

Étude des contrastes de couleur pour améliorer la lisibilité des cartes – application aux cartes de risque

Élisabeth Chesneau¹

UMR 5600 CRENAM – ISIG, CNRS/Université Jean Monnet
6 rue Basse-des-Rives – 42023 Saint-Étienne Cedex 02, France

elisabeth.chesneau@univ-st-etienne.fr

MOTS-CLÉS

Cartographie
Géomatique
Lisibilité
Contraste de couleur
Risque

RÉSUMÉ

Les cartes sont conçues et utilisées dans de nombreux domaines (géographie, histoire, économie, écologie, etc.). Certains des thèmes abordés sont particulièrement difficiles à cartographier, notamment parce que les données sont nombreuses et en superposition, comme dans les cartes représentant des risques. Ceci conduit souvent à des cartes peu lisibles et donc à une utilisation malaisée. Nous proposons de rechercher les paramètres qui entrent en jeu dans la lisibilité cartographique, en particulier le rôle de la couleur. Pour cela, nous choisissons une approche interdisciplinaire (cartographie, psychologie, peinture) qui nous amène à définir deux types de données de référence : une palette de couleurs et une théorie sur leurs contrastes, celle du peintre suisse Itten. Étant donné cette base de connaissances, un modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur dans les cartes est créé : au cours de cycles itératifs, les plus mauvais contrastes colorés de la carte sont améliorés. Un prototype *ARiCo*, développé pour les cartes de risque, sert de validation à notre modèle.

KEY WORDS

Cartography
Geomatics
Legibility
Colour contrast
Risk

ABSTRACT

Analysis of colour contrast to improve legibility of maps – application to risk maps

Maps are created and used in lots of professions as geography, history, economy, ecology, etc. Some of the analysed data are difficult to portray, particularly because they are numerous and in superimposition, as risk data. Then, the maps are little legible and their use is uneasy. We propose to search parameters that play a part in the cartographic legibility, particularly the role of colour. For this, we choose an interdisciplinary approach (cartography, psychology, painting) and we define two types of reference data: reference colours and a theory about their contrasts (theory of the Swiss painter Itten). According to this knowledge, a model for the automatic improvement of colour contrasts in maps is created: a map goes from valid states to valid states solving at each iteration the worse contrasts on the initial map. A prototype for risk maps, *ARiCo*, has been developed to validate our model.

¹ Cet article est une présentation du travail de thèse de doctorat d'Élisabeth Chesneau (Chesneau, 2006) réalisé de 2002 à 2006 au sein du laboratoire COGIT de l'IGN. De septembre 2006 à août 2007, É. Chesneau était en poste ATER à l'Université Technologique de Compiègne. Depuis septembre 2007, elle est Maître de Conférences à l'université de Saint-Étienne et membre de l'UMR CRENAM 5600, CNRS/Université Jean Monnet.

1. Introduction

La carte est un outil important pour connaître et gérer un espace géographique, communiquer des informations sur cet espace, agir, etc. Les métiers qui ont besoin de cet outil sont nombreux, leurs attentes sont diversifiées et désormais le monde numérique offre à tous ces utilisateurs de nouvelles possibilités permettant à chacun de créer et d'utiliser des cartes selon ses besoins.

Une exigence s'impose : disposer ou pouvoir produire des cartes fiables en informations et en lisibilité.

L'Institut Géographique National (IGN), organisme de référence en matière de cartographie en France, mène des recherches pour la création de cartes sur écran plus lisibles. Le travail présenté ici, réalisé au laboratoire COGIT de l'IGN, s'inscrit dans cette optique. Dans la partie 2, nous montrons que les cartes ne donnent pas toujours entière satisfaction en matière de lisibilité. Nous illustrons notre propos à travers des exemples cartographiques traitant des risques naturels. Ce constat nous amène à entreprendre une recherche spécifique pour définir ce qu'est une bonne lisibilité et comment l'atteindre. Ceci fait l'objet de la partie 3 où diverses données fournies par différentes disciplines en rapport avec la perception, la sémiologie, la couleur, etc. sont prises en compte. Suite aux constats qui découlent de cette recherche, nous décrivons, dans la partie 4, notre modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur dans les cartes, ici précisément pour les cartes de risque.

2. Problèmes de lisibilité dans les cartes : rôle de la couleur

Aujourd'hui, la production et l'utilisation des cartes sont facilitées par le développement d'outils de haute technologie comme les réseaux sans fil ou Internet. Des métiers abordent des thèmes de plus en plus complexes où la carte est d'autant plus nécessaire pour résoudre des problèmes ou aider des personnes dans leur travail (cartes géologiques, cartes en aménagement du territoire, cartes des risques, etc.). Or, les outils techniques n'offrent pas d'aide à la conception cartographique parce que les principes issus des travaux de cartographes comme Bertin (1967) ne sont pas implémentés et que les besoins des utilisateurs ne sont pas spécifiés. Ceci conduit à la création de cartes pas toujours efficaces notamment parce que le message à transmettre n'est pas fiable (informations pas exactes ou mal représentées) ou n'est pas correctement et

rapidement compris par ses utilisateurs. Une explication à ce manque d'efficacité est un problème de lisibilité des signes cartographiques. Selon Joly (1994), « *la lisibilité est la qualité d'une carte sur laquelle une information recherchée peut être facilement trouvée, distinguée parmi les autres et mise en mémoire sans effort* ».

Nous proposons d'étudier les problèmes de lisibilité des cartes avec des exemples en cartographie des risques.

2.1. Des thèmes difficiles à cartographier

De nombreux métiers utilisent aujourd'hui la carte comme outil d'analyse et de communication. Ceci est rendu possible grâce aux grandes avancées technologiques dont les logiciels graphiques font partie. Toute personne munie d'un logiciel graphique est en mesure de représenter des informations spatiales. Cependant, l'étape de représentation cartographique des données s'accompagne souvent de difficultés, ceci d'autant plus que les informations à cartographier sont nombreuses et complexes. Par exemple, en aménagement du territoire ou en géologie, un important travail cartographique est nécessaire pour rendre lisibles les nombreuses informations qui se superposent les unes aux autres. De même en représentation cartographique des risques.

Le risque peut se définir comme la probabilité qu'une catastrophe se réalise sur des entités menacées. Il se caractérise par :

- sa nature variée : il peut être naturel (inondation, avalanche), technologique (risque industriel, nucléaire), urbain (accident de la route, criminalité), sanitaire ou environnemental (famine, épidémie) ;

- ses multiples emprises spatiales et temporelles : par exemple, le risque de sécheresse plutôt fréquent et étendu dans l'espace se distingue du risque sismique beaucoup plus rare et limité dans ses frontières géographiques ;

- ses incertitudes spatio-temporelles et sociales : il existe diverses méthodes de quantification de l'aléa (phénomène avec une fréquence et une intensité) et de la vulnérabilité des enjeux (entités menacées par un phénomène) ce qui implique des représentations cartographiques reposant sur des données soumises à variation.

Ainsi, le risque est une donnée difficile à décrire et par là même à cartographier. Cela a des conséquences sur la lisibilité.

