HAL
open science

# Connaissances pour la conception et la perception de styles topographiques

Jérémie Ory

## To cite this version:

Jérémie Ory. Connaissances pour la conception et la perception de styles topographiques. Géographie. Université Paris-Est, 2016. Français. NNT : 2016PESC1058 . tel-01539594

**HAL Id: tel-01539594**

**https://theses.hal.science/tel-01539594v1**

Submitted on 15 Jun 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉCOLE DOCTORALE UNIVERSITÉ PARIS-EST
Mathématiques et STIC

**THESE**

Présentée pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paris-Est

Spécialité : Sciences et Technologies de l'Information Géographique

# Connaissances pour la conception et la perception de styles topographiques

**JEREMIE ORY**

**Soutenue publiquement le 2 décembre 2016 devant le jury composé de :**

| | |
|---|---|
| Paule-Annick Davoine, Maître de conférences, HDR, Grenoble-INP, | Rapporteur |
| Didier Josselin, Directeur de recherche, Université d'Avignon, | Rapporteur |
| Thierry Joliveau, Professeur, Université Jean Monnet de Saint-Etienne, | Examinateur |
| Laurent Jégou, Maître de conférences, Université de Toulouse, | Examinateur |
| Bénédicte Bucher, Ingénieur, HDR, COGIT-IGN, | Directrice de thèse |
| Sara Irina Fabrikant, Professeur, Université de Zürich, | Directrice de thèse |
| Sidonie Christophe, Chargée de recherche, COGIT-IGN, | Encadrante |

Université Paris-Est - École Doctorale MSTIC

Institut National de l'Information Géographique et Forestière

Équipe de Recherche COGIT (Cartographie et Géomatique)

« Certains s'attachent à tout représenter et surchargent leurs cartes de mille détails. Ceux-là pêchent par volonté de tout dire. Leurs cartes fourmillent et l'on s'y perd. Qui jetterait la pierre à ces ardents dessinateurs coupables de trop étreindre ?

Aux antipodes des cartographes généreux, il y a les réducteurs. Ceux-là rêvent de racornir l'espace à quelques pictogrammes appelés chorèmes. Ils ont pour ambition de schématiser le monde, d'en figurer les complexités, en s'affranchissant de la réalité. C'est ainsi que la France devient un « hexagone », et l'immense arc industriel courant de Milan à Londres en passant par la Rhur une « banane bleue ». [...] »

Ce florilège incomplet prouve qu'il y autant de manières de tracer une carte qu'il y a de cartographes. La carte offre une représentation du monde en même temps qu'un témoignage sur celui qui l'a composée.

Dis-moi la carte que tu dessines, je te dirai qui tu es… »

*Sylvain Tesson*[1],

*extrait de la préface de « Artistes de la carte, De la Renaissance au XXIe siècle : L'explorateur, le stratège, le géographe », (Lebrun et Hofmann, 2012).*

[1] Géographe, écrivain voyageur.

# Résumé


**Connaissances pour la conception et la perception de styles topographiques**

La conception de cartes topographiques de référence est aujourd'hui caractérisée par une multiplication des données géographiques et des services de conception cartographiques de plus en plus distribués. Dans ce contexte, il est nécessaire d'enrichir les connaissances existantes sur la rédaction cartographique afin de préserver la qualité des cartes produites, i.e. qu'elles soient lisibles et efficaces. Nous faisons l'hypothèse que le style topographique facilite la lisibilité et l'efficacité d'une carte grâce à des codes et repères visuels connus des utilisateurs. Nous nous sommes fixés comme objectif de formaliser la notion de style topographique en tant que famille cartographique regroupant des signes graphiques reconnus des utilisateurs afin de pouvoir l'utiliser pour produire de nouvelles cartes topographiques.

Dans ce travail de thèse, nous proposons un modèle conceptuel intégrant les concepts clés de signature visuelle et de famille cartographique. Nous validons et instancions ce modèle à travers la mise en place d'entretiens auprès d'experts cartographes et le déploiement de deux expérimentations auprès d'utilisateurs permettant d'étudier les familles cartographiques IGN et Swisstopo. Les résultats obtenus permettent de caractériser les signatures visuelles de chacune de ces deux familles cartographiques. À l'aide de la caractérisation des signatures visuelles de ces deux styles topographiques typiques (IGN-France et Swisstopo), nous proposons des recommandations qui permettraient de produire de nouvelles cartes topographiques pour les deux cas d'application suivants : (1) produire de nouvelles cartes topographiques appartenant au même style topographique, (2) produire de nouvelles cartes topographiques à la frontière entre deux pays / agences nationales de cartographie.



**Mots-Clés**: conception cartographique, carte topographique, style topographique, signature visuelle, reconnaissance visuelle, expérimentations utilisateur.

# Abstract

**Knowledge on the design and the perception of topographic styles**

The design of topographic maps of reference is characterised both by an increasing amount of reference geographic databases and by design geo-services operating in distributed architectures. In this context, one of the major challenges consists in enriching the current knowledge on cartographic design in order to preserve the maps quality, i.e. they are legible, effective and usable. We assume that the topographic style renders maps legible and effective thanks to the visual codes and guides, well-known by the users. Our research purpose aims at formalising the concept of a topographic style as a cartographic family with a recognizable visual signature in order to produce new topographic maps.

We propose to formalize key concepts of visual signature and cartographic family in a unified model. We validate and instantiate this model in setting up interviews of cartography experts and in designing user's experiments allowing to evaluate the visual recognition of maps and graphic signs belonging in Swisstopo and IGN-France cartographic families. With results of the two user's experiments, we characterize the visual signature of the two cartographic families. Then, we propose cartographic design guidelines in order to produce reference topographic maps based on the characterisation of the visual signature for two cases studies: (1) design a map belonging in a given cartographic family, (2) design a map on the border of two countries / two national mapping agencies.

**Keywords**: maps design, topographic maps, topographic style, visual signature, visual recognition, users experiments.

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier l'IGN pour m'avoir permis de réaliser cette thèse dans un cadre d'excellence. Ce fût pour moi une grande expérience au sein de laquelle j'ai fait de très belles rencontres.

Je tiens à remercier sincèrement les rapporteurs, Paule-Annick Davoine et Didier Josselin, d'avoir pris le temps de relire ce manuscrit. La qualité de vos questions et vos remarques constructives vont me permettre d'aborder la suite de ce travail avec un regard plus pointu. Je remercie également Thierry Joliveau et Laurent Jégou d'avoir accepté d'examiner ce travail de thèse. L'intérêt que vous avez porté à celui-ci m'encourage à poursuivre et me pousse à m'engager encore plus pleinement dans le monde de la recherche.

Je tiens à remercier chaleureusement mes deux directrices, Bénédicte Bucher et Sara Fabrikant. Merci pour votre exigence intellectuelle grâce à laquelle j'ai tant appris ces quatre dernières années. J'ai également beaucoup apprécié la liberté que vous m'avez laissée dans la conduite de ce travail de thèse.

Je tiens à exprimer ma plus grande reconnaissance à Sidonie Christophe qui m'a encadré durant ces quatre années. Ta confiance, ton soutien, ta rigueur et tes nombreux conseils ont été précieux, ils m'ont permis de franchir, une à une, les étapes du doctorat et d'être là où j'en suis aujourd'hui.

Je tiens bien évidemment à remercier l'ensemble des membres de l'équipe COGIT. Merci à vous tous pour vos conseils méthodologiques, votre aide informatique, d'avoir pris le temps de relire ma thèse, mes papiers scientifiques et pour tout le reste. Merci d'avoir toujours répondu présent. L'atmosphère conviviale et chaleureuse du laboratoire ainsi que les moments passés avec vous en conférence resteront pour moi inoubliables.

Je tiens à remercier chaleureusement mes amis, mes parents, ma sœur et ma « belle » famille. Il m'est bien sûr impossible de tous vous citer, je ne manquerai pas de vous remercier et de vous faire part de mon amitié de vive voix. En attendant, je vous adresse un grand MERCI pour avoir facilité l'accomplissement de cette thèse en égayant mes journées et mes soirées durant ces quatre dernières années mais aussi pour avoir trouvé les mots qui m'ont donné envie de continuer dans les moments difficiles.

Enfin, j'adresse mon plus GRAND MERCI à Anne-So. Comme tu le sais le travail de thèse est très prenant. Ton soutien inconditionnel m'a donné beaucoup de courage et ta patience m'a permis d'avancer sereinement ces deux dernières années. Je ne te remercierai jamais assez.

# Table des matières

RESUME 4
ABSTRACT 5
REMERCIEMENTS 6
TABLE DES MATIERES 8

INTRODUCTION GÉNÉRALE 11

PARTIE 1 CONCEPTION DE LANGAGES VISUELS EFFICACES POUR REPRÉSENTER UN ESPACE GÉOGRAPHIQUE : NOUVEAUX ENJEUX ET ÉTAT DE L'ART 15

CHAPITRE 1. ÉVOLUTION DANS LA CONCEPTION DES CARTES DE REFERENCE 17

1.1 Multiplication de l'information géographique de référence et de ses usages 18
1.1.1 La multiplicité des référentiels géographiques 22
1.1.2 Les cartes topographiques de référence 24
1.1.3 La diversification des usages de l'information géographique de référence 27
1.1.4 L'essor de nouvelles représentations cartographiques 29

1.2 Les services de conception cartographique dans les architectures distribuées 31
1.2.1 Le développement des outils de géovisualisation 31
1.2.2 La normalisation des principes de conception cartographique numérique 34
1.2.3 L'implication grandissante de l'utilisateur 37

1.3 Enjeux sur la conception d'une carte de référence 40
1.3.1 Concevoir une carte de référence lisible et compréhensible 41
1.3.2 Faciliter l'interprétation d'une carte de référence 43
1.3.3 Problématique : comment faciliter la communication cartographique à l'heure où les services de conception cartographique s'appuient sur des architectures distribuées ? 46

1.4 Positionnement, objectifs et questions de recherche 50
1.4.1 Positionnement et postulat de la thèse 50
1.4.2 Objectifs et questions de recherche 51

CHAPITRE 2. ÉTAT DE L'ART SUR LA CONCEPTION ET LA RECONNAISSANCE VISUELLE D'UNE CARTE TOPOGRAPHIQUE 53

2.1 Connaissances théoriques sur la conception d'une carte topographique 54
2.1.1 Les signes graphiques : donner du sens à l'information géographique 56
2.1.2 Les processus d'abstraction cartographique 67
2.1.3 Travaux relatifs à l'enrichissement des connaissances sur la construction de légende 76

2.2 Mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique 90
2.2.1 Sélectionner et organiser les éléments d'une scène visuelle : point de départ de la reconnaissance visuelle 91
2.2.2 Encoder une information visuelle : pivot de la reconnaissance visuelle 97
2.2.3 Mémoriser une information : socle de connaissances permettant la reconnaissance visuelle 100
2.2.4 Reconnaître pour interagir avec un environnement géographique 103

2.3 Le style cartographique en tant que famille cartographique 109
2.3.1 Style cartographique : éléments de définition issus de l'état de l'art 109
2.3.2 Approches existantes pour formaliser le style cartographique en tant que famille cartographique 114

**2.4 Verrous scientifiques** **128**
Verrou 1 : La nécessité d'unifier les connaissances de l'état de l'art 128
Verrou 2 : La nécessité d'identifier les propriétés visuelles déterminant l'appartenance d'une carte à une famille cartographique 128

**PARTIE 2 MODÉLISATION DE STYLES TOPOGRAPHIQUES ET SON EXPLOITATION POUR L'AIDE À LA RÉDACTION CARTOGRAPHIQUE** **131**

**CHAPITRE 3. LE STYLE TOPOGRAPHIQUE : FAMILLE RECONNAISSABLE DE LEGENDES ET DE CARTES** **133**

**3.1 Approche générale** **134**
3.1.1 Cadre unificateur 134
3.1.2 Définition des concepts clés de notre approche : signature visuelle reconnaissable et famille cartographique 137
3.1.3 Intégration des concepts clés proposés au sein du cadre unificateur 140
3.1.4 Intégration des concepts clés aux standards cartographiques actuels 142

**3.2 Approche suivie pour valider le modèle de style topographique** **144**
3.2.1 Étude de cartes pour extraire des signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle 144
3.2.2 Étude des utilisateurs pour valider et instancier le modèle de style 145
3.2.3 Synthèse 146

**3.3 Mise en œuvre de l'étude de cartes : cas IGN et Swisstopo** **147**
3.3.1 Approche déployée pour l'étude de cartes 148
3.3.2 Analyse de l'évolution de la légende à travers le temps 150
3.3.3 Comparaison de légendes topographiques sur une même zone géographique 155
3.3.4 Synthèse des connaissances acquises par l'étude de cartes 161
3.3.5 Extraction de signes graphiques candidats à la caractérisation des signatures visuelles IGN et Swisstopo 162

**CHAPITRE 4. VALIDATION ET EXPLOITATION DU MODELE DE STYLE TOPOGRAPHIQUE** **167**

**4.1 Objectifs et hypothèses des expérimentations utilisateurs** **168**

**4.2 Protocole d'expérimentation** **169**
4.2.1 Matériel de l'expérimentation : cartes topographiques et signes graphiques candidats 170
4.2.2 Participants 180
4.2.3 Détails du protocole 181

**4.3 Analyse des résultats pour la famille cartographique IGN** **186**
4.3.1 Profil des participants 186
4.3.2 Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique IGN parmi d'autres 189
4.3.3 Identification des ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle des cartes de la famille cartographique IGN 190
4.3.4 Évaluation du rôle de la toponymie et de la typographie 194
4.3.5 Identification des signes graphiques perçus et mémorisés pour la famille cartographique IGN 195

**4.4 Analyse des résultats pour la famille cartographique Swisstopo** **199**
4.4.1 Profil des participants 199
4.4.2 Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique Swisstopo parmi d'autres 202
4.4.3 Identification des ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle des cartes de la famille cartographique Swisstopo 203
4.4.4 Évaluation du rôle de la toponymie et de la typographie 207
4.4.5 Identification des signes graphiques perçus et mémorisés pour la famille cartographique Swisstopo 209

**4.5 Résultats majeurs et discussion sur le protocole d'expérimentation** **212**
4.5.1 Résultats majeurs 213
4.5.2 Forces et limites de notre protocole d'expérimentation 213

**4.6 Qualification et caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo** **216**
4.6.1 Qualification d'une signature visuelle 216
4.6.2 Caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo 219
**4.7 Description des cas d'application : besoins, problématique et proposition d'un guide de rédaction** **224**
4.7.1 Cas d'application 1 : produire de nouvelles cartes topographiques appartenant à une famille cartographique en modifiant certaines spécifications de légende 225
4.7.2 Cas d'application 2 : produire de nouvelles cartes topographiques à partir d'un jeu de données cartographiques d'une autre agence nationale de cartographie 231
**4.8 Principes de mise en œuvre pour l'exploitation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo** **238**
4.8.1 Choix des données cartographiques 239
4.8.2 Architecture logicielle et développement d'un plugin 240
**CONCLUSION ET PERSPECTIVES** **243**
**Rappel des objectifs et des contributions de notre thèse** **244**
**Perspectives de recherche** **246**
Vers une caractérisation plus fine des signatures visuelles 246
Vers des guides de rédaction intégrant des contraintes cartographiques 247
Vers une évaluation des cartes produites à partir d'une signature visuelle reconnaissable 248
**Perspectives applicatives : vers la production de nouveaux référentiels cartographiques** **249**
Les représentations cartographiques mixtes / hétérogènes 249
Une pyramide d'échelle avec une signature visuelle reconnaissable 254
Les rendus 3D stylisés 255
**ANNEXES** **257**
**ANNEXE A : ENTRETIENS AVEC DES EXPERTS** **258**
**A.1 Entretiens IGN** **258**
**A.2 Entretiens Swisstopo** **258**
**A.3 Résultats : retranscription de l'entretien** **259**
**ANNEXE B : QUESTIONNAIRES UTILISATEUR** **261**
**B.1 Expérimentation utilisateurs IGN** **261**
**B.2 Expérimentation utilisateur Swisstopo** **273**
**LISTE DES FIGURES** **285**
**BIBLIOGRAPHIE** **293**
**PUBLICATIONS PERSONNELLES** **317**

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis l'avènement d'Internet, nous faisons face à un accroissement exponentiel de flux d'information. Aujourd'hui, la plupart de ces informations, qu'elles soient relatives à un objet, un individu ou un territoire, sont numériques ou en voie d'être numérisées. Les modalités de partage de ces informations ont ainsi connu des mutations profondes, devenant au fil du temps de plus en plus immatérielles.

Le monde de l'information géographique n'a pas échappé à cette révolution numérique, qui a marqué la naissance d'une nouvelle ère pour la production cartographique. Les informations géographiques ont pendant longtemps été stockées et représentées sur des supports cartographiques papier. Aujourd'hui, elles sont organisées et stockées sous forme de bases de données géographiques, facilitant leurs utilisations en permettant par exemple d'alimenter les portails de géovisualisation sur Internet et de concevoir des cartes de manière automatique. Désormais, un espace géographique peut être rapidement représenté sur des supports cartographiques de natures diverses : carte topographique papier, scan numérique, pyramide cartographique, etc.

Au cours de la dernière décennie, la multiplication des portails de géovisualisation sur Internet et la miniaturisation des moyens de communication ont facilité l'accès à l'information géographique. Dans le même temps, ces outils ont réinventé les modes de consultation cartographique. D'une part, les portails de géovisualisation ont rendu la lecture de cartes interactive et dynamique et d'autre part la miniaturisation des moyens de communication, tels que les téléphones mobiles, a offert une souplesse d'utilisation de ces portails. Conjointement, l'interactivité et la souplesse d'utilisation ont fait considérablement évoluer les usages de la carte. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer les utilisateurs toujours plus nombreux à utiliser les outils de géovisualisation pour répondre à leurs besoins suscitant un déplacement spatial : accomplir leurs déplacements en voiture, à vélo, à pied ou bien encore pour faire de la randonnée. Les utilisateurs disposent d'un large éventail d'outils de géovisualisation, tel que les géoportails en ligne ou les applications cartographiques pour appareil mobile comme l'illustre la Figure I.1. Les représentations cartographiques proposées par ces outils de géovisualisation ont pour objectif de décrire un espace géographique en fournissant un maximum d'informations afin de permettre aux utilisateurs de l'appréhender efficacement.

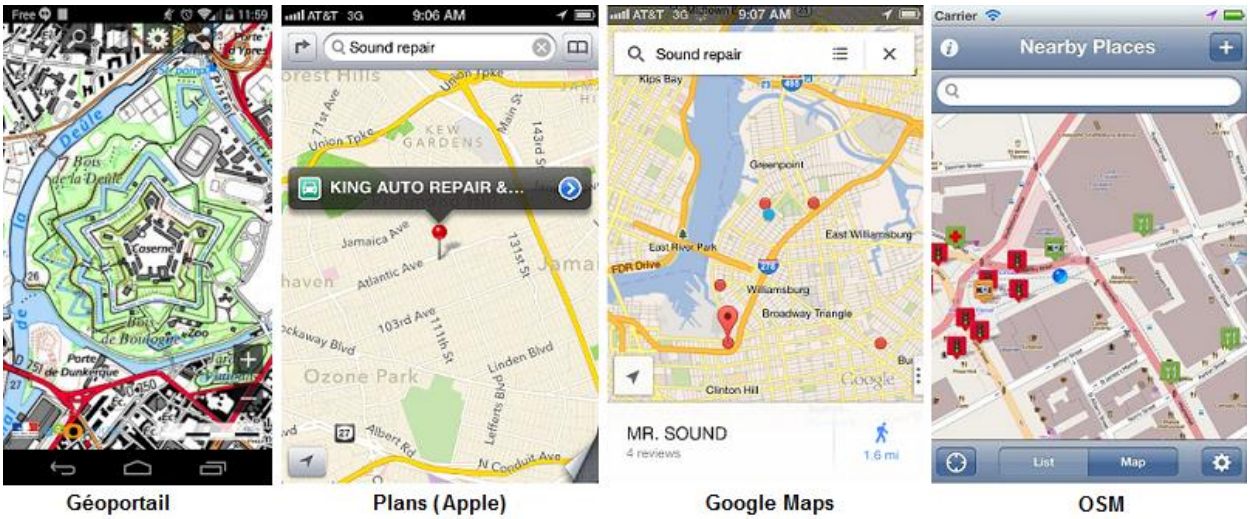



Figure I.1 Exemples d'applications cartographiques mobiles : Géoportail[2], Plans[3], Google Maps[4], et Open Street Map (OSM)[5].

Ces nouveaux contextes d'utilisation ont affecté la transmission d'informations géographiques, qui doit désormais être rapide, voire instantanée à travers des supports de communication efficaces. En effet, très peu de géoportails et d'applications cartographiques mobiles proposent des légendes cartographiques aux utilisateurs pour les aider à décoder l'information géographique portée par la carte. La lecture de cartes à l'heure du web 2.0 et des applications mobiles se fait désormais sans l'aide de légende cartographique pouvant impacter la manière dont les utilisateurs captent, interprètent et assimilent l'information géographique. De plus, les informations recherchées et exposées sont appréhendées par les utilisateurs sur des temps courts. En effet, les applications cartographiques sur mobile permettent de consulter une carte dans des contextes de mobilité, l'utilisateur effectue l'action de lecture cartographique simultanément à une action de déplacement ou autre.

Dans un tel contexte, ce travail de thèse cherche à acquérir et formaliser les connaissances sur la manière dont les utilisateurs interprètent des produits cartographiques, qui leurs sont bien connus, tels que les référentiels cartographiques produits par les agences nationales de cartographie. L'objectif de cette recherche est d'identifier les signes graphiques reconnus des utilisateurs. **Nous souhaitons formaliser ces connaissances pour les considérer dans la mise en œuvre des processus d'abstraction cartographique et ainsi s'adapter aux nouveaux contextes de production et d'utilisation des cartes de référence.**

Depuis plusieurs décennies, de nombreux travaux de recherche en cartographie ont contribué à faire progresser les connaissances sur la construction et l'interprétation des cartes. En ce sens, de nombreuses méthodes ont été proposées ayant pour objectif

[2] http://www.geoportail.gouv.fr/accueil
[3] http://www.apple.com/fr/ios/maps/
[4] https://www.google.fr/maps
[5] http://openstreetmap.fr/

d'améliorer la qualité des cartes de manière générale et leur efficacité à transmettre une information. Ce travail de thèse s'inscrit dans la continuité de certains des travaux effectués par l'équipe de recherche COGIT[6] de l'Institut national de l'information géographique et forestière[7] (IGN), sur la formalisation des connaissances en jeu dans le processus de conception de légendes cartographiques.

