermédiaire du dégradé est affaibli en saturation pour marquer des valeurs moins élevées), mais la luminosité ne varie pas beaucoup, elle reste dans des valeurs élevées « en haut » du cylindre. Par contraste, la carte utilisée dans la figure 14 n'utilise qu'un seul dégradé de couleurs, qui emploie peu de teintes, mais s'étire en luminosité et en saturation.

4 Analyser la répartition spatiale des couleurs sur une carte

Les outils d'analyse présentés précédemment s'intéressent à la répartition quantitative et relative des teintes dans une image. Si l'on cherche à visualiser la répartition spatiale de ces teintes dans l'image, et les répartitions relatives de teintes complémentaires, il faut utiliser un autre type de représentation. Il arrive en effet souvent qu'une couleur soit noyée dans l'image, parmi une quantité de variantes ou de teintes différentes, et qu'il faille alors filtrer l'image pour l'isoler.

La visualisation / compréhension de la répartition spatiale d'une teinte peut servir deux objectifs :

- du point de vue géographique, on a ainsi une lecture plus aisée de la répartition spatiale d'un phénomène représenté par une couleur ou un dégradé ;
- du point de vue esthétique, on peut analyser les formes produites par une couleur et notamment les alignements, oppositions, répartitions des couleurs et de leurs complémentaires.

La seconde approche est assez souvent utilisée en critique picturale, on la trouve par exemple de manière particulièrement présente dans les analyses du chromatisme lumineux des œuvres de Paul Cézanne par André Lhote (A. Lhote, 1958) ou Max Raphaël (M. Raphael, 2008). On peut aussi, naturellement, appliquer l'analyse artistique sur une carte, pour en étudier ses propriétés esthétiques.

Exemples d'utilisation pour l'assistance à la lecture de cartes choroplèthes :

- Pour isoler une classe d'un dégradé de couleurs (fig. 16).
- Pour isoler une classe d'une typologie colorée dont la conversion en image pour l'écran a réduit la lisibilité (fig. 17).

Exemples d'utilisation pour l'analyse esthétique de cartes :

- Pour visualiser les complémentarités de couleurs dans un double dégradé (fig. 18).
- Pour visualiser les complémentarités et les niveaux de saturation sur une carte ancienne numérisée (fig. 19).

5 Offrir des outils accessibles pour ces représentations

Les différents outils présentés ici sont des propositions, une première version, qu'il reste à tester auprès d'utilisateurs et dans des contextes variés. L'intérêt pour la pédagogie de la cartographie thématique semble être acquis, dans une approche descriptive de cartes présentant des caractéristiques originales du point de vue méthodologique ou esthétique. L'enseignement des techniques de choix des couleurs pour un dégradé ou un camaïeu pourra être facilité par la présentation d'exemples utilisant les composantes teinte saturation luminosité et le cercle chromatique par symboles proportionnels.

Pour rendre ces outils accessibles, leur développement a été réalisé en utilisant les possibilités nouvelles offertes par le standard Internet HTML5 et le langage de programmation Javascript. En effet, grâce à cette technique, la plate-forme d'exécution des applications est un navigateur Internet, ce qui possède plusieurs avantages :

- l'absence d'installation, l'application fonctionne immédiatement ;
- la facilité de distribution de l'application (une page Internet) ;
- des besoins réduits en espace de stockage ;
- l'accès à un très grand nombre de systèmes d'exploitation (Windows, MacOSX, Linux) et de types de machines (micros, tablettes, *smartphones*) ;
- la distribution et la visualisation directes du code source.

Ainsi, les outils dont sont tirées les analyses graphiques présentées ici sont disponibles directement sous la forme de pages HTML, dans une version fonctionnelle, mais dont l'interface graphique est encore provisoire, les tests utilisateurs restant à venir :

<http://www.geotests.net/couleurs/histogrammes.html>

Histogrammes TSL

Cercle chromatique TSL par symboles proportionnels

Cylindre chromatique TSL 3D

<http://www.geotests.net/couleurs/complementaires.html>

Visualisation de la répartition spatiale d'une couleur
Visualisation de la répartition spatiale de couleurs complémentaires

6 Perspectives

La souplesse du développement en HTML5/Javascript rend plus rapides les projets de développement d'application d'analyse interactive d'images. De nombreux projets de conversion de bibliothèques de fonctions développées dans d'autres langages sont en cours, et les perspectives des applications Internet sont riches. En ce qui concerne le présent projet sur les couleurs des images cartographiques, on peut citer plusieurs évolutions possibles :

Une amélioration de la présentation des résultats, avec notamment :

- une sortie vectorielle des images générées (SVG) ;
- une visualisation uniquement des couleurs utilisées,

sans tenir compte des quantités de pixels concernés ;

- des résultats numériques de comptage de couleurs (équivalent d'une légende).

Une amélioration de l'interface utilisateur :

- une meilleure organisation des paramètres des traitements, selon une progression plus pédagogique ;
- l'indication de la durée estimée des traitements ;
- la gestion de plusieurs langues.

