

POUR UNE AMÉLIORATION AUTOMATIQUE DES CONTRASTES COLORÉS EN CARTOGRAPHIE : APPLICATION AUX CARTES DE RISQUE

par *Élisabeth Chesneau*

Docteur en sciences de l'information géographique (thèse préparée à l'IGN et à l'Université de Marne-la-Vallée), attachée temporaire d'enseignement et de recherche en cartographie et géomatique à l'Université de technologie de Compiègne

Laboratoires d'affiliation :

IGN, Service de la recherche, Laboratoire COGIT, 2/4 avenue Pasteur, 94165 Saint-Mandé Cedex

UTC, Génie des systèmes urbains, équipe Avenues, centre de recherches de Royallieu, BP20529, rue Personne de Roberval, 60205 Compiègne Cedex

elisabeth.chesneau@utc.fr

RÉSUMÉ

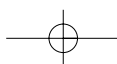
La carte est un outil utilisé pour communiquer des informations localisées dans l'espace. Or, elle n'est pas toujours lisible car les données peuvent être difficiles à cartographier. Une utilisation plus efficace de la couleur peut rendre une carte plus lisible. Nous proposons un modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur dans les cartes. Un processus de convergence permet de faire passer progressivement la carte d'un état valide à un état validé suivant et d'améliorer ses plus mauvais contrastes. Un prototype pour les cartes de risque, ARiCo, a été développé pour valider notre modèle.

1 CONSTAT ET PROPOSITION

La carte est un instrument ancien qui est devenu omniprésent et de qualité croissante pour transmettre des informations dans de très nombreux domaines (routes, forêt, promenade, météo, relief, géopolitique, commerce, architecture). Ces informations circulent massivement sans arrêt à travers de multiples médias. En effet, depuis quelques décennies, le monde numérique s'est considérablement développé et il engendre la production et l'échange de toujours plus d'informations. Côté production, des logiciels de plus en plus performants augmentent la création de données numérisées. Côté utilisation, ces mêmes données deviennent facilement et rapidement accessibles grâce à des technologies de pointe telles que les réseaux sans fil.

Quelles que soient ses évolutions techniques, la carte n'en reste pas moins une fabrication qui implique des choix dans les informations à représenter et dans leur symbolisation. Ces choix déterminent son efficacité, critère d'appréciation d'une construction graphique qui dépend essentiellement de l'exactitude des informations représentées, de leur bonne compréhension et de la rapidité de lecture, d'analyse et d'interprétation du message cartographique. Un des critères de l'efficacité est la lisibilité : une carte facile à lire et à comprendre de façon correcte renforce la probabilité d'atteindre son objectif. Ainsi les cartes représentant des risques sur un territoire doivent-elles sensibiliser à ces risques, mais aussi en faciliter la prévention grâce à la prise de décision, à l'action (E. Chesneau, 2004).

Or, la carte numérique accessible à tous peut avoir une lisibilité réduite, notamment parce que les systèmes d'information géographique (SIG) n'offrent pas d'outils d'analyse des légendes et que les travaux théoriques en cartographie, comme ceux de J. Bertin (J. Bertin, 1967), ne sont pas introduits dans de tels outils.



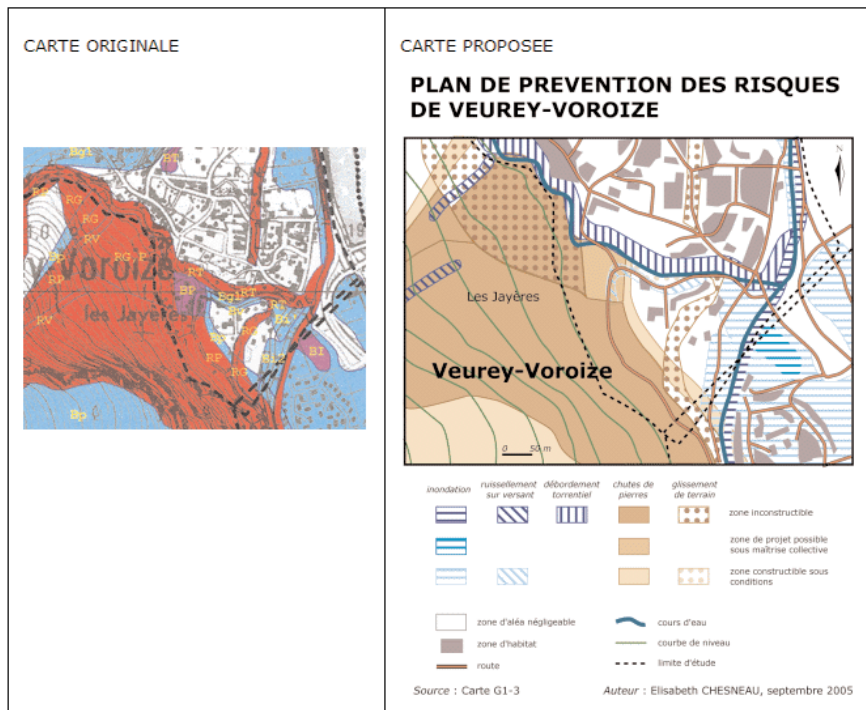


Figure 1 : Extrait d'un PPR multirisques avec sa légende simplifiée à Veurey-Voroize en Isère à gauche, et nouvelle solution graphique à droite