### Structuration du mémoire

La Figure I.2 illustre la structuration du mémoire.

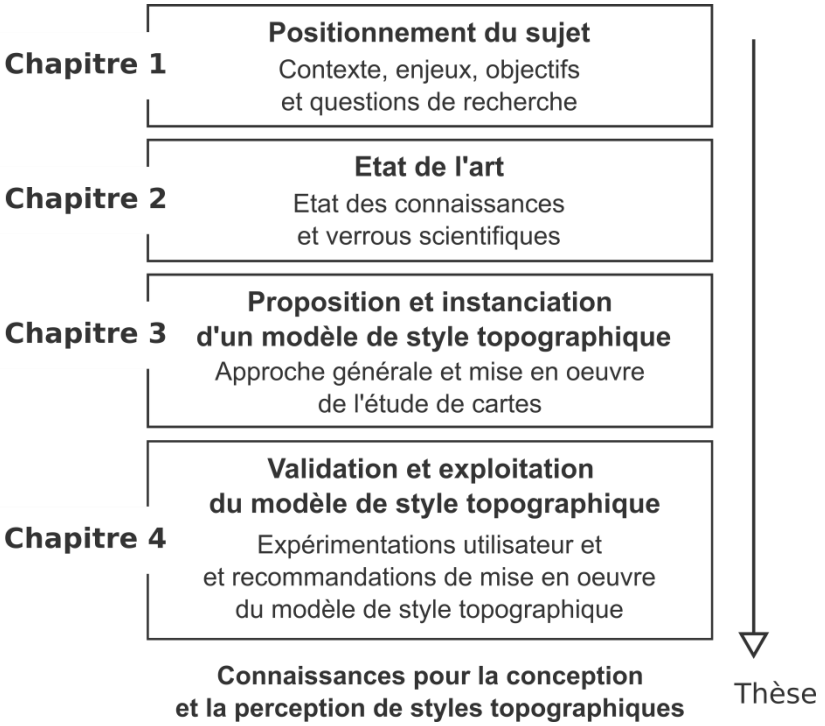



Figure I.2 Déroulement du mémoire de thèse.

Dans le **chapitre 1**, nous présentons le contexte actuel de production et d'utilisation des cartes de référence. Ce contexte est caractérisé par une multiplication de l'information géographique de référence et de ses usages, faisant évoluer les principes de conception cartographique traditionnels vers des architectures distribuées au sein desquelles les utilisateurs ont une place grandissante. Nous présentons également les enjeux auxquels nous tentons de répondre par ce travail de thèse et notre problématique de travail : comment faciliter la communication cartographique à l'heure où les services de conception cartographique s'appuient sur des architectures distribuées ? Au terme de ce chapitre, nous détaillons les objectifs que nous nous sommes fixés dans ce travail de thèse et les questions de recherche associées.

[6] Cartographie et géomatique : http://recherche.ign.fr/labos/cogit/accueilCOGIT.php

[7] **L'Institut national de l'information géographique et forestière** est un établissement public administratif ayant pour mission d'assurer la production, l'entretien et la diffusion de l'information géographique de référence en France : http://www.ign.fr/.

Dans le **chapitre 2**, nous proposons un état de l'art sur la reconnaissance visuelle d'une carte topographique. Dans un premier temps, nous explorons les connaissances théoriques sur la conception de cartes topographiques avec une attention particulière sur les travaux relatifs à l'enrichissement des connaissances sur la construction de légende. Dans un deuxième temps, nous nous intéressons aux mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans la reconnaissance visuelle d'une carte et des principes d'abstraction associés. Enfin, nous examinons les différentes approches formalisant la notion de style cartographique en tant que famille cartographique. Nous concluons ce chapitre en détaillant les verrous auxquels est confronté notre travail de recherche.

Le **chapitre 3** est consacré à notre proposition sur la modélisation de styles topographiques en tant que famille cartographique reconnaissable. Nous proposons tout d'abord un cadre unificateur mettant en relation les concepts décrits dans l'état de l'art sur la construction d'une carte topographique et les fonctions perceptives et cognitives déployées pour son interprétation. Nous définissons également les concepts clés de notre approche : signature visuelle et famille cartographique. Puis, nous proposons un modèle de style topographique intégrant les concepts proposés et s'appuyant sur les standards actuels de conception cartographique. Enfin, nous détaillons notre méthode, basée sur une étude de cartes et une étude des utilisateurs, dont l'objectif est d'instancier notre modèle de style. Au terme de ce chapitre, nous mettons en œuvre notre étude de cartes pour extraire les signes graphiques candidats à la caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo.

Dans le **chapitre 4**, nous validons et exploitons notre modèle de style topographique. Nous mettons tout d'abord en œuvre deux expérimentations utilisateur, qui visent à caractériser les signatures visuelles reconnaissables des familles cartographiques IGN et Swisstopo. Enfin, nous proposons des guides de rédaction cartographique pour la mise en œuvre de notre modèle de style en s'appuyant sur la caractérisation des signatures visuelles pour deux cas d'application : (1) produire de nouvelles cartes topographiques appartenant à une famille cartographique en modifiant certaines spécifications de légende ; (2) produire de nouvelles cartes topographiques à partir d'un jeu de données cartographiques d'une autre agence nationale de cartographie.

### Remarque

L'ensemble des sections composant les chapitres 2, 3 et 4 est conclue par un encart vert synthétisant les connaissances apportées et explicitées dans la section.

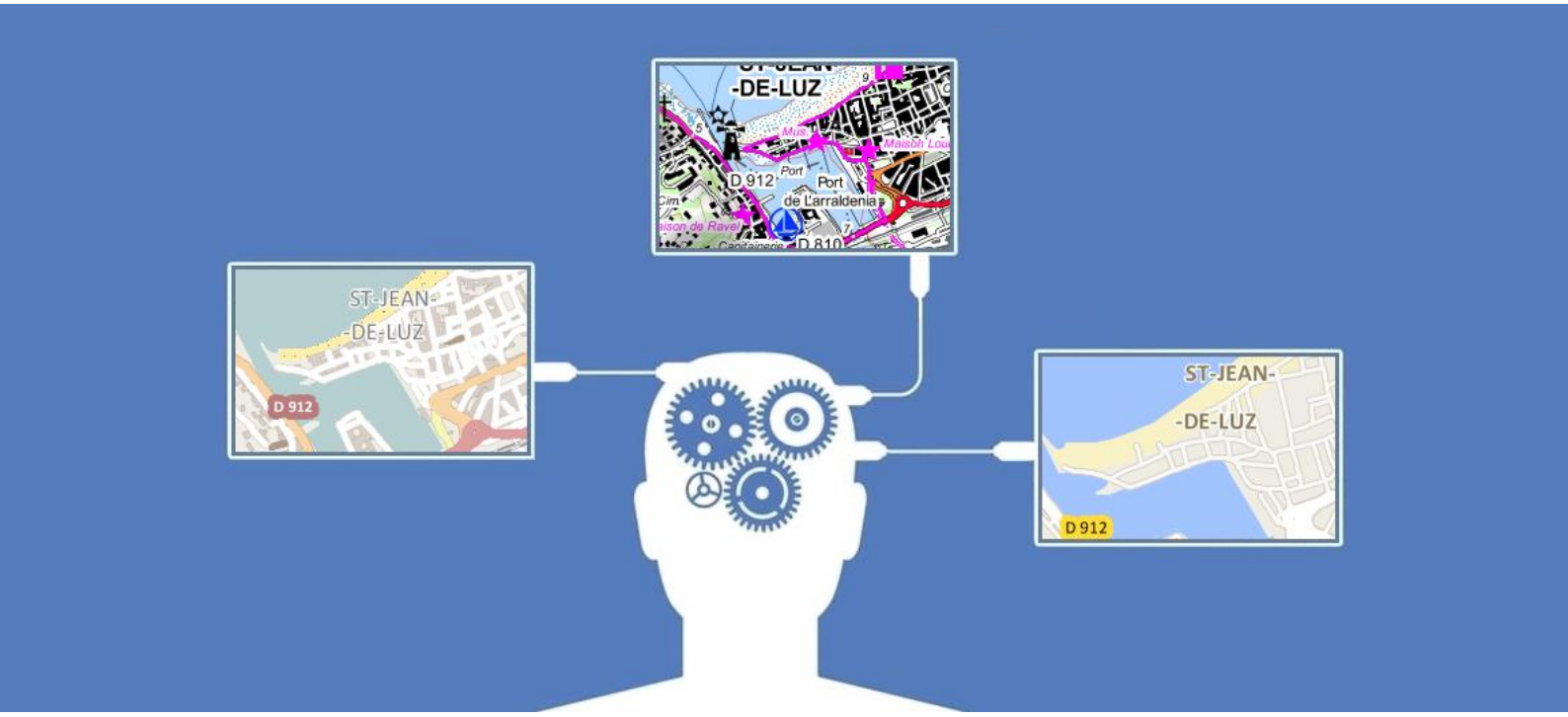
Nous conseillons d'imprimer cette thèse en couleur car elle contient de nombreuses illustrations. La perception des couleurs permet une meilleure interprétation du message délivré par ces illustrations.

*« Il faut toujours garder à l'esprit que réaliser une carte n'est affaire que de cohérence et de respect des subtilités de la vision humaine. La cartographie, à la fois, art et science, à la jonction de la technologie, de la communication et du graphisme, déploiera alors toutes ses qualités d'aide à l'action. »*

*Didier Poidevin, 1999, la carte moyen d'action, Ellipses, Paris.*

# PARTIE 1

# CONCEPTION DE LANGAGES VISUELS EFFICACES POUR REPRÉSENTER UN ESPACE GÉOGRAPHIQUE : NOUVEAUX ENJEUX ET ÉTAT DE L'ART



# Chapitre 1.
# Évolution dans la conception des cartes de référence

**1.1 Multiplication de l'information géographique de référence et de ses usages ..... 18**
1.1.1 La multiplicité des référentiels géographiques ..... 22
1.1.2 Les cartes topographiques de référence ..... 24
1.1.3 La diversification des usages de l'information géographique de référence ..... 27
1.1.4 L'essor de nouvelles représentations cartographiques ..... 29
**1.2 Les services de conception cartographique dans les architectures distribuées ..... 31**
1.2.1 Le développement des outils de géovisualisation ..... 31
1.2.2 La normalisation des principes de conception cartographique numérique ..... 34
1.2.3 L'implication grandissante de l'utilisateur ..... 37
**1.3 Enjeux sur la conception d'une carte de référence ..... 40**
1.3.1 Concevoir une carte de référence lisible et compréhensible ..... 41
1.3.2 Faciliter l'interprétation d'une carte de référence ..... 43
1.3.3 Problématique : comment faciliter la communication cartographique à l'heure où les services de conception cartographique s'appuient sur des architectures distribuées ? ..... 46
**1.4 Positionnement, objectifs et questions de recherche ..... 50**
1.4.1 Positionnement et postulat de la thèse ..... 50
1.4.2 Objectifs et questions de recherche ..... 51

Dans ce premier chapitre, nous rappelons le contexte et les enjeux dans lesquels s'inscrit notre sujet de thèse, « Connaissances pour la conception et la perception de styles topographiques». Le développement technologique des outils de géomatique et la géonumérisation ont simultanément facilité l'accès à l'information géographique de référence et ont profondément changé ses principes de conception. Dans un premier temps, nous présentons le contexte actuel, caractérisé par une multiplication de l'information géographique de référence et de ses usages (1.1) et nous détaillons les ingrédients constitutifs des services de conception cartographique au sein d'architectures distribuées (1.2). Dans un deuxième temps, nous présentons les enjeux liés à la conception d'une carte de référence dans le contexte actuel et nous détaillons notre problématique (1.3). Enfin, nous terminons ce chapitre en exposant le positionnement, les objectifs de ce travail de thèse et les questions de recherche associées (1.4).

## 1.1 Multiplication de l'information géographique de référence et de ses usages

Une **information** est définie dans le langage courant comme un :

> *« élément de connaissance susceptible d'être représenté à l'aide de conventions pour être conservé, traité ou communiqué. » (Le Petit Robert, 2015)*

Selon la définition ci-dessus, une information est étroitement dépendante de sa forme de représentation. La Figure 1.1 illustre deux formes de représentation décrivant un itinéraire de randonnée : sous forme littérale (A) et sous forme graphique (B).

Figure 1.1 Exemple de représentation littérale (A) et graphique[8] (B) pour un itinéraire de randonnée (Moncla, 2015).

A. **représentation littérale :** l'information est décrite et exprimée à l'aide de lettres, de mots et de phrases. Le sens de l'information est apporté par le sens des mots, de la phrase ou du texte, qui renvoie à une réalité tangible. Par exemple, la partie A de la Figure 1.1 propose une description littérale d'un itinéraire de randonnée.

B. **représentation graphique** : l'information est décrite à l'aide de procédés et de techniques graphiques donnant une forme synthétique[9] à la représentation. Par exemple, la partie B de la Figure 1.1 propose une description visuelle d'un itinéraire de randonnée. Il s'agit d'une traduction graphique de la description littérale de la partie A de la Figure 1.1 à l'aide de signes graphiques.

Au cours du temps, certains modes de représentations graphiques se sont progressivement imposés comme modèles conventionnels de représentation de l'information. À titre d'exemple, en statistiques, les diagrammes circulaires sont aujourd'hui considérés comme un mode de représentation graphique conventionnel de l'information statistique. La Figure 1.2 illustre le diagramme circulaire introduit par William Playfair[10], montrant les proportions de l'Empire Ottoman en Asie, Europe et

[8] http://www.pyrandonnees.fr/

[9] Comme le rappelle l'expression du philosophe Confucius, « *une image vaut mille mots* ».

[10] William Playfair (1759-1822) est un ingénieur et économiste écossais. Il est considéré comme l'un des pionniers de la représentation graphique de données statistiques.

Afrique avant 1789 (Playfair, 2005). Les diagrammes circulaires représentent les valeurs statistiques sous forme de disque partagé en secteur, qui possède une surface et un angle proportionnels à la valeur statistique représentée. Ce mode de représentation permet de comparer visuellement les différentes valeurs de la distribution statistique et ainsi de rapidement donner un sens aux informations représentées.

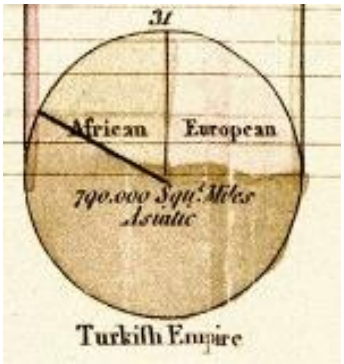



Figure 1.2 Diagramme circulaire montrant les proportions de l'Empire Ottoman en Asie, Europe et Afrique avant 1789 (Playfair, 2005).

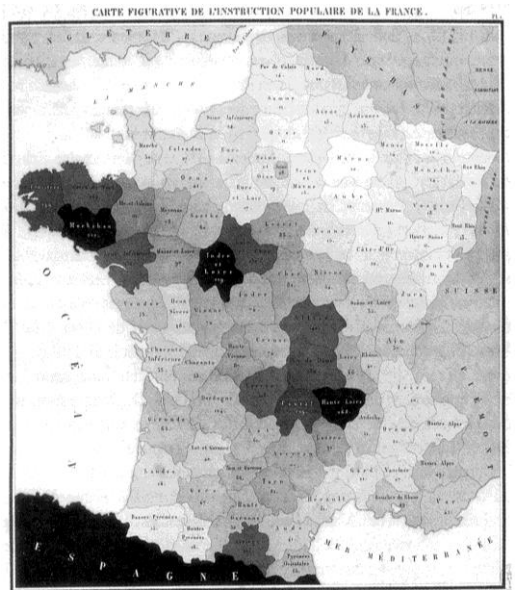



Figure 1.3 Carte figurative[11] de l'instruction populaire de la France, introduite par Charles Dupin en 1826.

De même, en cartographie, la carte choroplèthe introduite par Charles Dupin[12], illustrée par la Figure 1.3 est aujourd'hui considérée comme le modèle de représentation cartographique le plus efficace pour exprimer des quantités relatives à une région géographique (Brunet, 1987). Les cartes choroplèthes sont des cartes thématiques, sur lesquelles les régions sont colorées ou texturées en fonction des valeurs statistiques associées. Ce mode de représentation facilite la comparaison visuelle des valeurs statistiques d'une région à une autre.

Dans ce travail de thèse, nous nous intéressons à la représentation graphique d'informations géographiques.

[11] http://math.yorku.ca/SCS/Gallery/images/dupin1826-map_200.jpg

[12] Pierre Charles François Dupin (1784-1873) est un mathématicien, ingénieur et homme politique français.

### Qu'est-ce qu'une information géographique ?

Aujourd'hui, l'information géographique cohabite et s'imbrique naturellement avec le reste des informations. Ainsi, selon Franklin et Hane (1992), 80% de l'information que nous traitons est géographique. Lorsqu'une information est enrichie d'une référence spatiale, on parle alors **d'information géographique**, i.e. qu'elle est localisable sur la surface de la terre. Denègre et Salgé (1996) définissent l'information géographique comme :

> *« un ensemble reliant une **information** relative à un objet ou un phénomène du monde terrestre, décrit plus ou moins complètement par sa nature, son aspect et ses attributs […], et **sa localisation** sur la surface terrestre, décrite dans un système de référence explicite […] »*

Il existe deux grands modes conventionnels pour représenter graphiquement l'information géographique : le mode maillé (ou *raster* en anglais) et le mode vectoriel.

#### Le mode maillé : représentation continue de l'espace géographique

Ce mode de représentation décompose l'espace géographique en un maillage régulier, organisé en lignes et en colonnes comme l'illustre la Figure 1.4. Les éléments de ce maillage sont appelés *pixels* (pour *picture element*). Trois types d'informations caractérisent un pixel : sa résolution spatiale (correspond à la taille réelle de la maille de la grille sur le terrain), sa position ligne/colonne et sa valeur qui est dépendante de la nature de l'information représentée par la grille. Le mode maillé est notamment utilisé pour les photographies aériennes, par exemple la BD Ortho®, où la valeur de chaque pixel correspond à la couleur naturelle du terrain correspondant ou des documents numérisés, par exemple le Scan25®, où la valeur de chaque pixel correspond à une couleur de la carte ou bien encore des cartes d'altitude, par exemple la BD Alti®, où la valeur de chaque pixel correspond à l'altitude.

#### Le mode vecteur : représentation discrète de l'espace géographique

Ce mode de représentation consiste à décrire l'espace géographique à travers des entités distinctes contrairement au mode *raster*. Il existe trois types d'entités : les points (implantation ponctuelle), les lignes (implantation linéaire) et les polygones (implantation surfacique) comme l'illustre la Figure 1.5. Chaque entité est composée de nœuds définis par des coordonnées *x, y* et z. Pour les implantations linéaires et surfaciques, ces nœuds sont reliés entre eux par des segments comme l'illustre la Figure 1.5. Pour l'implantation ponctuelle, il s'agit d'un seul segment qui possède un nœud de départ et d'arrivée ayant les mêmes coordonnées géographiques. À titre d'exemple, l'implantation ponctuelle correspond à une localisation précise, telle qu'une adresse postale comme l'illustre la Figure 1.6a. L'implantation linéaire correspond à un linéaire, telle qu'une route comme l'illustre la Figure 1.6b. L'implantation surfacique correspond à une zone géographique surfacique, telle qu'une zone naturelle comme l'illustre la Figure 1.6c.

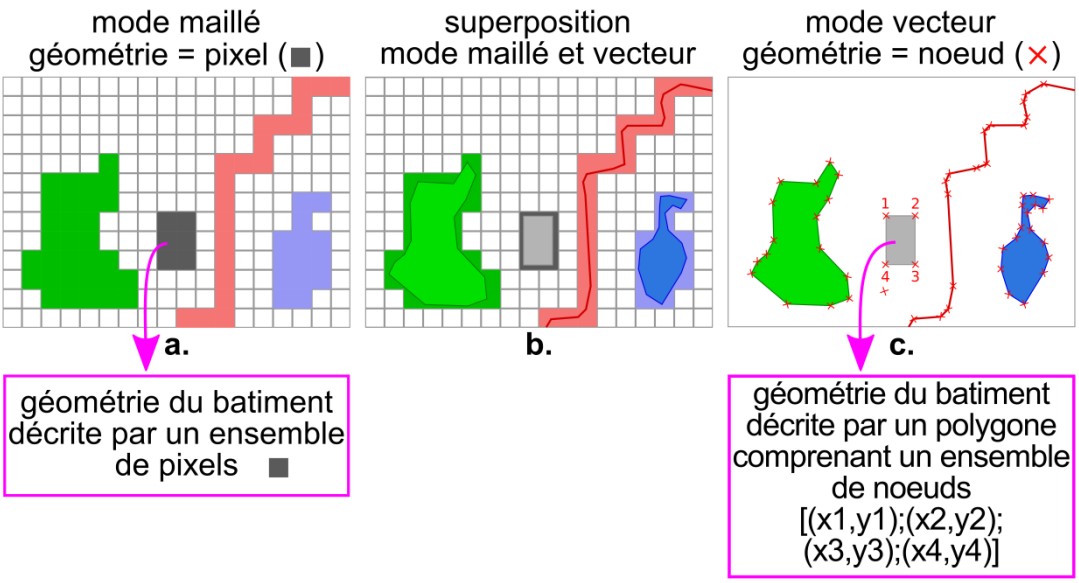



Figure 1.4 Les différents modes de représentation de l'information géographique : **a**. mode maillé ; **b**. superposition du mode maillé et du mode vecteur ; **c**. mode vecteur.

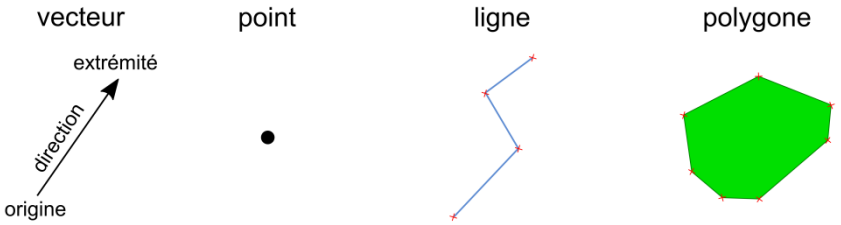



Figure 1.5 Trois types d'entités vecteurs différentes : point, ligne et polygone.