D'autres analyses des couleurs d'une image sont aussi envisageables, en mettant en œuvre des méthodes de description comme les plans colorés, le repérage de formes, la simplification visuelle, etc. Elles seront expérimentées dans le cadre de travaux futurs.

Bibliographie

- Bertin J.**, 1967, *Sémiologie graphique : les diagrammes - les réseaux - les cartes*, Paris, Mouton / Gauthier-Villars.
- Brocard M., Hérin R., J. J.**, 1997, *Atlas de France : formation et recherche*, vol. 4, Paris, Reclus - la Documentation française.
- Caro P., Saint-Julien T.**, 1997, *Atlas de France : emplois et entreprises*, vol. 3, Paris, Reclus - la Documentation française.
- Cartwright W., Gartner G., Lehn A.**, 2009, *Cartography and art*, Springer Verlag.
- Chauviré Y., Noin D.**, 1996, *Atlas de France : population*, vol. 2, Paris, Reclus - la Documentation française.
- Christophe S.**, *Aide à la conception de légendes personnalisées et originales : proposition d'une méthode coopérative pour le choix des couleurs*, thèse de doctorat, Université Paris-est (2009).
- Joblove G. H., Greenberg D.**, 1978, "Color spaces for computer graphics", *ACM siggraph computer graphics*, vol.12, n°3, p. 20-25.
- Knafou R.**, 1997, *Atlas de France : tourisme et loisirs*, vol. 7, Paris, Reclus - la Documentation française.
- Lhote A.**, 1958, *Traité du paysage et de la figure*, B. Grasset, Paris.
- Raisson V., el Aktaa T.**, 2010, *2033 : atlas des futurs du monde*, Robert Laffont.
- Raphael M.**, 2008, *Questions d'art*, Paris, Klincksiek.
- Vigouroux M.**, 1997, *Atlas de France : société et culture*, vol. 5, Paris, Reclus - la Documentation française.

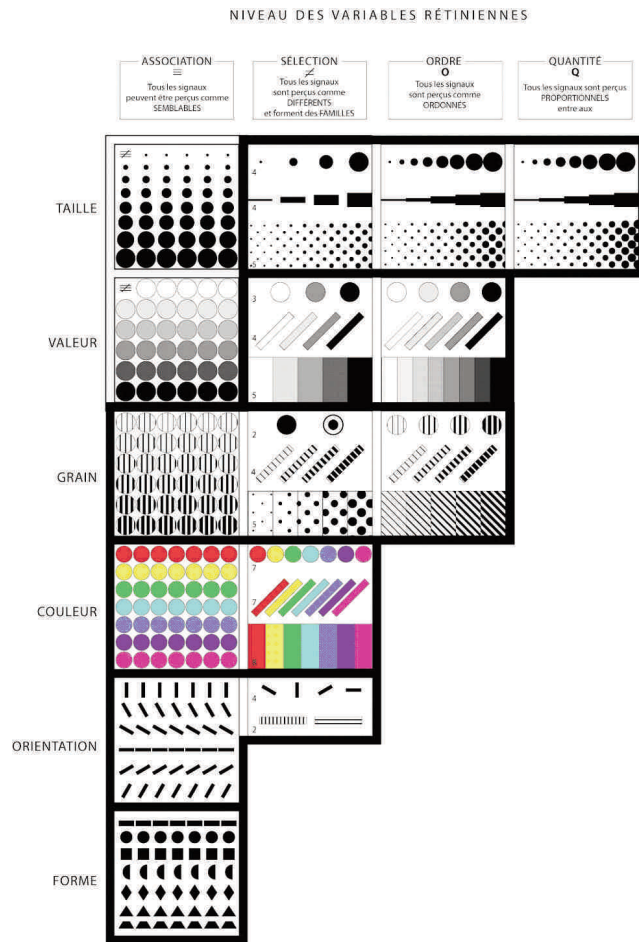


Figure 1 : Planche « Niveaux des variables rétinienne », J. Bertin, Sémiologie graphique, p. 96

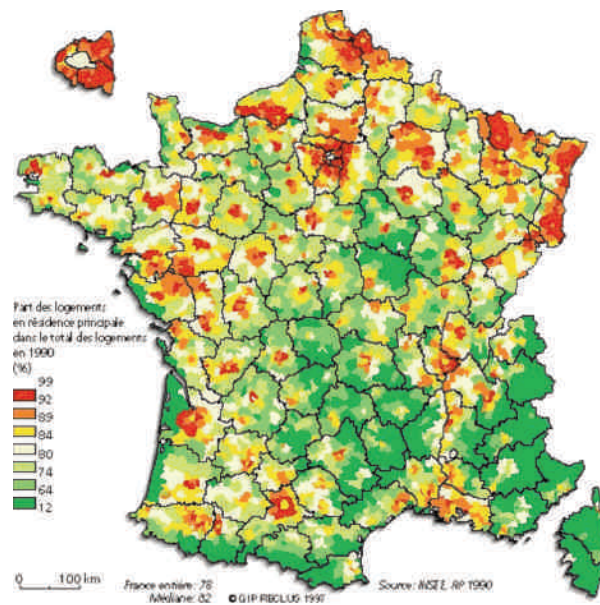


Figure 2 : Carte extraite de l'Atlas de France, vol. 5, « Société et Culture », coord. M. Vigouroux, éd. La Documentation française, Reclus, 1997

