COMMENT LES UTILISATEURS RECONNAISSENT-ILS UN STYLE TOPOGRAPHIQUE ?

par Jérémie Ory, Sidonie Christophe, Bénédicte Bucher

Institut national de l'information géographique et forestière – Laboratoire COGIT
2 avenue Pasteur, 94165 Saint-Mandé, France
Université Paris-Est, 5 bd Descartes, Champs-sur-Marne, 77454 Marne-la-Vallée, France
}jeremie.ory ; sidonie.christophe ; benedicte.bucher}@ign.fr

et par Sara Fabrikant

Université de Zürich, Département de Géographie,
Winterthuresrstrasse 190, CH-8057 Zurich, Suisse
sara.fabrikant@geo.uzh.ch

Ce papier est une traduction de : Ory J. et al 2015, « How users recognize a topographic mapping style ? », The Cartographic Journal, vol. 52, n° 2 (Special Issue of International Cartographic Conference in Rio 2015)

La lecture d'une carte topographique exige que le lecteur reconnaisse et apprenne à décoder les symboles de la carte présents dans la légende. Ces deux fonctions cognitives – reconnaissance et apprentissage - sont indispensables pour interpréter correctement une abstraction cartographique. Dans cet article, nous présentons les résultats d'une expérimentation, qui vise à identifier et à évaluer les principales caractéristiques graphiques permettant aux utilisateurs (les lecteurs de cartes) de reconnaître visuellement une carte topographique de style IGN parmi d'autres cartes topographiques européennes. 91% des participants sont capables de reconnaître une carte topographique IGN parmi d'autres. À travers une approche sollicitant la perception visuelle et la mémorisation visuelle des participants, nous avons identifié les caractéristiques graphiques intervenant dans le processus de reconnaissance du style topographique IGN. La représentation du relief (ombrage et courbes de niveau) est considérée comme la caractéristique graphique majeure par les participants. Par ailleurs, les représentations des points d'intérêt touristique, de la toponymie, du réseau routier principal, des bâtiments individuels et des forêts sont également considérées comme essentielles pour reconnaître une carte topographique de style IGN.

Introduction

Une carte topographique est une abstraction du territoire, qui permet aux utilisateurs (les lecteurs de la carte) d'interpréter plus efficacement une information géographique que sur d'autres types de représentations plus réalistes, telles que les images satellites ou les vues aériennes. À titre d'exemple, la nature d'une route est plus facilement identifiable et reconnaissable sur une carte topographique que sur une vue aérienne. En ce sens, les cartes sont des supports de communication (Robinson, 1960), qui catégorisent et hiérarchisent différents types d'informations géographiques, véhiculant ainsi un message à leurs utilisateurs. Les agences de cartographie ont pour mission de décrire et représenter le territoire national, dont elles ont la responsabilité. D'un côté, elles fournissent une description topographique des territoires sous forme de bases de données géographiques, qui s'appuient sur des modèles conceptuels d'objets topographiques. D'un autre côté, elles représentent ces mêmes territoires sur des cartes topographiques qu'elles diffusent très largement.

La lecture d'une carte topographique exige que les utilisateurs reconnaissent et apprennent à décoder les symboles de la carte présents dans la légende. Ce processus de décodage permet aux utilisateurs de déchiffrer la nature des objets cartographiques, d'interpréter leurs relations graphiques et/ou spatiales, et de comprendre et reconnaître l'espace géographique représenté par la carte topographique. Par ailleurs, la lecture d'une carte implique plusieurs fonctions perceptives et cognitives chez l'utilisateur, telles que la perception visuelle, la mémorisation visuelle et la reconnaissance. Selon Wood (1993) et Kent (2005), la compréhension d'une carte n'est pas uniquement supportée par la légende, mais aussi par sa perception globale, c'est-à-dire la perception des formes et des arrangements exprimés par les distributions géographiques représentées par la carte (Brunet, 1987), donnant sens au langage cartographique utilisé par le producteur de cartes. Enfin, Kent et Vujakovic (2011) rapprochent les caractéristiques d'un langage cartographique de la notion de style cartographique. À

travers une analyse minutieuse des propriétés de vingt légendes topographiques européennes, les auteurs révèlent l'existence de différents styles topographiques européens.

Aujourd'hui, nous nous trouvons dans un contexte nouveau, où les produits cartographiques n'appartiennent plus forcément à une série cartographique 'bien connue', mais peuvent être le fruit d'une combinaison de produits cartographiques issus de divers producteurs (Hoarau et al., 2013). Ces nouveaux produits cartographiques font émerger de nouveaux paradigmes sur l'efficacité des cartes. Quels leviers pour aider les utilisateurs à décoder ces nouveaux principes de conception et d'abstraction cartographique ? Comment améliorer l'efficacité de ces nouveaux produits cartographiques ?

Selon Kent et Vujakovic (2009), la notion de style topographique est étroitement liée à l'identification de similitudes ou de différences visuelles par rapport à des principes de conception cartographique connus. On suppose que les utilisateurs observent et examinent l'apparence visuelle des cartes en mobilisant les connaissances qu'ils ont apprises au travers de leurs différentes expériences cartographiques. De cette manière, ils catégorisent et classent, consciemment ou non, les cartes par groupes. Une carte est classée soit à l'intérieur, soit à l'extérieur d'un groupe, selon sa proximité visuelle avec le groupe. Par ailleurs, si une bonne conception cartographique optimise la lecture de cartes, on peut également supposer que l'identification et la reconnaissance de similitudes visuelles par rapport à un groupe connu, donnent aux utilisateurs des clés facilitant la lecture de cartes. En effet, l'exécution de certaines tâches, telles que la sélection visuelle d'information, peut se trouver facilitée si l'utilisateur est déjà familié avec la lecture de carte visuellement proche.

Formaliser un style topographique en tant que 'famille' regroupant des principes de conception cartographiques reconnus par des utilisateurs permettrait d'améliorer grandement l'efficacité des cartes. Nous identifions certains cas d'application, où cette connaissance améliorerait la qualité des compositions cartographiques produites : ajouter de nouvelles informations à un fond topographique existant, mélanger des données hétérogènes provenant de producteurs différents, produire des cartes avec le même style sur des échelles continues, etc. Avec la volonté de rendre toujours plus efficace la lecture des cartes topographiques, notre objectif à long terme est de comprendre comment les utilisateurs apprennent un style topographique, i.e. mémorisent les principes de conception cartographique, et lisent une carte topographique en conséquence. Dans une première partie, nous mobilisons les connaissances permettant d'étudier la reconnaissance de principes de conception cartographique par les utilisateurs. Nous dressons également un état de l'art des recherches ayant tenté d'approcher ou de définir la notion de style cartographique. Enfin, nous proposons un cadre unificateur permettant de structurer ces connaissances. Dans la partie suivante, nous présentons le protocole d'un test utilisateur, qui vise à identifier les caractéristiques graphiques qui permettent de reconnaître le style topographique IGN. Dans une dernière partie, nous présentons et discutons des résultats obtenus avec la mise en place du test utilisateur.

Vers une définition du style topographique

Nous cherchons à définir la notion de style topographique en considérant conjointement les principes de conception cartographique constitutifs d'une carte topographique et les fonctions perceptives et cognitives engagées par les utilisateurs pour lire la carte. Pour aborder ce problème, nous dressons tout d'abord un état des lieux des recherches traitant du sujet, en cartographie et au sein de disciplines connexes. Nous proposons également un cadre unificateur pour synthétiser l'ensemble des connaissances acquises.

Recherches sur le style cartographique

Pour organiser et structurer les connaissances identifiées dans la littérature, nous nous appuyons sur les ingrédients proposés par l'Oxford English Dictionary pour définir un style. Les trois principaux ingrédients proposés sont : 1) une procédure particulière par laquelle quelque chose est fait ; une manière ou un moyen ; 2) une apparence distinctive, déterminée par les principes de conception avec lesquels quelque chose est produit ; et 3) l'élégance et la sophistication. Ces trois ingrédients nous semblent particulièrement pertinents pour attaquer la problématique énoncée dans la partie 1. Dans ce papier, une attention particulière sera accordée à l'ingrédient (2) détaillé ci-dessous – 'une apparence distinctive'.

L'ingrédient (1), 'une procédure de conception particulière', est directement lié aux processus de conception cartographique déployés, i.e. l'ensemble des choix techniques effectués par une agence de cartographie - la sélection de données, la généralisation cartographique, la construction de légende, etc. – pour concevoir ses cartes. Les processus cartographiques sont souvent utilisés au regard des caractéristiques spatiales de l'espace géographique à représenter et de la culture cartographique du producteur de cartes. En ce sens, les agences nationales de cartographie utilisent et appliquent différemment les variables visuelles recommandées par Bertin (1967), donnant lieu à des légendes aux propriétés visuelles différentes et à des cartes aux styles variés (Kent & Vujakovic 2009, Bucher et al. 2010). Une même information géographique voire un même espace géographique peuvent être ainsi représentés de manière différente (Ory et al. 2013).