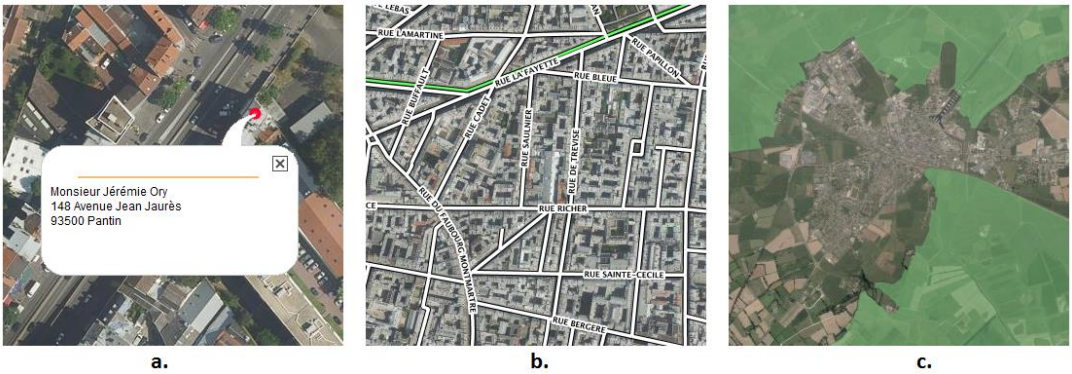



Figure 1.6 Trois types d'implantation géométrique : **a**. implantation ponctuelle : adresse postale ; **b**. implantation linéaire : réseau routier ; **c**. implantation surfacique : ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique) – Captures d'écran extraites du Géoportail[13] de l'IGN.

On désigne le plus souvent ces deux modes de représentation sous les termes données raster et données vecteurs. On appelle « donnée » toute représentation d'une information sous un mode conventionnel destiné à lui donner du sens et à faciliter son interprétation par un utilisateur (Espace interministériel de l'information géographique, 2014). La mise en forme de différentes données géographiques constitue l'étape de

[13] Le Géoportail est un portail cartographique public permettant d'accéder à des services de recherche et de visualisation de données géographiques : www.geoportail.gouv.fr.

conception cartographique, i.e. l'étape de construction d'une représentation cartographique. Dans la littérature, il est possible de trouver une variété de définitions de représentation cartographique. Nous retenons la définition proposée par Joly (1974) :

> *« une représentation géométrique, plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface de la terre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle l'échelle. »*

Dans la suite de cette section, nous nous intéressons à la multiplicité des référentiels géographiques, nous nous attardons notamment sur l'exemple français (1.1.1). Dans un second temps, nous détaillons plus particulièrement les caractéristiques d'un produit cartographique de référence : la carte topographique (1.1.2). Enfin, nous décrivons la diversification des usages de l'information géographique de référence (1.1.3) et l'essor de nouvelles représentations cartographiques (1.1.4).

### 1.1.1 La multiplicité des référentiels géographiques

Par définition, un référentiel géographique décrit un territoire et ses composantes (éléments physiques et aménagements humains) de façon précise, exhaustive et homogène. Traditionnellement, les référentiels géographiques sont produits par les agences nationales de cartographie. En France, cette mission est accomplie par l'IGN, qui a pour principale mission d'assurer la production, l'entretien et la diffusion de l'information géographique de référence. Le Référentiel à Grande Échelle[14] (RGE®) comprend différentes composantes qui constituent le référentiel national français.

#### Le référentiel géographique national : le référentiel à grande échelle (RGE®)

Le RGE® contient cinq principales composantes, qui permettent de répondre à l'ensemble des besoins utilisateurs en information géographique : orthophotographique, topographique, altimétrique, parcellaire et adresse.

- Composante orthophotographique : assurée par la BD ORTHO®, elle fournit une couverture orthophotographique complète, actuelle et lisible du territoire national. La représentation A de la Figure 1.7 illustre un extrait de la BD ORTHO® Classique (résolution de 50 cm), qui constitue un fond cartographique de référence pour de nombreuses applications dans de nombreux domaines, dont celui de l'aménagement du territoire.
- Composante topographique : assurée par la BD TOPO®, elle fournit un référentiel vectoriel, qui modélise de nombreux thèmes géographiques du territoire : bâti, réseau de transport, hydrographie, couvert végétal, limites administratives, orographie, toponymie, etc. La représentation B de la Figure 1.7 illustre un extrait de la BD TOPO®. Elle constitue la base vecteur de données géographiques permettant la création des cartes topographiques. La représentation D de la Figure 1.7 est un exemple de cartes topographiques au 1 :25 000ème.

[14] http://www.ign.fr/institut/activites/referentiel-a-grande-echelle

- Composante altimétrique : assurée par la BD ALTI®, elle décrit la forme et l'altitude de la surface terrestre nationale.
- Composante parcellaire : assurée par la BD PARCELLAIRE®, elle fournit l'ensemble de l'information cadastrale sur le territoire national. La représentation C de la Figure 1.7 illustre un extrait de la BD PARCELLAIRE®, à travers la représentation du parcellaire, du bâti et des limites de section cadastrale.
- Composante adresse : assurée par la BD ADRESSE® qui contient l'ensemble des informations ponctuelles des adresses postales sur le territoire national. Elle contient notamment les toponymes des lieux-dits habités et les adresses associées aux tronçons de rue.

Figure 1.7 Divers représentations cartographiques proposées par l'IGN (source : Géoportail[15]).

Les géométries des objets géographiques de ces différentes composantes sont cohérentes, permettant leur superposition au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG). L'autre élément caractéristique d'un référentiel est attribué à son statut de référent reconnu par une large communauté d'utilisateurs. Ces derniers s'appuient sur les différentes composantes du référentiel pour échanger et partager facilement des informations géographiques. Ces composantes peuvent par exemple être utilisées comme fond de référence cartographique au sein d'un SIG, sur lequel l'utilisateur vient ajouter des informations géographiques thématiques de différentes natures.

Les référentiels géographiques et cartographiques sont nationaux et s'arrêtent de ce fait aux frontières du territoire à décrire, i.e. celle de l'État où se trouve l'agence de cartographie. La Figure 1.8 illustre un extrait du Scan25® à la frontière franco-espagnole.

[15] http://tab.geoportail.fr/

Il existe donc peu d'interopérabilité entre les référentiels géographiques des différents États de l'Union Européenne, bien que la Directive Inspire 2007/2/CE[16] impose l'usage de normes pour la mise en place de leurs Infrastructures de Données Géographiques (IDG). L'objectif de la Directive Inspire est d'apporter de l'interopérabilité entre les données géographiques des différentes agences nationales de cartographie (Abadie, 2012).

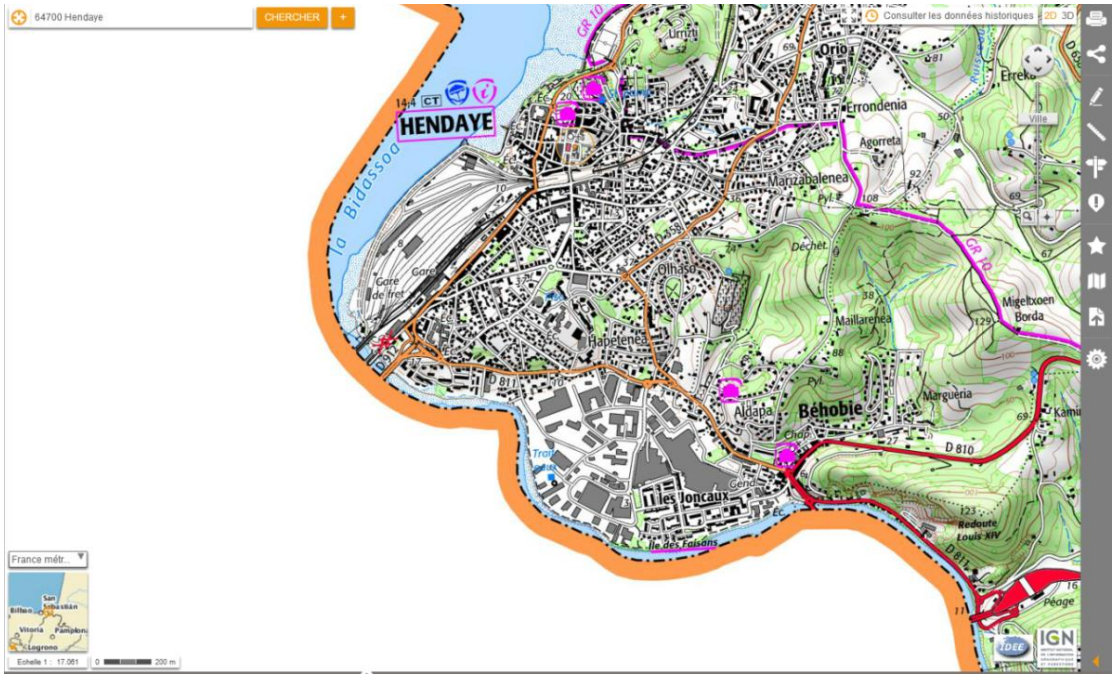



Figure 1.8 Extrait du Scan25® diffusé sur le Géoportail[17] à la frontière franco-espagnol.

La carte topographique au 1:25 000ème, illustrée par l'exemple de la représentation D sur la Figure 1.7, constitue une représentation cartographique de référence incontournable. Elle est notamment reconnue des utilisateurs français pour sa richesse informative.

### 1.1.2 Les cartes topographiques de référence

La particularité de la carte topographique, en comparaison des autres représentations cartographiques, se trouve dans son contenu, i.e. la nature des objets géographiques qu'elle représente. Il s'agit des éléments physiques visibles à la surface du sol, tels que le relief, la végétation et l'hydrographie, ou bien encore les divers aménagements humains que sont le bâti et les réseaux de communication mais aussi d'autres types d'informations telles que les limites administratives et la toponymie[18]. Les cartes topographiques constituent des « *représentations à moyenne ou petite échelle des éléments naturels et artificiels situés sur la surface terrestre, ainsi que des formes du terrain* », définition proposée par l'Association Française de Topographie[19]. En France, la carte topographique

[16] http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Inspire.pdf

[17] http://tab.geoportail.fr/

[18] Le mot toponymie vient du grec *topos*, qui signifie lieu, et *onoma*, qui signifie nom. Les toponymes désignent les noms de lieux sur une carte.

[19] L'Association Française de Topographie (AFT) rapproche les professionnels de la topographie, de la géomatique, de la photogrammétrie, de la géodésie, de la métrologie, de l'hydrographie, de la topométrie, de la cartographie, du génie civil et des SIG - http://www.aftopo.org/.

trouve son origine à travers la carte de Cassini[20], qui comprend 180 feuilles couvrant la France au 1:86 400ème (Pelletier, 2007). Succédèrent les cartes d'État-Major, avant qu'elles ne soient définitivement remplacées par les cartes topographiques IGN Série Bleue et TOP 25 telles que nous les connaissons aujourd'hui (Chappart et Reynard, 2007).

Le système de codage visuel sur lequel s'appuie la conception de carte topographique permet de retranscrire de manière fine les relations d'ordre et de différence existantes entre les différents objets géographiques qu'elle représente. En ce sens, la carte topographique constitue une abstraction, qui permet aux utilisateurs de comprendre plus efficacement les caractéristiques spatiales d'un territoire en comparaison d'autres types de représentations plus réalistes, telles que les images satellites ou les vues aériennes. Ainsi, sur une carte topographique, un utilisateur peut identifier aisément la nature d'une route : communale, départementale, nationale, etc. et les relations qu'elle entretient avec le reste du réseau, tâche qui s'avère plus difficile sur une représentation réaliste telle que l'orthophotographie.

L'échelle de visualisation d'une carte topographique répond à un usage particulier (Ruas, 2004). Les cartes topographiques à grande et moyenne échelle (du 1:1 000ème au 1:100 000ème) sont adaptées à la visualisation de données urbaines, telles que la nature et la distribution du bâti. Alors que les cartes topographiques à petite échelle (au-delà du 1:100 000ème) sont adaptées à la visualisation d'ensembles géographiques plus vastes, tels que le réseau routier ou des ensembles physiques comme les massifs montagneux. Les célèbres cartes topographiques au 1:25 000ème sont des cartes dites à moyenne échelle. La Figure 1.9 illustre deux représentations cartographiques extraites du Géoportail au 1:25 000ème et au 1:250 000ème représentant la même zone géographique : la région de Belleville, commune française située dans le département du Rhône. Dans ce cas présent, la distribution spatiale du bâti est observable sur la carte au 1:25 000ème par une représentation du bâti individuel. Inversement, le bâti est représenté de manière zonale par des aires urbaines sur la carte au 1:250 000ème. La sélection de données géographiques et la construction de légende sont donc adaptées à l'échelle de visualisation. Par ailleurs, nous notons que le rendu graphique d'une carte topographique peut connaître de grandes variabilités d'un espace géographique à l'autre. En effet, les combinaisons et les relations entre les éléments géographiques qui composent un espace géographique ne sont pas identiques d'un espace à l'autre. La Figure 1.10 illustre trois types d'espaces géographiques différents : milieu rural (représentation A), milieu maritime (représentation B) et milieu urbain (représentation C), décrits par la carte topographique IGN au 1:25 000ème.

[20] Famille ayant compté une lignée de plusieurs scientifiques de renommés successifs : Giovanni Domenico Cassini, Jacques Cassini, César-François Cassini, Jacques-Dominique Cassini. On leur doit la réalisation de la carte de Cassini.

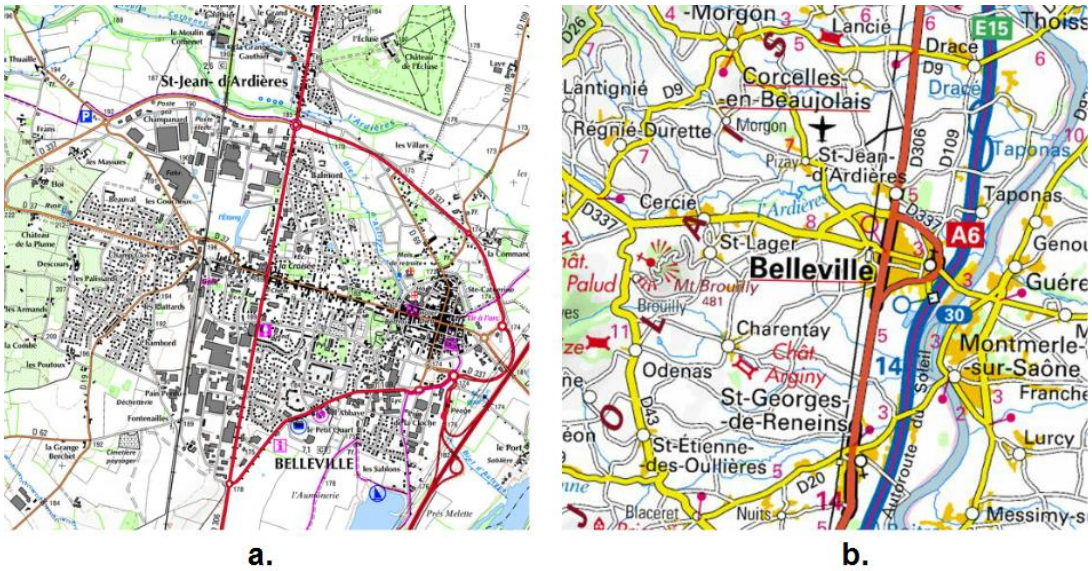



Figure 1.9 Représentations cartographiques d'un même espace géographique à travers deux échelles : **a.** 1:25 000ème ; **b.** 1:250 000ème (source : Géoportail[21]).

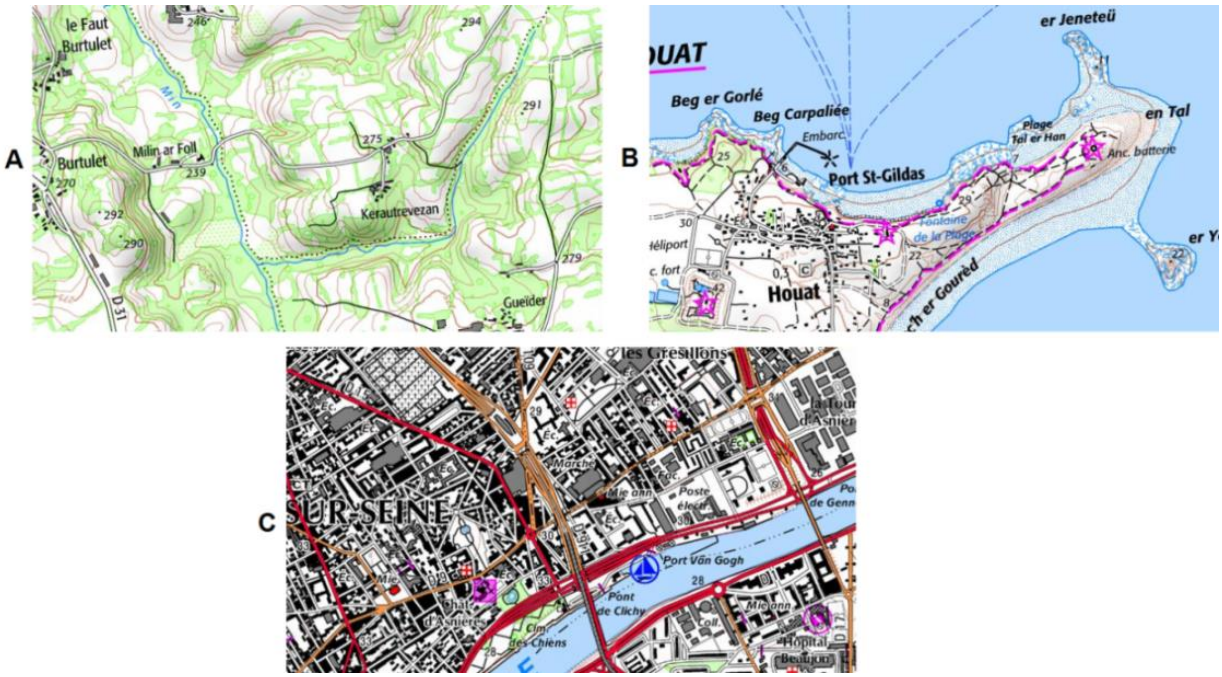



Figure 1.10 Exemples de cartes topographiques au 1:25 000ème produites par l'IGN représentant trois types d'espaces géographiques différents (source : Géoportail).

Au sein de ces trois espaces géographiques, les objets de certains thèmes géographiques, tels que le bâti, le réseau routier, la végétation et l'hydrographie sont distribués différemment et entretiennent des relations différentes. Par exemple, nous distinguons bien une prédominance des objets cartographiques appartenant aux thèmes végétation sur la représentation A, hydrographie sur la représentation B et bâti sur la représentation C. Cette prédominance est directement issue des caractéristiques spatiales de l'espace géographique représenté, qui influencent l'apparence visuelle de la carte. Par ailleurs, la

21 http://tab.geoportail.fr

variabilité du rendu cartographique s'observe également entre les cartes topographiques produites par différentes agences nationales de cartographie telle que l'illustre la Figure 1.11, qui représente six extraits de cartes topographiques aux 1:25 000ème : Portugal, Norvège, Angleterre, Slovénie, Croatie, République Tchèque. Les cartes topographiques des différents pays européens sont assez similaires sur le fond ; elles représentent des informations cartographiques de même nature : relief, bâti, végétation, hydrographie, etc. Cependant, sur la forme, elles possèdent certaines spécificités nationales qui trouvent leurs origines pour partie dans des pratiques issues d'une histoire cartographique nationale très ancienne. Par exemple, en France, l'institut national de cartographie est né au XVIIème siècle avec le Dépôt de la Guerre[22], qui était chargé de produire et conserver les plans et les cartes pour planifier les opérations militaires. La projection Lambert utilisée par les cartes topographiques IGN a été initialement créée pour des besoins militaires (Chappart et Reynard, 2007). Les instituts de cartographie d'Angleterre, de Norvège et du Portugal sont nés au XVIIIème siècle pour répondre à des besoins de différentes natures. De leur côté, les instituts de cartographie des pays appartenant à l'ancien bloc soviétique possèdent une histoire plus récente, qui commença à la suite de l'effondrement du bloc soviétique.

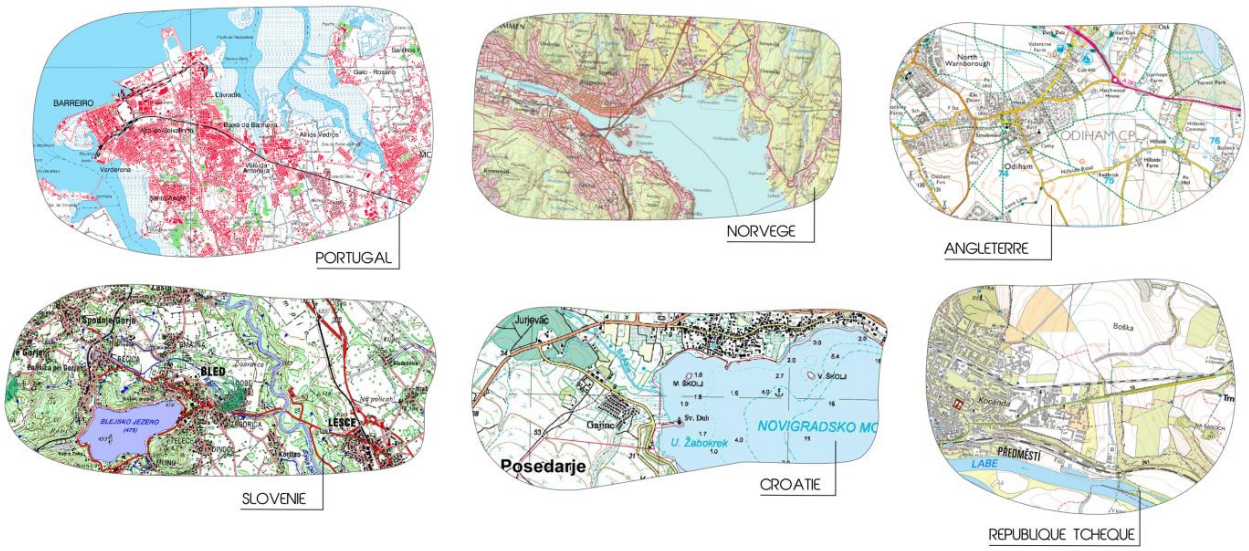



Figure 1.11 Exemples de cartes topographiques au 1:25 000ème produites par différentes agences nationales de cartographie.