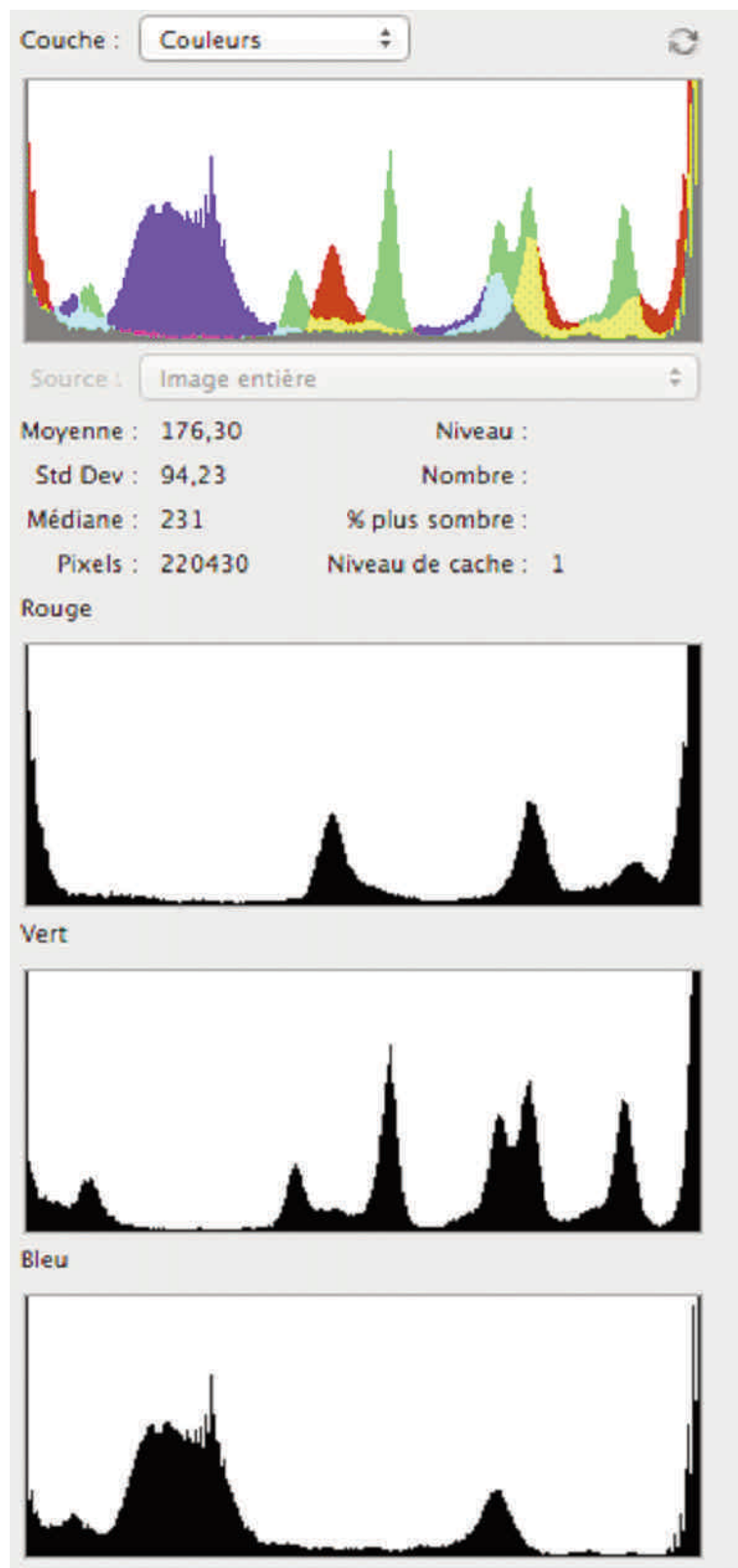
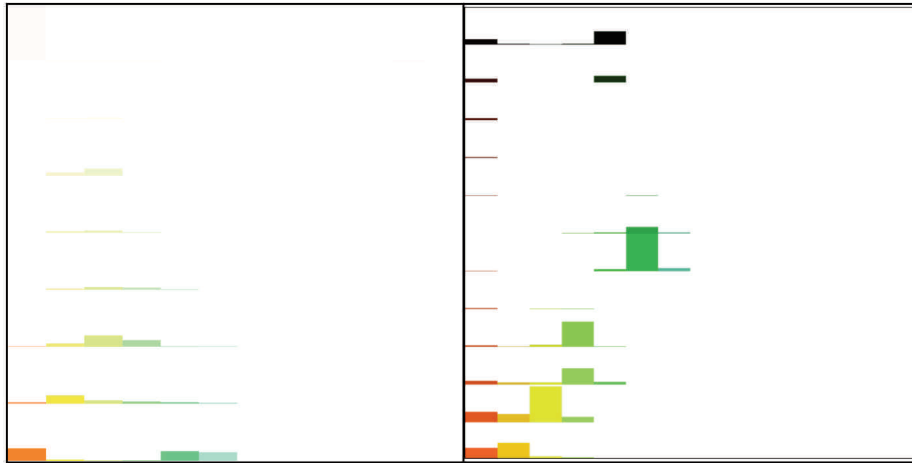