Par ailleurs, certains auteurs proposent des méthodes visant à aider le cartographe à améliorer la qualité et l'efficacité des cartes. Certaines de ces méthodes considèrent l'intention du cartographe en tant que paramètre de conception cartographique. Par exemple, Bucher et al. (2007) proposent une méthode permettant d'améliorer la qualité des cartes en considérant les propriétés visuelles attendues dans le rendu cartographique final (carte lumineuse, réaliste, etc.) et certaines modalités de lecture recherchées par le cartographe (les thèmes cartographiques devant être perçus en première lecture). Le concepteur spécifie l'ensemble de ces critères au moment du paramétrage des processus de conception cartographique.

L'ingrédient (2), 'une apparence distinctive', est directement lié aux caractéristiques graphiques qui définissent l'apparence visuelle d'une carte. Plusieurs critères influencent l'apparence visuelle des cartes : des principes de conception cartographique particuliers (ingrédient 1), le contexte géographique représenté (zones urbaines, zones maritimes, zones de montagne, etc.) et un modèle utilisateur spécifique (les fonctions perceptives et cognitives engagées par l'utilisateur). La construction de légende combinée à la forme et à la distribution des objets cartographiques produisent des caractéristiques graphiques aux propriétés visuelles singulières : la couleur et la forme du réseau routier, la couleur et la texture de la végétation, la couleur et la forme du bâti, etc. Par ailleurs, la combinaison de ces caractéristiques graphiques produit des contrastes et des effets de saillance entre les objets cartographiques, donnant ainsi une hiérarchie visuelle et une apparence visuelle singulière à la carte. Le producteur utilise ces propriétés visuelles pour construire un message cartographique correspondant à son intention. Certains thèmes cartographiques sont ainsi plus facilement et plus rapidement identifiables que d'autres au sein du rendu cartographique final. La figure 1 illustre les quatre paramètres significatifs – contexte géographique, distribution spatiale, processus cartographiques et construction de légende – à l'origine des caractéristiques graphiques. Nous définissons une caractéristique graphique comme un objet cartographique ou une combinaison d'objets cartographiques, saillant et sautant aux yeux de l'utilisateur à cause de ses propriétés visuelles : couleur, forme, texture, distribution spatiale, etc.). Dans la mesure où une caractéristique graphique émerge de l'ensemble des signes graphiques contenus dans la carte, elle devient un stimulus visuel (Goldstein, 2010) qui déclenche des mécanismes de perception visuelle et de cognition, permettant aux utilisateurs d'interpréter le message cartographique délivré. Le Groupe μ (1992) explique que l'interprétation d'une image est fortement dépendante du média choisi pour transmettre l'information, mais aussi de la cible recevant l'information, i.e. les utilisateurs de la carte, leurs expériences et leurs motivations. À travers leurs différentes expériences cartographiques, les utilisateurs décodent et mémorisent de nombreux symboles cartographiques. Ils se constituent ainsi une base de connaissances, qui influence directement les fonctions perceptives et cognitives qu'ils engagent au moment de lire une carte. Il est par conséquent nécessaire de considérer les théories en perception visuelle et en cognition pour approcher et définir la notion de style en cartographie.

La théorie de la Gestalt fournit une base de connaissances qui contribue à expliquer la perception d'une scène visuelle par un utilisateur. Cette théorie est basée sur l'idée que nous organisons et structurons une scène visuelle, selon certains principes perceptifs, dits les Lois de la Forme. Ces dernières nous permettent de différencier certains éléments visuels, appelés *figures*, d'autres éléments visuels, formant le *fond*. Gibson (1977) étend la théorie de la Gestalt, en introduisant le concept d'*affordance*. Selon lui, une scène visuelle est constituée d'éléments, qui offrent la possibilité aux utilisateurs de réaliser une tâche définie. Par ailleurs, Ware (2008) note que certains éléments d'une scène visuelle sont plus facilement identifiables que d'autres, à cause de leur saillance, générée par des *détecteurs de bas-niveau* : formes, orientations, remplissages, etc.

Dans de précédents travaux, grâce à une approche de comparaison systématique, illustrée par la figure 2 (Ory et al. 2013), nous avons identifié des différences graphiques significatives (couleurs, forme, texture, etc.) entre les styles topographiques IGN et Swisstopo. Ces différences graphiques soulignent l'existence de caractéristiques graphiques saillantes, qui sont perçues au premier coup d'œil par les utilisateurs. Nous sommes persuadés que l'identification de ces caractéristiques graphiques permet aux utilisateurs de reconnaître les styles topographiques IGN et Swisstopo. Néanmoins, nous constatons que l'identification ou la reconnaissance de ces caractéristiques graphiques ne sont jamais explicitement formulées dans les spécifications cartographiques qui guident le paramétrage des processus cartographiques - l'ingrédient (1) –.

Il existe de nombreuses approches qui permettent d'évaluer l'apparence visuelle d'une carte. À titre d'exemple, Kent et Vujakovic (2009) comparent l'apparence visuelle de vingt cartes topographiques européennes au 1:50000, à travers une analyse systématique de leurs contenus cartographiques et des choix de construction de légendes. Ils ont réalisé une classification multicritères des symbologies utilisées pour représenter les différents thèmes cartographiques contenus dans les cartes, tels que le bâti, la végétation, l'hydrologie, etc. Les résultats de leur approche révèlent que des différences de style demeurent entre les cartes topographiques européennes. Ces différences sont notamment dues à une paramétrisation différente des

processus de généralisation et à des choix de construction de légende singuliers. À partir des résultats obtenus, les auteurs proposent des regroupements de cartes topographiques par style, tel que le 'Style Alpin', qui comprend les cartes topographiques IGN et Swisstopo. De son côté, pour définir plus largement la notion de style cartographique, Beconyte (2011) propose une approche permettant d'évaluer l'apparence visuelle de cartes de différents types en considérant certains critères : décoratif, expressif et original, etc. À partir de cette évaluation, elle propose de classer les cartes selon leur style cartographique : artistique, antique, laconique, expressive, etc. Enfin, Christophe (2012) propose trois approches différentes pour formaliser et modéliser un style topographique : la classification visuelle, l'étude des spécifications cartographiques, et le transfert de caractéristiques d'un style artistique vers des cartes topographiques. Elle souligne que pouvoir spécifier le style cartographique souhaité au cours du processus de conception de la carte améliorerait considérablement la qualité des cartes et dans le même temps la créativité des utilisateurs.

L'ingrédient (3), 'élégance et sophistication', est directement lié à la réponse émotionnelle et au ressenti des utilisateurs suscités par l'apparence visuelle d'une composition cartographique - ingrédient (2). Kent (2005) et Fabrikant et al. (2012) soulignent que l'apparence visuelle d'une carte, notamment à travers son esthétique, transmet une émotion aux utilisateurs. Jolivet (2009) et Bucher et al. (2010) montrent que l'application de différentes légendes topographiques européennes sur un même jeu de données cartographiques produit des cartes aux apparences visuelles différentes. L'évaluation de ces cartes par des experts révèle qu'elles suscitent des ressentis différents chez les utilisateurs : certaines sont jugées ternes alors que d'autres plutôt lumineuses ; certaines sont qualifiées de réalistes alors que d'autres plutôt artistiques.

Nous pensons que la réponse émotionnelle suscitée par une carte, peut être directement contrôlée par le producteur pendant le processus de conception cartographique. En effet, en considérant de manière imbriquée les ingrédients (1) et (2), le producteur peut directement contrôler l'apparition (ou non) de certaines caractéristiques graphiques, précisant et affinant ainsi le message qu'il souhaite délivrer aux utilisateurs. Au cours du processus d'abstraction, il peut par exemple choisir les couleurs de la légende (Chesneau 2007; Christophe 2011), ou spécifier le niveau de réalisme/abstraction (Hoarau et al. 2013), ou bien encore choisir le degré de stylisation artistique (Christophe & Hoarau 2012; Christophe et al. 2015).

Proposition d'un modèle unificateur

Nous proposons un modèle unificateur qui synthétise les connaissances extraites de recherches en cartographie et au sein de disciplines connexes. Ce modèle, illustré par la figure 3, représente les différents ingrédients permettant d'étudier et d'approcher la notion de style topographique : les principes de conception cartographique déployés par le producteur et les fonctions perceptives et cognitives engagées par les utilisateurs

Ce modèle souligne que les processus de conception et d'abstraction utilisés pour construire une carte topographique sont des paramètres essentiels dans la formalisation du style. Nous remarquons que l'évolution de certaines techniques de conception cartographique, telles que le passage d'une production d'impression classique à des méthodes conduites par des bases de données numériques, ont eu un impact sur l'apparence visuelle des cartes topographiques. Cependant leurs identités graphiques ne s'en trouvent que très peu modifiées, comme l'illustre la figure 4, qui matérialise un changement d'apparence visuelle entre deux cartes IGN au 1:25000 à travers le temps.