Par ailleurs, les objectifs des cartes sont souvent très variés. Prenons l'exemple des risques : la carte peut servir pour l'expertise, la prévention, la gestion de

crise, l'information (Chesneau, 2006) et à partir des mêmes données de base, les représentations cartographiques seront différentes. Par exemple, si on nous demande de créer une carte des risques naturels d'une commune pour des enfants ou des aménageurs, on réalisera deux cartes différentes : la première contiendra des informations simplifiées comme les principales zones à risque et quelques éléments structurants de la commune (établissements administratifs, maisons, routes) tandis que la deuxième devra être plus exhaustive et précise dans les localisations des phénomènes.

Créer une carte semble donc ardu, non seulement par la nature intrinsèque du thème à représenter mais aussi parce que le concepteur doit veiller à adapter sa carte à ses utilisateurs. D'où l'importance d'avoir une bonne lisibilité cartographique.

2.2. Les problèmes de lisibilité des cartes et le rôle de la couleur

Nous proposons d'analyser les problèmes de lisibilité des cartes avec des exemples pris en cartographie des risques.

La carte en figure 1a représente les aléas naturels d'une commune de l'Isère sur un fond topographique de localisation des enjeux et la carte en Figure 1b illustre un scénario d'inondation dans une commune de Gironde. Elles sont toutes les deux à l'échelle du 1 : 25 000.

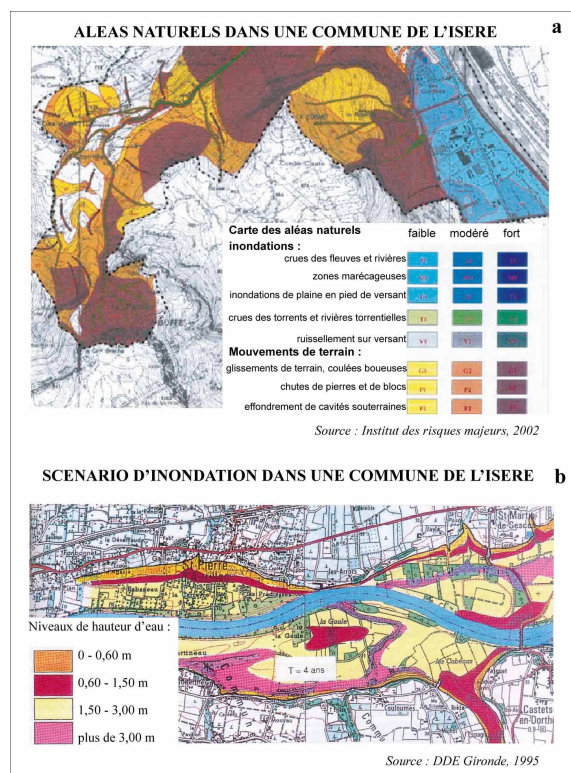


Figure 1. Exemple de deux cartes de risque

À travers ces exemples, nous déterminons trois grands problèmes de lisibilité des cartes :

– **Organisation hiérarchique des informations** : les deux cartes s'organisent en plans visuels avec les informations les plus importantes au premier plan (figure) et celles qui le sont moins au dernier plan (fond). Selon Hochberg (1980, traduit de l'anglais), « la figure est appréciable et formée, le fond est plutôt un espace vide, amorphe, non formé ». Ici, c'est la couleur qui joue le rôle de séparateur : les signes colorés composent la figure (aléas) et le gris représente le fond de localisation des enjeux et d'autres informations comme les limites administratives ou le relief. Or, les enjeux, composant le risque, ne se voient pas bien sur les cartes, notamment à cause de leur couleur grise sous la surcharge colorée.

– **Densité graphique** : les deux cartes ont un fond riche en informations ce qui accentue leur manque de clarté.

– **Choix graphiques** : une carte non lisible risque aussi d'être mal comprise. Ceci peut s'expliquer par des choix graphiques traduisant mal la relation sémantique (différence, association, ordre) qui lie les informations dans la carte. C'est ce qui se passe pour la carte en figure 1b où les zones orange, rouge, jaune et rose traduisent mal la relation d'ordre qui existe entre les tranches de hauteur d'eau.

D'après ces quelques points, la couleur, parmi divers paramètres, semble intervenir de manière prépondérante dans les problèmes de lisibilité. Selon Dent (1999, traduit de l'anglais), « la couleur est la plus fascinante et la moins comprise des éléments de dessin ». C'est pourquoi, nous choisissons de concentrer notre recherche sur l'amélioration de la lisibilité par une meilleure utilisation de la couleur.

3. Une meilleure lisibilité des cartes par le contraste de couleur

Notre objectif est de connaître les paramètres qui influent sur la lisibilité d'une carte, en particulier la couleur, pour qu'un utilisateur comprenne au mieux son message. Une étude interdisciplinaire qui met en évidence des intérêts communs entre différentes disciplines dans l'analyse et la compréhension du signe et de sa signification est donc proposée.

Les cartographes recherchent depuis toujours des moyens pour réaliser des cartes lisibles. Jusqu'au XVIII^{ème} siècle, les cartes décrivent essentiellement la localisation des lieux et des événements passés ou présents sur un territoire, une normalisation stricte des signes est alors adoptée : on trouve la végétation

en vert ou l'hydrographie en bleu. À partir du XIX^{ème} siècle, la carte thématique se développe notamment grâce à la statistique et une normalisation stricte devient impossible. Les cartographes proposent néanmoins des règles graphiques liées aux facultés de la perception humaine. En France, Bertin écrit en 1967 un ouvrage fondamental *Sémiologie Graphique* qui sert de base théorique à notre travail.

3.1. Règles graphiques de Bertin

Dans son livre *Sémiologie Graphique*, Bertin définit « quelques règles simples, confirmées par l'expérience » (cité par Palsky et Robic, 1997). Voici ses principales règles :

– **Choix graphiques appropriés** : il s'agit de règles qui précisent quelle variable visuelle utiliser pour traduire correctement une relation sémantique entre des signes cartographiques. Par exemple, la taille ou la valeur serviront à traduire une relation d'ordre tandis que la teinte de la couleur permettra de différencier des données entre elles, comme des types d'occupation des sols.

– **Densité graphique** : une bonne densité graphique dans une carte s'inscrit entre une densité trop grande (trop d'informations dans un petit espace) et une densité trop faible (trop d'espace vide dans la carte).

– **Séparation angulaire** : la séparation angulaire s'évalue en fonction du seuil de perception, « dimension minimale d'un élément graphique » (Cuenin, 1972), du seuil de séparation, « écart minimal nécessaire entre deux éléments graphiques voisins pour pouvoir les isoler à l'œil nu » (Cuenin, 1972) et du seuil de différenciation, « appréciation des différences de dimension ou de valeur qui expriment des paliers distincts en classement ordonné et, corrélativement, la sélection d'éléments identiques appartenant au même palier » (Cuenin, 1972).

– **Séparation rétinienne** : il s'agit de l'organisation hiérarchique des informations dans la carte et telle sorte que les yeux puissent « séparer les taches significatives des taches non significatives » (Bertin, 1967).

Pour notre recherche où se dégage la couleur, nous souhaitons mieux cerner ce qui entre en jeu pour obtenir une bonne séparation rétinienne entre les éléments d'une carte.