Figure 3 : Histogrammes de répartition des couleurs par le logiciel Adobe ©Photoshop CS5.1



Figures 4 et 5 : Histogrammes teinte-saturation et teinte-luminosité de la carte fig. 2.
La teinte est en abscisse, la saturation puis la luminosité en ordonnée

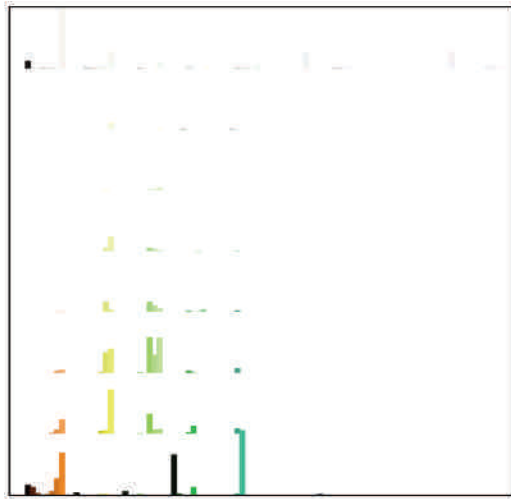


Figure 6 : Histogramme teinte-saturation-luminosité de la carte fig.

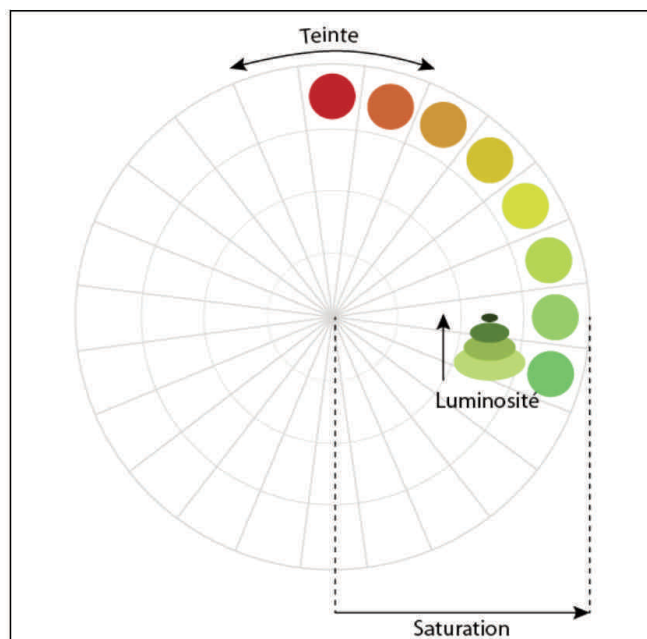


Figure 7 : Cercle chromatique de symboles proportionnels

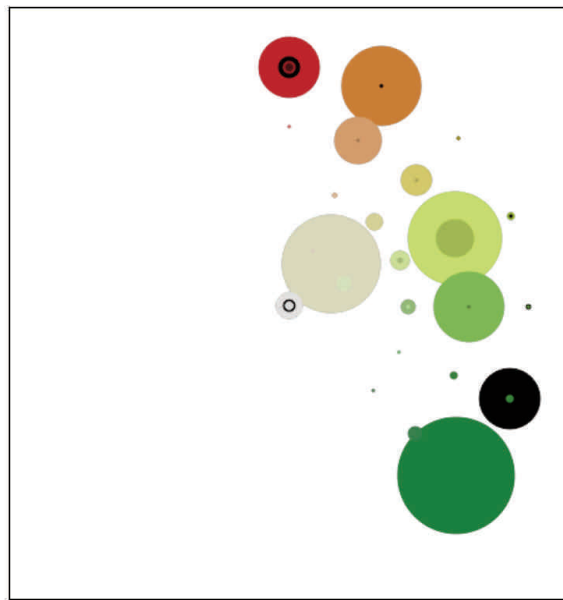


Figure 8 : Cercle chromatique de symboles proportionnels sur l'exemple de la carte de la figure 2