Pour diffuser un message cartographique de qualité aux utilisateurs, les producteurs de cartes topographiques ont développé des pratiques cartographiques cohérentes à travers le temps. Elles s'appuient sur des spécifications générales et techniques (Ruas, 2006), qui déterminent et guident les principes de conception cartographique à employer. Nous pensons que l'application de ces spécifications produit des cartes qu'il est possible de regrouper en tant que familles de légende. À titre d'exemple, certains principes de conception semblent constants dans le temps, tels que l'utilisation de la couleur pour représenter les thèmes cartographiques : la couleur noire pour représenter les infrastructures humaines (les bâtiments, les chemins de fer, etc.), le vert pour représenter la végétation (les zones boisées, les vergers, et les vignobles), le orange et le blanc pour représenter les différentes catégories du réseau routier, le bleu pour représenter les surfaces hydrographiques, et le blanc comme couleur de fond. Ainsi, certaines constances graphiques dans l'apparence visuelle d'une carte peuvent être identifiées à travers le temps.

Nous pensons que les utilisateurs, à travers leurs différentes expériences cartographiques, apprennent et mémorisent la manière avec laquelle un espace géographique est représenté. Par ailleurs, nous pensons qu'ils mémorisent certaines caractéristiques graphiques qu'ils considèrent représentatives d'une pratique cartographique et d'un espace géographique. Ces caractéristiques mémorisées sont utilisées comme pivot par les utilisateurs pour reconnaître les principes de conception cartographique utilisés par le producteur, i.e. reconnaître le style topographique de la carte. Pour aborder cette question, nous avons mis en place un test utilisateur permettant d'étudier la capacité des utilisateurs à reconnaître le style topographique IGN parmi d'autres styles topographiques, et d'identifier les critères et les caractéristiques graphiques permettant sa reconnaissance. Pour étudier le style topographique

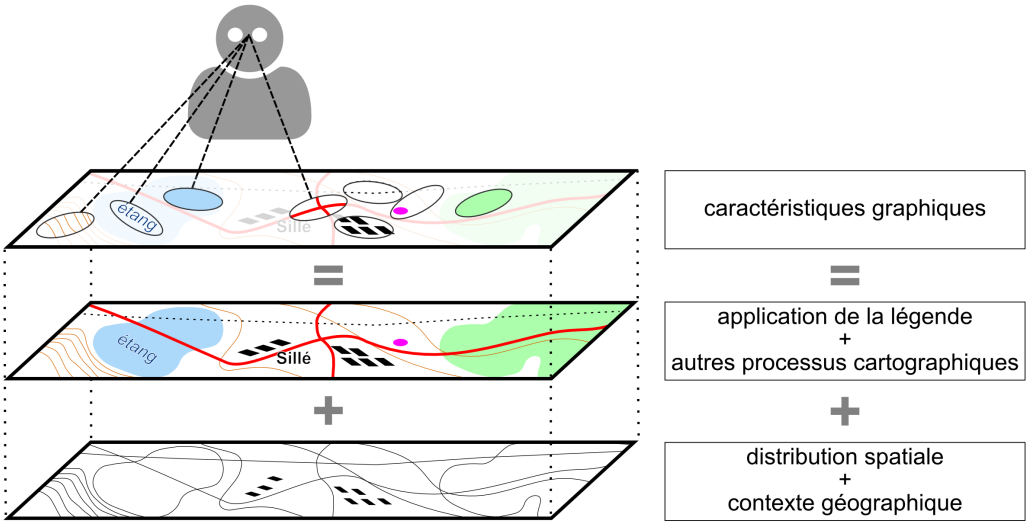

Figure 1 : Conception (par une agence de cartographie) et perception (par les utilisateurs) des caractéristiques graphiques d'une carte topographique.

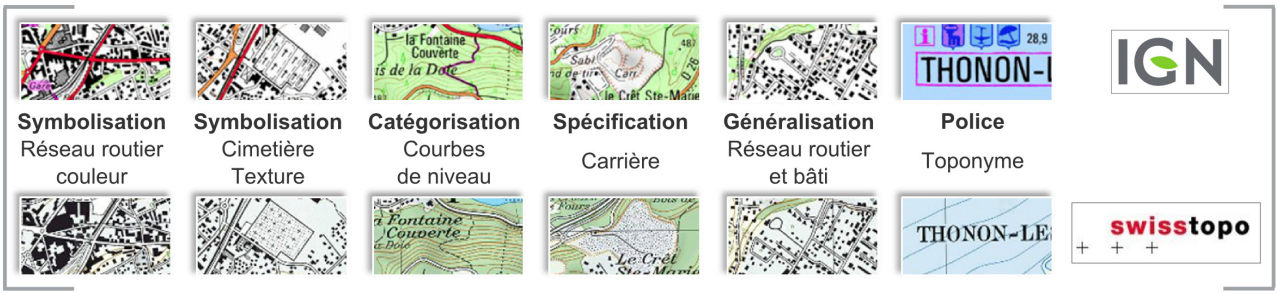

Figure 2 : Comparaison de caractéristiques graphiques entre deux cartes topographiques à même échelle : IGN et Swisstopo (Ory et al. 2013).

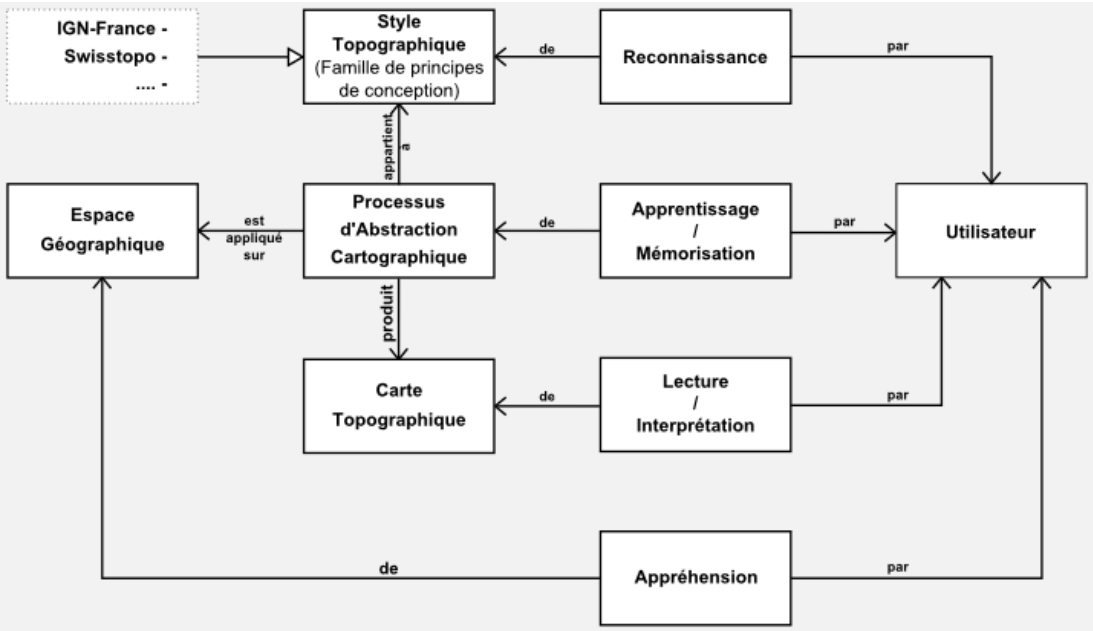

Figure 3 : Modèle unificateur associant les principes de conception d'une carte topographique et les fonctions perceptives et cognitives engagées par les utilisateurs.