3.2. Une bonne séparation rétinienne

Dans les années 1910, le courant de pensée en psychologie appelé théorie de la Gestalt ou théorie de la forme et fondé par l'Allemand Wertheimer

(1880-1943) stipule que l'homme structure son environnement en groupes perceptifs selon différents critères comme la similarité, la proximité, le fait commun ou la bonne continuité (figure 2). En particulier, deux ensembles hétérogènes sont distingués : la figure avec les éléments significatifs de l'environnement et le fond avec ses éléments non significatifs.

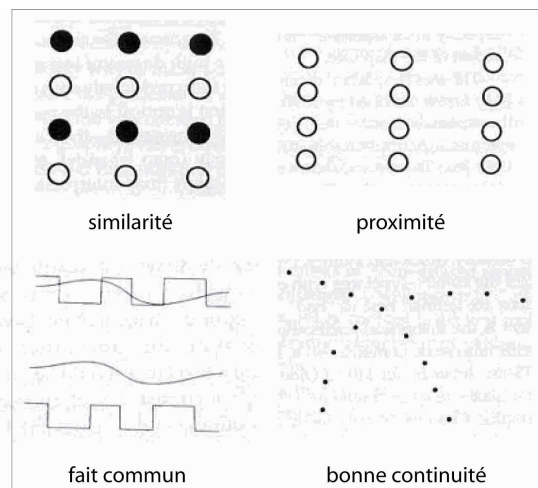


Figure 2. Groupes perceptifs par similarité, proximité, fait commun, bonne continuité (Belbin, 1996)

Dans les années 1980, les psychologues puis les cartographes reprennent les travaux issus de la théorie de la Gestalt. Ils proposent d'enrichir cette théorie en étudiant, entre autre, vers quoi se porte notre attention visuelle face à une scène visuelle. Voici quelques-unes de leurs conclusions :

– **Combinaison des lois de la Gestalt** : une combinaison des lois de la Gestalt accentue ou inhibe l'attention que l'on porte à un groupe visuel. La figure 3a fait interagir la proximité et la similarité pour mettre en évidence le groupement alors que dans la figure 3b, rien n'attire l'attention car le groupement est ambigu.

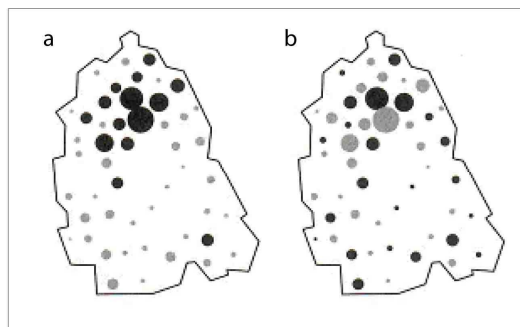


Figure 3. Combinaison de lois de la Gestalt (MacEachren, 1995)

– **Rôle de la couleur, point particulier important pour notre recherche** : le cartographe Lloyd (1997) recense un ensemble de théories en recherche visuelle qu'il met en pratique. A travers ses expérimentations, il montre l'influence des différences de couleurs, entre elles et combinées avec d'autres variables visuelles (forme, taille, orientation) dans les effets de détection ou de « *jaillissement* » (traduit de l'anglais, Lloyd, 1997) des signes cartographiques :

- la couleur constitue la variable visuelle la plus efficace dans la recherche visuelle d'un signe cartographique, indépendamment de la densité des signes dans la carte ;

- la redondance de la couleur avec une autre variable visuelle accentue la rapidité de détection du signe voulu ;

- la combinaison de la couleur et de la forme est plus efficace que la combinaison de la couleur avec la taille ou l'orientation.

– **Contour des signes** : des expériences sur les mouvements des yeux réalisées par les cartographes Eastman et Castner montrent que les observateurs sont très attentifs aux contours des signes, et ceci d'autant plus qu'ils sont épais (tiré de MacEachren, 1995).

– **Dynamique et interactivité** : la géographe Fabrikant (2005) propose d'étudier « *l'efficacité des affichages dynamiques pour l'apprentissage, la découverte et la construction de connaissances* » (traduit de l'anglais, Fabrikant et Goldsberry, 2005) en analysant les mouvements des yeux à la lecture d'une carte. Elle se sert d'un modèle d'attention visuelle ascendant (sans intervention de la connaissance) basé sur la saillance, développé par Itti et ses collègues (Itti *et al.*, 1998). Elle en extrait des informations concernant les différences de teinte, de valeur et d'orientation entre les signes d'une carte. Dans les cartes statiques, elle montre le rôle essentiel de la couleur en attention visuelle : plus la couleur est foncée ou attrayante, plus elle est vue rapidement. Dans les cartes dynamiques, les informations saillantes diffèrent de celles des cartes statiques puisque « *ce qui se passe entre chaque scène semble plus important que ce qui existe dans chaque scène* » (traduit de l'anglais, Fabrikant et Goldsberry, 2005). Ainsi, les différences entre deux cartes sont vite repérées au détriment des signes les plus saillants de chaque carte. Fabrikant souligne aussi que l'interactivité aide à guider l'attention du lecteur.

– **Motivation du lecteur** : selon Eastman et Castner (cité par MacEachren, 1995), un lecteur qui regarde une carte sans objectif particulier recherche des groupes et ses yeux se dirigent le plus souvent vers les zones fortement contrastées ou fortement

linéaires. Il organise l'information selon le principe de groupement de la Gestalt. Par contre, un lecteur ayant un objectif particulier focalise son analyse sur les zones qui l'intéressent. Il fait appel à davantage de cognition.

Dans les années 1960-70, les psychologues considèrent les théories précitées insuffisantes puisque ne tenant pas compte de la connaissance du lecteur, une approche cognitive est alors proposée. Des chercheurs dans différentes disciplines (psychologie, linguistique, philosophie) cherchent à mieux comprendre comment la connaissance est structurée dans notre système visuel et comment elle est utilisée pour interpréter notre environnement. D'après leurs études, notre mémoire à long terme correspondrait à un « *ensemble de représentations hautement structurées et en interrelation qui jouent un rôle dans le processus cognitif* » (traduit de l'anglais, Eastman, 1985). On appelle l'unité très ordonnée de cette mémoire un schéma de connaissance. Ces schémas de connaissance influencent la structuration de notre environnement. Ainsi, un individu familier des cartes va chercher des schémas de connaissance dans sa mémoire. Il en résulte une lecture facilitée et plutôt rapide de la carte. Par contre, un individu qui lit une carte pour la première fois ne possède pas les schémas de connaissance nécessaires. Il doit donc prendre plus de temps pour comprendre la carte.

3.3. Le rôle spécifique de la couleur

Parmi les facteurs mentionnés qui entrent en jeu dans une bonne organisation hiérarchique des informations, on peut noter l'importance de l'hétérogénéité. Deux éléments sont hétérogènes quand les yeux les discriminent suffisamment pour les considérer comme n'appartenant pas au même groupe visuel. L'hétérogénéité implique une différence et donc un contraste. Robinson (1995, traduit de l'anglais) souligne qu'« *aucun facteur graphique n'est aussi important que le contraste. Le contraste est la base de la vision. L'œil critique semble accepter des distinctions graphiques modérées et faibles de façon passive et sans enthousiasme, alors qu'il trouve du plaisir à voir de meilleurs contrastes* ». Parmi les variables visuelles qui créent le contraste, la couleur semble particulièrement efficace. Elle met en avant des signes cartographiques les plus fortement contrastés qui apparaissent alors comme la figure de la carte (figure 4).