Sur la carte de gauche de la figure 1, le fond de carte trop dense et la nomenclature réduisent fortement la lisibilité de la carte. De plus, les choix colorés ne traduisent pas correctement la relation d'ordre entre les quatre types de zones (zone inconstructible, zone de projet possible sous maîtrise collective, zone constructible sous conditions, zone d'aléa négligeable). Nous pensons qu'une meilleure symbolisation des informations devrait améliorer leur lisibilité. Une solution pour y parvenir serait de créer une meilleure organisation hiérarchique des données pour guider la lecture de la carte en partant de ce qui est important et en allant vers ce qui l'est moins. C'est ce que nous proposons sur la carte de droite de la figure 1 : tout d'abord, nous généralisons le fond de carte en utilisant des gris colorés pour le rendre plus lisible. Ensuite, nous enlevons la nomenclature. Nous distinguons les risques liés à l'eau (bleu) des risques liés à la terre (marron) et nous identifions par des textures différentes chacune des catégories de risque, dont les niveaux sont représentés par des teintes d'autant plus foncées que le niveau de risque est élevé. Il apparaît ainsi qu'une carte qui suit une organisation hiérarchique devient plus lisible. L'hétérogénéité des éléments facilite leur discrimination et leur classement visuel. Le contraste est une composante nécessaire pour visualiser toute hétérogénéité, notamment le contraste par la couleur, variable visuelle majeure du langage cartographique.

Suite à ces constats, nous proposons de créer un modèle qui analyse de lui-même les contrastes colorés d'une carte et qui améliore les plus mauvais. L'objectif est d'aider un professionnel à créer des cartes lisibles qui lui serviront efficacement dans son travail. Deux espaces d'analyse des contrastes sont a priori possibles : la légende de la carte ou la carte en elle-même. En figure 2, 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.

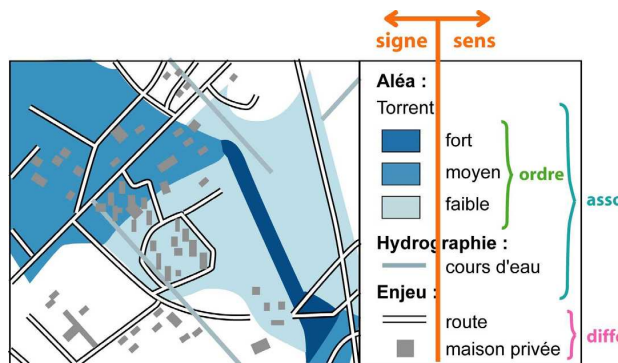
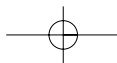


Figure 2 : Deux espaces d'analyse possibles



Étant donné la perception visuelle des couleurs différente 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 3 expose sommairement les éléments constitutifs de notre modèle : un processus automatique analyse et améliore les contrastes de couleur dans une carte (2) grâce à un schéma des données et à des connaissances sur les couleurs et leurs contrastes (1). Ce processus permet de concevoir une légende finale qui crée une carte plus lisible (3).

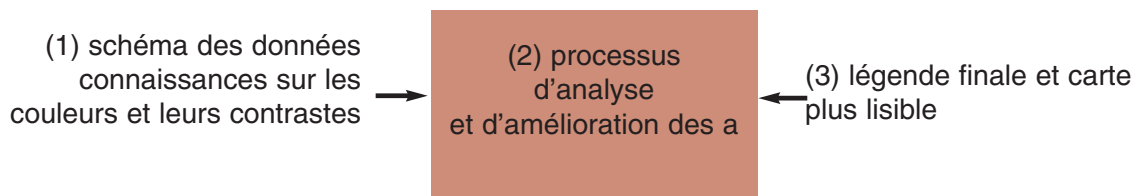


Figure 3 : Composantes de notre modèle

La suite de l'article se déroule ainsi :

- La deuxième partie décrit le processus d'analyse et d'amélioration des contrastes ;
- La troisième présente les éléments à intégrer pour le fonctionnement de notre modèle ;
- La quatrième propose un scénario à travers le prototype ARiCo (Amélioration automatique des cartes de Risque par le Contraste coloré) que nous avons développé ;
- La cinquième donne quelques perspectives d'évolution de notre modèle.

2 PROCESSUS D'ANALYSE ET D'AMÉLIORATION DES CONTRASTES

La dynamique de notre modèle repose sur le principe de la convergence, action qui consiste à exécuter différentes tâches pour tendre vers une solution satisfaisante. Pour réaliser la convergence, nous choisissons 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 » (A. Ruas, 1999, p.201), 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 (fig. 4). D'autres méthodes de convergence plus sophistiquées (comme le recuit simulé) seraient envisageables, mais nous avons choisi en premier lieu de tester une méthode simple.

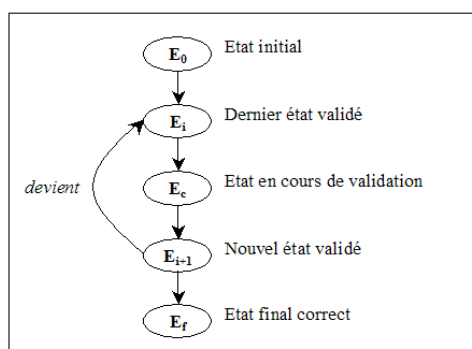
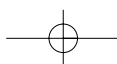
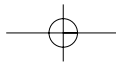


Figure 4 : Différents états dans la convergence

Pour passer d'un état valide à un état validé suivant, différentes étapes sont réalisées :

- Identification du problème (qui changer ?) : quels sont les signes cartographiques les plus mal contrastés dans la carte ?
- Propositions de solutions (comment changer ?) : quelles nouvelles couleurs proposer pour améliorer les contrastes entre les signes cartographiques à problème et leur voisinage ?
- Validation de la solution choisie (carte améliorée ?) : la ou les nouvelles couleurs choisies améliorent-elles le rendu final de la carte ? Si oui, on passe à l'étape suivante, sinon on revient à l'étape précédente pour essayer une autre solution.
- Arrêt de la convergence (arrêter ?) : peut-on considérer l'état validé comme étant l'état final ?