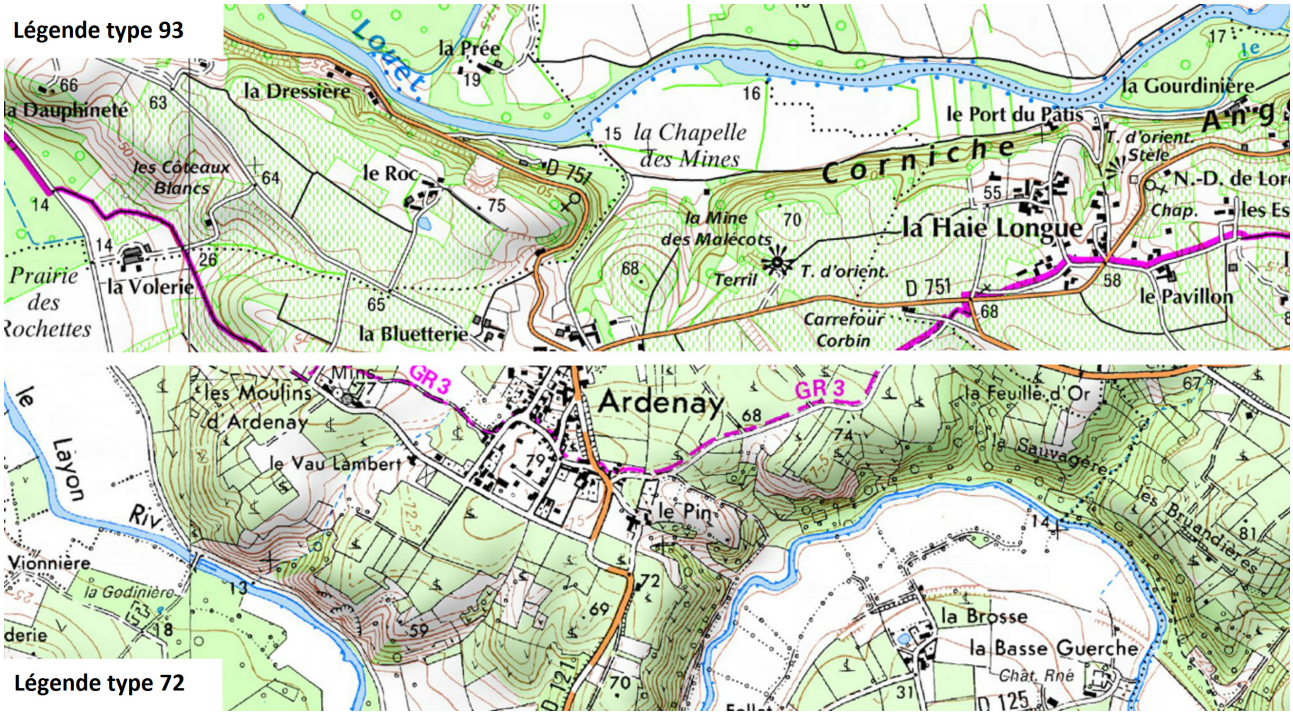

Figure 4 : Évolution de la légende IGN 1 :25000e à travers le temps : type 93 (extrait du haut) et type 72 (extrait du bas). (IGN® copyright)

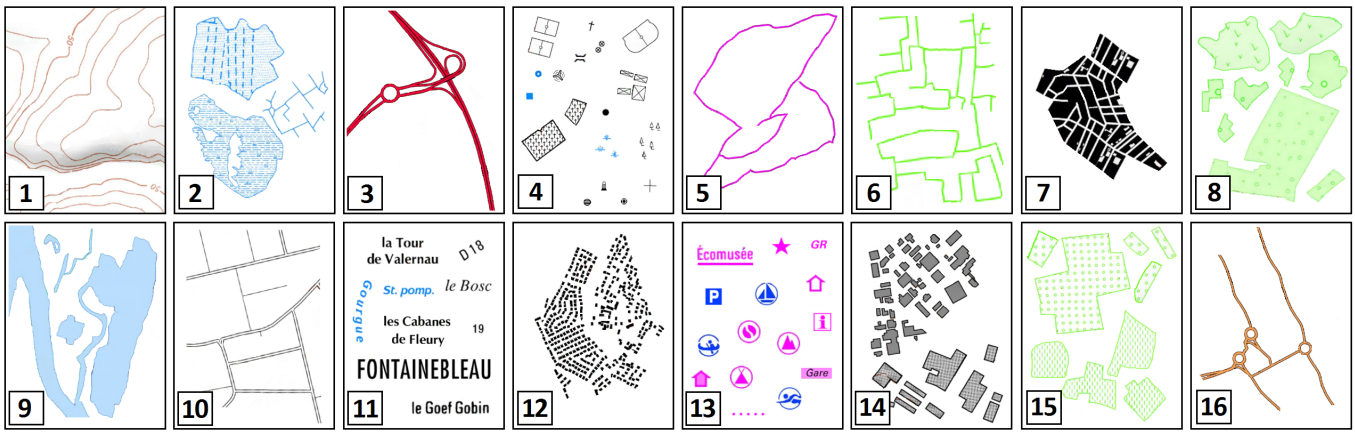

Figure 5 : Caractéristiques graphiques extraites de cartes topographiques IGN au 1:25000e (IGN® copyright) Dans l'expérimentation, ces caractéristiques graphiques sont montrées aux participants en tant que stimuli visuels permettant de caractériser le style topographique IGN.

IGN, nous avons choisi la carte topographique IGN au 1:25000, qui est très largement utilisée en France, et par conséquent bien connue des utilisateurs français.

Expérimentation : évaluer les caractéristiques graphiques du style topographique IGN

Cette partie décrit l'expérimentation mise en place, qui vise à étudier la notion de style topographique introduit dans la partie précédente. L'objectif principal de cette expérimentation est de comprendre comment les utilisateurs apprennent certains des principes de conception cartographique utilisés par les agences de cartographie et reconnaissent en conséquence le style topographique des cartes produites.

Nous nous concentrons ici sur l'étude d'un style en particulier : le style topographique IGN. Pour notre étude, nous avons cherché à impliquer des utilisateurs de nationalité française a priori familiers avec le style topographique IGN, i.e. des utilisateurs qui utilisent et travaillent régulièrement avec des cartes IGN : des cartographes, des chercheurs en géographie et cartographie, des professionnels de la cartographie, etc. L'expérimentation vise à tester les hypothèses suivantes :

- (H1) Les utilisateurs sont capables de reconnaître une carte topographique de style IGN parmi d'autres cartes topographiques et de déterminer si les symboles cartographiques présents dans la carte appartiennent ou non au style IGN.

- (H2) Certaines propriétés cartographiques jouent un rôle important dans la reconnaissance d'un style topographique par les utilisateurs.

- (H3) Les représentations graphiques de certains thèmes cartographiques sont plus efficaces que d'autres pour reconnaître un style topographique.

- (H4) Le mécanisme de reconnaissance d'un style topographique est basé sur (1) la perception de caractéristiques graphiques saillantes, qui sont considérées comme représentatives (2) et ensuite mémorisées par les utilisateurs.

Matériels

Premièrement, un expert français spécialiste de l'utilisation et de la conception de cartes topographiques, a sélectionné plusieurs cartes topographiques, produites par des agences de cartographie différentes et représentant des espaces géographiques différents. Cette sélection comprend sept cartes topographiques produites par l'IGN (France), deux par Swisstopo (Suisse), une par l'Ordnance Survey (Royaume-Uni), une par l'Institut Cartographique de Catalogne (ICC - Espagne), une par l'Administration du Cadastre et de la Topographie (ACT - Luxembourg), et une par Land Information of New-Zealand (LINZ – Nouvelle-Zélande). Ces cartes topographiques sont représentées au 1:25000 ou à une échelle proche. Afin d'étudier la notion de style topographique, les questions contenues dans l'expérimentation ont été construites de manière à obliger les participants à se focaliser sur l'apparence visuelle des cartes topographiques qui leurs sont présentées. Par ailleurs, afin de réduire l'influence de la langue exprimée par la toponymie dans la reconnaissance d'un style, les cartes topographiques de Swisstopo et de l'ICC représentent des territoires français, et la carte topographique IGN au 1:50000e représente un territoire italien.

Deuxièmement, le même expert a extrait des caractéristiques graphiques de plusieurs cartes topographiques numériques IGN au 1:25000. Il considère ces caractéristiques graphiques comme représentatives de l'apparence visuelle et du contenu cartographique d'une carte topographique IGN de manière générale. La figure 5 expose ces caractéristiques graphiques sur un fond blanc, identique à celui présent dans une carte topographique IGN au 1:25000. Elles illustrent les choix cartographiques réalisés par le producteur, tels que les choix de construction de légende et le niveau de généralisation cartographique. Certaines de ces caractéristiques mettent en avant des structures spatiales de l'espace géographique représenté, telles que les caractéristiques graphiques 3 et 12 de la figure 5. Les thèmes géographiques représentés par ces caractéristiques graphiques sont les suivants :

- **le relief** (l'ombrage et les courbes de niveau) représenté par la caractéristique graphique 1 ;

- **le réseau routier** représenté par les caractéristiques graphiques 3 (le réseau routier principal), 16 (le réseau routier secondaire), et 10 (le réseau routier local) ;

- **le bâti** représenté par les caractéristiques graphiques 7 (le centre urbain dense), 12 (les bâtiments individuels) et 14 (les bâtiments industriels) ;

- **l'occupation du sol** représentée par les caractéristiques graphiques 6 (les haies), 8 (les forêts) et 15 (les vergers) ;

- **l'hydrographie** représentée par les caractéristiques graphiques 2 (les canaux et marais) et 9 (les surfaces hydrographiques) ;

Protocole

L'expérimentation contient huit groupes de questions. Dans ce papier, nous nous concentrons uniquement sur deux groupes de questions. Le protocole complet est décrit dans (Ory et al., 2014).