### 1.1.3 La diversification des usages de l'information géographique de référence

Pendant longtemps, les cartes ont été uniquement produites par des agences de cartographie publiques pour les services étatiques : ministères, services cadastraux, etc. (Ferland, 1998). Leur conception dépendait d'usages restreints pour une communauté d'utilisateurs fermée. Par la suite, la production de cartes a été ouverte pour répondre aux usages des citoyens, tels que l'usage de la carte topographique pour la randonnée. La

[22] Appelé Dépôt de la Guerre, puis Service Géographique des Armées (https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9p%C3%B4t_de_la_Guerre)

géonumérisation[23] de l'information géographique (Joliveau, 2011), qui correspond au passage de l'information géographique au format papier à son stockage sous forme de bases de données numériques, a fortement contribué au déclin de la carte papier (Desbois, 2008 et 2015), notamment des cartes topographiques et des cartes routières. En passant du format papier au format numérique, l'objectif des cartes topographiques est resté identique, i.e. transmettre un ensemble d'informations géographiques caractéristiques d'un espace géographique aux utilisateurs. Cependant, la géonumérisation et le développement technologique des portails de géovisualisation ont conduit conjointement à une expansion des usages de l'information géographique (Griffin et Fabrikant, 2012), qui se manifeste au sein de nombreux domaines d'application et concernent aussi bien les acteurs institutionnels que les utilisateurs grand public. Par exemple, les différents acteurs de la gestion territoriale ont un besoin grandissant de partager les informations sur les territoires et de les croiser avec des informations thématiques. Ainsi, les portails de géovisualisation sont des outils privilégiés des politiques territoriales, permettant une gestion efficace des problématiques spatiales. Par ailleurs, la décentralisation a obligé les différents acteurs de l'aménagement du territoire à échanger entre eux, et à diffuser l'information géographique aux citoyens. L'usage des portails de géovisualisation s'est alors démocratisé. De plus, les portails de géovisualisation permettent aux utilisateurs grand public, un vaste ensemble d'activités de recherche de natures très différentes : rechercher des informations spécifiques sur un espace géographique défini, visualiser un itinéraire selon différents moyens de transport (à pied, à vélo, en transports en commun, en voiture, etc.), calculer un temps de trajet associé, consulter le cadastre en ligne, etc.

Cette diversification des usages de l'information géographique est au centre de nombreuses problématiques scientifiques, qui nécessitent la mise en place de travaux de recherches interdisciplinaires : informatique, sociologie, écologie, agronomie, etc. À ce titre, au sein de la communauté scientifique francophone de cartographie, le GDR MAGIS[24] a créé une Action Prospective afin de comprendre les enjeux soulevés par ces nouveaux usages de l'information géographique. Il s'agit par exemple d'analyser dans quelles mesures les usages de l'information géographique sont susceptibles de modifier le statut de l'information géographique de référence. De même, au sein de la communauté scientifique internationale de cartographie de l'ACI[25], la commission *Use, User and Usability Issues*[26] tente de comprendre ces nouveaux usages pour adapter les produits cartographiques en conséquence.

Les évolutions technologiques actuelles vont continuer de susciter une diversification des usages de l'information géographique et l'essor de nouvelles représentations cartographiques. En effet, la production cartographique numérique permet de s'adapter très facilement à différents usages (Roche, 2000 et 2003) et de répondre plus efficacement aux besoins des utilisateurs (Lafay et al., 2015). Nous observons un essor de

[23] https://mondegeonumerique.wordpress.com/geomatique-et-cie/geomatique-et-geonumerisation/
[24] Groupement de Recherche – Méthodes et Applications pour la Géomatique et l'Information Spatiale : http://gdr-magis.imag.fr/
[25] L'Association Cartographique Internationale : http://icaci.org/
[26] http://cartogis.ugent.be/kooms/UUI/

nouvelles représentations cartographiques, constituant un corpus en perpétuel croissance par lequel les informations géographiques se trouvent aujourd'hui transmises.

### 1.1.4 L'essor de nouvelles représentations cartographiques

Durant ces deux dernières décennies, de nouveaux acteurs se sont peu à peu imposés à côté des acteurs traditionnels de l'information géographique : Google Maps, Open Street Map[27] (OSM), Mappy, Stamen[28], MapBox[29], etc. Cette multiplication des acteurs a conduit naturellement à une multiplication des produits cartographiques proposés, notamment sur Internet. La naissance et le rapide essor de ces acteurs de la cartographie numérique[30] ont été qualifiés de « révolution » (Larousserie, 2013). Beaucoup de ces acteurs produisent des abstractions cartographiques à partir de données géographiques collaboratives, telles que les données OSM (Goodchild, 2007). Ces abstractions décrivent différentes thématiques du territoire avec précision : bâti, réseau de transport, hydrographie, limites administratives. L'utilisation des cartes OSM comme fond de référence dans les portails de géovisualisation est de plus en plus courante. Bien que l'homogénéité et l'exhaustivité ne soient pas toujours au rendez-vous avec ces abstractions, nous considérons que les représentations cartographiques à moyenne échelle proposées par OSM appartiennent à la grande famille des cartes de référence. La Figure 1.12 illustre par exemple différentes abstractions cartographiques proposées par le guichet d'OSM. Elles sont toutes produites à partir de la base de données géographiques du projet OSM et modélisent à leur façon l'espace géographique en priorisant et valorisant une ou plusieurs thématiques, répondant ainsi aux usages associés. Par exemple, la carte OSM cyclable, illustrée par la Figure 1.12, représente les pistes cyclables avec une symbolisation - bleu tireté - rendant cette information saillante, i.e. qui attire l'attention, en comparaison des autres informations représentées par la carte. Cette abstraction cartographique est spécifiquement adaptée pour les utilisateurs effectuant des déplacements à vélo. Aussi, nous observons que certaines propriétés visuelles sont communes aux différentes abstractions cartographiques proposées par le guichet cartographique d'OSM. Par exemple, les différentes représentations cartographiques de la Figure 1.12 illustrent une utilisation constante de certaines couleurs pour la construction de légende : le bleu de l'hydrographie, le vert de la végétation, le gris des surfaces bâties, délivrant à l'utilisateur un sentiment de famille cartographique. Nous définissons une famille cartographique comme un ensemble d'abstractions cartographiques appartenant à la même catégorie grâce à des propriétés visuelles communes. D'autres producteurs de cartes, tels que l'IGN ou Google Maps, utilisent ce procédé de propriétés visuelles communes afin de délivrer un sentiment de famille cartographique aux utilisateurs. Le but est de délivrer une codification visuelle familière à

[27] OpenStreetMap est un projet qui a pour but de constituer une base de données géographiques libre et modiale. http://www.openstreetmap.org/#map=6/46.965/2.263etlayers=H

[28] Stamen est un studio de design graphique basé à San Francisco dont la spécialité est la création de projet de géovisualisation et de data visualisation. http://maps.stamen.com

[29] Mapbox est une entreprise américaine spécialisée dans la cartographie en ligne. Elle fournit notamment les cartographie de Pinterest, The Financial Times et Le Monde. https://www.mapbox.com/

[30] http://www.lemonde.fr/sciences/article/2013/05/06/cartographie-la-revolution-numerique_3171889_1650684.html

l'utilisateur afin que ce dernier interprète plus facilement l'information géographique représentée par la carte.

Figure 1.12 Ensemble des fonds cartographiques proposés au sein du guichet cartographique OSM[31].

Enfin, les services de cartographie de Mapbox et Stamen renforcent la multiplication et la diversification des produits cartographiques en proposant des abstractions cartographiques stylisées, construites à partir de la base de données géographiques du projet OSM. Par exemple, la Figure 1.13 illustre trois représentations cartographiques proposés par Stamen sur un quartier de la ville de San Francisco : rendu terrain, rendu aquarelle (*watercolor* en anglais) et rendu encre (*toner* en anglais).

Figure 1.13 Trois représentations cartographiques stylisées proposées par Stamen[32] : terrain, watercolor et toner.

Face à cette multiplication de l'information géographique de référence et de ses usages, les principes de conception cartographique se trouvent de plus en plus distribués.

[31] http://www.openstreetmap.org/#map=14/48.9054/2.1061
[32] http://maps.stamen.com/#terrain/12/37.7706/-122.3782

## 1.2 Les services de conception cartographique dans les architectures distribuées

Les services de conception cartographique constituent la manière de créer et mettre en forme des données cartographiques pour produire des cartes de référence. La Figure 1.14 montre l'évolution à travers le temps des architectures informatiques sur lesquelles s'appuient les principes de conception cartographique. En deux décennies, nous sommes passés d'une production cartographique s'appuyant sur des architectures centralisées vers des services d'information géographique fonctionnant en architecture distribuée. Ces évolutions ont remis en cause les méthodes de production cartographique traditionnelles utilisées par les agences nationales de cartographie (Ruas, 2007) et accru l'accessibilité à l'information géographique. Par ailleurs, les services d'information géographique distribués ont bouleversé le rôle de l'utilisateur face à l'information géographique de référence, que ce soit au niveau de la consultation que de son implication nouvelle de l'utilisateur dans la mise à jour des données géographiques.

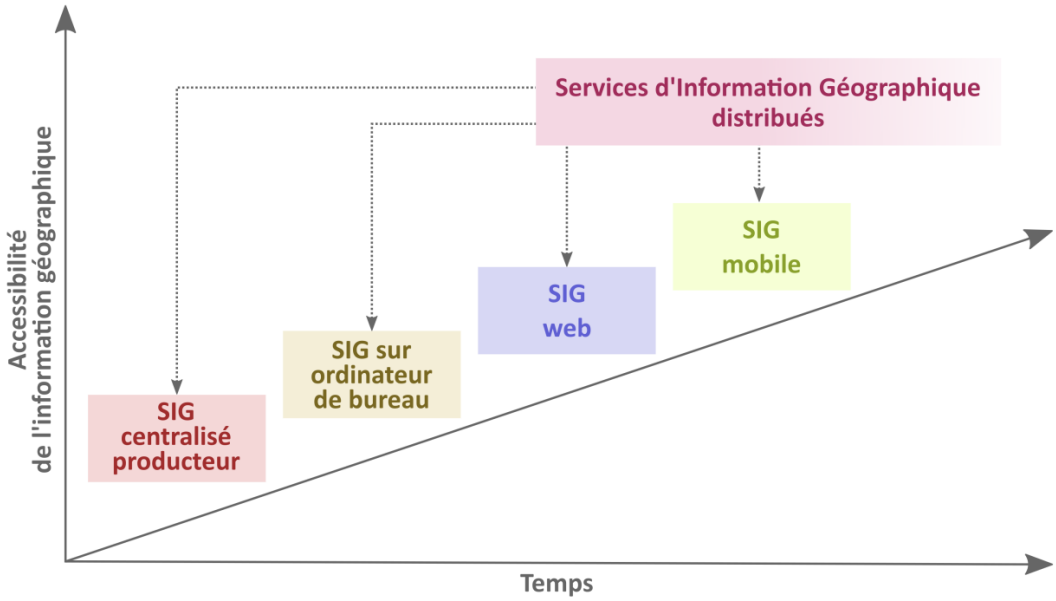



Figure 1.14 Des systèmes SIG centralisés aux services d'information géographique distribués.

Dans cette section, nous présentons les ingrédients qui ont conduit au développement des services de conception cartographique distribués : le développement des outils de géovisualisation (1.2.1), la normalisation des principes de conception cartographique numérique (1.2.2) et l'implication grandissante de l'utilisateur (1.2.3).

### 1.2.1 Le développement des outils de géovisualisation

En moins d'une décennie, Internet a vu se démultiplier les portails de géovisualisation, s'imposant comme le principal vecteur de diffusion d'informations géographiques devant

les traditionnelles cartes papier. Les API [33] cartographiques, qui constituent des architectures orientées « service », ont permis d'intégrer facilement des applications de géovisualisation au sein d'une architecture web existante et décliner ainsi la traditionnelle recherche d'informations sous l'angle géographique. Les applications de géovisualisation sur Internet ont profondément impacté la manière de consulter l'information géographique.

### La géovisualisation : outils de consultation de l'information géographique

La visualisation d'information appartient au domaine scientifique de l'InfoVis, qui étudie les représentations visuelles de données abstraites pour permettre d'en améliorer leur compréhension (Card et al., 1999). Card (2007) propose de définir la visualisation d'informations comme :

> *« a set of technologies that use visual computing to amplify human cognition with abstract information. »*
>
> *« promises to help us speed our understanding and action in a world of increasing information volumes. » (Card, 2007).*

Dans notre travail de thèse, nous nous intéressons plus précisément à la visualisation de représentations cartographiques par des utilisateurs : la géovisualisation. Au sein du domaine des Sciences de l'Information Géographique, elle constitue la visualisation et l'utilisation de représentations cartographiques aidant au raisonnement, à la compréhension et à la diffusion d'informations comprenant une composante spatiale, i.e. une information géographique (Longley et al., 2010). La géovisualisation désigne l'utilisation de tout type de représentations cartographiques, à partir du moment où il facilite la lecture et la compréhension d'un espace géographique. Par ailleurs, la géovisualisation au même titre que la visualisation peut être définie à travers une interaction entre la représentation visuelle et l'utilisateur par l'intermédiaire d'une interface.

> *« Information visualization utilizes computer graphics and interaction to assist humans in solving problems. » (Purchase et al., 2008).*

La géovisualisation comprend différentes formes de consultation cartographique telles que les cartes interactives ou animées. La carte interactive est une carte cliquable qui permet à l'utilisateur d'interagir avec la représentation cartographique (Andrienko et Andrienko, 1999). Une carte animée est caractérisée par des représentations successives d'informations géographiques, qui donnent à voir un changement d'état de l'information dans le temps (Kraak et Brown, 2003). Par ailleurs, MacEachren et Kraak (2001) précisent que la géovisualisation comprend également les outils fournis par un environnement interactif pour composer et créer des représentations cartographiques. Tout au long de ce mémoire, nous utilisons les termes de guichet cartographique [34] ou de portail cartographique pour faire référence à ces environnements interactifs, qui permettent de visualiser des données géographiques et des cartes interactives.

---

[33] Application Programming Interface : interface de programmation composée de classes, de méthodes ou de fonctions qui sert de façade pour communiquer avec une bibliothèque logicielle. Elle est souvent accompagnée d'une description qui spécifie la façon d'utiliser les fonctionnalités.

[34] Terme francophone que l'on trouve le plus souvent sous sa forme anglo-saxonne de « viewer ».

### L'interactivité : principe de consultation de l'information géographique

Peterson (1995), Kraak et Brown (2003), Peterson (2003) et Cartwright et Peterson (2007) observent que les outils de géovisualisation web 2.0 proposent aux utilisateurs de nouvelles façons de consulter une carte et d'accéder à une information géographique : guichet cartographique en ligne, API cartographiques, appel à des services web[35], connexion à des bases de données géographiques, etc. L'ensemble de ces outils et services rend l'information géographique plus accessible pour les utilisateurs (Bord, 1998 ; Brunet, 1987 ; Peterson, 2009 ; Peterson, 2003). L'interactivité est un principe de consultation cartographique, qui s'est imposé à l'ensemble des services de cartographie sur Internet. Les guichets cartographiques *online* proposent aujourd'hui des fonctionnalités pointues donnant à l'utilisateur la possibilité de :

- **choisir et visualiser** des représentations graphiques de différentes natures : image satellite, abstraction cartographique, représentation relief, etc. ;
- **adapter le rendu** des représentations graphiques afin de les covisualiser en superposition (transparence, passage en niveau de gris, etc.) ;
- **naviguer** entre les différentes représentations graphiques ;
- **visualiser une représentation graphique** selon différentes vues : vue verticale 2D, vue oblique 3D, vue immersive 3D, etc. ;
- **ajouter des données géographiques** multi-sources : données personnelles, information sur le trafic routier, transport en commun, etc. ;
- **personnaliser la représentation graphique** des données géographiques ajoutées.

Les fonctionnalités proposées par les guichets cartographiques sont en perpétuelle évolution, s'améliorant sans cesse, d'une part pour s'adapter aux développements technologiques des moyens de communication qui les supportent, tels que les téléphones mobiles ou bien encore les tablettes, d'autre part pour répondre aux usages grandissants des utilisateurs.

Le Géoportail est un portail cartographique, mis en œuvre par l'IGN et le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) en juin 2006, qui permet de visualiser et de consulter un large éventail d'informations géographiques de référence : cartes topographiques, photographies aériennes, cartes anciennes, planche cadastrale, etc. La Figure 1.15 représente l'interface du Géoportail. Les trois encadrés jaunes différencient quelques-uns des outils de consultation cartographique proposés par le Géoportail : choix des données cartographiques au sein d'un catalogue, adapter le rendu des données cartographiques et personnaliser la représentation graphique de données géographiques ajoutées.

[35] Un service web est un programme informatique de la famille des technologies web permettant la communication et l'échange de données entre applications et systèmes hétérogènes dans des environnements distribués. (Source Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Service_web)

Figure 1.15 Interface du Géoportail[36] de l'IGN.

D'autre part, les producteurs de cartes routières, tels que Michelin, ou bien encore les grands opérateurs d'Internet, que sont Google, Bing, Yahoo, etc., proposent également leur propre service de cartographie. Ils mettent à disposition de tous les utilisateurs du web, leurs services de cartographie en ligne, accessibles via un ordinateur, un téléphone mobile ou une tablette, accompagnés de leurs propres référentiels cartographiques. L'ensemble de ces outils de géovisualisation permet une diffusion massive et une accessibilité grandissante à l'information géographique. Certains de ces services se nourrissent mutuellement, attaquant les mêmes bases de données et utilisant les mêmes moteurs cartographiques. Cette mutualisation a nécessité une normalisation des standards d'échange, i.e. mettre en place des standards garantissant l'interopérabilité entre les différents services en information géographique.

### 1.2.2 La normalisation des principes de conception cartographique numérique

L'*Open Geospatial Consortium*[37] (OGC) est un consortium international dont l'objectif est de développer et promouvoir des standards ouverts, appelés spécifications *OpenGIS*, garantissant l'interopérabilité des données, des services et des échanges en information géographique. Les principales spécifications correspondent à différentes usages ou types de données : WMS (Web Map Service) qui spécifie le partage de données raster sur le web, WFS (Web Feature Service) qui spécifie le partage de données vecteur sur le web, SFS (Simple Feature SQL) qui définit le format numérique de stockage et les fonctions de conversions pour les objets géographiques, etc. Les standards ouverts permettent à différents systèmes d'information géographique de rendre accessibles leurs contenus et leurs services et ainsi de fonctionner ensemble formant une architecture distribuée. Dans cette sous-section, nous détaillons le fonctionnement des deux standards

[36] http://tab.geoportail.fr/
[37] http://www.opengeospatial.org/

ouverts proposés par l'OGC : *Style Layer Descriptor*[38] (SLD) et *Style Encoding*[39] (SE). Ensemble, ils permettent ensemble de spécifier à un moteur de rendu cartographique sur le web la manière dont les objets cartographiques d'un WMS doivent être graphiquement représentés. Un moteur de rendu cartographique est un logiciel permettant de créer des cartes à partir de données géographiques de différentes sources et de différentes natures. La Figure 1.16 illustre le principe de symbolisation de données cartographiques par un moteur de rendu cartographique quelconque, à partir des spécifications de style proposées par les standards SLD/SE. Pour chaque couche de la carte, le moteur de rendu dessine les objets cartographiques tels que spécifiés dans les standards SLD/SE. Les spécifications de style proposées par les standards SLD/SE se trouvent reconnues et lues par divers moteurs de rendu cartographique.

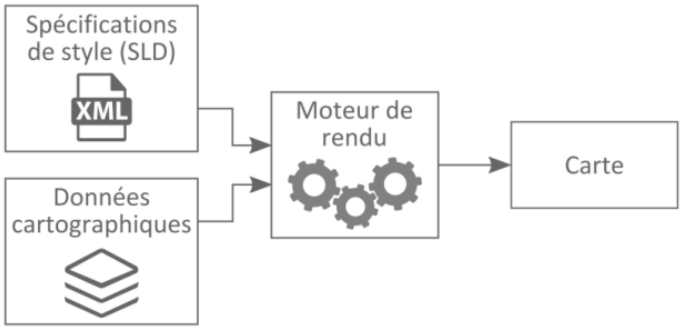



Figure 1.16 Symbolisation de données cartographiques à partir de spécifications contenues dans un SLD.

Le standard SE fournit un schéma XML (*eXtensible Markup Language*) qui spécifie les paramètres graphiques (couleur de fond et de contour, transparence, etc.) qui sont applicables aux différents objets cartographiques contenus dans la carte, i.e. leur représentation graphique (Mueller, 2006). Le standard SE décrit également certaines règles contextuelles, telles que le seuil de visibilité d'une couche, la discrétisation en classes d'objets, etc. Le standard SLD organise et structure la description des styles de représentations proposées par le standard SE sous la forme d'un arbre XML permettant ainsi de décrire les attributs visuels de différentes couches contenues dans une carte (Lupp, 2007). La Figure 1.17 représente le modèle de symbolisation proposés par les standards SLD/SE (Mueller, 2006 ; Lupp, 2007). Nous décrivons ci-dessous les classes du modèle de symbolisation SLD/SE.

La classe « `FeatureTypeStyle` » permet de spécifier les filtres attributaire pour sélectionner les objets cartographiques à symboliser ainsi que les échelles auxquelles ils doivent être visualisés. La classe « `AbstractSymbolizer` » constitue l'ensemble des spécifications permettant de symboliser des objets cartographiques : couleur, taille, symbole externe, etc. Les classes « `PolygonSymbolizer` », « `LineSymbolizer` », « `PointSymbolizer` », « `TextSymbolizer` », « `RasterSymbolizer` » spécifie les paramètres de dessin selon la nature des objets cartographiques à symboliser. Ces classes héritent de la classe « `AbstractSymbolizer` ».

[38] http://www.opengeospatial.org/standards/sld
[39] http://www.opengeospatial.org/standards/se

- la classe « `PolygonSymbolizer` » est dédiée à la symbolisation des thèmes composés d'objets cartographiques surfaciques ;
- la classe « `LineSymbolizer` » est dédiée à la symbolisation des thèmes composés d'objets cartographiques linéaires ;
- la classe « `PointSymbolizer` » est dédiée à la symbolisation des thèmes composés d'objets cartographiques ponctuels ;
- la classe « `TextSymbolizer` » est dédiée à la symbolisation des toponymes composant un thème ;
- la classe « `RasterSymbolizer` » est dédiée à la symbolisation d'un thème représenté par des données de type Raster.