2.1 Qui changer ?

Le but de cette première étape est de trouver les signes cartographiques les plus mal contrastés dans la carte. Tout d'abord, l'analyse s'effectue autour de chaque signe cartographique dans la carte : c'est le niveau local d'analyse. On récupère les voisins d'un signe donné dans la carte. Avec chaque voisin, on calcule leur contraste (quel est le contraste entre un signe donné et son voisin ?). Puis, en fonction de la relation sémantique (différence, association ou ordre) qui lie les deux signes, une interprétation qualitative est effectuée (ce contraste traduit-il correctement la relation sémantique qui existe entre les deux signes ?). Les qualités de contraste sont alors agrégées au niveau du signe avec l'ensemble de ses voisins (le contraste du signe avec son voisinage est-il satisfaisant ?).

Ensuite, l'analyse passe à un niveau intermédiaire qui est le thème des signes cartographiques. Un thème se compose de signes qui ont la même représentation cartographique et le même sens. Les qualités de contraste des signes de même thème sont agrégées pour savoir si le contraste d'un thème dans une carte est bon ou mauvais ?

Enfin, l'information sur les contrastes atteint un niveau global : l'ensemble de la carte. La satisfaction que donnent les contrastes est calculée selon les qualités de contraste des thèmes pour répondre à la question : le contraste est-il bon dans la carte ? Une fois ces analyses réalisées, la carte est capable de détecter, parmi l'ensemble des thèmes de la carte, celui qui a le plus gros problème de contraste.

2.2 Comment changer ?

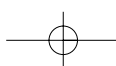
Le but de cette deuxième étape est de trouver des couleurs plus appropriées pour le thème dont il faut changer la couleur. Chaque voisin des signes du thème à problème dans la carte propose de nouvelles couleurs ; celles-ci doivent permettre de traduire correctement la relation sémantique qui les lie. Une liste de propositions est alors créée et notre modèle sélectionne une solution.

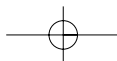
2.3 Carte améliorée ?

L'évaluation du nouvel état nécessite une nouvelle analyse des contrastes aux niveaux local, intermédiaire et global. Suite à cette nouvelle analyse, la nouvelle satisfaction donnée par la carte est comparée à la précédente. Si la valeur est meilleure, l'état est validé et E_c devient E_{c+1} . Les signes cartographiques du thème à problème sont alors représentés par les nouvelles couleurs. Si la valeur est moins bonne, l'état n'est pas validé. Dans ce cas, notre modèle récupère une autre solution et la teste. Au cas où toutes les solutions seraient rejetées, un nouveau cycle est réalisé.

2.4 Arrêter ?

À l'état E_i , si la satisfaction donnée par la carte est suffisamment bonne ou si les améliorations des derniers cycles sont minimales, la convergence est arrêtée. Sinon, un nouveau cycle est engagé. La figure 5 schématise le processus d'analyse et d'amélioration des contrastes de couleur dans une carte au cours d'un cycle de convergence.





3 ELÉMENTS À INTÉGRER DANS NOTRE MODÈLE

L'analyse des contrastes à différents niveaux et leur amélioration dans la carte peut être réalisée grâce à une organisation particulière des données et à une modélisation de connaissances sur les couleurs et leurs contrastes. Le 3.1 de notre article introduit le schéma des données et le 3.2 décrit les connaissances modélisées.

3.1. Schéma des données

Dans un SIG classique, un objet géographique à symboliser sur une carte fait appel à des bibliothèques graphiques gérées en interne par le logiciel. Il est impossible de voir ou de manipuler les objets graphiques utilisés pour symboliser une carte. Or, nous avons besoin d'identifier ces objets pour analyser les contrastes de couleur. C'est pourquoi, nous créons un schéma des données où les objets sont répartis en trois grands groupes :

- un ensemble de classes d'objets géographiques : ce sont les informations liées au domaine d'études de l'utilisateur (fig. 6 gauche) ;
- un ensemble de classes d'objets de symbolisation qui correspondent aux éléments de légende (fig. 6 droite) ;
- un ensemble de classes d'objets cartographiques qui correspondent aux objets géographiques symbolisés (fig. 6 centre).