Suite à ces constats, nous choisissons d'axer nos recherches sur l'amélioration de la lisibilité cartographique par le contraste coloré. Le paragraphe suivant décrit les connaissances sur les

contrastes colorés qui nous servent de référence pour notre futur modèle.

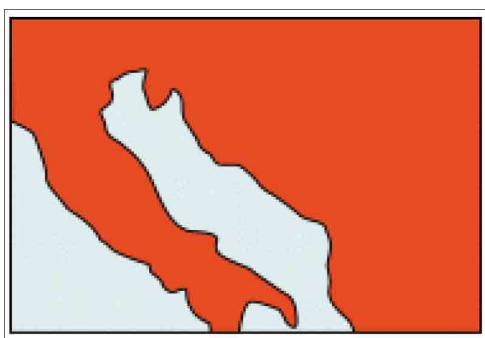


Figure 4. Contraste de couleur

3.4. Théorie sur les contrastes de couleur

Itten (1888-1967), qui appartient à l'importante école du Bauhaus, propose dans *Art de la couleur* (1967), une « vaste étude des lois de la couleur, allant jusqu'à la limite de leur objectivité, là où la raison doit abdiquer devant l'intuition, où seul décide le sentiment subjectif ». Sa théorie des couleurs intègre les contrastes colorés : « on parle de contraste quand, entre deux effets de couleurs à comparer, on peut établir des différences ou intervalles sensibles ». Le tableau 1 présente les sept contrastes d'Itten : contraste de la couleur en soi, contraste des complémentaires, contraste chaud-froid, contraste clair-obscur, contraste de saturation, contraste de quantité, contraste simultané.

Nom	Définition	Illustration
couleur en soi teinte	Juxtaposition de couleurs différentes. « Le contraste de la couleur en soi est le plus simple des sept contrastes de couleurs » (Itten).	
complémentaires	« Deux couleurs pigmentaires qui, mélangées, donnent du gris noir neutre, nous les désignons sous le nom de couleurs complémentaires » (Itten).	
chaud-froid	« Sensation de température du domaine de l'impression optique des couleurs » (Itten). Une couleur chaude opposée à une couleur froide crée le contraste chaud-froid.	
clair-obscur clarté	Le contraste clair-obscur oppose deux couleurs dont l'une est plus claire que l'autre. « La lumière et les ténèbres, le clair et l'obscur, contrastes polaires, sont pour la vie humaine et toute nature, d'une grande et fondamentale importance » (Itten).	
qualité saturation	« Par la notion de qualité de la couleur, nous entendons le degré de pureté ou de saturation des couleurs. Nous désignons par contraste de qualité l'opposition des couleurs saturées [...] et de couleurs éteintes, ternes » (Itten).	
quantité	« Rapports de grandeur de deux ou de plusieurs taches de couleurs. C'est l'opposition de beaucoup et peu ou grand et petit » (Itten).	
simultané	« Par contraste simultané, nous désignons le phénomène qui fait que notre œil, pour une couleur donnée, exige en même temps, donc simultanément, la couleur complémentaire, et qu'il l'engendre lui-même si elle n'est pas donnée » (Itten).	

Tableau 1. Contrastes de couleur d'Itten

Ces contrastes colorés vont être intégrés dans notre modèle que la partie 4 décrit.

4. Modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur dans les cartes de risque

Notre modèle a pour objectif d'améliorer automatiquement les contrastes de couleur dans les cartes de risque. Pour ce faire, deux espaces d'analyse sont a priori possibles : la légende de la carte ou la carte en

elle-même. En figure 5, les couleurs de la légende, organisées selon leurs relations de différence, association ou ordre, sont toutes lisibles tandis que les mêmes couleurs dans la carte, influencées par leurs voisinages colorés et leur extension spatiale, ne le sont pas forcément. Par exemple, le gris des bâtiments sur le bleu des aléas moyens se repère difficilement contrairement au même gris sur le fond blanc.

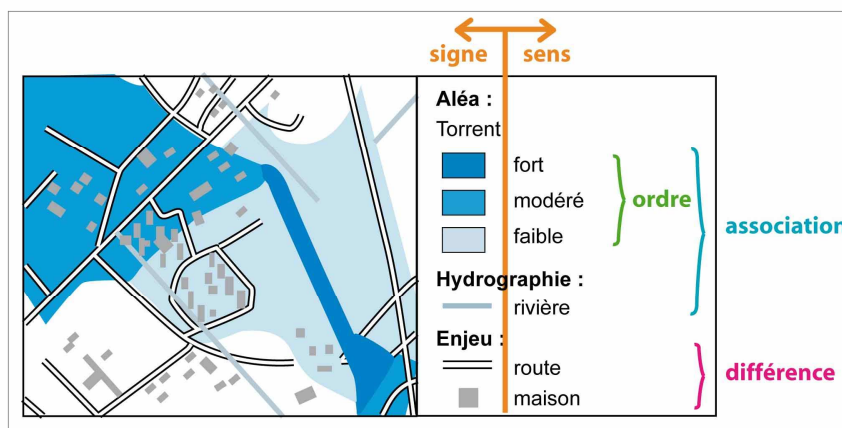


Figure 5. Deux espaces d'analyse possibles

Étant donnée la différence de perception visuelle des couleurs en fonction de leur voisinage et de leur extension spatiale dans la carte, nous proposons d'évaluer les contrastes autour de chaque signe cartographique de la carte en fonction de ses voisins, ce qui nécessitera des analyses à plusieurs niveaux. Ensuite, des améliorations pourront être proposées.

La figure 6 présente les composantes qui vont constituer notre modèle : tout d'abord un schéma d'organisation des données (1) et des connaissances sur les contrastes de couleur (2), puis un processus qui sert à évaluer et à interpréter les contrastes (3) pour obtenir une légende finale qui crée une carte plus lisible (4).

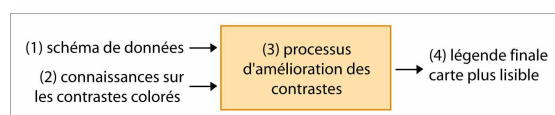


Figure 6. Composantes de notre modèle

La partie 4.1 présente les connaissances à intégrer dans notre modèle. La partie 4.2 décrit l'organisation des données choisie pour leur analyse et leur amélioration cartographique. La partie 4.3 explique la dynamique de notre modèle à travers un scénario.

4.1. Connaissances sur les contrastes de couleur

L'analyse et l'amélioration des contrastes de couleur dans une carte nécessitent l'établissement de deux types de données de référence : une palette de couleurs adaptées à la représentation cartographique des risques et une théorie sur les contrastes colorés en lien avec la cartographie.

Palette de couleurs

Une infinité de couleurs existent et différents systèmes d'organisation permettent de les représenter (Chesneau, 2006). Notre future palette, dédiée à la représentation cartographique des risques, ne nécessite pas toutes les couleurs. C'est pourquoi, une première étape est de définir une charte de référence adaptée à notre application : des couleurs adaptées à la représentation des risques avec une organisation qui permet de les identifier de façon unique ainsi que de les comparer.