Ces différentes classes s'appuient sur les classes et paramètres du standard SE :

- la classe « `Stroke` » est dédiée à la symbolisation des polylignes pour les objets de type linéaire ou pour le contour des objets surfaciques et ponctuels ;
- la classe « `Fill` » est dédiée au remplissage des objets de type surfaciques, ponctuels et pour les toponymes.

Les paramètres « Couleur » des classes « `Fill` » et « `Stroke` » spécifient la couleur utilisée pour le remplissage et/ou le contour des objets ; le paramètre « Transparence » spécifie l'opacité à appliquer pour le remplissage et le contour ; le paramètre « Épaisseur » spécifie la largeur des polylignes et des contours ; le paramètre « Halo » spécifie la couleur et la largeur du masque entourant des toponymes.

- les classes « `Mark` », « `Graphic` » et « `ExternalGraphics` » permettent de spécifier des pictogrammes pour symboliser des objets de type surfaciques, ponctuels et leurs contours.

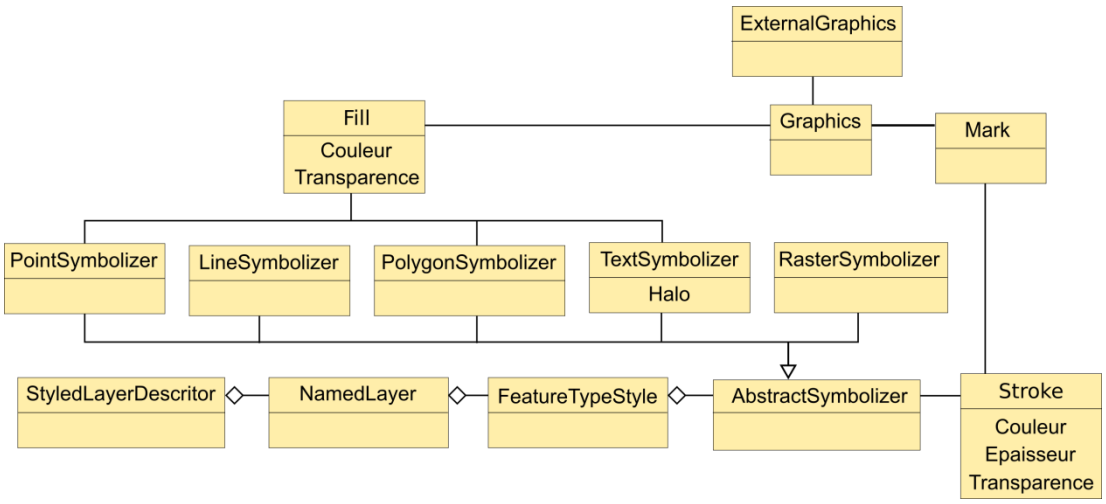



Figure 1.17 Modèle de symbolisation SLD/SE d'après Mueller (2006) et Lupp (2007).

Rapidement, les standards SLD/SE ont été détournés de leur objectif originel consistant à symboliser des représentations cartographiques sur le web (Rita et al., 2010 ; Iosifescu

Enescu et al., 2015) pour être étendus aux logiciels SIG bureautiques (Dietze et Zipf, 2007). Ces standards sont par exemple utilisés pour spécifier le style de données cartographiques vectorielles au sein des logiciels SIG bureautique QGIS[40] et GeOxygene[41]. Monmonier (1993), Beguin (1998) et Cartwright (2012) constatent que les utilisateurs sont toujours plus nombreux à s'approprier les outils de géovisualisation. Grâce aux standards SLD/SE, il est possible de proposer aux utilisateurs des produits cartographiques avec des représentations graphiques appropriés à un ou plusieurs usages spécifiques à partir d'une même base de données cartographiques (Lafay et al., 2015). De même, certaines applications proposent aux utilisateurs d'intervenir sur le rendu cartographique en modifiant le style de certains objets cartographiques.

### 1.2.3 L'implication grandissante de l'utilisateur

Nous entendons par *utilisateur* l'individu qui visualise des représentations cartographiques avec l'intention d'obtenir une information sur un espace géographique. L'utilisateur se retrouve de plus en plus impliqué tant au niveau de la production de données géographiques (Goodchild, 2007 ; Haklay et Weber, 2008 ; Faby et Koch, 2010 ; Mericksay et Roche, 2011 ; Lambert et Zanin, 2012) que de la conception de cartes (Haklay et al., 2008 ; Batty et al., 2010). En effet, les guichets cartographiques en ligne proposent aux utilisateurs des outils cartographiques avec des fonctionnalités de plus en plus avancées, leur permettant d'une part de consulter et lire des cartes de manière interactive, et d'autre part les conduisant à de nouvelles pratiques cartographiques : (1) mettre à jour et produire des données géographiques ; (2) concevoir des représentations cartographiques adaptées à leurs besoins.

#### Des données géographiques produites et mises à jour par les utilisateurs

La démarche de la cartographie participative[42] consiste à faire produire ou étoffer une base de données géographiques directement par la communauté utilisatrice (Goodchild, 2007 ; Haklay et Weber, 2008 ; Faby et Koch, 2010 ; Mericksay et Roche, 2011 ; Lambert et Zanin, 2012). Cette démarche permet de réduire le temps de mise à jour des données diffusées en comparaison des agences de cartographie. Cependant, certains problèmes sont inhérents à ce mode de fonctionnement, tels que celui de la qualité des données diffusées (Girres et Touya, 2010). OpenStreetMap[43] incarne cette pratique faisant office de « wiki » cartographique mondial. Les utilisateurs, le plus souvent non-experts, contribuent à l'enrichissement des bases de données géographiques devenant ainsi acteurs de la production de données géographiques. Ces dernières sont ensuite disponibles et donc réutilisables[44]. La communauté d'utilisateurs d'OSM a grandi

[40] http://www.qgis.org/fr/site/

[41] http://ignf.github.io/geoxygene/

[42] Crowdsourcing, en anglais. Il s'agit de l'utilisation de la créativité, de l'intelligence et du savoir-faire d'un grand nombre de personnes, en sous-traitance, pour réaliser certaines tâches traditionnellement effectuées par un employé ou un entrepreneur. (Source : Wikipédia)

[43] OSM est représenté en France par OpenStreetMap France, association créée en Octobre 2011 et régie par la loi de 1901.

[44] Licence lire ODbl (Open Database License) - il y a obligation de préciser la source pour tout usage de ces données : "© les contributeurs OpenStreetMap" et de partager à l'identique les données dérivées.

relativement vite. Début 2013, OSM dépassait le million de contributeurs[45], dont les formes d'implication sont très diverses, allant du simple commentaire spécifiant une nécessaire mise à jour à la digitalisation complète d'objets géographiques. La Figure 1.18 représente l'interface de iD, l'outil d'édition en ligne de la plateforme OSM, à travers la digitalisation d'un bâtiment.

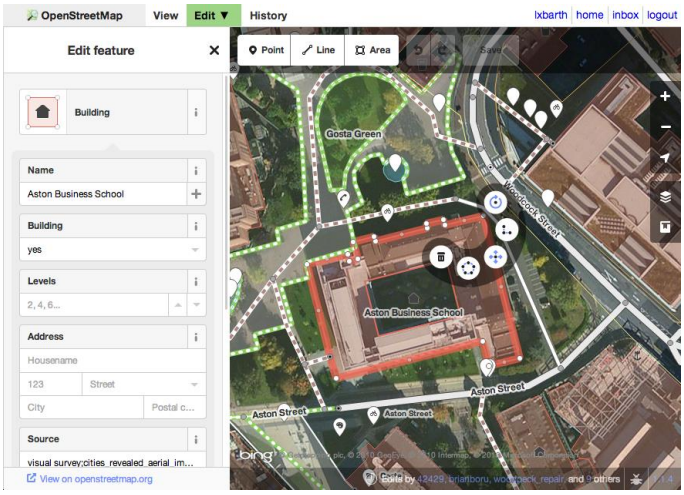



Figure 1.18 Interface iD[46] - outil d'édition des données OSM - digitalisation d'un bâtiment.

Grâce à ces outils, la frontière traditionnelle entre le rôle de l'utilisateur et celui du producteur d'informations géographiques a considérablement évolué, devenant toujours plus poreuse avec le temps (Chilton, 2009) et bousculant le monde de la cartographie numérique (Plantin, 2012). L'utilisateur n'hésite plus à occuper les fonctions autrefois réservées aux producteurs de cartes, telles que la production de données géographiques (Touya et Girres, 2009) et la conception de cartes.

### Des représentations cartographiques conçues par les utilisateurs

Traditionnellement, la conception de cartes est faite par des cartographes professionnels. Cependant, depuis l'arrivée des outils de géovisualisation, les utilisateurs peuvent désormais manipuler très facilement des données géographiques et construire leurs propres compositions cartographiques selon leurs goûts. Cette pratique cartographique, directement liée au web 2.0 et aux API cartographiques, est désignée sous le terme de néogéographie. Cette pratique fait appel à la logique de *mashup*. Les formes des cartes s'en trouvent redéfinies. Il s'agit pour l'utilisateur de combiner et d'agréger plusieurs couches d'informations géographiques provenant de différentes sources (IGN, OSM, données ouvertes, etc.) et représentant des thèmes géographiques variés (occupation du sol, cadastre, etc.). L'utilisateur choisit ces données géographiques au sein d'un catalogue de données mis à sa disposition. Dans certains cas, il a la possibilité de spécifier certains choix de symbolisation (couleurs, textures, contours, transparences, etc.). La Figure 1.19 représente une composition cartographique réalisée sur le Géoportail, intégrant trois couches géographiques sur un fond orthophoto : les bâtiments, le réseau routier et les parcelles cadastrales.

[45] Nom donné au utilisateurs d'OSM qui participe à l'enrichissement de la base de données géographiques.
[46] http://ideditor.com/

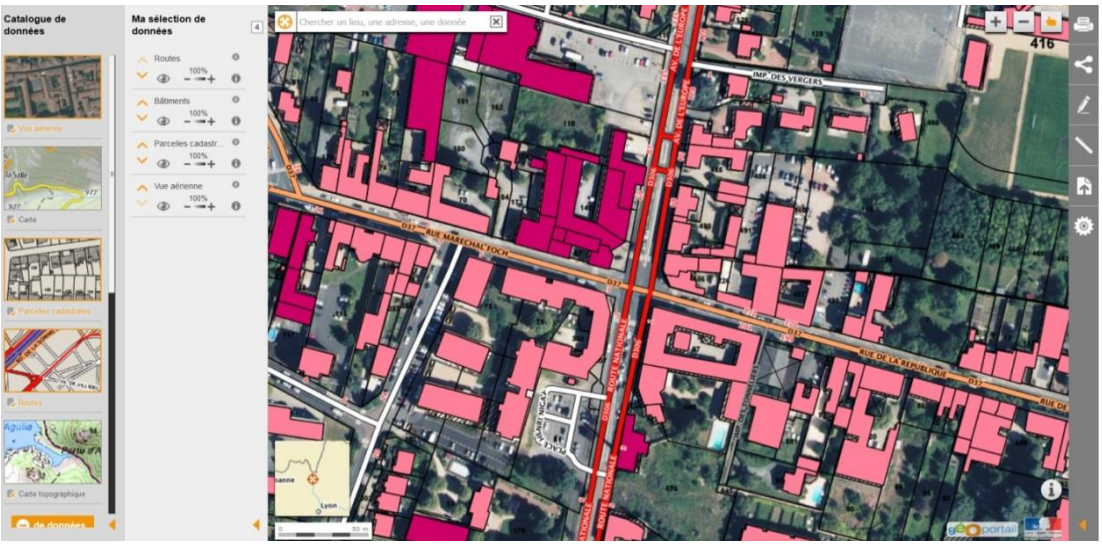



Figure 1.19 *Mashup* réalisé à partir du Géoportail[47] IGN.

De même, grâce aux *mashups* cartographiques les utilisateurs ont la possibilité de localiser et représenter leurs propres données géographiques qu'ils ont soit obtenues par acquisition GPS[48] ou acquises sur des portails de données publiques. En effet, la libération de nombreux jeux de données géographiques par certaines administrations, établissements publics et collectivités territoriales a permis aux utilisateurs d'accéder à une grande variété d'informations géographiques sur un large éventail de thématiques. En France, `data.gouv.fr` est la plateforme centrale de diffusion de données publiques. La Figure 1.20 représente une trace randonnée autour du Lac de Villefort en Lozère avec deux points d'intérêts : les points de départ et d'arrivée de la randonnée. Cette carte a été créée sur le guichet cartographique uMap, qui permet de créer et partager des cartes interactives personnalisées à partir de fonds de cartes OSM.

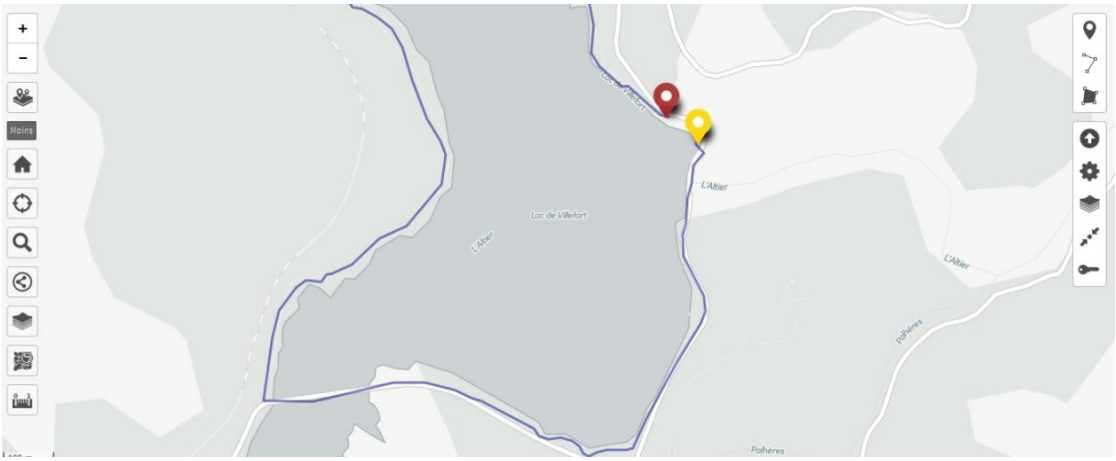



Figure 1.20 *Mashup* réalisé à partir du portail uMap[49].

[47] `http://tab.geoportail.fr/`

[48] Global Positioning System. Les GPS ont donné naissance à de nouveaux formats de données géographiques spécialement conçus pour l'utilisation et la manipulation de données géographiques sur les portails de géovisualisation : gpx, kml, etc. Ils sont tous basés sur la norme XML.

[49] `http://umap.openstreetmap.fr/`

La néogéographie constitue donc une nouvelle cartographie, caractérisée par la possibilité de combiner des données géographiques plus facilement accessibles, utilisables et diffusables (Haklay et al., 2008; Faby et Koch, 2010). Les utilisateurs sont ainsi passés d'un rôle passif, lecteur de cartes géographiques, à un rôle actif d'apprenti-cartographe, composant leurs cartes sur mesure. Les *mashups* se sont imposés, grâce à leur efficacité à répondre aux nouveaux usages cartographiques. Hegarty et al. (2009) considèrent que cette possibilité de combiner différentes données géographiques offerte à l'utilisateur s'avère avantageuse seulement si les utilisateurs possèdent un regard critique sur leurs conceptions cartographiques. En effet, la liberté offerte par ces choix de conception peut conduire à la création de représentations cartographiques de mauvaise qualité. Dodge et Perkins (2008) n'hésitent pas à qualifier ces compositions cartographiques de « McMaps » en référence à la « mal bouffe » proposée par McDonalds. Ils considèrent que la richesse informative de ces cartes est souvent très faible et que la révolution numérique du monde de l'information géographique a conduit à un nivellement vers le bas de la cartographie, à cause de la prolifération de cartes très basiques avec une qualité visuelle dégradée faites par des non-experts (Monmonier, 1993 ; Turner, 2006 ; Cartwright, 2012).

À l'heure où les services de conception cartographique s'appuient sur des architectures distribuées, l'étude de l'expérience utilisateur constitue un réel enjeu.

## 1.3 Enjeux sur la conception d'une carte de référence

Pour un utilisateur, une carte prend tout son sens à partir du moment où il établit une relation entre le langage cartographique, i.e. un mode d'expression cartographique et une réalité géographique. La Figure 1.21 illustre la mise en relation de signes graphiques avec la réalité géographique associée. L'exemple A représente la correspondance entre un morceau de carte topographique et son référent géographique : un espace de bocage, pour l'exemple B il s'agit d'un centre urbain dense, pour l'exemple C un port de plaisance et une autoroute pour l'exemple D. Interpréter une carte s'avère donc une activité difficile, car l'utilisateur doit non seulement décoder correctement le langage cartographique utilisé par le concepteur de cartes, mais aussi faire la correspondance avec la réalité spatiale.

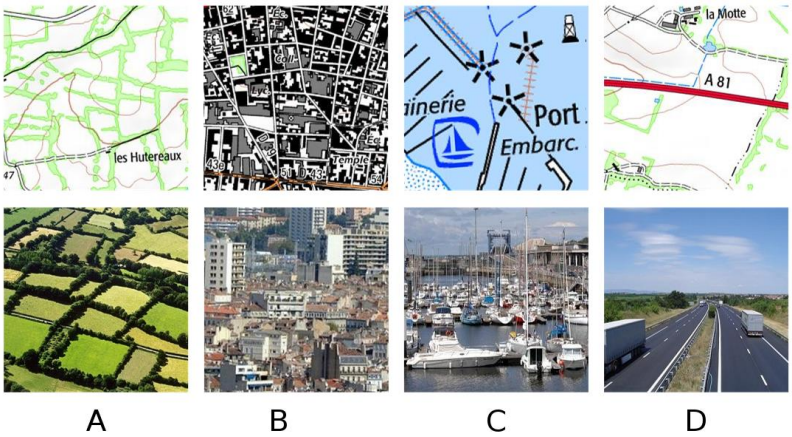



Figure 1.21 Relation signes graphiques – réalité spatiale illustrée à partir d'une carte topographique IGN au 1:25 000ème.

L'interprétation d'une carte topographique n'est pas une activité innée (Fontanabona, 1999 et 2000b). L'utilisateur s'appuie le plus souvent sur la légende cartographique, qui constitue la clé[50] de lecture et de compréhension. En effet, la légende cartographique permet aux utilisateurs de faire la relation entre les signes graphiques contenus dans la carte et leur signification. Ce processus de mise en relation passe par une double identification (Fontanabona, 2000a), (1) identification de signes graphiques présents dans la carte, (2) identification de leurs significations par une mise en relation avec la légende (décodage). La légende cartographique donne à la fois la signification des différents signes graphiques contenus dans la carte et met en évidence les relations existantes entre les thèmes et les objets géographiques. Ainsi, grâce à la légende, l'utilisateur peut comprendre le contexte spatial d'un espace géographique qu'il ne voit pas, à partir de ce qu'il perçoit : une représentation cartographique. Or, nous avons vu précédemment que les représentations cartographiques numériques se sont fortement multipliées et diversifiées ces dernières années. De plus, la lecture de cartes sur le web et applications mobiles se fait désormais sans l'aide de légende cartographique. Dans un tel contexte, la maîtrise des principes de conception cartographique est un enjeu majeur, le paradigme central portant sur la capacité de ces nouvelles représentations cartographiques à transmettre une information géographique lisible et compréhensible aux utilisateurs (1.3.1) pour faciliter toujours plus l'interprétation des cartes de référence (1.3.2). Dans le dernier paragraphe de cette section, nous détaillons la problématique qui sera traitée par ce travail de thèse (1.3.3).

### 1.3.1 Concevoir une carte de référence lisible et compréhensible

Concevoir une carte topographique consiste à mettre en forme et organiser visuellement diverses données géographiques afin de leur donner du sens. Il s'agit de valoriser à la fois la nature de certains objets géographiques et les relations qu'entretiennent les objets géographiques entre eux afin de construire un message cartographique cohérent, qui sera transmis aux futurs utilisateurs et leur permettra de comprendre aisément l'espace géographique représenté :

> *« La carte est plus qu'une simple image visuelle ou photographique d'une région donnée, elle constitue le moyen le plus efficace pour enregistrer, calculer, révéler, analyser et comprendre les relations spatiales qui existent entre les différents phénomènes concrets ou abstraits dont la localisation est géographique. » (Cuenin, 1972).*

Robinson (1952) rappelle que les processus d'abstraction cartographique utilisés par les concepteurs de cartes ont un impact fort sur la manière dont les signes graphiques sont perçus et compris par l'utilisateur. Par exemple, une représentation cartographique de mauvaise qualité peut rapidement nuire à la lecture et à la compréhension de l'information géographique qu'elle porte, voire décourager complètement l'utilisateur à s'aventurer dans sa lecture. L'efficacité de la carte à transmettre une information aux utilisateurs se trouve alors en danger. La lisibilité et la qualité visuelle d'une représentation cartographique contribuent à son efficacité à transmettre une

[50] Le mot key en anglais désigne la légende cartographique.

information. Harrie et al. (2015) rappellent que la lisibilité est un problème majeur en conception cartographique et qu'elle nécessite d'être étudiée pour guider les processus d'abstraction cartographique. La lisibilité d'une carte est dépendante de nombreux paramètres tels que la quantité d'informations portées par la carte, sa qualité esthétique ou bien encore sa complexité visuelle. La lisibilité d'une carte est directement dépendante de la perceptibilité des objets cartographiques et des relations qu'entretiennent ces objets cartographiques entre eux. Ainsi, la compréhension que va avoir l'utilisateur de l'espace cartographique dépend de la lisibilité de la carte (Frangeš, 2003). Cette dernière peut être étudiée sous deux principaux angles : (1) la perceptibilité et (2) la compréhensibilité de la carte.