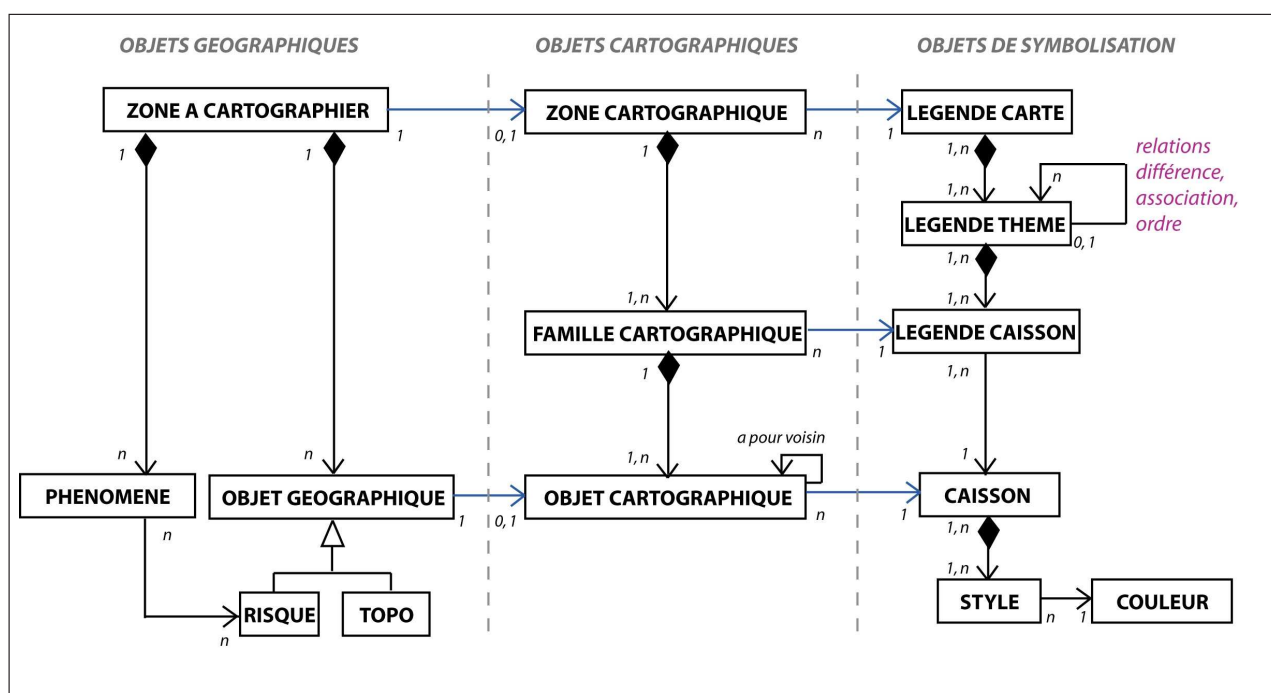


Figure 6 : Les trois grands groupes de classes

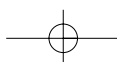
Objets géographiques

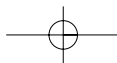
Ce sont les données de l'utilisateur non symbolisées. Dans un contexte de risque, une *Zone à cartographier*¹ est composée de *Phénomènes*, événements catastrophiques qui peuvent se produire dans la *Zone*, et d'objets géographiques. Ces derniers regroupent des objets *Risque*, c'est-à-dire des aléas (*Phénomènes* avec une fréquence et une intensité) ou des expositions (synthèse entre des aléas et des enjeux vulnérables) et des objets *Topographiques*, c'est-à-dire des enjeux (objets qui ont une valeur et qui peuvent être menacés par un *Phénomène*, ils sont alors vulnérables) ou des supports (objets qui 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. Il 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* qui regroupe un ensemble d'*Objets cartographiques* de même thème et la *Zone cartographique* qui se compose de l'ensemble des *Familles* de la carte.

1) Nous distinguons "classe" et "objet" d'une classe en mettant en majuscules et italiques le nom de la CLASSE et en minuscules et italique l'Objet.





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 par 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 *Légende carte*. Pour connaître les relations de différence, association ou ordre entre les lignes de légende, une nouvelle classe nommée *LÉGENDE THÈME* est créée entre *LÉGENDE CARTE* et *LÉGENDE CAISSON*. Les *Légendes thème* renseignent sur les groupements et relations entre les couples (*Caisson*, *Légende caisson*).

Le schéma des données qui vient d'être décrit permet une analyse simple des contrastes selon trois niveaux :

- Local : un Objet géographique est représenté par un Objet cartographique, lui-même symbolisé par un Caisson dont le sens est donné dans la *Légende caisson* qui lui est associée. C'est à ce niveau que nous calculons le contraste de chaque Objet en fonction de ses voisins.
- Global : la Zone à cartographier est représentée par une Zone cartographique associée à une *Légende carte*. C'est à ce niveau que les propositions d'amélioration des contrastes seront validées.
- Intermédiaire : c'est à ce niveau que la Zone cartographique choisit quelle Famille changer dans la carte et propose des nouvelles solutions.

3.2 Connaissances sur les couleurs et leurs contrastes

Outre le schéma des données, notre modèle a besoin de connaissances sur les couleurs et leurs contrastes pour réaliser la convergence. Il s'agit de couleurs de référence et d'une théorie sur les contrastes.

Couleurs de référence

La figure 7 présente les 163 couleurs de référence définies en fonction des travaux de J. Itten (J. Itten, 1967), C. Brewer (C. Brewer, 1994 et 2003) et J. Mersey (J. Mersey, 1990). Les couleurs saturées représentent les informations importantes dans une carte des risques (aléa, exposition) et les gris colorés sont utilisés pour le fond de carte (enjeu, support). En effet, le fond topographique en gris dans les cartes de risque posant souvent des problèmes de lisibilité, nous proposons de le rendre plus actif en le représentant avec des gris colorés. Pour cela, nous ajoutons une gamme de gris.