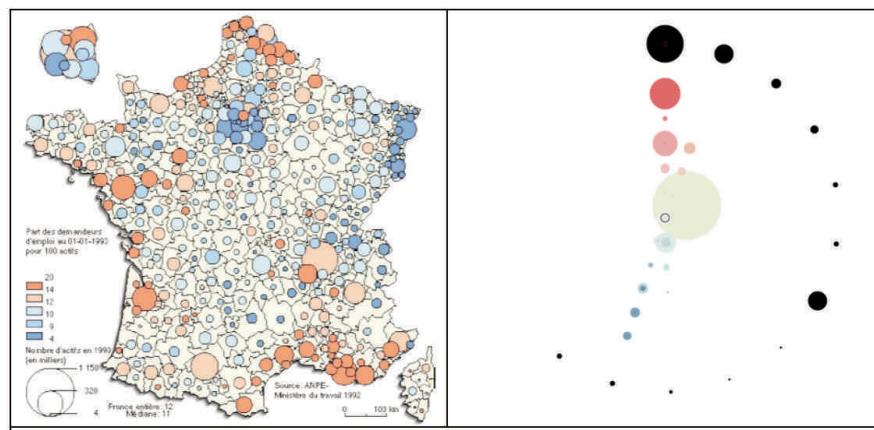


Figure 9 : Carte extraite de l'Atlas de France, vol. 3, «Emplois et entreprises», coord. P. Caro et Th. St-Julien, éd. La Documentation française, Reclus, 1997

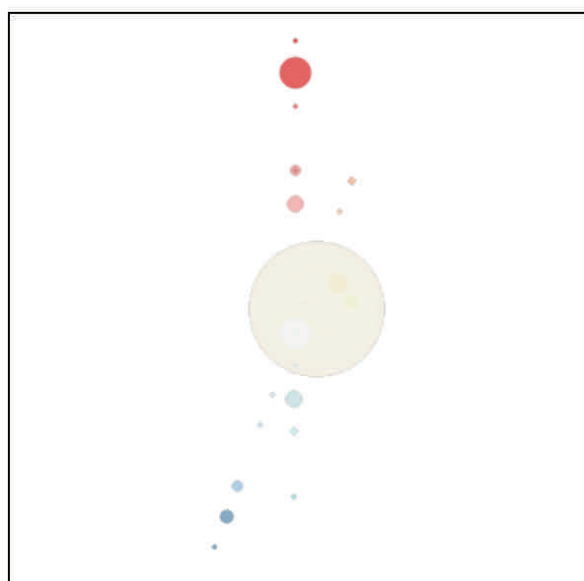


Figure 10 : Analyse de la carte de la figure 9 sans le noir

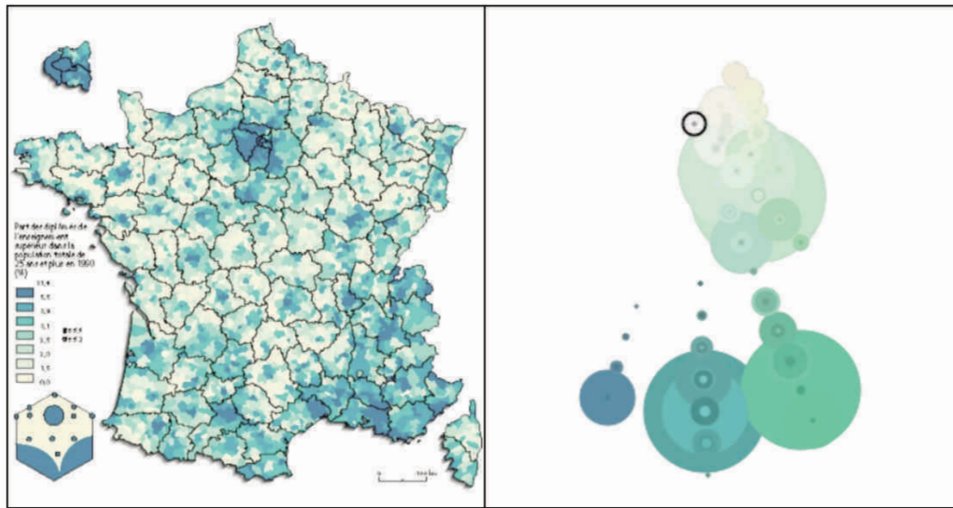


Figure 11 : Carte extraite de l'Atlas de France, vol. 4, «Formation et Recherche», coord. M. Brocard, R. Héritin et J. Joly, éd. La Documentation française, Reclus, 1996.