Les cartes de risque sont constituées le plus souvent de deux niveaux d'information : la figure pour les zones d'aléa ou de vulnérabilité et le fond pour les enjeux moins vulnérables et les objets topographiques comme le relief ou les limites administratives qui servent à repérer ou contextualiser l'ensemble. Nous proposons de créer des couleurs saturées pour

représenter les signes cartographiques de la figure et des gris colorés pour le fond. En effet, le fond, généralement en gris, est souvent mal perçu (cf. 2.2) et l'emploi de gris colorés peut aider à le rendre plus lisible.

Les signes cartographiques représentent des informations en relation de différence, association ou ordre. Les trois critères physiologiques des couleurs (teinte, clarté, saturation) vont servir à organiser nos couleurs, sur le même principe que le système Munsell (Chesneau, 2006) : la teinte pour différencier les couleurs ; la saturation pour hiérarchiser des niveaux d'information en différence ou en

association (couleurs saturées, gris colorés et gris) ; la clarté pour ordonner les couleurs (le plus clair signifie *moins* et le plus foncé *plus*).

Nous nous sommes inspirés des travaux du peintre suisse Itten (1967), de la cartographe américaine Brewer (1994 ; 2003) et de la cartographe canadienne Mersey (1990) pour choisir les couleurs de référence. Elles sont au nombre de 163 (figure 7) : quatorze teintes saturées, chacune déclinées en sept niveaux de clarté, quatorze gris colorés, chacun décliné en quatre niveaux de clarté ainsi que le blanc, le noir et sept clartés de gris pour compléter la charte.

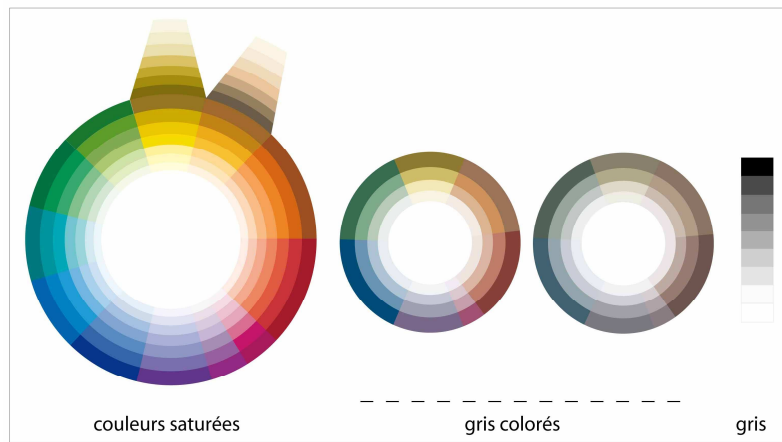


Figure 7. Couleurs de référence

Théorie sur les contrastes en lien avec la cartographie

Notre modèle a besoin de connaissances pour déterminer les contrastes entre les couleurs d'une carte. Soient C_j, C_k deux couleurs parmi les 163. λ_i qualifie, de 0 à n, le contraste i qui est un des contrastes d'Itten. Si λ_i vaut 0, il n'y a pas de contraste entre les deux couleurs ; si λ_i vaut n, le contraste est maximal. On peut classer les contrastes d'Itten en fonction de critères cartographiques :

– **Contrastes pour la différence ou l'association** : trois contrastes d'Itten permettent de traduire une relation de différence ou d'association entre deux signes cartographiques. Il s'agit du contraste de teinte, du contraste des complémentaires et du contraste chaud-froid. Dans notre modèle, nous étudions ces contrastes à travers le paramètre θ des couleurs (figure 8) : plus la distance entre deux teintes sera forte, plus elles exprimeront une relation de différence. Au contraire, plus la distance entre deux teintes sera faible, plus elles exprimeront une relation d'association.

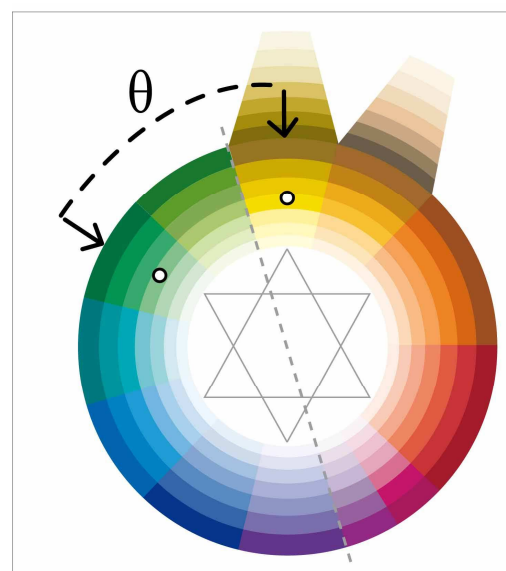


Figure 8. Mesure du contraste pour la différence ou l'association

– **Contrastes pour l'ordre** : les contrastes clair-obscur et de saturation permettent de créer un ordre entre des couleurs. Deux catégories d'ordre sont à distinguer. Entre des informations ordonnées (petit, moyen grand), c'est le contraste clair-obscur qui crée des relations d'ordre : plus la distance entre deux clartés sera forte, plus elles exprimeront une relation d'ordre importante (petit, grand). Entre des informations non ordonnées (hôpital, forêt), le contraste de saturation permet de créer des hiérar-

chies de lecture pour que les thèmes importants (hôpital) soient perçus avant ceux qui le sont moins (forêt) : plus la distance entre deux niveaux de saturation sera forte, plus on mettra en valeur le thème saturé par rapport à l'autre thème. Dans notre modèle, nous étudions les contrastes pour l'ordre entre informations ordonnées à travers le paramètre Z des couleurs (figure 9a) et les contrastes pour l'ordre entre informations non ordonnées à travers le paramètre ϕ (figure 9b).

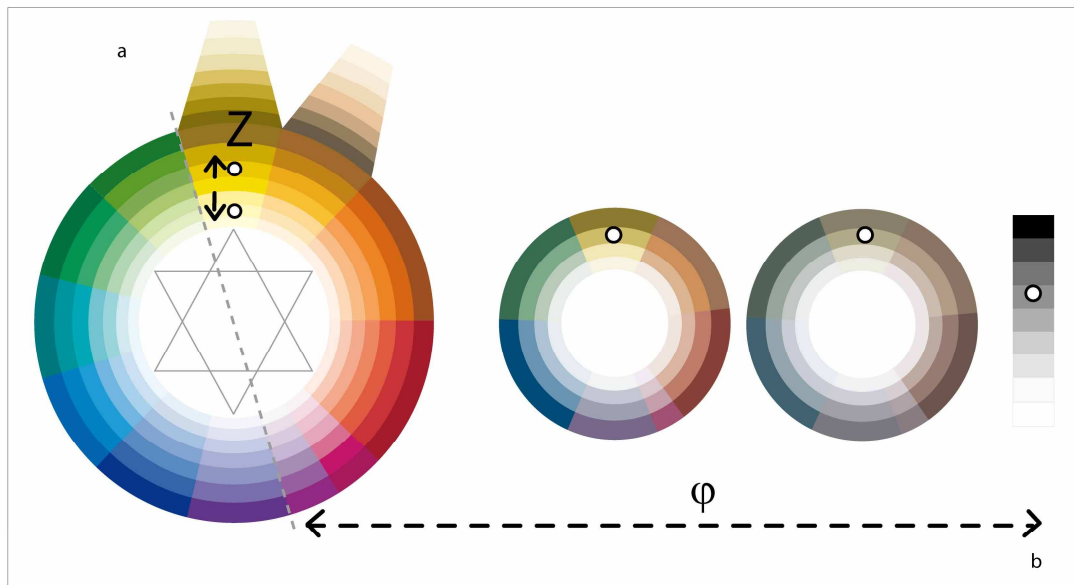


Figure 9. Mesure du contraste pour l'ordre entre signes ordonnés (a) et signes non ordonnés (b)