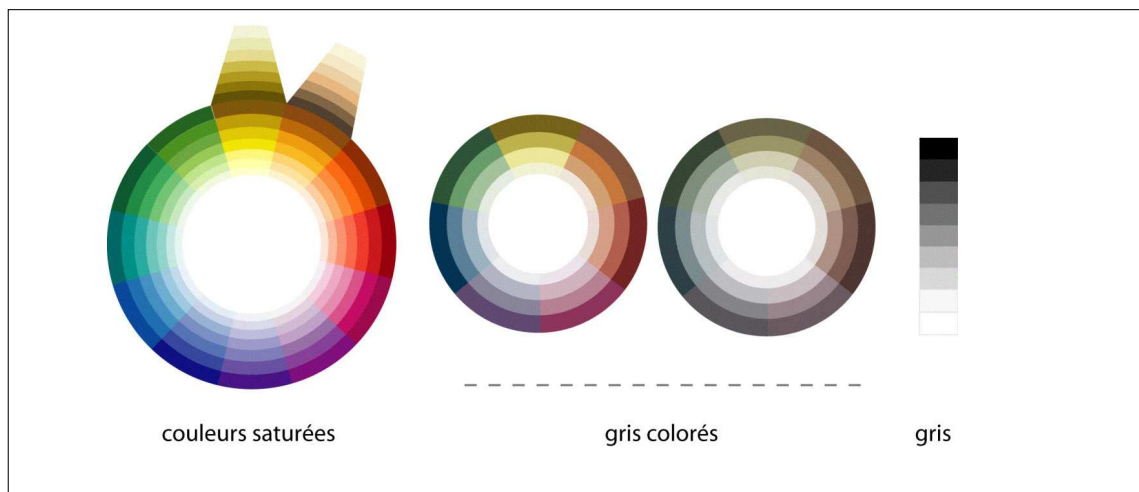
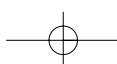


Figure 7 : Les couleurs de référence

Ces couleurs s'organisent selon les trois paramètres de la perception des couleurs inspirés du système Munsell (E. Chesneau, 2006, p.115-116) que la figure 8 expose. On peut ainsi déterminer la position de chaque couleur ainsi que leurs distances en teinte θ clarté Z et saturation φ les unes par rapport aux autres, ce qui sera utile lorsqu'on propose de nouvelles couleurs pour avoir une carte plus lisible



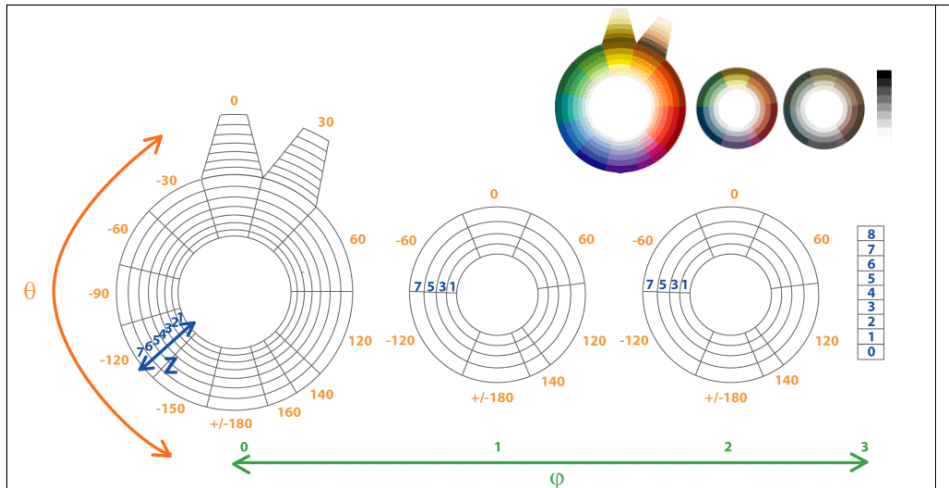
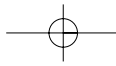


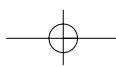
Figure 8 : Organisation des couleurs selon leur teinte θ , leur clarté Z et leur saturation ϕ

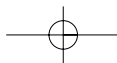
Théorie sur les contrastes

Le tableau 1 présente les contrastes colorés de J. Itten (1888-1967), peintre suisse appartenant à l'importante école du Bauhaus. Selon lui, « on parle de contraste quand, entre deux effets de couleurs à comparer, on peut établir des différences ou intervalles sensibles » (J. Itten, 1967, p.36). Ces contrastes vont servir de référence à notre modèle.

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 » (J. Itten, introduction).	
complémentaires	« Deux couleurs pigmentaires qui, mélangées, donnent du gris-noir neutre, nous les désignons sous le nom de couleurs complémentaires » (J. Itten, 1967, p.78).	
chaud-froid	« Sensation de température du domaine de l'impression optique des couleurs » (J. Itten, 1967, p.64). 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 » (J. Itten, 1967, p.46).	
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 » (J. Itten, 1967, p.96).	
quantité	« Rapports de grandeur de deux ou de plusieurs taches de couleurs. C'est l'opposition de beaucoup et peu ou grand et petit » (J. Itten, 1967, p.104).	
simultané	« Par contraste simultané, nous désignons le phénomène qui fait que notre oeil, 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 » (J. Itten, 1967, p.87).	

Tableau 1 : Contrastes de couleur de J. Itten





Les couleurs de référence et les contrastes colorés de J. Itten vont permettre de définir des règles pour évaluer, interpréter et améliorer les contrastes dans une carte, règles que nous explicitons dans le chapitre suivant où un scénario d'analyse et d'amélioration des contrastes dans une carte de risque est présenté.

4 SCÉNARIO AVEC ARiCo

Pour valider notre modèle, nous avons développé un prototype expérimental, construit sur le système d'information géographique Lamps2 de la société LaserScan : ARiCo (Amélioration automatique des cartes de Risque par le Contraste coloré) où seules l'analyse et l'amélioration des contrastes de teinte et de clarté sont à ce jour implémentées.

La figure 9 présente la carte initiale composée de bâtiments et de zones d'aléa torrentiel. L'utilisateur a choisi la couleur gris-jaune moyen clair pour symboliser les bâtiments et la teinte jaune-vert pour les aléas (clair pour l'aléa faible, moyen pour l'aléa moyen et foncé pour l'aléa fort).