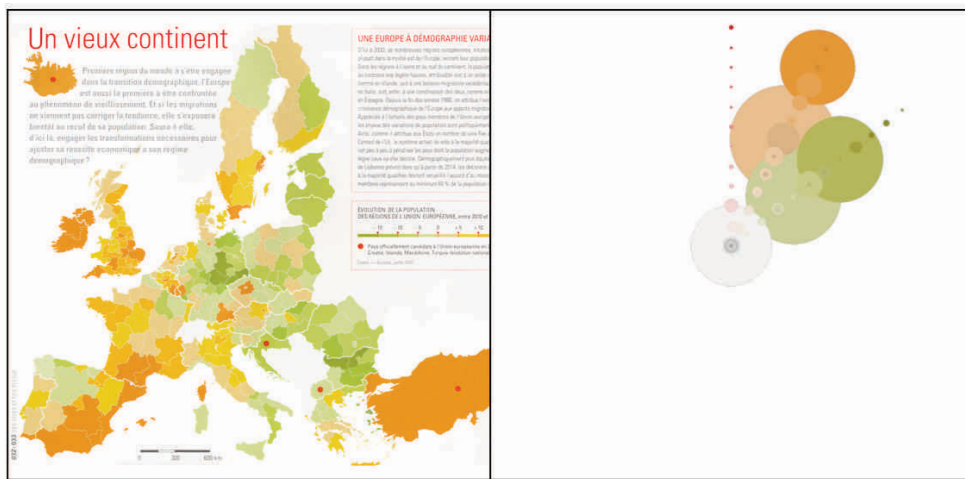


Figure 12 : Carte extraite de l'Atlas des futurs du monde

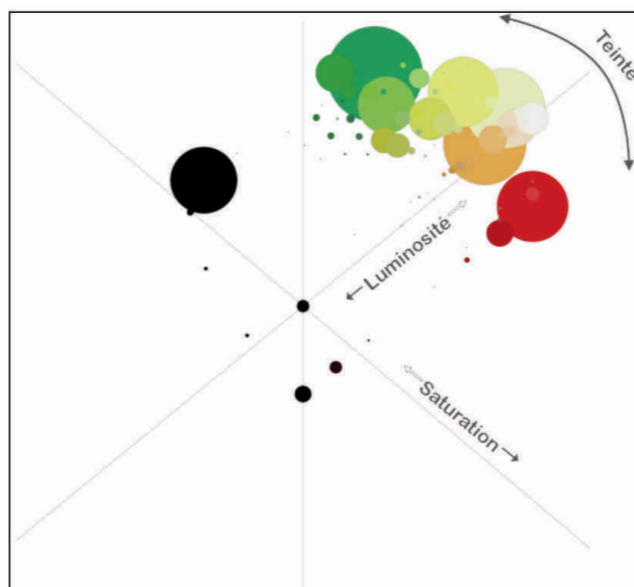


Figure 13 : Couleurs de la figure 2 représentées dans un cylindre chromatique 3D

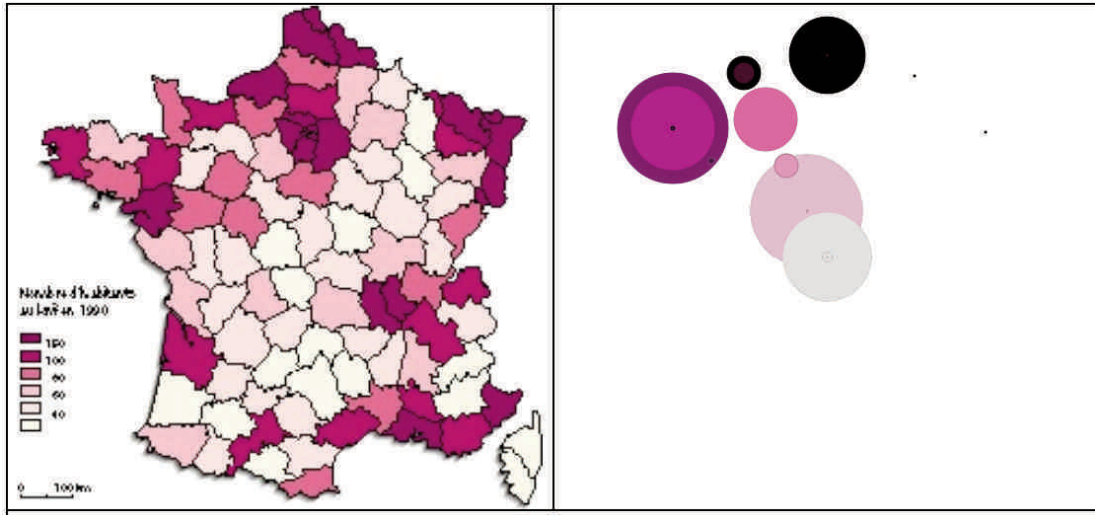


Figure 14 : Carte extraite de l'Atlas de France, vol. 2, «Population», coord.Y. Chauviré et D. Noin, éd. La Documentation française, Reclus, 1996