Dans le premier groupe de questions, nous cherchons (1) à déterminer si les participants sont capables de reconnaître une carte topographique de style IGN parmi d'autres cartes topographiques aux styles variés, et (2) identifier les critères ayant permis cette reconnaissance (symbolisation, généralisation, contexte géographique, etc.). En ce sens, à la question 1.1, nous avons présenté six cartes topographiques représentant des espaces géographiques différents et fabriquées par divers producteurs : deux cartes produites par l'IGN, une au 1:25000 et une au 1:50000, quatre cartes produites par l'ICC, Swisstopo, ACT et LINZ, à des échelles proches du 1:25000. Puis, nous avons demandé aux participants d'identifier la ou les carte(s) produite(s) par l'IGN. L'objectif de cette question est de valider l'hypothèse H1, i.e. évaluer si les utilisateurs sont capables de reconnaître une carte IGN parmi d'autres et de déterminer si les symboles cartographiques appartiennent (ou non) au style topographique IGN.

Déterminants dans la reconnaissance d'un style topographique :

- **le contenu géographique** (les thèmes cartographiques représentés par la carte) ;
- **la symbolisation** des objets cartographiques ;
- **le niveau de généralisation** des données ;
- **la toponymie** ;
- **l'espace géographique** représenté par la carte.

Nous avons demandé aux participants d'évaluer l'importance de chacun de ces critères pour reconnaître le style topographique IGN parmi d'autres, selon trois valeurs : très important – assez important – pas important. L'objectif de cette question est de valider l'hypothèse H2, i.e. que certaines propriétés cartographiques jouent un rôle important dans la reconnaissance d'un style topographique. Pour compléter cette évaluation, à la question 1.3, nous avons demandé aux participants d'évaluer la représentation de six thèmes cartographiques différents, que nous supposons influents dans la reconnaissance du style topographique IGN par des utilisateurs :

- représentation du réseau routier ;
- représentation de l'hydrographie ;
- représentation de l'occupation du sol ;
- représentation des zones bâties ;
- représentation de la toponymie (typographie) ;
- représentation du relief.

Les participants ont évalué l'importance de chacune de ces représentations selon trois valeurs : très important – assez important – pas important. L'objectif de cette question est de valider l'hypothèse H3, i.e. que les représentations graphiques de certains thèmes cartographiques sont plus efficaces que d'autres pour reconnaître un style topographique.

Dans le second groupe de questions, les participants doivent sélectionner les caractéristiques graphiques, qui leur semblent être les plus représentatives du style topographique IGN. Ces caractéristiques graphiques sont illustrées par la figure 5. À la question 2.1, les participants doivent sélectionner les quatre caractéristiques graphiques les plus représentatives du style topographique IGN sans visualiser de carte, i.e. en faisant appel uniquement à leur mémoire et à leurs connaissances des cartes topographiques IGN. L'objectif de cette question est de tester l'hypothèse H4.2, i.e. que le mécanisme de reconnaissance d'un style topographique est basé sur la mémorisation de certaines caractéristiques cartographiques apprises au cours d'expériences cartographiques passées. Il est important de préciser que les caractéristiques graphiques sont sélectionnées par les participants sans ordre de préférence. À la question 2.2, les participants doivent sélectionner les quatre caractéristiques graphiques les plus représentatives du style topographique IGN en visualisant quatre cartes IGN. L'objectif de cette question est de tester l'hypothèse H4.1, i.e. qu'un utilisateur perçoit des caractéristiques graphiques saillantes, qu'il considère comme représentatives de la carte perçue.

Participants

L'objectif est de récolter des informations auprès de participants possédant un haut niveau de lecture, d'interprétation et de reconnaissance des cartes topographiques IGN. En ce sens, nous avons fait le choix d'interviewer majoritairement des experts en cartographie ou en géographie, et de nationalité française.

L'expérimentation a été diffusée une première fois pendant la 26e Conférence Internationale de Cartographie à Dresde, puis une seconde fois sur une mailing liste francophone de Géographie. Ces deux canaux de communication nous ont permis d'atteindre des participants avec le profil que nous recherchions :

- des **participants experts**, i.e. des participants qui possèdent a priori un certain niveau d'expertise dans l'utilisation et la lecture de cartes topographiques IGN, soit au travers de leurs activités professionnelles soit au travers de leurs loisirs ;
- de **participants de nationalité française**, i.e. des participants qui connaissent a priori les caractéristiques spatiales du territoire français.

1 https://sympa.unil.ch/wws/info/geotamtam

410 participants (43% femmes) ont participé à cette expérimentation. La moyenne d'âge des participants est de 35 ans (entre 18 et 85 ans). 72% des participants effectuent des recherches en cartographie ou dans une discipline connexe. 30% des participants considèrent avoir un niveau avancé ou être experts en cartographie. 24 nationalités différentes ont participé à l'expérimentation, dont 85% des français et 10% d'européens (hors France).

Résultats, analyse et discussion

Pour chaque groupe de questions, nous analysons statistiquement les réponses récoltées afin d'identifier les critères et les caractéristiques graphiques utilisées par les participants pour reconnaître une carte topographique de style IGN. Ensuite, nous appliquons les caractéristiques graphiques identifiées sur un jeu de données cartographiques, afin d'illustrer graphiquement les résultats obtenus. Nous obtenons deux représentations graphiques, qui permettent de comparer les caractéristiques graphiques les plus représentatives pour les participants à travers deux fonctions perceptives et cognitives : la perception visuelle et la mémorisation visuelle.

Critères favorisant la reconnaissance du style topographique IGN

À la question 1.1, 14% des participants ont sélectionné uniquement la carte IGN au 1:25000 et 0.5% des participants ont sélectionné uniquement la carte IGN au 1:50000. 30% des participants ont sélectionné la carte IGN au 1:25000 sélectionnant dans le même temps la carte Swisstopo (Suisse) et/ou la carte ICC (Catalogne), représentant des espaces français. La carte IGN au 1:25000 est présente dans 91% des réponses. Peu de participants (16%) ont uniquement spécifié les deux bonnes réponses, sélectionnant très souvent une carte topographique d'un autre producteur en même temps. Les résultats relèvent que la carte IGN au 1:25000 est mieux reconnue que la carte IGN au 1:50000. La carte IGN au 1:25000 est par conséquent plus représentative que la carte IGN au 1:50000 du style topographique IGN pour les participants. Par ailleurs, les cartes topographiques Swisstopo et ICC représentant des territoires français ont été considérées très souvent comme des cartes IGN par les participants. Ces résultats suggèrent que la langue exprimée par la toponymie et/ou le contexte géographique représenté sont des critères influençant la reconnaissance du style topographique IGN. Au regard de ces résultats, de nombreux critères interviennent a priori dans la reconnaissance du style topographique IGN : l'apparence visuelle de la carte, l'échelle de la carte, la langue exprimée par la toponymie, le contexte géographique représenté, etc.

À la question 1.2, 80% des participants considèrent la symbolisation des objets cartographiques comme le critère le plus important pour reconnaître une carte topographique de style IGN, devant le niveau de généralisation (47%) et la toponymie (33%). La symbolisation des objets cartographiques représentés est par conséquent le critère majeur pour reconnaître le style topographique IGN. Par ailleurs, le niveau de généralisation cartographique apparaît être un critère significatif dans la reconnaissance du style topographique IGN. Nous pensons que l'importance de la généralisation cartographique, manifestée par les participants, est fortement dépendante de leur niveau d'expertise. De plus, en reconnaissant la langue exprimée par la toponymie, à savoir la langue française, les participants ont sélectionné des cartes topographiques a priori de style IGN : les cartes topographiques de Swisstopo et de l'ICC.

À la question 1.3, 62% des participants considèrent la représentation du relief comme le critère le plus important pour reconnaître une carte topographique de style IGN, devant la représentation des zones bâties (48%) et la représentation du réseau routier (47%). Au regard de ces résultats, nous pensons que les représentations de ces trois thèmes cartographiques sont visuellement structurantes et permettent aux utilisateurs de reconnaître le style topographique IGN. Par conséquent, les représentations de ces trois thèmes cartographiques apparaissent être des critères de définition majeurs du style topographique IGN: représentation du relief + représentation des zones bâties + représentation du réseau routier. Il est également intéressant de noter que 40% des participants considèrent la typographie comme un critère important. Si nous interprétons ce résultat au regard des résultats de la question précédente, où la toponymie était considérée comme un critère important par 33% des participants, nous remarquons que la langue exprimée par la toponymie (1.2) semble être plus importante que la manière de la représenter (question 1.3).

Dans la suite de l'expérimentation, nous demandons aux participants d'effectuer une tâche d'identification visuelle. Nous souhaitons évaluer l'importance des différentes représentations d'objets cartographiques pour reconnaître une carte topographique de style IGN, à travers deux fonctions perceptives et cognitives : perception visuelle & mémorisation visuelle.