**La perceptibilité d'une carte** revient à considérer la lisibilité d'une carte au sens perceptif du terme. Par exemple, Cuenin (1972) assure qu'une carte est lisible si et seulement si :

> *« tout objet graphique isolé est perceptible, […] sa forme peut être discernée, […] deux objets voisins sont séparés, et […] les différents paliers sont respectés.»*

Joly (1974) rappelle que la lisibilité est également dépendante des capacités physiologiques de l'utilisateur et des conditions d'observation :

> *« La lisibilité est la qualité d'une carte sur laquelle une information recherchée peut être facilement trouvée, distinguée parmi les autres et mise en mémoire sans effort.»*

**La compréhensibilité d'une carte** est définie comme *« la qualité de ce qui est compréhensible »* (Le Petit Robert, 2015). Il s'agit donc d'évaluer si la carte est facilement compréhensible ou non par les utilisateurs. Bianchetti et al. (2012) rappellent que la carte est un outil de travail transnational pour la gestion de crise, où de nombreuses organisations internationales aux cultures cartographiques différentes travaillent ensemble. Dans ce contexte, les symboles cartographiques doivent être compréhensibles par le plus grand nombre. De plus, la compréhensibilité est intrinsèquement liée à la complexité visuelle[51] de la carte comme le rappelle Bertin (1977) :

> *« L'efficacité du message sera d'autant plus grande que le nombre d'images et leurs complexités seront réduites et que la lecture pourra être faite au niveau de l'ensemble.»*

L'information géographique portée par les cartes topographiques aide les utilisateurs dans leur prise de décision spatiale. Par conséquent, plus compréhensible sera l'information, plus éclairée sera la décision de l'utilisateur. La compréhensibilité de l'information délivrée aux utilisateurs apparaît donc comme un problème central en conception cartographique. Durant le XX$^{ème}$ siècle, de nombreuses méthodes de représentation graphique de l'information ont été proposées. Certaines d'entre elles sont aujourd'hui considérées comme fondatrices et référentes, car leur utilisation permet aux utilisateurs de comprendre rapidement l'information véhiculée. Par exemple, la sémiologie graphique de Bertin (1967) a pour objectif de favoriser la compréhensibilité d'informations géographiques grâce à des règles de conception graphique. L'application de ces règles vise à donner du sens à l'information géographique et à faciliter son interprétation par les utilisateurs. La sémiologie graphique décrit l'utilisation et la

[51] www.symbolstore.org

manipulation de sept variables visuelles : la couleur, le grain, la forme, la localisation, la taille, la valeur, l'orientation. Chacune de ces variables visuelles possède des propriétés visuelles qui permettent de transcrire et d'exprimer des relations visuelles de proportionnalité, d'ordre, d'association et de différence entre les différents thèmes géographiques contenus dans une carte. La Figure 1.22 illustre un extrait de légende cartographique représentant la hiérarchie du réseau routier principal contenue dans une carte topographique IGN au 1:25 000ème. Dans cet extrait de légende, différents types de routes sont représentés par des implantations linéaires de couleur et d'épaisseur variable selon leurs importances. Les choix de variables visuelles montrent une relation d'ordre pour le thème réseau routier à travers l'utilisation de la variable visuelle taille : plus le réseau est représenté avec une épaisseur importante plus son importance est grande. De même, la variable visuelle couleur apporte une relation d'association entre les différents signes graphiques. Une même couleur représente un même type de route.

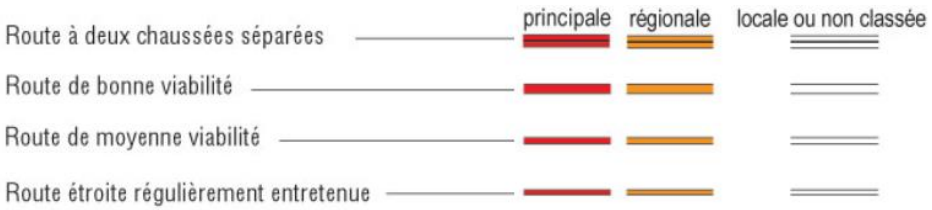



Figure 1.22 Extrait[52] d'une légende cartographique de type 2010 représentant le réseau routier d'une carte topographique IGN au 1:25 000ème.

La sémiologie graphique s'apparente à un système de codage, qui utilise des procédés d'expression visuelle pour donner du sens aux informations géographiques. Elle permet de représenter simultanément un grand nombre d'informations géographiques ainsi que les relations qu'elles entretiennent entre elles. Grâce aux règles de sémiologie graphique, la construction des signes graphiques délivre un caractère synoptique [53] à la représentation cartographique, assurant que l'information géographique représentée soit lisible et compréhensible pour l'utilisateur (Schlichtmann, 1985 et 2009). Les procédés d'expression visuelle proposés par la sémiologie graphique sont utilisés différemment d'un langage cartographique à l'autre donnant naissance à des représentations cartographiques aux apparences visuelles distinctives.

### 1.3.2 Faciliter l'interprétation d'une carte de référence

La représentation d'une carte topographique est correcte si elle permet une extraction immédiate de l'information géographique recherchée par l'utilisateur (Andrienko et Andrienko, 2005). Le second enjeu est de faciliter toujours plus la lecture des cartes topographiques. Le défi consiste donc à concevoir des produits cartographiques permettant d'extraire facilement une information. Matlin (2002) rappelle que l'interprétation d'une information graphique est basée sur deux principales fonctions cognitives et perceptives : l'attention visuelle et la reconnaissance visuelle. La notion de « reconnaissance », du latin *recognoscere*, entretient des relations très étroites avec le

[52] http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_SCAN25_3.2.pdf

[53] Un synoptique désigne une présentation, le plus souvent graphique, qui permet de saisir d'un seul coup d'œil un ensemble d'informations reliées.

terme de « connaissance », qui trouve son origine dans *cognosere*. Connaissance et reconnaissance réfèrent en de nombreux points à des significations proches : « Connaître » signifie identifier et distinguer (Le Petit Robert, 2015). Le préfixe « re » renvoie à l'idée de la mise à disposition d'éléments de connaissance préexistants et d'une expérience qui se répète. La reconnaissance visuelle consiste, au sein d'une expérience de perception visuelle nouvelle, à mettre en relation les propriétés de visuelles identifiées avec des éléments de connaissance semblables stockés en mémoire. Appliquée à la cartographie, il s'agit pour l'utilisateur de reconnaître le mode d'expression graphique exprimée par les choix cartographiques effectués, telle que la construction de légende (les symboles cartographiques utilisés, les couleurs choisies, etc.). De même, Stigmar et Harrie (2011) rappellent que les connaissances de l'utilisateur influencent ses capacités cognitives au moment de la lecture. Il existe donc un réel enjeu pour les producteurs de cartes à délivrer aux utilisateurs des produits cartographiques reconnaissables, i.e. appartenant à une famille cartographique bien connue.

Plusieurs voies permettent de faciliter l'interprétation d'une carte : (1) se concentrer sur la qualité du produit cartographique ou (2) se concentrer sur l'expérience de l'utilisateur, i.e. d'acquérir des connaissances sur la manière dont une carte topographique de référence est interprétée par un utilisateur afin d'adapter sa conception cartographique.

### L'expérience utilisateur (UX)

L'étude de l'expérience utilisateur s'est considérablement développée dans les années 1990 dans le domaine du Design[54] avec la psychologie de l'action[55] et les principes de conception centrés sur l'utilisateur. L'expérience est un processus psychologique, qui consiste à « éprouver quelque chose » (Le Petit Robert, 2015). Selon Norman (1990), l'expérience utilisateur correspond :

> *"aux réponses et aux perceptions d'une personne qui résultent de l'usage ou de l'anticipation de l'usage d'un produit, d'un service ou d'un système".*

La Figure 1.23 représente le fonctionnement temporel de l'expérience utilisateur (Lallemand et Gronier, 2015).

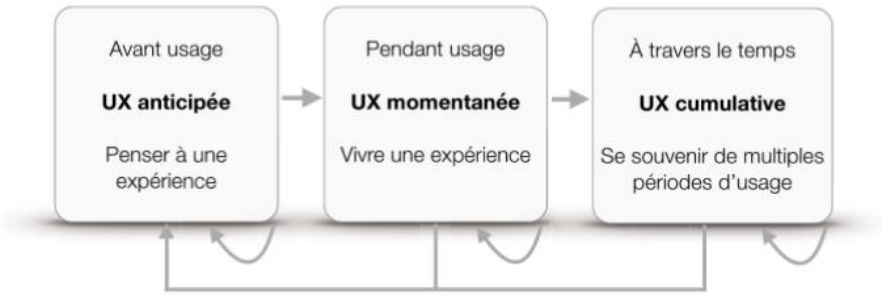



Figure 1.23 Approche temporelle de l'expérience utilisateur, figure adaptée de Lallemand et Gronier (2015).

[54] L'objectif du design consiste à penser et à rechercher la cohérence du système ou « de l'intelligence » de l'objet, selon l'expression du designer français Roger Tallon (1929-2011), considéré comme le père du design industriel français.

[55] La qualité et l'efficacité des actions utilisateur passent par une meilleure connaissance de leurs psychologies.

À travers l'expérience momentanée, l'utilisateur intègre le fonctionnement d'un objet à partir de caractéristiques visibles liées à leurs *affordances*[56]. L'*affordance* fait référence aux attributs d'un objet qui permettent de savoir comment l'utiliser. Ces *affordances* sont assimilées par une itération de plusieurs expériences momentanées, donnant lieu à une expérience cumulative, qui se matérialise par la construction d'un modèle mental formalisant la manière dont un dispositif fonctionne. Ces connaissances sont ensuite mobilisées avant un nouvel usage du dispositif : expérience anticipée. Par exemple, en voyant une chaise un utilisateur s'assoit car il connaît la fonction de l'objet chaise. Il semble que la lecture et l'utilisation d'une représentation cartographique fassent appel à des fonctionnements similaires. À travers un usage répété de cartes d'une même famille cartographique, un utilisateur apprend la codification visuelle utilisé pour encoder l'information géographique.

La conception centrée sur l'utilisateur semble être une approche intéressante pour faciliter l'interprétation d'une carte de référence. Le principe consiste à concevoir des cartes, en considérant les connaissances de l'utilisateur afin d'assurer une cohérence entre les caractéristiques de la carte et les connaissances de l'utilisateur (Abras et al., 2004). L'objectif est de concevoir une carte la plus claire, lisible et attrayante possible pour l'utilisateur (Garrett, 2010). Pour se faire, il est nécessaire de formaliser les connaissances acquises par l'utilisateur au cours de ses différentes expériences, i.e. l'expérience utilisateur cumulative (Lallemand et Gronier, 2015).

Nous identifions deux types d'expériences utilisateur qui semblent déterminantes dans la lecture d'une carte topographique, d'une part l'expérience cartographique, i.e. la pratique de lecture des cartes et d'autre part l'expérience géographique, i.e. la pratique spatiale d'un espace géographique. La fréquence d'utilisation des cartes, i.e. l'expérience utilisateur cumulative, détermine le niveau d'expertise cartographique de l'utilisateur. Certains utilisateurs sont considérés comme novices et d'autres experts de la lecture de cartes, sans pour autant qu'ils soient cartographes. À titre d'exemple, la randonnée oblige à avoir recours aux cartes pour planifier ses itinéraires, pour se localiser et s'orienter durant la randonnée, pour résoudre ses problèmes de parcours, etc. (de Baecque, 2014). L'expérience géographique des utilisateurs est quant à elle définie par les rapports qu'entretiennent ces derniers avec un espace géographique, leur milieu de vie (Guimond, 2015). Nous regroupons ces deux types d'expériences cartographiques et géographiques sous le terme plus général d'expérience utilisateur.

La Figure 1.24 montre des choix d'abstraction cartographique qui semblent prendre en compte l'expérience utilisateur. Il s'agit de trois cartes Google Maps de la région de Sydney produites à différentes dates : 2009, 2010 et 2011.

[56] Le terme d'*affordance* est emprunté à l'anglais et il est parfois traduit par "potentialité". Il dérive du verbe *to afford* qui a un double sens : "être en mesure de faire quelque chose" et "offrir". (Source : Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Affordance).

Figure 1.24 Extraits cartographiques Google Maps représentant la ville de Sydney à différentes dates matérialisant l'évolution du style cartographique Google Maps entre 2009 et 2011 (Van Lancker, 2012).

Nous observons une volonté de la part du producteur de cartes d'intégrer l'expérience utilisateur dans le processus de conception cartographique. Il s'agit de préserver la familiarité de l'utilisateur avec le langage cartographique. Cette volonté se traduit par des choix d'abstraction cartographique constants, qui conduisent à la préservation de certaines propriétés visuelles dans la carte : la couleur du réseau routier, de la végétation et de l'hydrographie, les polices utilisées pour représenter la toponymie, les pictogrammes pour représenter les différents points d'intérêt, etc. Ces propriétés visuelles constantes favorisent l'apprentissage du langage cartographique et des codes visuels associés par l'utilisateur. Parallèlement, nous observons que d'autres paramètres ont été modifiés tels que l'épaisseur des linéaires du réseau routier ou bien encore le choix de certains pictogrammes, tels que les numéros de route. De même, la sélection de données a évolué dans le temps, la carte de 2011 contient plus d'informations que les précédentes. La représentation cartographique originale a donc régulièrement subi des modifications légères, afin d'intégrer de nouvelles informations et d'améliorer le rendu cartographique global sans impacter certaines propriétés visuelles. Procéder ainsi constitue une méthode d'évolution intelligente car les nouveaux rendus bénéficient en permanence de l'expérience des précédents.

### 1.3.3 Problématique : comment faciliter la communication cartographique à l'heure où les services de conception cartographique s'appuient sur des architectures distribuées ?

MacEachren (1995) rappelle que la communication est la fonction principale des cartes :

> *« Communication came to be viewed as the primary function of cartography and the map was considered the vehicle for that communication. »*

Robinson et Petchenik (1977) modélisent cette fonction de communication cartographique sous forme d'un système illustré par la Figure 1.25. La source constitue l'entrée du système, elle est illustrée ici par le producteur de cartes. Ce dernier encode une information géographique : le signal, sous forme de représentation cartographique : le canal. Il représente le cœur du système, il constitue le vecteur de transmission du signal de la source vers la cible, illustrée ici par l'utilisateur. Le décodage de la représentation cartographique permet à l'utilisateur l'acquisition de l'information géographique.

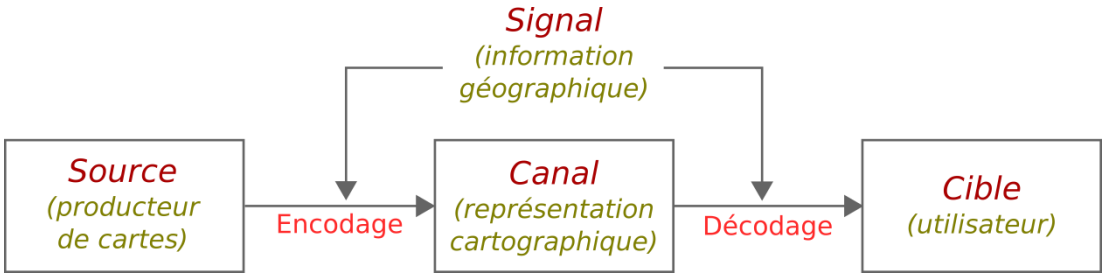



Figure 1.25 Fondamentaux d'un système de communication cartographique
figure adaptée de Robinson et Petchenik (1977).

La manière dont l'information géographique est encodée dans la carte apparaît être un facteur déterminant dans sa transmission. Kriz (2013) souligne que les processus d'abstraction cartographique utilisés pour construire les cartes topographiques ont une influence directe sur la fonction de communication de la carte. Avant d'entamer un processus de conception cartographique, le cartographe est obligé de se poser deux grandes questions :

- « quoi dire ? », qui revient à se demander quel contenu géographique vais-je intégrer à ma carte ?
- « comment le dire ? », qui revient à se demander comment vais-je construire ma légende ?

Christophe (2009) rappelle qu'une bonne carte doit transmettre un message : (1) fidèle à l'intention initiale du cartographe et (2) compréhensible et interprétable par l'utilisateur. En ces termes, Christophe (2009) insiste sur l'adéquation et la cohérence, qui doivent exister entre les principes d'abstraction cartographique d'une part et les principes d'interprétation d'autre part, afin que le message soit communiqué à l'utilisateur en adéquation avec l'intention initiale du concepteur.

Par ailleurs, Koláčný (1969) rappelle que la lecture et la recherche d'informations dans une carte sont dépendantes des connaissances et de l'expérience des utilisateurs. Différents modèles, plus ou moins complexes ont été proposés pour formaliser les relations existantes entre le concepteur de cartes, la carte et l'utilisateur. Le plus connu reste certainement le modèle de Koláčný (1969). D'ailleurs, la publication de ce modèle a eu un impact considérable sur l'ensemble des recherches en cartographie dans la seconde moitié du XX$^{ème}$ siècle. De nombreux travaux de recherche se sont appuyés sur ce modèle soit pour l'enrichir soit pour proposer des méthodes facilitant et améliorant la communication cartographique entre le concepteur de cartes et l'utilisateur (Bartz, 1971; Carswell, 1977 ; Board, 1972 ; Dent, 1972 ; Wood, 1972 ; Robinson et Petchenik, 1977 ; Board, 1978 ; Salichtchev, 1983 ; Bo et al., 2001; Kriz, 2013). La Figure 1.26 illustre une version simplifiée du modèle de Koláčný (1969), qui reprend les quatre étapes principales du processus de communication cartographique, depuis la phase de construction

(étapes 1 et 2 représentées en rouge sur la Figure 1.26) jusqu'à la phase d'interprétation de la carte (étapes 4 et 5 représentées en bleu sur la Figure 1.26).

La **construction cartographique** matérialisée par la partie rouge de la Figure 1.26, est ainsi décrite :

(1) Le concepteur a une intention cartographique. Il s'appuie sur ses connaissances et son expérience - Réalité du concepteur de cartes U1 - pour sélectionner un ensemble d'informations de la réalité spatiale. Il s'agit donc d'une représentation sélective de la réalité spatiale matérialisant la représentation mentale du concepteur.

(2) Le concepteur utilise un langage cartographique pour transformer sa représentation mentale de la réalité spatiale en une abstraction cartographique objective. Il s'agit de la phase d'encodage de l'information.

(3) L'abstraction cartographique propose une information cartographique objective et compréhensible pour les utilisateurs.

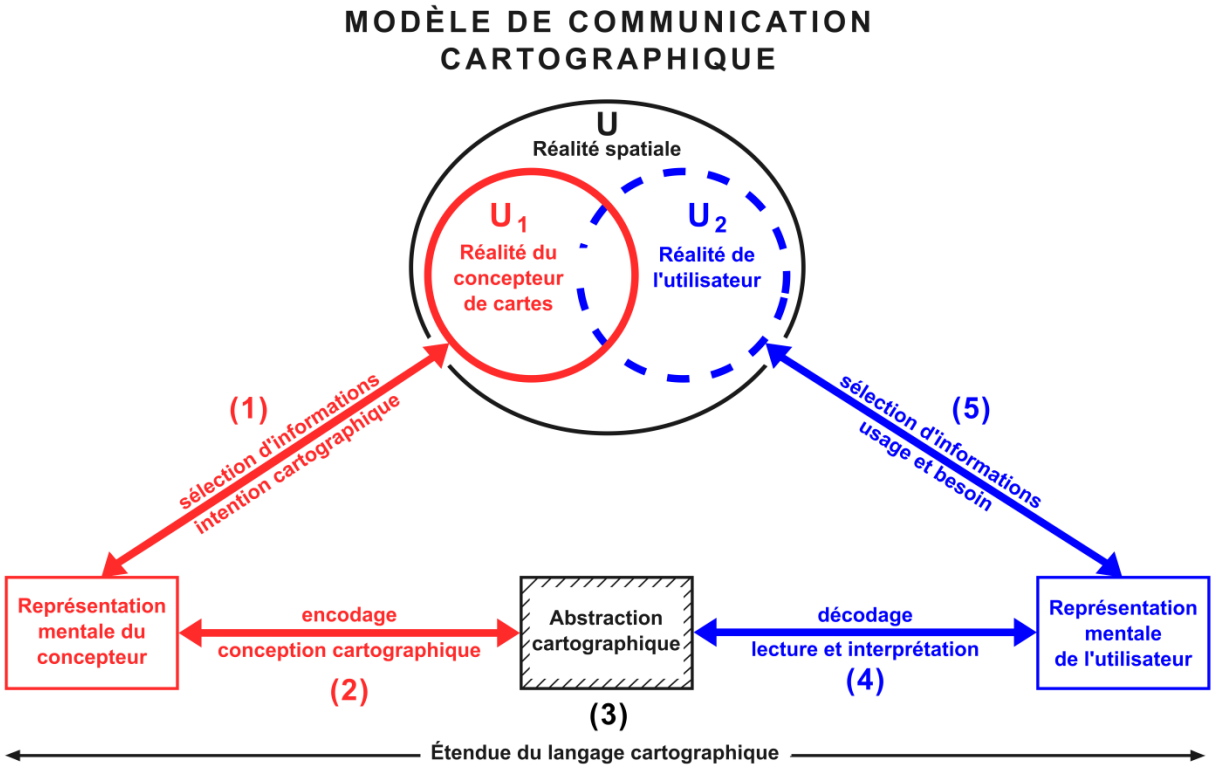



Figure 1.26 Modèle de communication cartographique simplifié d'après Koláčný (1969).

L'**interprétation cartographique** matérialisée par la partie bleue de la Figure 1.26, est ainsi décrite :

(4) En s'appuyant sur les connaissances acquises au cours de son expérience cartographique, l'utilisateur interprète le langage cartographique utilisé par le concepteur et lit l'abstraction cartographique. Grâce à l'interprétation du langage cartographique utilisé pour concevoir la carte, l'utilisateur se crée une représentation mentale de la réalité spatiale U1, appelée U2. L'expérience, les connaissances et le besoin de l'utilisateur ont un impact direct sur la manière dont il va interpréter le langage cartographique utilisé par le concepteur et par conséquent sur la représentation mentale qu'il se fera des informations géographiques que le concepteur a souhaité lui transmettre, via la réalité spatiale U1.

(5) L'information acquise et sélectionnée par la lecture de l'abstraction cartographique permet de répondre aux différents usages et besoins des utilisateurs. Les utilisateurs décident et agissent en conséquence.

Bien que le concepteur et l'utilisateur évoluent dans une même réalité spatiale / environnement géographique (U), les différences d'expériences, de connaissances, d'usages et de besoins entre le concepteur et l'utilisateur créent deux réalités distinctes : U1 et U2. Ces différences de réalité créent deux modèles distincts illustrées par la Figure 1.27 : le modèle de la carte et le modèle de l'utilisateur. Dans un mode de fonctionnement idéal, ces deux modèles sont imbriqués et se nourrissent mutuellement. En réalité, il existe une distance réelle entre ces deux modèles (Shannon, 1949 ; Robinson, 1952 ; Koláčný, 1969 ; Crampton, 2001). Les producteurs de cartes ont généralement un modèle de la carte complet et précis, mais un modèle de l'utilisateur peu précis. Ils possèdent peu d'information sur la manière dont les utilisateurs interprètent une carte. Inversement, les utilisateurs ont tendance à avoir une vision imprécise du modèle de la carte, cependant à travers l'expérience, ils créent un modèle utilisateur bien plus précis que ceux des concepteurs de cartes. La conception cartographique optimale n'apparaît que lorsque les producteurs de cartes ont une vision précise et complète du modèle de la carte et de l'utilisateur, qui reflète une fusion efficace des deux modèles. Dans notre travail de thèse, nous souhaitons acquérir un ensemble d'informations sur les connaissances acquises par les utilisateurs au cours de leur expérience, leur permettant d'interpréter efficacement le langage cartographique utilisé par le concepteur. Il s'agit là de formaliser les connaissances sur la manière dont les utilisateurs interprètent une carte topographique de référence, illustrées par la partie 2 de la Figure 1.27, afin de les intégrer aux connaissances déjà existantes en conception cartographique, tel que l'illustre la flèche orange de la Figure 1.27.