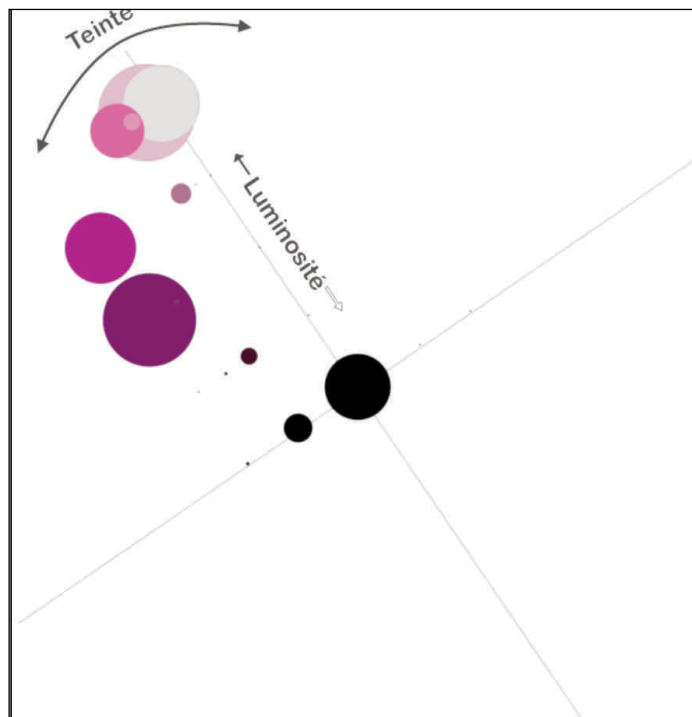


Figure 15 : Carte de la figure 14 selon la représentation en cylindre chromatique 3D
 Carte originale (cf. fig. 2) Couleur mise en évidence en dé-saturant les autres couleurs.
 Couleur sélectionnée en blanc sur fond noir.

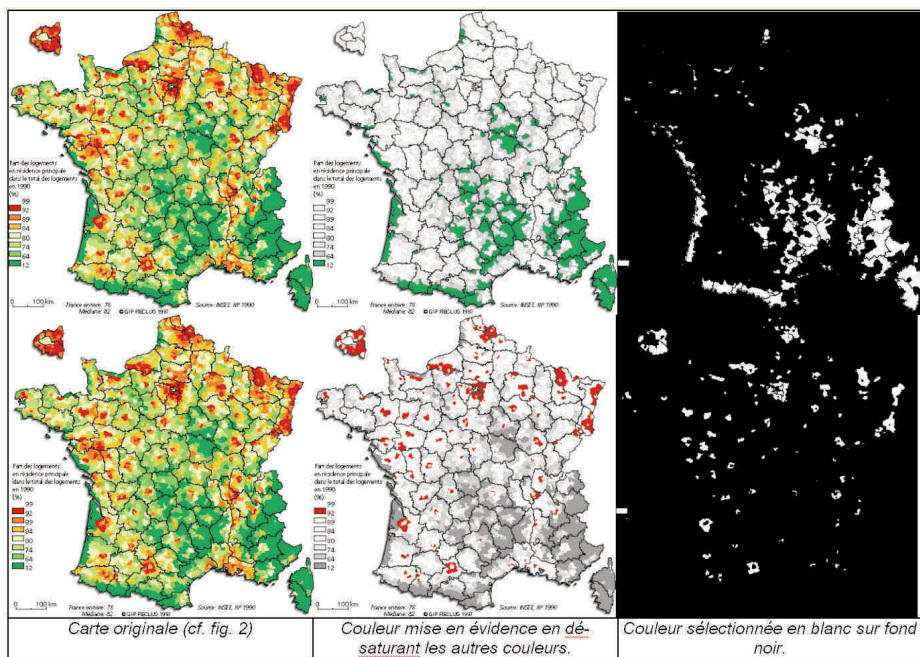


Figure 16 : Mise en évidence d'une classe de choroplèthe
 Carte issue de l'Atlas de France, vol. 7, « Tourisme et Loisirs », R. Knafou, 1997. Couleur mise en évidence en désaturant les autres couleurs. Couleurs sélectionnée en blanc sur fond noir.