Les caractéristiques graphiques représentatives du style topographique IGN

La figure 6 illustre les caractéristiques graphiques sélectionnées par les participants à la question 2.1 sans visualiser de carte : tâche de mémorisation visuelle. La série statistique est ordonnée et classée en quatre groupes distincts[2].

2 Le nombre de classes a été déterminé avec la méthode de Sturges et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

Le premier groupe représente la caractéristique graphique ayant été la plus sélectionnée, c'est-à-dire celle considérée comme la plus représentative par les participants : la représentation du relief (1).

Le second groupe comprend deux caractéristiques graphiques, ayant été très sélectionnées, c'est-à-dire celles considérées comme hautement représentatives par les participants. Par ordre d'importance : les points d'intérêt touristique (13), la toponymie et la typographie (11).

Le troisième groupe comprend six caractéristiques graphiques, ayant été moyennement sélectionnées, c'est-à-dire celles considérées comme modérément représentatives par les participants. Par ordre d'importance : la forêt (8), les repères géographiques (4), les canaux et marais (2), les bâtiments individuels (12), le réseau routier principal (3), les vergers (15).

Le quatrième groupe comprend six caractéristiques graphiques, ayant été les moins sélectionnées, c'est-à-dire celles considérées comme peu représentatives par les participants. Par ordre d'importance : les bâtiments industriels (14), le réseau routier secondaire (16), les surfaces hydrographiques (9), les itinéraires touristiques (5), le centre urbain dense (7), le réseau routier local (10), les haies (6).

La figure 7 illustre les caractéristiques graphiques sélectionnées par les participants à la question 2.2 en visualisant quatre cartes topographiques IGN : tâche de perception visuelle. La série statistique est ordonnée et classée en quatre groupes distincts[3].

Le premier groupe représente les trois caractéristiques graphiques, ayant été les plus sélectionnées, c'est-à-dire celles considérées comme les plus représentatives pour les participants. Par ordre d'importance : la représentation du relief (1), le réseau routier principal (3), les points d'intérêt touristique (13).

Le second groupe comprend deux caractéristiques graphiques, ayant été très sélectionnées, c'est-à-dire celles considérées comme hautement représentatives par les participants. Par ordre d'importance : les bâtiments individuels (12), les forêts (8).

Le troisième groupe comprend deux caractéristiques graphiques, ayant été moyennement sélectionnées, c'est-à-dire celles considérées comme modérément représentatives par les participants. Par ordre d'importance : la toponymie et la typographie (11), les vergers (15).

Le quatrième groupe comprend neuf caractéristiques graphiques, ayant été les moins sélectionnées, c'est-à-dire celles considérées comme peu représentatives par les participants. Par ordre d'importance : les repères géographiques (4), les canaux et marais (2), les itinéraires touristiques (5), les bâtiments industriels (14), le centre urbain dense (7), le réseau routier secondaire (16), les surfaces hydrographiques (9), le réseau routier local (10), les haies (6).

Au sein des deux tâches cognitives demandées aux participants : mémorisation visuelle et perception visuelle, les représentations du relief (1) et des points d'intérêt touristique (13) sont considérées comme très représentatives d'une carte topographique de style IGN. De plus, la représentation du relief est considérée par les participants comme la caractéristique graphique majeure au sein des deux tâches cognitives. En ce sens, nous considérons que la représentation du relief est hautement représentative du style topographique IGN pour les participants. Par ailleurs, l'importance donnée à la représentation du réseau routier primaire et à la toponymie+typographie a varié lorsque les participants ont visualisé les quatre cartes topographiques de style IGN. Il semblerait que l'importance donnée à ces caractéristiques graphiques soit directement influencée par le contexte géographique représenté par les cartes. Nous notons la présence d'un réseau routier structurant dans plusieurs des cartes visualisées par les participants.

Visualisation des principaux résultats sur un jeu de données cartographiques IGN

Nous appliquons les caractéristiques graphiques les plus représentatives identifiées dans l'expérimentation sur un jeu de données cartographiques afin d'illustrer graphiquement les résultats obtenus. Nous tentons ainsi d'obtenir une représentation graphique du style topographique IGN, tel que les utilisateurs se le représentent. La figure 8 illustre ces représentations.

La carte de gauche de la figure 8 représente les trois caractéristiques graphiques les plus représentatives pour les participants sans visualiser de carte : tâche de mémorisation visuelle. Cette carte illustre donc les caractéristiques graphiques stockées en mémoire par les participants : la représentation du relief (1), les points d'intérêt touristique (13) et la toponymie (11). Nous considérons ces représentations graphiques comme une base de connaissances importante, sur laquelle les utilisateurs s'appuient pour reconnaître une carte topographique de style IGN. En effet, nous pensons que ces caractéristiques graphiques mémorisées servent de pivot de reconnaissance aux utilisateurs pour identifier le style de la carte qu'ils visualisent. En ce sens,

3 Le nombre de classes a été déterminé avec la méthode de Sturges et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

la carte de gauche de la figure 8 illustre les éléments cartographiques constituant la représentation mentale du style topographique IGN pour les utilisateurs.

La carte de droite de la figure 8 illustre l'application sur un jeu de données cartographiques des cinq caractéristiques graphiques les plus représentatives pour les participants en visualisant quatre cartes topographiques IGN : tâche de perception visuelle. Nous considérons les caractéristiques graphiques illustrées par cette carte comme visuellement saillantes pour les participants : la représentation du relief (1), le réseau routier principal (3), les points d'intérêt touristique (13), les bâtiments individuels (12) et la forêt (8). Ainsi, nous supposons qu'elles sont perçues en premier lieu par les utilisateurs et qu'elles facilitent l'interprétation du langage cartographique utilisé par le producteur de la carte. En se référant aux détecteurs de bas niveau proposés par Ware (2008), il est possible de décrire ces caractéristiques graphiques visuellement saillantes à travers deux principales propriétés : la couleur et la forme. Les couleurs utilisées par l'IGN pour symboliser certains objets cartographiques, telles que le magenta des points d'intérêt touristique ou le vert des zones de forêt. Il s'agit de couleurs vives, qui sont visuellement contrastées par rapport au fond blanc de la carte. La forme de certains objets cartographiques semble visuellement proéminente, soit à cause de la forme individuelle des objets cartographiques, soit à cause de la forme de la distribution d'ensemble. À titre d'exemple, les bâtiments peuvent être identifiés soit individuellement à travers leur forme, soit comme ensemble urbain à travers la forme de la distribution spatiale d'ensemble. Enfin, la combinaison de ces deux propriétés, couleur et forme, produit un effet visuel géo-structurant, comme l'illustre la représentation du réseau routier principal.

On observe qu'un filtrage est effectué par les utilisateurs de la carte de droite vers la carte de gauche de la figure 8. Certaines caractéristiques graphiques sont à la fois perçues et stockées en mémoire par les utilisateurs : la représentation du relief (1) et les points d'intérêt touristique (13). Elles sont par conséquent très représentatives du langage cartographique utilisé par l'IGN. Elles matérialisent la signature graphique du producteur, qui permet aux utilisateurs de reconnaître le style de la carte. Comme énoncé précédemment, nous supposons que les caractéristiques graphiques de la carte de droite de la figure 8 sont perçues en premier lieu et qu'elles sont ensuite comparées avec les caractéristiques graphiques mémorisées illustrées par la carte de gauche de la figure 8. À travers cette comparaison, les utilisateurs reconnaissent ou non le style topographique IGN. Enfin, nous remarquons que la langue exprimée par la toponymie permet aux utilisateurs d'identifier le producteur de la carte grâce à la reconnaissance de la langue.

Discussion

À travers leur expérience cartographique, les utilisateurs apprennent à décoder les principes de conception cartographique utilisés par les agences de cartographie. Cette connaissance leur permet d'interpréter plus facilement l'information cartographique contenue dans les cartes de manière générale. À partir de l'analyse des résultats obtenus dans l'expérimentation, nous avons identifié que certaines caractéristiques graphiques ont une meilleure perception et mémorisation compte tenu de leurs propriétés visuelles. Nous identifions ainsi quatre grands types d'informations portés par la carte :

- **La signature d'un style** correspondant aux caractéristiques graphiques qui sont conjointement les plus représentatives au sein des deux tâches cognitives demandées aux participants : la représentation du relief et des points d'intérêt touristique. Nous supposons que ces informations sont très représentatives du langage cartographique utilisé par le producteur et permettent aux utilisateurs de reconnaître le style de la carte

- **L'information visuelle saillante** correspondant aux caractéristiques graphiques qui sont visuellement saillantes, de par leurs couleurs et/ou leurs formes et/ou leur distribution spatiale : le réseau routier principal, les bâtiments individuels et les forêts. Nous supposons que ces informations facilitent l'interprétation du langage cartographique utilisé par le producteur, rendant plus efficace la lecture de la carte topographique visualisée.