1. **le modèle de la carte** : modèle conceptuel formalisant les principes d'abstraction cartographique utilisés par un langage cartographique pour encoder une information géographique ;
2. **le modèle de l'utilisateur** : modèle mental formalisant les activités cognitives et les connaissances mobilisées par l'utilisateur pour décoder et interpréter le langage cartographique utilisé par le producteur de cartes.

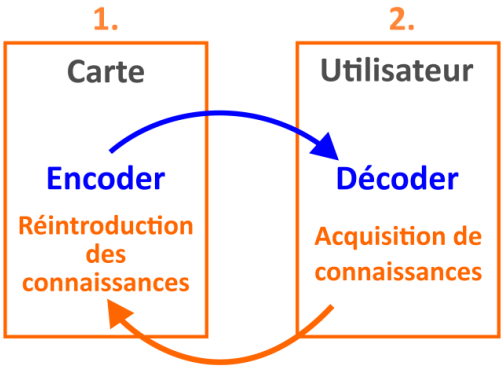



Figure 1.27 Acquisition de connaissances sur le décodage d'une représentation cartographique (2) et réintroduction des connaissances dans la phase d'encodage de l'information géographique (1).

Nous souhaitons ainsi relier les deux modèles et enrichir les connaissances dont disposent les producteurs pour construire les cartes avec les connaissances mobilisées par les utilisateurs pour les interpréter.

## 1.4 Positionnement, objectifs et questions de recherche

Dans cette section, nous affirmons dans un premier temps le positionnement de ce travail de thèse au sein des domaines de la représentation des connaissances et de la sémiologie graphique (1.4.1). Dans un second temps, nous détaillons les objectifs que ce travail de thèse vise à atteindre et les questions de recherche associées (1.4.2).

### 1.4.1 Positionnement et postulat de la thèse

Ce travail de thèse se positionne dans le domaine de la représentation des connaissances et tout particulièrement à l'interface de deux disciplines :

1. **la sémiologie graphique**, i.e. l'étude de la signification des signes graphiques ; nous nous intéressons tout particulièrement aux méthodes et aux règles qui permettent la traduction graphique d'une information géographique.

2. **les sciences cognitives**, i.e. l'étude et la modélisation des mécanismes dédiés au traitement de l'information : la perception, le langage, la mémoire, l'attention, le raisonnement, les émotions, etc. ; nous nous intéressons tout particulièrement à la perception et de la mémorisation de l'information cartographique contenue dans les cartes topographiques.

Nous utilisons la représentation des connaissances pour formaliser les connaissances acquises par notre recherche en une forme facilement accessible, compréhensible et interprétable par un Système d'Information Géographique (SIG). L'objectif étant que le système puisse intégrer les connaissances acquises au sein de processus de conception cartographique.

Nous dégageons un postulat central pour notre travail de thèse basé sur **la notion de style topographique.** Selon Kent et Vujakovic (2009), l'identification de similitudes ou de différences visuelles par rapport à des principes d'abstraction cartographique déjà connus de l'utilisateur, s'apparente à la notion de style cartographique. Nous pensons que le style fédère autour de représentations cartographiques connues de l'utilisateur, favorisant la lisibilité et la compréhension d'une information cartographique. Grâce au style topographique, les utilisateurs accèdent aux contenus de ces cartes de manière simple et spontanée, par l'intermédiaire de codes et de repères visuels connus. Ils interprètent ainsi une carte dans un cadre de référence cognitif déjà établi, où certains signes graphiques et mécanismes interprétatifs sont intégrés au sein d'images mentales. Le décodage des signes graphiques se trouve alors facilité et la charge cognitive nécessaire à l'interprétation de la carte se trouve ainsi réduite (Bunch et Lloyd, 2006). En ce sens, des représentations cartographiques éloignées des images mentales de l'utilisateur, constituent un décalage qui peut s'avérer être une entrave à la communication cartographique. L'étude de la notion de style topographique semble donc avoir un intérêt à l'heure où les principes de conception se trouvent distribués et que les représentations cartographiques se multiplient et se diversifient.

### 1.4.2 Objectifs et questions de recherche

Nous avons identifié le besoin de faire des cartes rappelant le style d'un producteur de référence, i.e. « des cartes à la manière d'» un producteur de référence, soit pour faire face à l'évolution des usages de l'information géographique et proposer aux utilisateurs des recommandations au sein de services de conception cartographique distribués, soit pour proposer de nouvelles représentations cartographiques en harmonie avec les produits cartographiques existants. Ces tâches s'avèrent difficiles car il subsiste certaines incertitudes quant aux ingrédients constitutifs d'un style et quant aux signes graphiques représentatifs d'un style. Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est **de formaliser la notion de style topographique en tant que famille cartographique regroupant des signes graphiques reconnus des utilisateurs**. Cette formalisation permettrait d'utiliser la notion de style topographique en tant qu'ingrédient de conception cartographique. Nous souhaitons ainsi enrichir les connaissances existantes sur la conception de cartes topographiques cherchant à améliorer leur efficacité.

Dans ce contexte, notre travail de thèse doit répondre à deux grandes questions de recherche :

1. Comment construire une carte à la manière d'un producteur de cartes de référence ?
2. Quels éléments de légende reprendre pour construire une carte topographique dont l'utilisateur reconnait son style de référence ?

Nous avons fait le choix de travailler sur deux familles cartographiques : IGN et Swisstopo, pour lesquelles nous souhaitons caractériser le style. Pour répondre à ces questions de recherche, il semble nécessaire de s'interroger sur : (1) les processus d'abstraction cartographique attribuant aux cartes des propriétés visuelles particulières, (2) les mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans l'interprétation d'une carte et (3) l'expérience des utilisateurs afin d'identifier les propriétés visuelles permettant de déclencher la reconnaissance d'un style topographique et de classer une carte au sein d'une famille cartographique. L'ensemble des connaissances apportées et formalisées par cette recherche doit conduire à la proposition d'un modèle de style topographique et la spécification de recommandations, qui aideront à la rédaction de représentations cartographiques dont le style est reconnaissable par les utilisateurs.

# Chapitre 2.
# État de l'art sur la conception et la reconnaissance visuelle d'une carte topographique

**2.1 Connaissances théoriques sur la conception d'une carte topographique ..... 54**
2.1.1 Les signes graphiques : donner du sens à l'information géographique ..... 56
2.1.2 Les processus d'abstraction cartographique ..... 67
2.1.3 Travaux relatifs à l'enrichissement des connaissances sur la construction de légende ..... 76
**2.2 Mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique ..... 90**
2.2.1 Sélectionner et organiser les éléments d'une scène visuelle : point de départ de la reconnaissance visuelle ..... 91
2.2.2 Encoder une information visuelle : pivot de la reconnaissance visuelle ..... 97
2.2.3 Mémoriser une information : socle de connaissances permettant la reconnaissance visuelle ..... 100
2.2.4 Reconnaître pour interagir avec un environnement géographique ..... 103
**2.3 Le style cartographique en tant que famille cartographique ..... 109**
2.3.1 Style cartographique : éléments de définition issus de l'état de l'art ..... 109
2.3.2 Approches existantes pour formaliser le style cartographique en tant que famille cartographique ..... 114
**2.4 Verrous scientifiques ..... 128**
Verrou 1 : La nécessité d'unifier les connaissances de l'état de l'art ..... 128
Verrou 2 : La nécessité d'identifier les propriétés visuelles déterminant l'appartenance d'une carte à une famille cartographique ..... 128

Dans ce chapitre, nous effectuons une synthèse des connaissances sur la conception et la reconnaissance visuelle d'abstractions cartographiques particulières : les cartes topographiques. Dans un premier temps, nous nous intéressons aux connaissances existantes sur la construction des cartes topographiques (2.1), et tout particulièrement aux processus d'abstraction cartographique donnant naissance aux signes graphiques qu'elles portent. Nous détaillons ensuite les mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique (2.2). Enfin, nous analysons le style topographique en tant que famille cartographique (2.3) et nous détaillons les verrous auxquels est confrontée notre recherche (2.4).

## 2.1 Connaissances théoriques sur la conception d'une carte topographique

Représenter un espace géographique sur une carte, c'est avant tout le simplifier pour faciliter sa compréhension. Simplifier consiste à réduire la quantité d'informations représentées pour conserver uniquement l'information la plus significative. Ce processus de simplification est appelé abstraction. Dans le langage courant, l'abstraction est définie comme le :

> *« fait de considérer à part un élément (qualité ou relation) d'une représentation ou d'une notion, en portant spécialement l'attention sur lui et en négligeant les autres » (Le Petit Robert, 2015).*

Selon cette définition, le processus d'abstraction consiste à transformer une représentation réaliste en une autre plus abstraite, en simplifiant l'information pour la rendre plus assimilable et compréhensible à travers la construction de signes graphiques, tel que l'illustre le processus d'abstraction d'un visage en bande dessinée présenté sur la Figure 2.1 proposée par McCloud (1993). Plus l'information est simplifiée, plus le niveau d'abstraction augmente. La quantité d'informations représentées définit ainsi le niveau d'abstraction.

Figure 2.1 Illustration du principe d'abstraction d'un visage en bande dessinée (McCloud, 1993).

McCloud (1993) rappelle qu'il existe deux types de simplification :

1. La **simplification du niveau de détail :** il s'agit d'une simplification du sens par élimination des détails pour ne conserver que les plus significatifs. La Figure 2.1 illustre la simplification du niveau de détails d'un portrait, où seuls le visage, les yeux et la bouche sont conservés.

2. La **simplification des propriétés visuelles** (la forme, la couleur, etc.) : les propriétés visuelles du portrait, illustré par la Figure 2.1, sont simplifiées pour accentuer leur perception : les courbures extérieures du visage, la linéarité de la bouche et la similarité des yeux.

Le processus d'abstraction cartographique est similaire, il permet de concevoir une représentation simplifiée d'une réalité géographique (Mustière et al., 2000). La Figure 2.2 illustre les différences visuelles existantes entre une représentation cartographique réaliste : une orthophotographie (A) et une abstraction cartographique : la carte topographique IGN au 1:25 000$^{ème}$ (B). Cette dernière constitue un mode de représentation efficace permettant aux utilisateurs d'accéder facilement et rapidement à des informations géographiques grâce aux différents signes graphiques qu'elle contient. Autre exemple, la Figure 2.3 illustre deux représentations cartographiques possédant un haut niveau d'abstraction : les cartes schématiques du métro Londonien. Sur ces deux

cartes, seules les lignes et les stations de métro sont représentées. De plus, elles sont représentées de manière schématique afin que l'information soit plus facilement interprétable par des utilisateurs. Avelar et Hurni (2006) rappellent que les cartes schématiques s'apparentent à des croquis, qui sont des formes couramment utilisées par les utilisateurs pour communiquer entre eux. La carte schématique est un type d'abstraction cartographique, qui constitue un sujet de recherche à part entière. Certains chercheurs mesurent leur utilisabilité (Roberts et al., 2013), d'autres proposent des méthodes de conception pour améliorer l'interprétation de l'information géographique qu'elle contient (Böttger et al., 2008 ; van Dijk et al., 2013) ou pour les générer automatiquement (Ti et al., 2015).

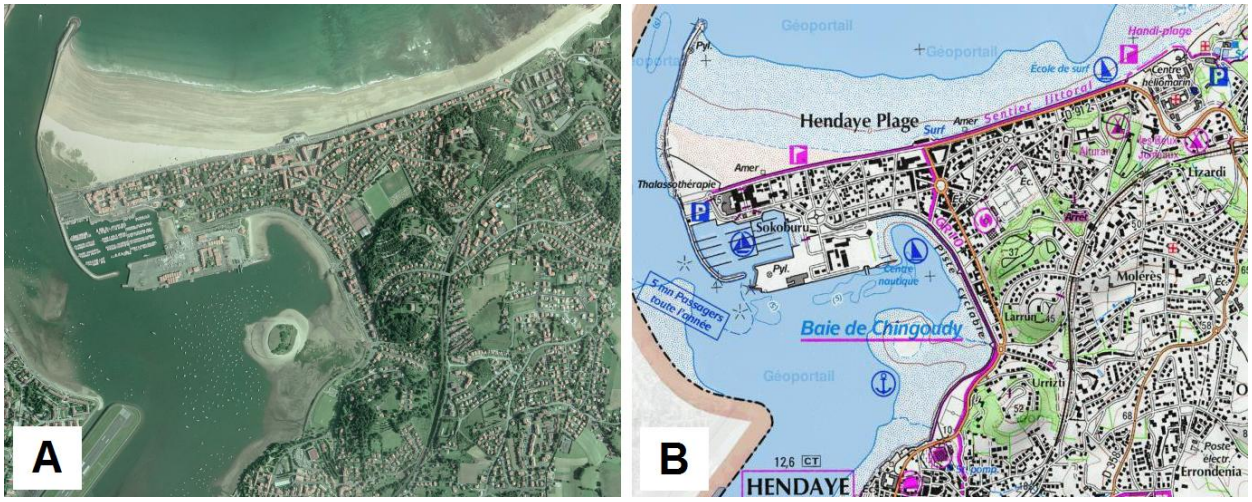



Figure 2.2 Illustration des différences entre un rendu photoréaliste : l'orthophotographie (A) et une abstraction cartographique : la carte topographique IGN au 1:25 000ème (B) (Hoarau, 2015).

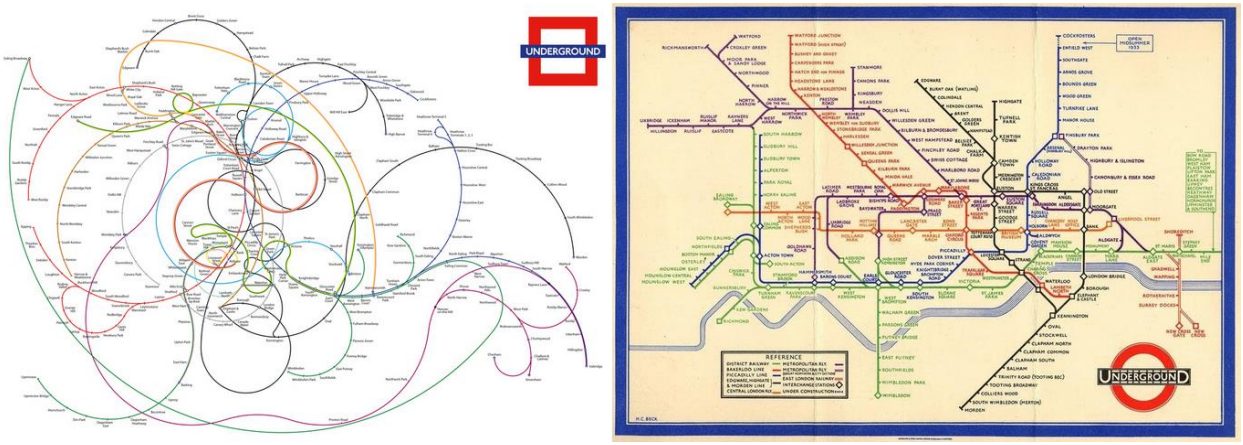



Figure 2.3 Deux cartes schématiques du métro Londonien[57].

Dans cette section, nous présentons les principes de construction et d'interprétation d'une abstraction cartographique particulière : la carte topographique. Dans un premier temps, nous exposons les connaissances relatives aux principes de fonctionnement des signes graphiques (2.1.1). Dans un deuxième temps, nous détaillons les différents processus d'abstraction cartographique en jeu dans la construction d'une carte

[57] www.buzzfeed.com/expresident/london-underground-maps-you-never-knew-you-needed

topographique (2.1.2). Enfin, nous ouvrons sur les travaux relatifs à l'enrichissement des connaissances sur la construction de légende (2.1.3).

### 2.1.1 Les signes graphiques : donner du sens à l'information géographique

Pour communiquer entre eux, les hommes utilisent différents langages qui se basent sur des systèmes de signes (Saussure, 1915 ; Shannon et Weaver, 1949 ; Pierce, 1978 ; Eco, 1988). Le signe est le substitut d'un objet ou d'une chose, qui désigne à la fois ce qu'un individu perçoit et l'image mentale associée à cette perception. Par exemple, les mots sont considérés comme des signes. Le mot « *télévision* » est un substitut de l'objet « *télévision* », permettant d'énoncer et de faire référence à celle-ci dans une communication entre individus, qu'elle soit orale ou écrite : « je regarde la télévision ». La sémiologie[58] est la science des signes, elle étudie d'une part leurs propriétés et d'autre part leurs rapports à l'information qu'ils expriment (Saussure, 1915). Dans notre recherche, nous nous intéressons à la sémiologie uniquement sous l'angle de la codification de signes graphiques. Cette codification est décrite par une branche de la sémiologie appelée sémiologie graphique, qui étudie la construction des signes graphiques. Elle propose notamment un ensemble de règles permettant la transcription de données sous forme graphique afin de favoriser leur communication. Dans cette sous-section, nous exposons l'ensemble des connaissances traitant de la construction et de l'interprétation des signes graphiques contenus dans les cartes.

#### Les principes de fonctionnement des signes graphiques

Pierce (1978)[59] rappelle que le langage s'articule autour de signes possèdant une structure à trois faces formant un triangle sémiotique illustré par la Figure 2.4 : **le référent** (ce dont on parle)**, le signifiant** (la forme du signe, i.e. un mot ou un phonème[60])**, le signifié** (le sens, i.e. le contenu du signe).

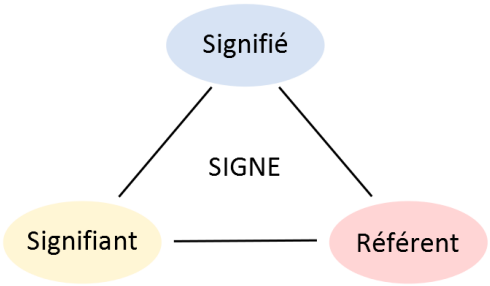



Figure 2.4 Le triptyque référent-signifiant-signifié représentant le concept de signe.

Jacques Bertin, père de la sémiologie graphique, rappelle que le langage cartographique s'appuie sur la construction de signes graphiques permettant de transmettre

[58] « *Science qui étudie la vie des signes au sein de la vie sociale* ».

[59] Célèbre sémiologue et philosophe américain, il est considéré comme un des pères de la sémiologie (ou sémiotique) moderne et comme un des plus grands logiciens.

[60] Le phonème est la plus petite unité distinctive de la chaîne parlée, c'est-à-dire la plus petite unité de son capable de produire un changement de sens par commutation : https://fr.wikipedia.org/wiki/Phonème.

efficacement une information géographique aux utilisateurs. La construction des signes graphiques est le principal paradigme en cartographie (Head, 1984 ; Wood et Fels, 1986 ; Santaella Braga, 1988 ; Schlichtmann, 2009 ; Palek, 2009 ; Costantini, 2010 ; Palsky, 2012). La Figure 2.5 présente le fonctionnement des signes graphiques en cartographie au travers du triptyque : référent-signifiant-signifié.

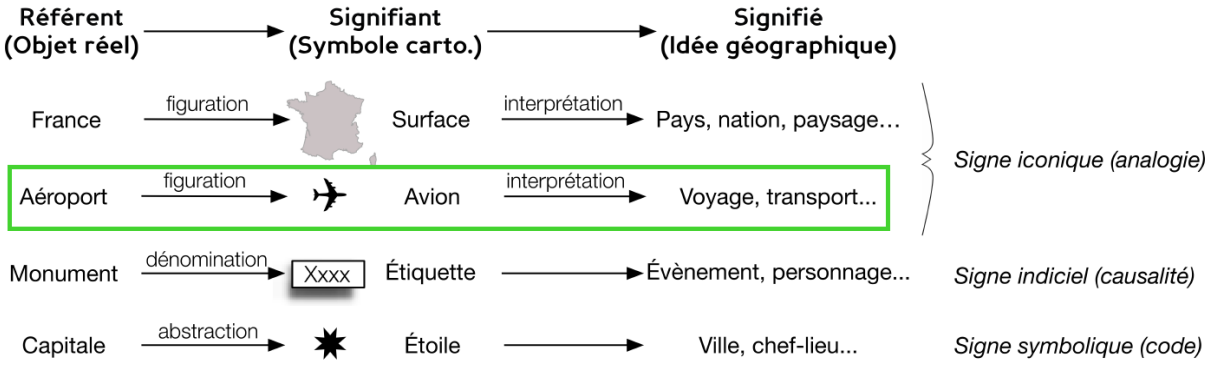



Figure 2.5 Fonctionnement des signes graphiques en cartographie (Jégou, 2013).

**Le référent** constitue l'objet réel ou le concept qui doit être interprété par l'utilisateur au travers du signe. Il existe une distinction nette entre le signe et le référent**.** Dans son tableau *La trahison des images*, René Magritte ajoute la légende *« Ceci n'est pas une pipe »* pour montrer que même représentée de manière très réaliste, une pipe peinte dans un tableau n'est pas une vraie pipe que l'on peut fumer. À travers cet exemple, Magritte matérialise la différence entre le signe et son référent qui est l'objet lui-même. En cartographie, le référent constitue l'objet réel, i.e. l'espace géographique qui devra être interprété par l'utilisateur en lisant la carte. Sur le premier exemple de la Figure 2.5, le référent est l'espace géographique « France ».

**Le signifiant** est la matérialisation visuelle du signe graphique, i.e. le symbole cartographique utilisé pour représenter le référent. Le signifiant joue le rôle de médiateur entre le référent et le signifié. Il aide l'utilisateur à rentrer en contact avec le signe, à travers une représentation du référent. Le signifiant peut prendre différentes formes telles qu'un mot, un pictogramme, un dessin simplifié, etc. Selon Pierce (1978), le signifiant peut avoir trois formes différentes :

1. l'**icône** renvoie à un objet signifié grâce à sa ressemblance. Le signifiant a ainsi une relation de similarité avec son référent. Les dessins figuratifs utilisés en bande dessinée peuvent être considérés comme des icônes. Autre exemple, le pictogramme « avion » de l'encadré vert de la Figure 2.5, est interprété comme un aéroport par les utilisateurs à cause des similarités et des ressemblances existantes entre le signe et la réalité.