Figure 9 : Zone test

4.1 Qui changer ?

L'analyse locale des contrastes s'effectue autour de chaque Objet cartographique de la carte avec chaque voisin. Notre modèle récupère les couleurs de référence (C_j, C_k) des deux Objets, puis va chercher leur valeur de contraste λ_i pour chaque contraste i dans un tableau préalablement défini. Si λ_i vaut 0, il n'y a pas de contraste entre les deux couleurs ; si λ_i vaut 5, le contraste est maximal (fig. 10). Ces valeurs ont été déterminées en fonction de calculs par hypothèses basés sur les codes Teinte, Luminosité, Saturation des couleurs et de tests effectués auprès de cartographes, de graphistes et de personnes sans rapport professionnel avec la couleur (E. Chesneau, 2006, chap. IV.2.1.2).

$$\lambda_i = \text{Contraste } i \in [1;7] \quad (C_j, C_k) j \in [1;163], k \in [1;163]$$

$$\lambda \in \mathbb{IN}, \lambda \in [0;5]$$

Figure 10 : Calcul des valeurs de contraste

Dans l'exemple de la figure 11, le contraste de teinte entre le bâtiment et l'aléa faible est peu important (0,5). En effet, les teintes jaune et jaune-vert sont très proches sur le cercle chromatique. Leur contraste de clarté est légèrement plus fort.

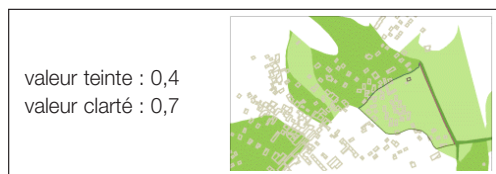
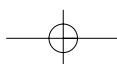
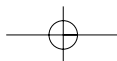


Figure 11 : Valeurs de contraste entre un bâtiment et un aléa faible

En fonction de la relation sémantique qui lie chaque couple d'Objets cartographiques voisins dans la carte, une interprétation qualitative de leur contraste est effectuée. Par exemple, si deux Objets sont liés par une relation d'ordre, leur contraste de teinte devra être faible et leur contraste de clarté dépendra de leur contraste de quantité : plus un Objet sera petit par rapport à l'autre Objet, plus il devra être foncé pour être vu en même temps. Ainsi, des valeurs idéales de contraste ont été définies entre chaque couple de couleurs de référence. Soient C_j, C_k deux couleurs parmi les 163. λ_i qualifie, de 0 à 5, le contraste idéal i à avoir en fonction de la relation sémantique qui lie les deux objets cartographiés dans la carte (fig. 12).





$$\begin{aligned} \lambda_i &= \text{Contraste idéal } i \in [1;7] \quad (C_j, C_k) \quad j \in [1;163], k \in [1;163] \\ \lambda_i &\in \mathbb{N}, \lambda_i \in [0;5] \end{aligned}$$

Figure 12 : Calcul des valeurs idéales de contraste

λ_i et λ_j étant connus pour deux objets O_1 , et O_2 , une qualité de contraste peut être calculée, simple différence en valeur absolue entre λ_i et λ_j soustraite à la valeur 5. Si qualité vaut 0, le contraste est mauvais ; si qualité vaut 5, le contraste est parfait (fig. 13).

$$\begin{aligned} \text{qualité}_i &= 5 - |\text{Contraste } \lambda_i - \lambda_j| \quad i \in [1;7] \quad (O_1, O_2) \\ \text{qualité} &\in \mathbb{N}, \text{qualité} \in [0;5] \end{aligned}$$

Figure 13 : Calcul des qualités de contraste

Dans l'exemple de la figure 14, ARICo juge la qualité du contraste de teinte entre un bâtiment et un aléa faible insuffisante (2,9). La qualité est légèrement meilleure pour le contraste de clarté.

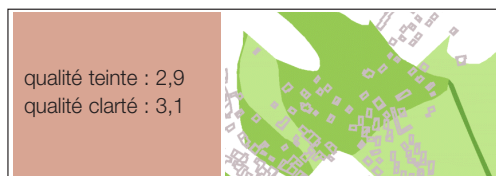


Figure 14 : Qualités de contraste entre un bâtiment et un aléa faible

Pour identifier des systématismes dans les mauvais contrastes, on réalise une analyse à un niveau plus élevé (niveau intermédiaire) qui est le thème des objets. La figure 15 montre les qualités de contraste des Familles 'bâtiment' et 'aléa faible'. Entre ces deux Familles, ce sont les bâtiments qui ont les moins bonnes qualités de contraste.

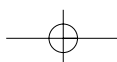


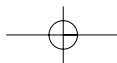
Figure 15 : Qualités de contraste des Familles 'bâtiment' et 'aléa faible'

La satisfaction donnée par la carte est calculée au niveau global. Elle est de 4 dans notre scénario sur une échelle de 0 à 5. Suite à ces analyses, la Zone cartographique sélectionne la Famille la plus mal contrastée de la carte ainsi que le type de contraste à changer. Ici, le contraste de teinte des bâtiments est à améliorer.

4.2 Comment changer ?

L'amélioration du contraste des Objets de la Famille à changer de couleur repose sur une recherche d'espaces de solutions sur les cercles chromatiques (fig. 8). Pour un Objet à changer de couleur, chaque voisin dans la carte récupère sa propre couleur et l'intervalle de valeurs idéales de contraste à avoir entre les deux objets pour traduire correctement leur relation sémantique. Le voisin propose alors une liste de solutions pour l'objet à changer de telle sorte que leurs distances colorées en θ , Z et φ soient satisfaisantes. Ensuite, chaque solution est mise en relation avec des conventions de couleur qui vont limiter les choix colorés à des couleurs évocatrices. Par exemple, la représentation de l'eau est restreinte à des couleurs contenant du bleu ou du vert.