- **L'information de localisation** correspondant à la toponymie et la manière avec laquelle elle est représentée. Nous supposons que cette information est sémantiquement saillante et permet aux utilisateurs de localiser rapidement l'espace géographique représenté par la carte. Par ailleurs, en reconnaissant la langue exprimée par la toponymie, les utilisateurs identifient a priori la nationalité du producteur de la carte.

- **L'information secondaire** correspondant au reste des caractéristiques graphiques contenues dans la carte et considérées comme peu représentatives ou non représentatives des principes de conception utilisés par le producteur de cartes. Nous supposons que cette information n'aide pas les utilisateurs à reconnaître le style de la carte.

La caractéristique graphique la plus représentative pour les utilisateurs est la représentation du relief. Il est intéressant de noter que l'interprétation de cette information exige des utilisateurs qu'ils possèdent déjà une expérience de lecture de cartes topographiques.

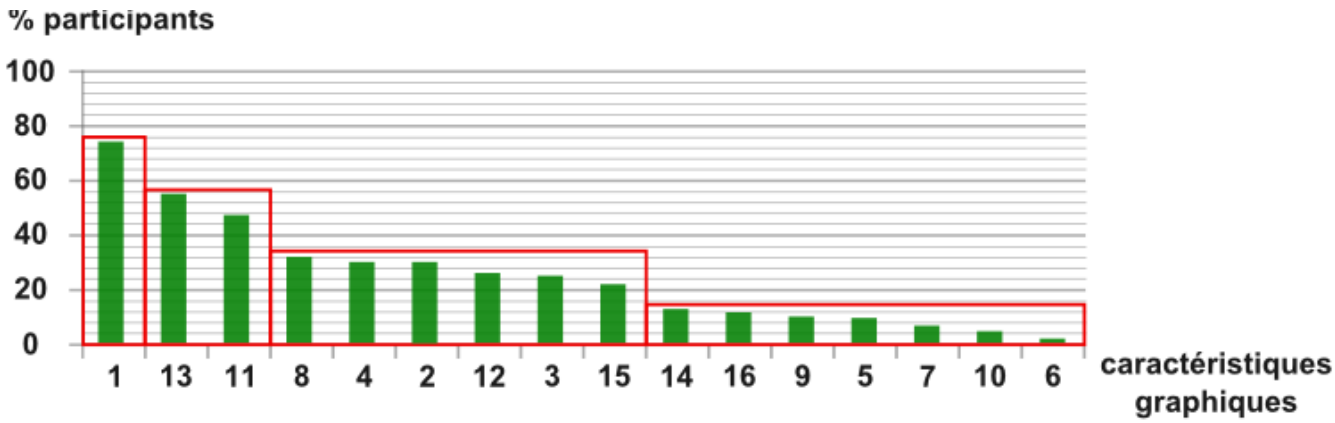

Figure 6 : Diagramme en bâtons, illustrant les caractéristiques graphiques sélectionnées par les participants sans visualiser de carte : mémorisation visuelle.

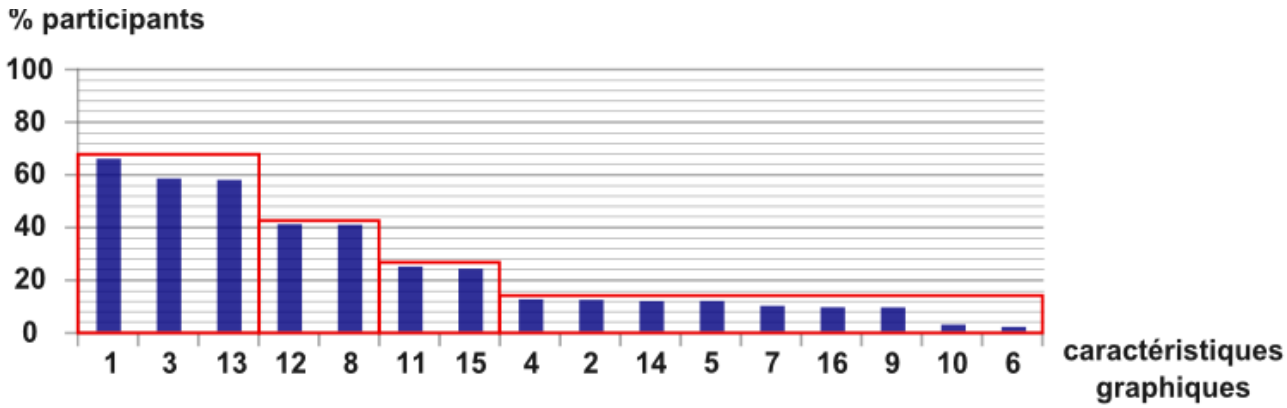

Figure 7 : Diagramme en bâtons, illustrant les caractéristiques graphiques sélectionnées par les participants en visualisant quatre cartes topographiques IGN : perception visuelle.

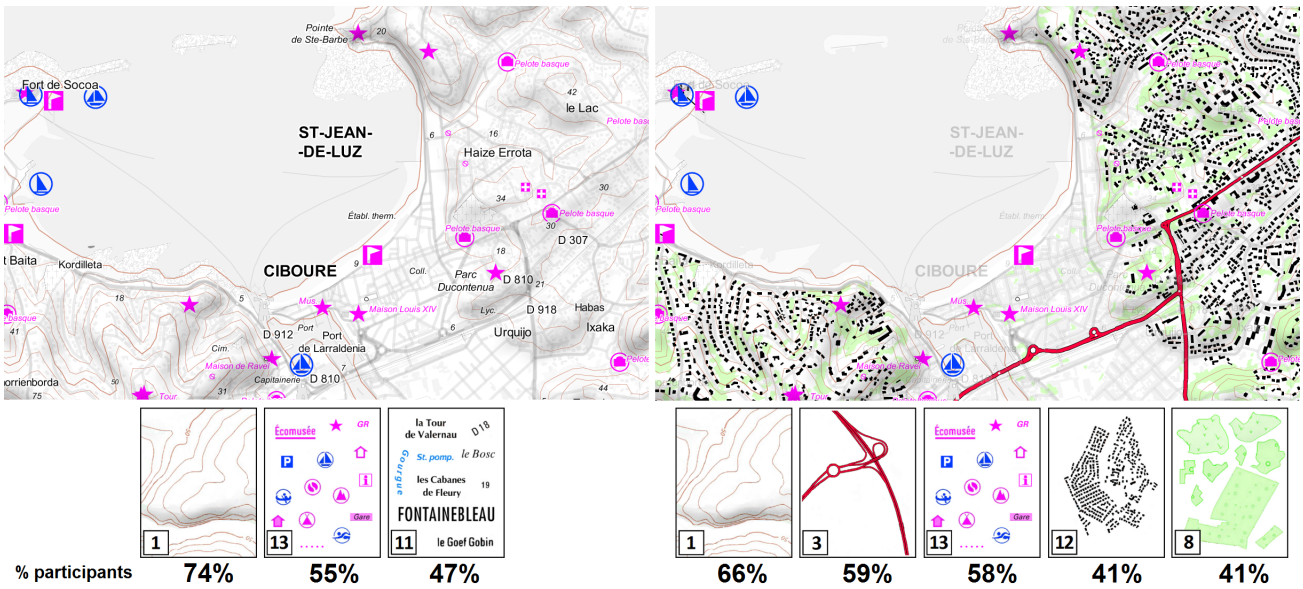

Figure 8 : Résultats graphiques obtenus par application des caractéristiques graphiques les plus représentatives identifiées dans l'expérimentation sur un jeu de données cartographiques IGN. (IGN® copyright)

À titre exemple, un encart spécial a été ajouté sur les nouvelles séries topographiques IGN pour permettre aux utilisateurs novices d'interpréter correctement les courbes de niveau. Au regard de ce résultat, il serait intéressant de reproduire l'expérimentation auprès d'utilisateurs non-experts et de comparer les résultats obtenus. Par ailleurs, la caractéristique graphique – représentation du relief – a été placée en première place au sein du jeu de caractéristiques graphiques présentées dans l'expérimentation. La visualisation de cette caractéristique est par conséquent favorisée, en comparaison des autres caractéristiques. Il serait donc intéressant de changer l'ordre d'exposition des caractéristiques afin de vérifier si les résultats obtenus seraient identiques. Enfin, nous devons également souligner que les résultats obtenus sont tributaires de l'extraction des caractéristiques graphiques. Même si la sélection des caractéristiques graphiques a été faite par un expert, elle apporte un biais à notre étude.