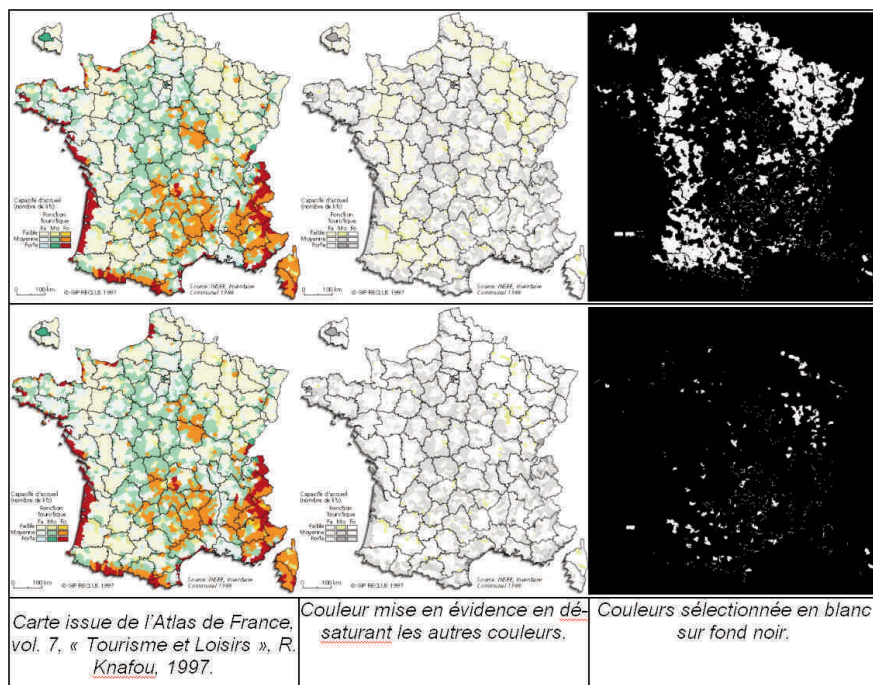


Figure 17 : Mise en évidence d'une classe de typologie
 Carte extraite de l'Atlas de France, vol. 2, « Population » Couleurs complémentaires sur le fond désaturé
 Couleurs complémentaires en blanc sur fond noir

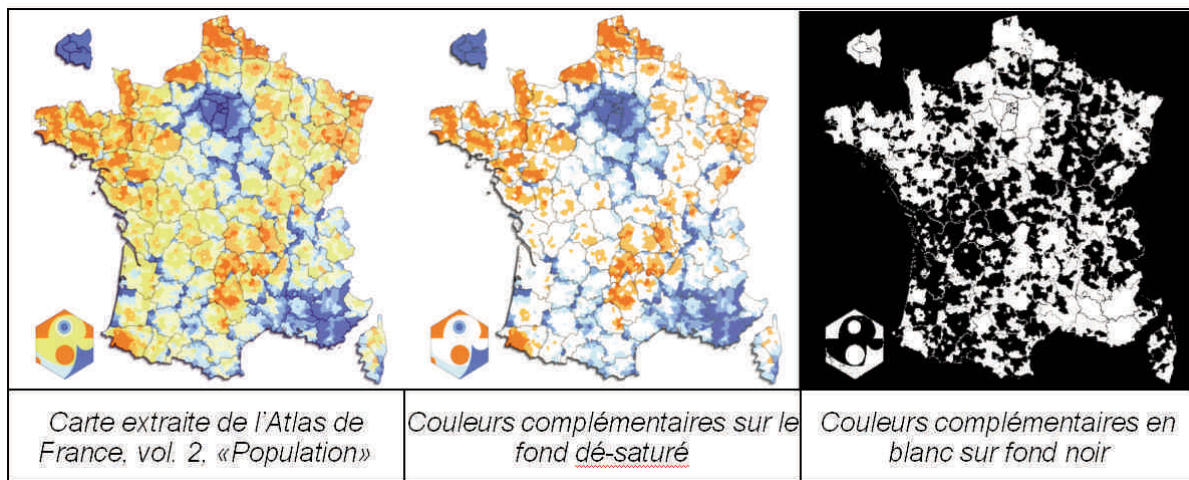


Figure 18 : Mise en évidence des couleurs complémentaires dans une choroplèthe en double dégradé.
 A. Ortelius, « Empire du prêtre Jean », 1603. Couleurs complémentaires sur le fond dé-saturé Couleurs complémentaires en blanc sur fond noir

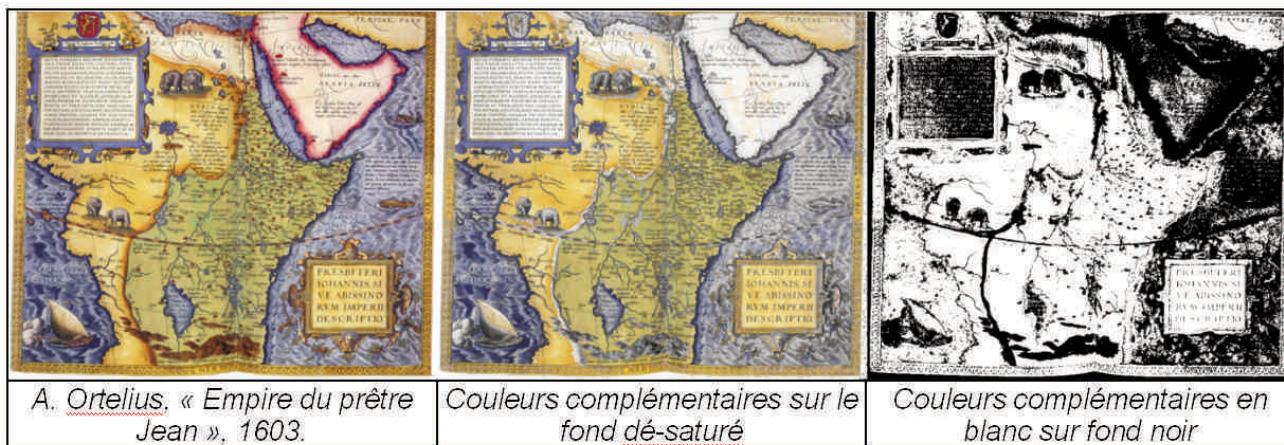


Figure 19 : Visualisation des couleurs complémentaires sur une carte ancienne numérisée