La figure 16 montre les cercles chromatiques utilisés pour faire des nouvelles propositions pour les bâtiments : le cercle en magenta met en évidence la couleur des bâtiments (gris-jaune moyen clair). L'axe θ correspond à la direction de changement de la teinte gris-jaune des bâtiments. Les cercles blancs montrent les couleurs des voisins des bâtiments dans la carte (blanc pour le fond, jaune-vert clair pour l'aléa faible et jaune-vert moyen pour l'aléa moyen). Chaque thème voisin propose alors des solutions pour les bâtiments et c'est la teinte gris-pourpre (cercle bleu dans la figure 16) qui est choisie.

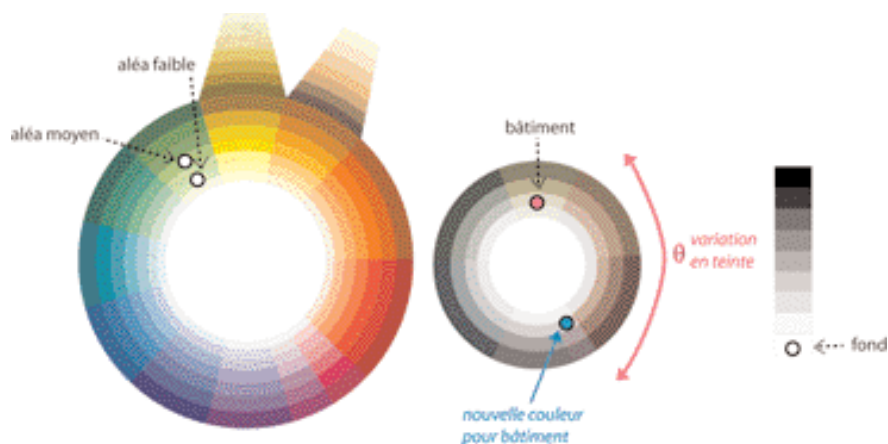


Figure 16 : Choix d'une nouvelle couleur pour les bâtiments

4.3 Carte améliorée ?

Une nouvelle analyse des contrastes est alors réalisée. La nouvelle satisfaction de la carte (4,4) étant meilleure que la précédente (4), l'état est validé et E_c devient E_i+1 . La figure 17 montre la nouvelle carte obtenue.

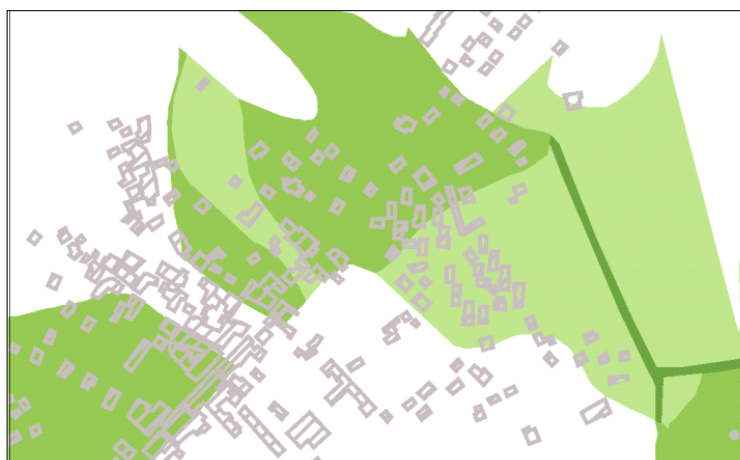


Figure 17 : Carte après un cycle d'analyse

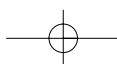
4.4 Arrêter ?

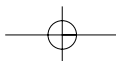
Si l'état de la carte est assez bon ou s'il stagne, la convergence s'arrête. Sinon, un nouveau cycle est engagé.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre projet était d'améliorer automatiquement la lisibilité des cartes, particulièrement de celles qui sont denses et exigent de l'efficacité comme les cartes de risque dont on mesure sans peine l'intérêt pour les populations et pour les acteurs de la gestion de l'aménagement du territoire. Voici les caractéristiques principales de notre modèle :

- Une organisation des éléments graphiques sous la forme d'Objets qui permettent de bien affiner l'appréhension des contrastes. Les objets de symbolisation ont un classement fin, qui est basé sur une hiérarchisation des informations. Celle-ci facilite l'analyse des légendes car les contrastes sont plus faciles à évaluer et à étudier selon les relations sémantiques qu'ils représentent dans une carte.





- Une méthode par étapes et par cycles qui part d'une analyse de détail (l'Objet) puis qui procède par agrégations successives.
- Une modélisation des connaissances pour alimenter notre modèle et lui permettre de réaliser l'analyse et l'amélioration des contrastes.

Notre modèle a été testé à travers un prototype créé pour les cartes de risque : ARiCo. Les premiers résultats des tests expérimentaux que nous avons pu réaliser sont satisfaisants. Désormais, différentes directions sont envisageables pour compléter et continuer cette recherche d'automatisation de l'amélioration de la lisibilité cartographique :

- Améliorer et valider notre modèle avec ARiCo en automatisant toutes les étapes de la convergence, en intégrant l'analyse et l'amélioration de tous les contrastes et en améliorant les connaissances sur les couleurs. Il serait aussi envisageable de tester d'autres méthodes de résolution du problème plus compliquées comme le recuit simulé : au lieu d'avoir une simple descente de gradient où chaque cycle est validé si et seulement si la satisfaction de la carte est meilleure que la précédente (fig. 18 gauche), nous autorisons une dégradation de la qualité de la carte à un moment donné pour avoir, après un certain nombre de cycles, une amélioration significative du rendu cartographique (fig. 18 droite).