Par ailleurs, les deux caractéristiques graphiques - bâtiments individuels et réseau routier principal -, semblent être représentatives pour les participants, grâce à leur forme et à leur distribution spatiale, qui les rendent saillantes. La forme et la distribution spatiale de ces objets sont des critères importants du paramétrage des processus de généralisation utilisés par le producteur. En effet, l'agence de cartographie IGN généralise ces objets en spécifiant des contraintes de préservation de forme et de distribution spatiale, pour assurer que la représentation cartographique finale soit cohérente avec le monde réel. La représentation cartographique finale est ainsi lisible et permet aux utilisateurs d'identifier et de reconnaître facilement ces objets cartographiques. Par conséquent, ces objets cartographiques semblent former un groupe à part, celui des objets délivrant un impact visuel 'géo-structurant' à la carte, qui permet aux utilisateurs de reconnaître l'espace géographique représenté. En ce sens, le contexte géographique représenté par la carte influe considérablement sur l'apparence visuelle d'une carte. Il est donc un paramètre fondamental dans la définition d'un style topographique, comme l'indiquent Kent & Vujakovic (2009).

Avec cette expérimentation, nous avons identifié les caractéristiques graphiques perçues en première lecture et les caractéristiques graphiques stockées en mémoire par les utilisateurs. De cette double identification, nous avons dégagé plusieurs grands types d'informations contenues dans les cartes, dont celles a priori visuellement saillantes. Afin de tester la pertinence de notre approche, il serait intéressant de comparer les résultats que nous avons obtenus avec ceux que nous obtiendrons d'une méthode automatique de détection de saillance.

Conclusion et perspectives

Dans le cadre de cette recherche, nous proposons un modèle unificateur pour approcher et définir la notion de style topographique. Nous nous sommes concentrés sur un aspect clé de ce modèle : la capacité des utilisateurs à reconnaître un style topographique. Pour ce faire, nous avons considéré deux fonctions perceptives et cognitives, suscitées pendant la lecture d'une carte topographique : la perception visuelle et la mémorisation visuelle.

Dans ce papier, nous avons identifié les caractéristiques graphiques représentatives du style topographique IGN : la représentation du relief, des points d'intérêt touristique (POI), du réseau routier principal, des bâtiments individuels, de la toponymie et des forêts. Par ailleurs, nous avons distingué les caractéristiques graphiques qui sont visuellement perçues et celles qui sont visuellement mémorisées. Les résultats de cette expérimentation apportent de nouvelles perspectives sur la compréhension et la définition de l'ingrédient apparence visuelle d'un style topographique, tel que présenté par Ory et al. (2014). De plus, ces résultats contribuent à enrichir les connaissances sur la perception des symboles cartographiques contenus dans les cartes topographiques IGN, telles que l'influence de chacun de ces symboles cartographiques dans la reconnaissance du style topographique IGN. En ce sens, afin d'améliorer la lisibilité et la qualité des compositions cartographiques produites par les utilisateurs, il serait intéressant de traduire ces résultats sous forme de recommandations ou de spécifications, qui guideraient la construction de légende, notamment l'utilisation et l'application des variables visuelles.

De manière plus générale, ces résultats nourrissent l'ensemble des connaissances existantes sur la lecture de cartes topographiques et sur la construction de légende. Notre protocole apparaît être pertinent pour identifier les caractéristiques graphiques représentatives d'un style topographique. Cette recherche sur le style topographique doit être cependant poursuivie en considérant plus finement le contexte géographique représenté par la carte. Il s'agira de tester et comprendre l'impact de l'espace géographique sur la classification des caractéristiques graphiques représentatives d'un style.

Pour conclure, le protocole proposé pourrait être amélioré en intégrant des questions ouvertes, qui permettraient aux participants de spécifier directement les éléments qu'ils considèrent représentatifs d'un style topographique, évitant ainsi l'introduction de biais par une pré-sélection des critères et des caractéristiques graphiques. De même, la couleur et les objets

cartographiques, qui constituent les caractéristiques graphiques, pourraient être dissociés pour permettre aux participants de spécifier indépendamment les couleurs et les objets cartographiques représentatifs d'un style topographique. Dans de futures expérimentations, nous espérons identifier précisément l'ensemble des paramètres en jeu dans la définition du style topographique IGN. Ces nouvelles connaissances permettraient une formalisation plus complète du modèle unificateur que nous proposons.

Remerciements

Nous souhaitons remercier chaleureusement l'ensemble des participants ayant pris le temps de participer à cette expérimentation.

Nous tenons également à remercier l'ensemble des relecteurs pour leurs commentaires pertinents et leurs conseils judicieux. Un grand merci à Dr Alexander Kent pour l'ensemble de ses commentaires et conseils, qui ont permis d'améliorer considérablement la qualité et la clarté de notre papier.

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet ANR MapStyle et supporté par l'Agence Nationale de la Recherche, avec la référence ANR-12-CORD-0025.

Bibliographie

Bertin J., 1967, *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. University of Wisconsin Press, 1983 (first published in French in 1967, translated to English by Berg W.J. in 1983)

Beconyte G., 2011, « Cartographic styles: criteria and parameters », in proceedings of 25th International Cartographic Conference, (ICC'11), 3-5 July, Paris, France.

Bucher B., Jolivet L., Buard E., Ruas A., 2007, *The need for Web legend services*, 7th International Symposium on Web and Wireless GIS (W2GIS), J.M.Ware, G.E.Taylor Ed., p. 44--60, Lecture Notes in Computer Science, Springer

Bucher B., Mustière S., Jolivet L., Renard J., 2010, « Adding Metadata to Maps and Styled layers to Improve Map Efficiency », in proceedings of INSPIRE conference 2010, 22-25 June, Krakow, Poland.

Brunet R., 1987, *La carte mode d'emploi*, Paris/Montpellier, Fayard/Reclus.

Chesneau E., 2007, « Improvement of Colour Contrasts in Maps: Application to Risk Maps », in proceedings of 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 08-11 June, Aalborg, Denmark.

Christophe S., 2012, "Cartographic Styles between traditional and original (towards a cartographic style model) ", in proceedings of Auto Carto Conference 2012, Columbus, Ohio, USA.

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

Christophe S., Hoarau C., Boulanger L., Turbet J., Vanderhaeghe D., 2015, « Automatic rendering of a Cassini style », in proceedings of 27th International Cartographic Conference (ICC'15), Rio de Janeiro, Brasil. (abstract)

Duchêne C., Christophe S., Ruas A., 2011, « Generalisation, symbol specification and map evaluation: feedback from research done at COGIT laboratory », IGN France, International Journal of Digital Earth, vol. 4, n° sup1, p. 25-41.

Fabrikant S., Christophe S., Papastefanou G., Maggi S., 2012, « Emotional response to map design aesthetics», in proceedings of Giscience Conference 2012, 18-21 September, Columbus, Ohio, USA.

Gibson J., 1977, *The Theory of Affordances*. In R.Shaw and J.Bransford (Ed.). Perceiving, Acting, and Knowing. p. 67-82.

Goldstein E.B., 2010, *Sensation and Perception*, Andover, Cengage Learning

Groupe μ, 1992, *Traité du signe visuel*, Paris, Seuil

Hoarau C., Christophe S., Mustière S., 2013, « Mixing, blending, merging or scrambling topographic maps and orthoimagery in geovisualizations? », in proceedings of 26th International Cartographic Conference (ICC 2013), Dresden, Germany.

Jolivet L., 2009, « Characterizing maps to improve on-demand cartography - the example of European topographic maps », in proceedings of 17th Conference on GIScience and Research in UK (GISRUK'09), 1-3 April, Durham, United-Kingdom (poster session)

Kent A.J., 2005, « Aesthetics: A Lost Cause in Cartographic Theory? », *The Cartographic Journal*, vol. 42, n° 2, p. 182–188.

Kent A.J., Vujakovic P., 2009, « Stylistic Diversity in European State 1:50000 Topographic Maps », *The Cartographic Journal,* vol. 46, n° 3, p. 179-213.

Kent A.J., Vujakovic P., 2011, « Cartographic Language: Towards a New Paradigm for Understanding Stylistic Diversity in Topographic Maps », *The Cartographic Journal*, vol. 48, n° 1, p. 21-40.

Ory J., Christophe S, Fabrikant S , 2013, « Identification of style in topographic maps », in proceedings of 26th International Cartographic Conference (ICC 2013), Dresden, Germany. (poster session + extended abstract),

Ory J., Christophe S., Fabrikant S., 2014, « Caractérisation visuelle d'un style topographique », in proceedings of International Conference SAGEO, 24-27 November, Grenoble, France.

Robinson A.H., 1960, *Elements of cartography*, New-York, John Wiley & Sons Inc.

Ruas A., 2006, « Usages des bases de données géographiques - Exemple de l'IGN », Rencontre Jacques Cartier, 4-6 décembre, Lyon, France.

Touya G., Christophe S., Hoarau C., 2015, « Clutter and Map Legibility in Automated Cartography: a Research Agenda», *Cartographica,* vol. 50, n° 3 (in press).

Ware C., 2008, *Visual Thinking for Design*. Morgan Kaufman

Wood M., 1993, «The User's Response to Map Design », *The Cartographic Journal,* vol. 30, n° 2, p. 149-153.