– **Deux contrastes plus particuliers** : le contraste de quantité et le contraste simultané s'ajoutent aux cinq autres contrastes. Le contraste de quantité peut s'analyser à deux niveaux :

Un niveau local pour répondre à la question : *Quel est le contraste de quantité entre deux taches colorées ?* Il faudra trouver une bonne correspondance entre la différence de quantité et la différence de teinte, clarté ou saturation des deux taches pour respecter les significations qu'elles traduisent.

Un niveau global pour répondre à la question : *Quel est le contraste de quantité entre deux couleurs dans la carte ?* L'objectif est de comparer les rapports entre des couleurs en relation de différence ou d'association et de déterminer si ces quantités créent une harmonie ou un équilibre visuel. Itten considère que « *deux couleurs ou plus sont harmonieuses quand, mélangées ensemble, elles donnent un gris neutre* » (Itten, 1967).

Kandinsky donne une définition plus large de l'harmonie en la comparant à un cheminement spirituel plus ou moins ardu et agréable qui permet d'accéder à la plénitude : « *L'harmonie des couleurs doit reposer uniquement sur le principe de l'entrée en contact efficace avec l'âme humaine. Cette base sera définie comme le principe de la nécessité intérieure* » (Kandinsky, 1910).

Quant au contraste simultané, nous proposons de l'éviter dans les cartes car il peut induire des confusions dans l'interprétation cartographique.

4.2. Schéma de données

Notre modèle est fondé sur un schéma générique des données où trois grands groupes de classes sont définis (figure 10). Chaque grand groupe de classes va être sommairement décrit. Une présentation plus complète est faite dans (Chesneau, 2006) :

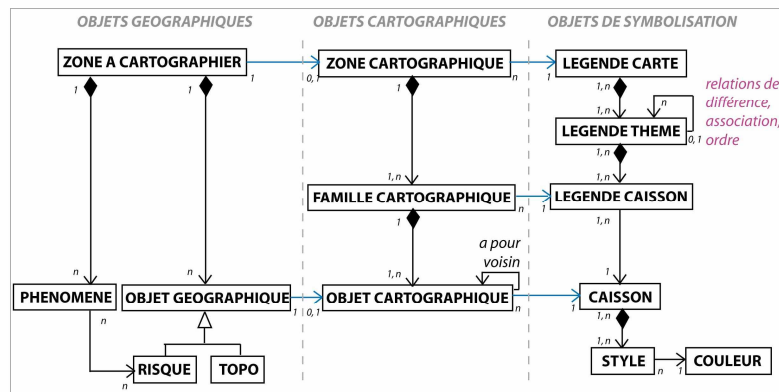


Figure 10. Schéma des données

– **Objets géographiques** : ce sont les données de l'utilisateur non symbolisées. Dans un contexte de risque, une *Zone à Cartographier* est composée de *Phénomènes*, événements catastrophiques qui peuvent se produire dans la *Zone* et d'*Objets Géographiques*. Ces derniers regroupent des données *Risque*, c'est-à-dire des aléas ou des expositions (synthèse entre des aléas et des enjeux vulnérables) et des données *Topographiques*, c'est-à-dire des enjeux ou des éléments du support (ils servent à accompagner les données de la thématique risque).

– **Objets cartographiques** : l'utilisateur souhaitant cartographier des objets géographiques, des objets cartographiques sont créés. Un *Objet Cartographique* est un *Objet Géographique* symbolisé sur lequel des analyses sur les contrastes colorés seront effectuées. Un *Objet Cartographique* se caractérise par sa localisation en (x, y) sur la carte et sa symbolisation qui renvoie à un sens dans une légende. L'analyse au niveau de chaque *Objet Cartographique* étant trop locale, nous aurons besoin d'opérer à des niveaux supérieurs : la *Famille Cartographique* regroupe un ensemble d'*Objets Cartographiques* de même signification et la *Zone Cartographique* se compose de l'ensemble des *Familles* de la carte.

– **Objets de symbolisation** : les *Objets Cartographiques* font appel à des objets de symbolisation pour leur représentation cartographique. Un *Objet de Symbolisation* correspond à une ligne de légende d'une carte : il se caractérise par une partie graphique appelée *Caisson* et une partie sémantique nommée *Légende Caisson*. Un *Caisson* est constitué d'un ensemble de *Styles* (point, ligne, zone) associés à une *Couleur*. Pour connaître la signification du *Caisson*, on lui associe une *Légende Caisson*. L'ensemble des *Légendes Caisson* constitue la légende de la carte. Entre les deux classes *LEGENDE CARTE* et *LEGENDE CAISSON*, on ajoute la classe *LEGENDE THEME*

pour renseigner les relations de différence, association ou ordre entre les lignes de légende.

4.3. Dynamique de notre modèle

Le schéma des données et les connaissances sur les couleurs et leurs contrastes étant définis, on peut proposer une dynamique pour notre modèle. Celle-ci repose sur une méthode séquentielle qui résout pas à pas les plus gros problèmes de contraste à travers des cycles, un cycle permettant de « passer d'un état valide à un état validé suivant » (Ruas, 1999) et un état pouvant se définir comme la symbolisation d'une carte à un instant donné. À chaque fin de cycle, peu de couleurs sont modifiées mais l'état est amélioré et le dernier cycle correspond à l'obtention d'un état final satisfaisant (figure 11).

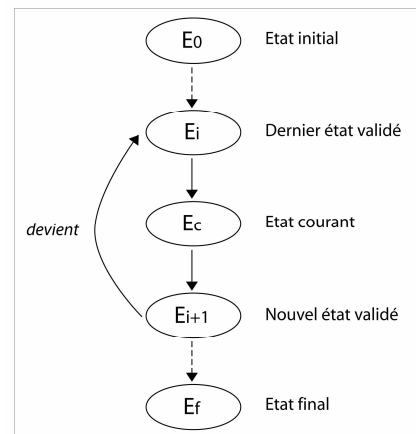


Figure 11. Différents états de la convergence

Pour passer d'un état valide à un état validé suivant, différentes étapes s'enchaînent. Nous les expliquons à travers un scénario (figure 12) réalisé grâce à un prototype expérimental *ARiCo* (Amélioration auto-

matique des cartes de Risque par le Contraste coloré), construit avec le SIG Lamps2 de la société

LaserScan. Aujourd'hui, seules les améliorations des contrastes de teinte et de clarté sont implémentées.