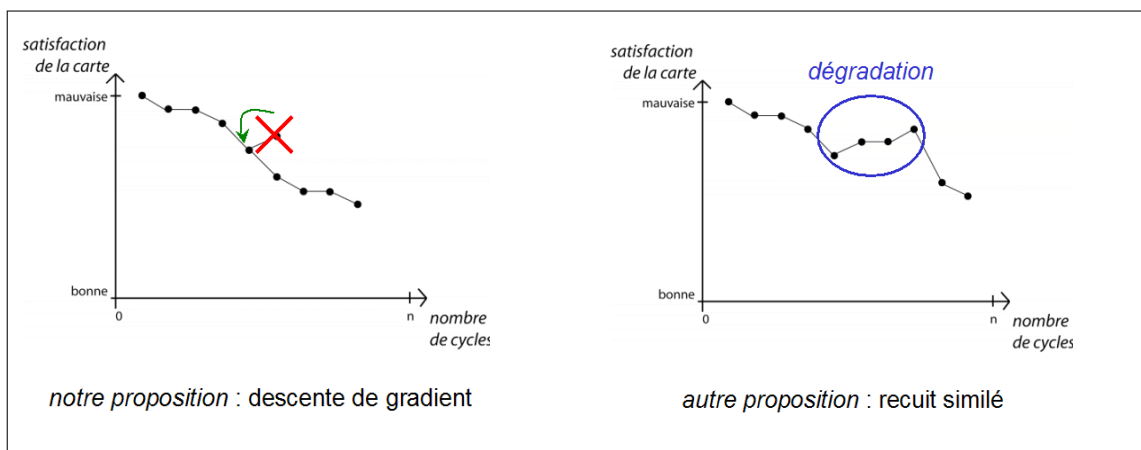


Figure 18 : Notre méthode et le recuit simulé

- Faire évoluer notre modèle en se situant dans un contexte de carte à la carte. 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 analyserait les contrastes colorés pour les améliorer. Cette approche est actuellement étudiée au laboratoire Cogit de l'IGN (fig. 19).

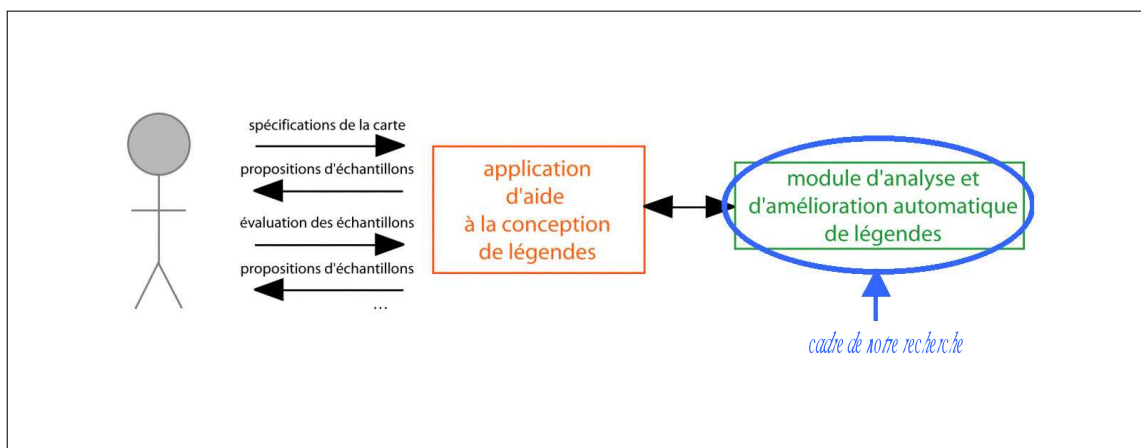
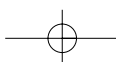
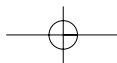


Figure 19 : Intégration de notre modèle dans un projet plus global





Bibliographie

Bertin J., 1967, *Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes*, 1ère édition en 1967, puis 1973, 1998, Paris, Éditions E.H.E.S.S., 431 p.

Brewer C., 1994, *Color Use Guidelines for Mapping and Visualization*, dans A. Mac-Eachren et D.Taylor, *Visualization in Modern Cartography*, chap.7, Tarytown, New-York, Elsevier Science, p.123-147.

Brewer C., Hatchard G. et Harrower M., 2003, "Color Brewer in Print: A Catalog of Color Schemes for Maps", *Cartography and Geographic Information Science*, 30 (1), p.5-32.

Chesneau E., 2004, « Propositions pour une cartographie du risque », *Bulletin du Comité français de cartographie*, n°181, septembre 2004, p.50-70.

Chesneau E., 2006, « Modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur en cartographie : application aux cartes de risque ». (Mémoire de thèse de doctorat en sciences de l'information géographique, IGN et Université de Marne-la-Vallée, mai 2006, 372 p.).

Institut des risques majeurs, 2002, visité en novembre 2002 :
<http://www.irma-grenoble.com/10veurey/04prevention/zonage/zonage2.htm>.

Itten J., 1967, *Art de la couleur*, traduction en français en 1967 et 2001, Ed. Dessain et Tolra, 155 p. (Edition originale en 1961 : *Kunst der Farbe*).

Mersey J., 1990, "Colour and Thematic Map Design : the Role of Colour Scheme and Map Complexity in Choropleth Map Communication", *Cartographica*, vol.27, n°3, *Monograph*, 41, automne 1990, 157 p.

Ruas A., 1999, « Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie ». (Mémoire de thèse de doctorat en sciences de l'information géographique, IGN et Université de Marne-la-Vallée, 323 p. et annexes).