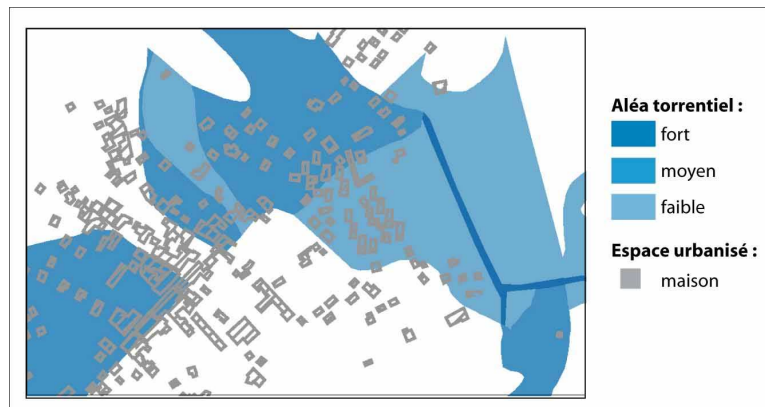


Figure 12. Carte initiale

4.3.1. Identification du problème

La *Zone Cartographique* détermine quelle *Famille* est la plus mal contrastée dans la carte, c'est-à-dire celle qui devrait être modifiée. Pour faire cela, trois actions sont réalisées :

– **Évaluation des contrastes** : nous définissons des valeurs de contraste comprises entre 0 et 5 pour chaque couple de couleurs de référence et chaque contraste. Par exemple, le contraste de teinte est fort (5) entre le rouge et le vert alors qu'il est faible (1) entre le bleu et le vert. Ces valeurs regroupent des calculs par hypothèse basés sur les codes Teinte Saturation Luminosité des couleurs et des tests expérimentaux effectués auprès de cartographes, graphistes et non-professionnels de la couleur (Chesneau, 2006).

– **Interprétation des contrastes** : nous définissons des valeurs idéales de contraste comprises entre 0 et 5 pour chaque couple de couleurs de référence en fonction de leur relation

sémantique dans la carte. Par exemple, si deux signes sont sémantiquement différents, leur contraste de teinte devrait être fort (5). S'ils sont sémantiquement proches (association), il devrait être faible (1). La différence entre valeur de contraste et valeur idéale de contraste donne une qualité de contraste : si elle est égale à 5, le contraste est parfait ; si elle vaut 0, le contraste est mauvais.

– **Agrégation des qualités de contraste** : nous agrégeons les qualités de contraste à différents niveaux : chaque *Objet Cartographique* avec tous ses voisins, chaque *Famille Cartographique* de la carte et la *Zone Cartographique* sur laquelle une satisfaction des contrastes dans la carte est calculée.

La figure 13 présente l'ensemble de ces données entre un bâtiment et un aléa faible qui sont sémantiquement éloignés : leur contraste de teinte (5) est fort mais leur contraste de clarté (0) est bas. Pour *ARiCo*, la qualité du contraste de clarté est mauvaise.

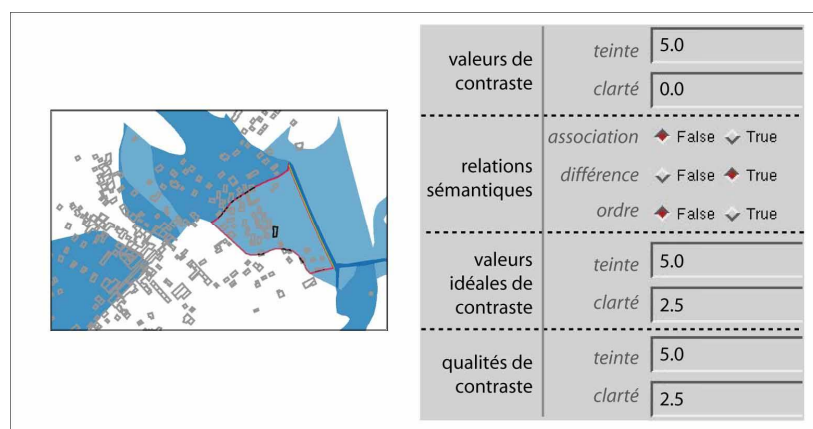


Figure 13. Valeurs et qualités de contraste entre un bâtiment et un aléa faible

4.3.2. Propositions de nouvelles couleurs

Chaque *Famille* voisine propose des nouvelles couleurs pour la *Famille* à changer de telle sorte que leur relation sémantique soit correctement représentée dans la carte. Pour cela, une recherche

d'espaces de solutions sur les cercles chromatiques est faite. Dans notre exemple, le bâtiment, initialement en « gris moyen », est mal contrasté avec l'aléa faible de couleur 'bleu moyen'. Notre système propose de le changer en « gris très foncé » (figure 14).

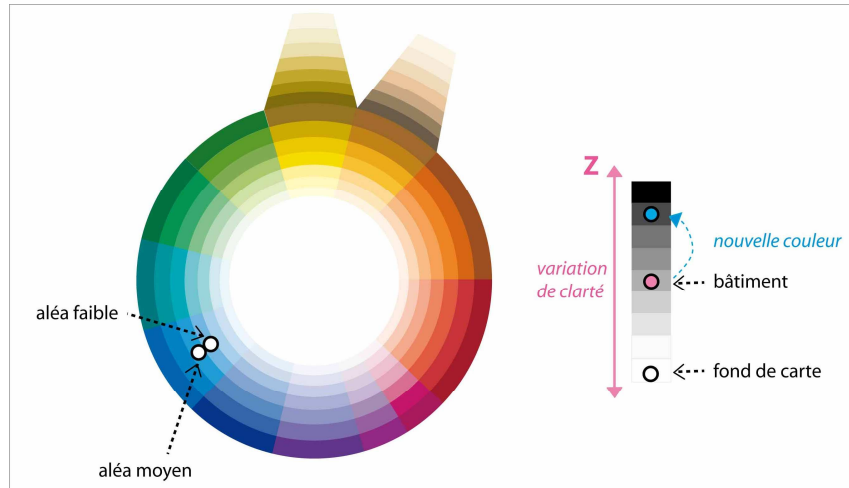


Figure 14. Position des couleurs sur les cercles : ancienne et nouvelle couleur pour les bâtiments, couleurs des Familles voisines dans la carte

4.3.3. Validation de la solution choisie

Une nouvelle analyse des contrastes de couleur dans la carte permet de déterminer une nouvelle satisfaction de la carte. Si elle est meilleure que la précédente, le nouvel état de la carte est validé et la prochaine étape commence. Si ce n'est pas le cas, notre modèle revient à l'étape précédente et choisit une autre solution. Dans le scénario, la nouvelle satisfaction est meilleure (4,4 au lieu de 4) donc le nouvel état est validé (Figure 15).

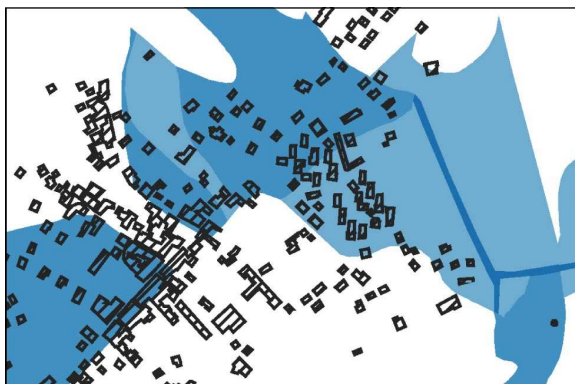


Figure 15. Carte après un premier cycle de convergence

4.3.4. Arrêt du processus de convergence

Si l'état de la carte est suffisamment bon ou s'il stagne après un certain nombre de cycles, on arrête la convergence. Dans le scénario, ce n'est pas le cas donc un nouveau cycle commence.

5. Conclusion et perspectives

Ce travail de recherche a pour objectif de répondre à la nécessité de rendre plus utilisable une production intensive de cartes sur écran pas toujours lisibles. Avec notre modèle, un utilisateur peut créer une carte plus lisible car mieux contrastée. De façon plus large, cette recherche se veut à la pointe des préoccupations d'aujourd'hui qui est celle d'utiliser à bon escient les performances des machines dans un objectif d'amélioration voire d'optimisation de ce qui existe.

Voici quelques directions envisageables pour compléter et continuer cette recherche :

Améliorer ARiCo : Tout d'abord, on pourrait ajouter l'amélioration des autres contrastes en plus des contrastes de teinte et de clarté. De plus, il faut enrichir les tests réalisés sur des personnes pour évaluer les contrastes entre les couleurs, notamment en optant pour un vrai protocole de test sur la perception visuelle des contrastes (Fabrikant,

2005). On pourrait aussi évaluer l'intérêt de la méthode par des tests de cas réels où des personnes seraient soumises à plusieurs cartes plus ou moins lisibles. En outre, il serait intéressant de tester des méthodes de résolution plus complexes que celle choisie. Par exemple, la méthode du recuit simulé autoriserait pendant quelques cycles une dégradation de la qualité cartographique pour obtenir après plusieurs cycles une meilleure lisibilité. On pourrait aussi utiliser une méthode stochastique où le modèle choisirait une solution au hasard parmi un nombre important de combinaisons colorées possibles. Enfin, *ARiCo* pourrait être amélioré en le rendant plus intéropérable grâce à son développement sur une nouvelle plate-forme. Actuellement, il est implémenté sur la plate-forme *GEOXYGENE* du laboratoire COGIT de l'IGN.

Faire évoluer notre modèle : une fois l'amélioration automatique des contrastes colorés satisfaisante, il serait possible d'intégrer d'autres paramètres qui entrent en jeu dans la séparation

rétinienne comme le contour des signes, leur forme, leur taille. On pourrait aussi envisager d'ajouter d'autres paramètres de la lisibilité que la séparation rétinienne comme la densité graphique ou la séparation angulaire.

Au laboratoire COGIT de l'IGN, le travail présenté ici s'inscrit dans une approche plus globale : on proposerait à un utilisateur, via Internet, une interface dans laquelle il pourrait définir ses choix de carte et de légende. Une fois la carte créée selon ses envies, notre modèle améliorerait sa lisibilité (figure 16).

Remerciements

Elisabeth Chesneau remercie Madame Anne Ruas, directrice du laboratoire COGIT de l'IGN et encadrante de la thèse d'avoir aidé à la réalisation de cet article.

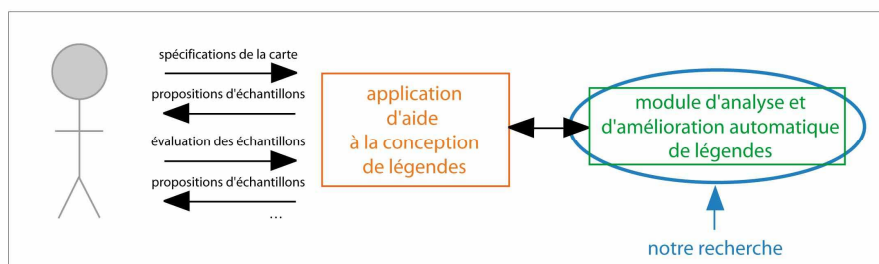


Figure 16. Notre modèle dans un projet de recherche plus global au laboratoire COGIT de l'IGN

6. Références bibliographiques

- Belbin J., 1996, Gestalt Theory Applied to Cartographic Text, in Wood C., Keller C., *Cartographic Design: Theoretical and practical Perspectives*, Wiley & Sons, Chichester (UK), 253-269.
- Bertin J., 1967, *Sémiologie graphique : Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Éditions EHESS, Paris.
- Brewer C., 1994, Color Use Guidelines for Mapping and Visualization, in MacEachren A., Taylor D., *Visualization in Modern Cartography*, Elsevier Science, Tarrytown, New-York, 123-147.
- Brewer C., Hatchard G., Harrower M., 2003, ColorBrewer in Print: A Catalog of Color Schemes for Maps, *Cartography and Geographic Information Science*, 30 (1), 5-32.
- Chesneau E., 2006, Modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur en cartographie : application aux cartes de risque, Thèse de doctorat, Institut Géographique National et université de Marne-la-Vallée.
- Cuenin R., 1972, *Notions générales et principes d'élaboration*, Éditions Eyrolles, Paris.
- Dent B., 1999, *Cartography: Thematic Map Design*, WCB / McGraw-Hill, Boston.
- Eastman J., 1985, Cognitive Models and Cartographic Design Research, *Cartographic Journal*, 22 (2), 95-101.
- Fabrikant S., Goldsberry K., 2005, Thematic Relevance and Perceptual Salience of dynamic Geovisualization Displays, *Conférence de l'Association de Cartographie Internationale*, La Corogne, juillet 2005.
- Hochberg J., 1980, Pictorial Functions and Perceptual Structures, in Hagen M. AM (Eds.), *The Perception of Pictures*, Academic Press, New York, 47-93.
- Itten J., 1967, *Art de la couleur*, Éditions Dessain et Tolra, Paris.

- Itti L., Koch C., Niebur E., 1998, A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20 (11), 1254-1259.
- Joly F., 1994, *La cartographie*, Presses Universitaires de France, Paris.
- Kandinsky W., 1910, *Du spirituel dans l'art, et dans la peinture en particulier* (version utilisée 2002), Éditions Denoël, Paris.
- Lloyd R., 1997, Visual Search Processes Used in Map Reading, *Cartographica*, 34 (1), 11-32.
- MacEachren A., 1995, *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*, The Guilford Press, New York, London.
- Mersey J., 1990, Colour and Thematic Map Design: The Role of Colour Scheme and Map Complexity in Choropleth Map Communication, *Cartographica*, 27 (3), Monograph 41.
- Palsky G., Robic M-C., 1997, Aux sources de la sémiologie graphique, *Cybergéo*, 147, <<http://www.cybergeo.eu/index554.html>>.
- Robinson A., Morrison J., Muehrcke P., Kimerling A., Guptill S., 1995, *Elements of Cartography*, John Wiley & Sons, New York.
- Ruas A., 1999, Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie, Thèse de Doctorat, Institut Géographique National et université de Marne-la-Vallée.