2. l'**indice** est un signe qui exprime quelque chose de différent de ce qu'il représente réellement. Le signifiant a ainsi une relation causale. Par exemple, un nuage noir sur une carte météorologique indique un risque de pluie à l'utilisateur.

3. le **symbole** rompt avec toute ressemblance avec l'objet ou la chose exprimée. Les symboles renvoient à l'objet au moyen d'une convention d'ordre culturel qui repose sur une association d'idées ou de valeurs. Par exemple, la colombe représente la paix pour l'ensemble de la communauté internationale. Cette interprétation n'est pas en

lien avec la fonction naturelle de la colombe, il s'agit là d'une acceptation collective. De la même manière, en France, les routes sont régulièrement représentées par des symboles linéaires de couleurs vives (IGN, Michelin), or dans la réalité, les routes ne sont ni bleues, rouges, oranges ou jaunes.

**Le signifié** désigne la représentation mentale de l'objet ou du concept auquel le signe est rattaché. Lorsqu'un utilisateur lit ou entend le mot « *moto* », il s'en fait une représentation mentale. Celle du type de moto qu'il connaît le mieux : deux roues, un guidon, une selle, etc. En cartographie, Jégou (2013) souligne que le signifié constitue une idée géographique. Sur le deuxième exemple de la Figure 2.5, le pictogramme représentant un avion (le signifiant) apporte une idée de voyage et de transport (le signifié).

Les signes graphiques contenus dans une carte topographique entretiennent des relations visuelles (Schlichtmann, 2009), qui donnent naissance à des signes graphiques d'un niveau supérieur. Jégou (2013) précise qu'il s'agit de combinaisons de signes, appelées syntagmes[61], qui expriment un sens pour les utilisateurs. Fontanabona (2000a) souligne qu'une carte, dans sa globalité, est elle-même un signe de niveau supérieur, à travers sa ressemblance avec l'espace géographique qu'elle représente. La signification d'une carte topographique est donnée par les relations entretenues entre le référent, le signifiant et le signifié de chacun des signes de la carte, mais aussi par les relations entretenues entre les différents types de signes qu'elle contient : les signes iconiques et les signes plastiques.

### La signification d'une carte : interaction entre les signes iconiques et signes plastiques

En théorie, les signes iconiques et les signes plastiques sont deux types de signes qui ne sont pas parfaitement distincts. Cependant le Groupe µ (1992) propose d'effectuer cette distinction. En effet, le Groupe µ (1992) note que les éléments plastiques d'une composition graphique (couleurs, formes, textures, etc.) sont des signes à part entière et non de simples propriétés visuelles des signes graphiques. Nous tentons ici d'exprimer les différences existantes entre les signes iconiques et plastiques afin de comprendre l'intérêt de la prise en compte des signes plastiques au sein de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique.

#### Les signes iconiques

Un signe iconique constitue un signe, dont le signifiant est un icone tel que nous l'avons précédemment présenté. Afin de détailler plus finement le fonctionnement du signe iconique, la Figure 2.6 propose une mise à jour du triangle sémiotique à travers l'exemple proposé par le Groupe µ (1992) et repris par Jégou (2013) : un chat. Au sein de ce nouveau triangle sémiotique, le signifié est remplacé par un terme appelé « type ».

[61] La syntagme désigne une combinaison de signes généralement utilisée en linguistique, où elle constitue un ensemble de mots : https://fr.wikipedia.org/wiki/Syntagme

1. le signifiant, i.e. l'élément perceptible, est reconnu à partir du moment où le type, i.e. un ensemble de propriétés visuelles correspondant à l'acceptation générale de la représentation d'un chat, est conforme au signifiant ;
2. le type est conforme au référent s'il possède des propriétés visuelles stables, i.e. des propriétés visuelles conformes à ce que l'utilisateur connait de l'animal chat ;
3. la relation centrale du signe, entre le référent et le signifiant, n'est pas due uniquement à des similitudes des propriétés visuelles, mais également à des transformations de certaines de ces propriétés visuelles, telles que la simplification du niveau de détail.

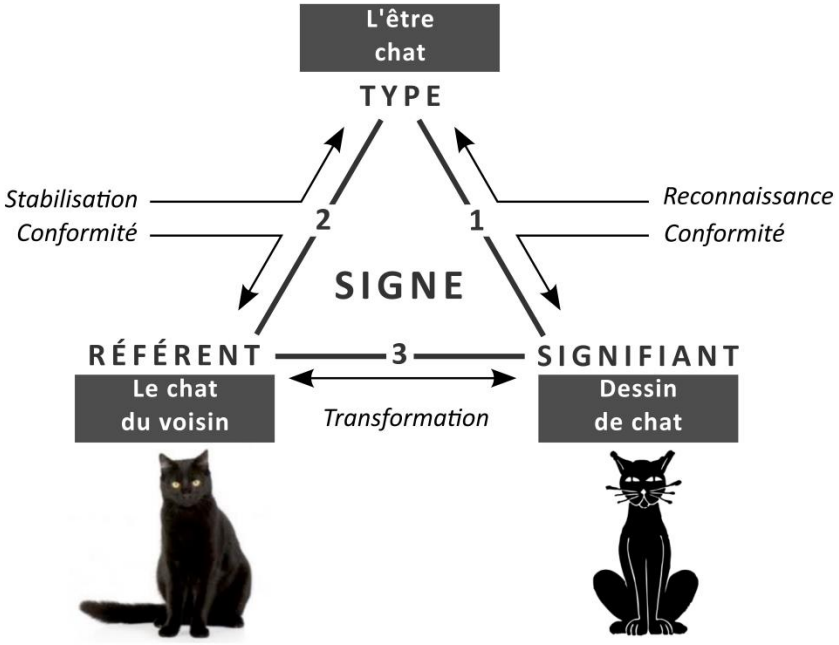



Figure 2.6 Modélisation du signe iconique à travers l'exemple du chat d'après le Groupe µ (1992) et Jégou (2013).

Les signes iconiques sont des éléments figuratifs, assez facilement reconnaissables et identifiables par les utilisateurs, du fait que le signifiant et le référent entretiennent des rapports de conformité avec le type, i.e. un ensemble de propriétés visuelles correspondant à l'acceptation générale, ce qui assure le processus de signification. La Figure 2.7 intègre la carte topographique au sein du modèle du signe iconique. La carte topographique constitue le signifiant et joue le rôle de médiatrice entre le référent, i.e. l'espace géographique et le type, i.e. le savoir géographique. Les processus d'abstraction, de perception et de cognition en jeu dans l'interprétation d'une carte et proposés par Fabrikant (2011) ont été ajoutés au modèle du signe iconique de la Figure 2.7. Ainsi, la perception du signifiant implique la transmission d'un savoir géographique, i.e. le type. Par ailleurs, l'acquisition de ce savoir géographique engage des processus cognitifs permettant de comprendre et d'appréhender le référent, i.e. l'espace géographique. Le processus d'abstraction intervient entre le référent et le signifiant. Ainsi, l'objectif du producteur de cartes topographiques est de construire une abstraction cartographique, qui facilite au maximum la transmission d'un savoir géographique afin de déclencher les mécanismes cognitifs permettant la compréhension et l'appréhension de l'espace géographique. Par conséquent, les propriétés visuelles attribuées aux signes graphiques

par les processus d'abstraction cartographique jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des mécanismes perceptifs et cognitifs qui s'ensuivent.

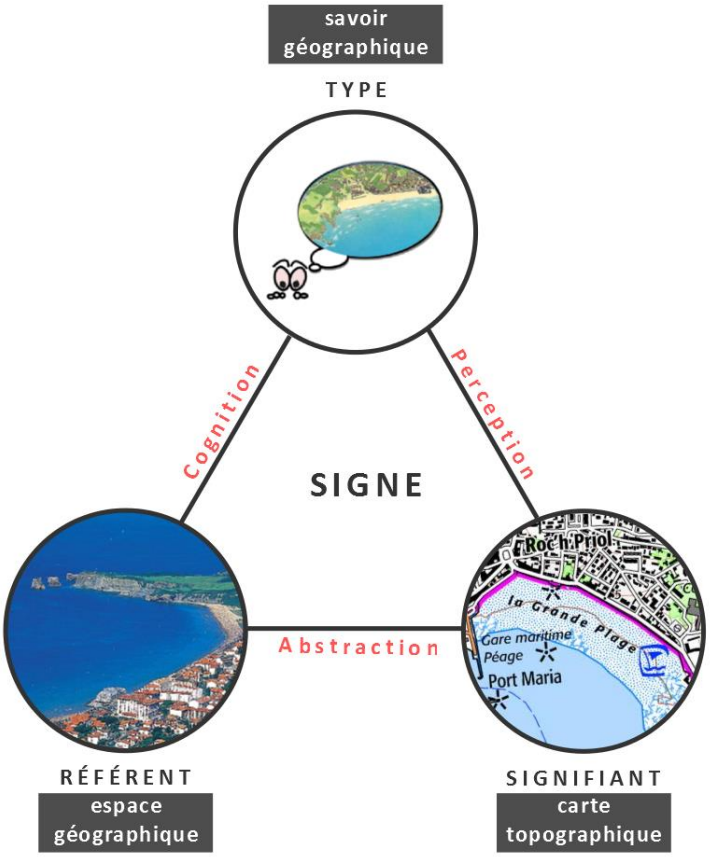



Figure 2.7 Intégration de la carte topographique au modèle du signe iconique, figure adaptée de Groupe µ, (1992), Fabrikant (2011), Jégou 2013 et Hoarau (2015).

### Les signes plastiques

Les signes plastiques sont visuellement plus complexes que les signes iconiques. Ils n'entraînent pas nécessairement un processus de signification au même titre que les signes iconiques. La signification plastique est plus indéterminée que la signification iconique, elle accompagne cette dernière sans pour autant se confondre avec elle. En revanche, les signes plastiques impliquent l'existence d'une relation visuelle entre le signifiant et le signifié. En cartographie, les signes plastiques constituent une véritable grammaire du langage cartographique : ils expriment visuellement les choix de construction effectués par le producteur de la carte. Les signes plastiques sont traditionnellement classifiés en deux groupes (Joly, 2011) :

1. **les signes plastiques non spécifiques**, issus de l'expérience visuelle de l'utilisateur : la couleur, la forme, la texture, l'éclairage.

Ces signes plastiques non spécifiques correspondent à certaines des variables visuelles proposées par la sémiologie graphique de Bertin (1967), la couleur et la forme notamment.

La **couleur** peut être définie selon trois principaux paramètres : la teinte, la saturation et la luminosité. La Figure 2.8 illustre le double cône inversé du modèle TSL ; il s'agit d'un modèle colorimétrique perceptuel qui reprend les trois paramètres de définition de la couleur. La teinte est la forme pure d'une couleur, elle désigne la couleur perçue et est

mesurée sur une échelle circulaire : le cercle chromatique[62]. La saturation mesure le degré de pureté d'une couleur, i.e. la quantité de gris ajoutée à la couleur. Elle est mesurée par le rayon d'une section circulaire du cône et varie de 1 (couleur pure ou saturée) à 0 (niveau de gris correspondant). La luminosité exprime l'impression de clarté, de brillance de la couleur, elle est mesurée selon une échelle linéaire allant de 0 (noir) à 1 (blanc) en passant par tous les niveaux de gris.

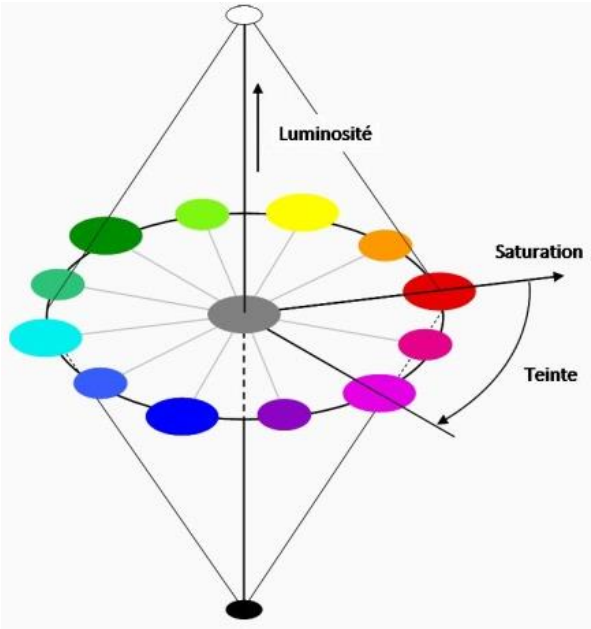



Figure 2.8 Double cônes inversés du modèle TSL décrivant les trois paramètres de la couleur.

Ensemble, les couleurs suggèrent un sentiment et/ou une émotion à l'utilisateur. Par ailleurs, la symbolique des couleurs diffère d'une culture à une autre impactant le sentiment suggéré.

La **forme** peut être analysée selon trois principaux critères : la dimension (grand/petit ; court/long ; large/étroit), la position (haute/basse ; gauche/droite ; verticale/horizontale ; proche/loin ; centrale/latérale) et l'orientation (Groupe µ, 1992).

La **texture** constitue une région de la carte qui est représentée par un motif ou un arrangement particulier qui se répète avec des caractéristiques fréquentielles donnant lieu à une zone de l'image qui possède des caractéristiques homogènes. Différentes combinaisons de textures suggèrent différentes sensations visuelles, au même titre que différentes matières procurent des sensations tactiles différentes.

La forme et la texture permettent de différencier la nature des objets cartographiques dans une carte.

En cartographie, l'**éclairage** est matérialisé par l'ombrage de la carte. Pour Kandinsky (1975), l'éclairage a un effet psychophysiologique car il est perçu optiquement et vécu psychiquement.

[62] Il s'agit d'une représentation ordonnée des couleurs utilisées en peinture, en teinturerie, en design industriel, en mode, en arts graphiques. Les couleurs se succèdent dans l'ordre de celles de l'arc-en-ciel : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cercle_chromatique.

2. **les signes plastiques spécifiques**, issus des propriétés conventionnelles de la composition visuelle : le cadre, le cadrage, l'angle de prise de vue et la posture (la pose du modèle).

Les trois premiers critères peuvent être appliqués à la carte, le cadre correspond à la taille de la carte, le cadrage à l'échelle de la carte et l'angle de vue à la projection de la carte. Jégou (2013) constate que l'aspect général d'une carte est un signe plastique, donnant une « impression générale de style », qui contribue à la signification des signes graphiques. L'auteur prend notamment l'exemple des grands organismes de cartographie, tels que le National Geographic aux États-Unis ou encore l'IGN et Michelin en France. Il souligne que les choix d'abstraction cartographique spécifiques effectués par ces organismes donnent naissance à des signes iconiques et plastiques, qui définiraient à priori leur style (Jégou, 2013).

La difficulté de construire une carte réside dans le choix des signes graphiques afin de faire apparaître des associations signe-sens évidentes et de délivrer un message visuel explicite permettant une compréhension aisée de l'espace géographique représenté.

### Les règles de construction des signes graphiques

Au même titre que l'expression verbale, l'expression graphique a ses exigences qui impliquent la mise en œuvre de règles de conception (Chombart de Lauwe et al., 1952). Bertin (1967) rappelle qu'il est très difficile pour les producteurs de cartes d'effectuer les bons choix de propriétés visuelles. C'est pourquoi les chercheurs en cartographie se sont très tôt intéressés aux propriétés visuelles des signes graphiques, cherchant à dégager des règles de conception permettant d'assurer une bonne transmission de l'information géographique.

#### Les variables visuelles de Bertin

Bertin (1967) travailla à la rédaction d'une grammaire graphique basée sur l'utilisation et la manipulation de variables visuelles garantissant une transmission correcte du message cartographique entre la carte et son utilisateur. La Figure 2.9 illustre les différentes variables visuelles constituant cette grammaire graphique :

1. **la taille** correspond à la variation de la surface des symboles représentés ;
2. **la valeur** correspond au rapport entre les quantités de noir et de blanc dans les couleurs des symboles représentés ;
3. **le grain** correspond à la quantité de tâches que l'on peut percevoir sur une surface uniforme ;
4. **la couleur** correspond à la sensation physiologique résultant des radiations reçues par l'œil en regardant un objet éclairé par une lumière blanche (lumière solaire) ;
5. **l'orientation** correspond à l'angle des symboles représentés avec l'horizontale ;
6. **la forme** correspond à la structure externe des symboles ponctuels et linéaires et à la structure interne des symboles surfaciques.

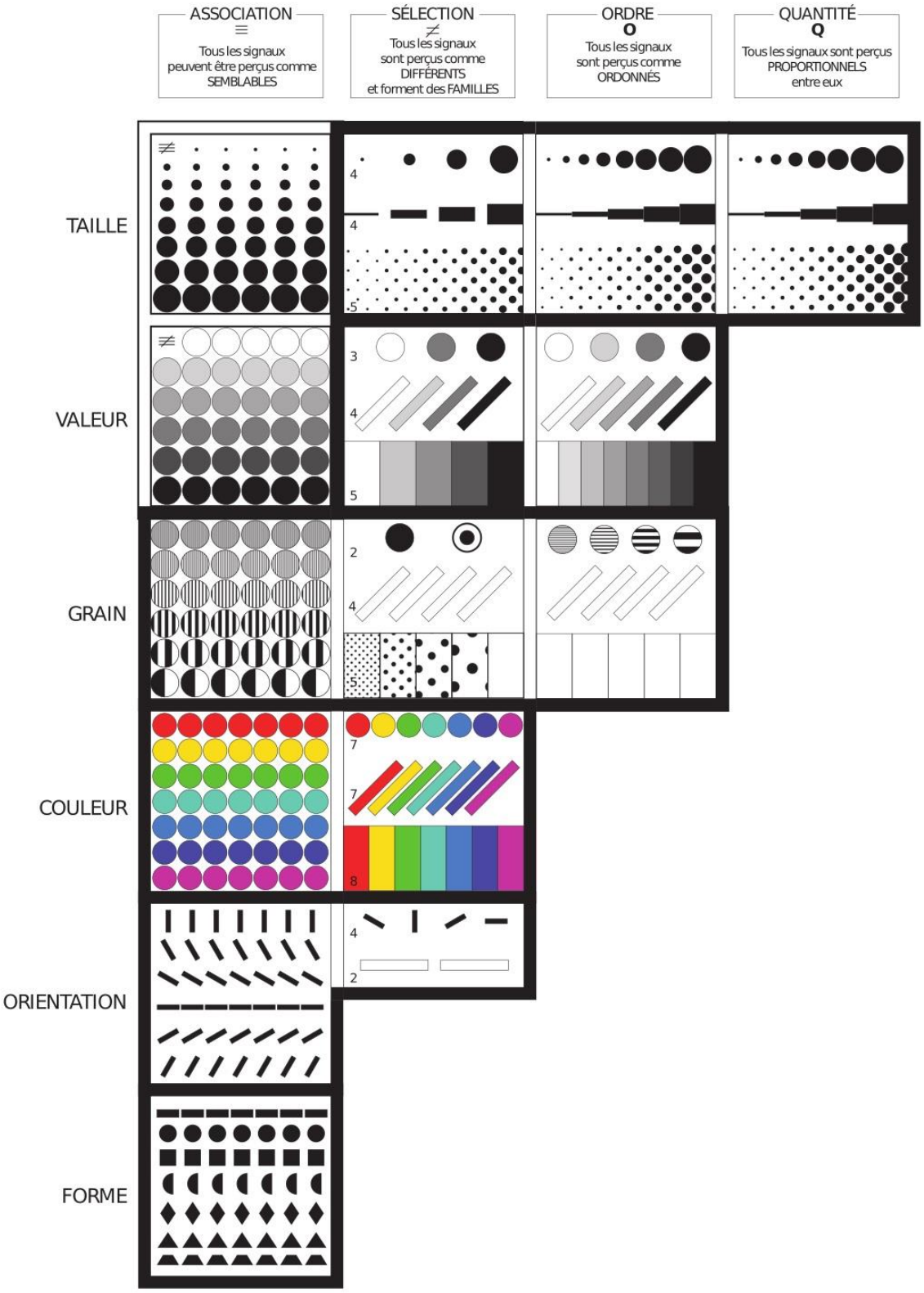



Figure 2.9 Le tableau[63] de concordance des variables visuelles et des relations graphiques, (Bertin, 1967).

[63] https://www.geotests.net/cours/carto/bertin-tableau.pdf

L'intérêt de ces variables visuelles réside dans leurs échelles de perception différentes, que Bertin (1967) appelle « longueur ». Il s'agit du nombre de variations différenciables et perceptibles par l'œil humain qu'offre la variable visuelle. Par exemple, la variable visuelle « taille » offre une possibilité de variation assez grande comme l'illustre la Figure 2.9 avec les variations de taille des différents symboles. On dira alors que son échelle de perception est longue.

L'échelle de perception des variables visuelles permet de transcrire différents types de relations visuelles entre les différents signes graphiques d'une composition cartographique. Elles sont dites :

1. **associatives**, si elles permettent de percevoir plusieurs signes graphiques de manière groupée grâce à leur ressemblance ou leur similarité. Par exemple, à la lecture d'une carte thématique, un utilisateur doit être en capacité d'identifier rapidement tous les signes graphiques de forme ronde, quelle que soit leur couleur ou leur position.
2. **sélectives,** si elles permettent de différencier et d'identifier instantanément un signe graphique ou un groupe de signes graphiques du reste de la composition. Par exemple, à la lecture d'une carte thématique, un utilisateur doit être en capacité d'identifier rapidement tous les signes graphiques rouges, quelle que soit leur forme ou leur position.
3. **ordinales,** si elles permettent de percevoir de manière spontanée l'ordre entre les différents signes graphiques de la carte, i.e. les classer entre eux selon leur valeur. Par exemple, à la lecture d'une carte thématique, un utilisateur doit être en capacité d'identifier rapidement si le cercle représentant la population d'une ville est plus petit ou plus grand que la ville d'à côté.
4. **quantitatives,** si elles permettent de percevoir les proportions relatives entre les différents signes graphiques de la carte. Il s'agit de la distance visuelle, qui permet d'évaluer la quantité qui différencie deux signes graphiques. Par exemple, à la lecture d'une carte thématique, un utilisateur doit être en capacité d'identifier rapidement le ratio de population entre deux villes représentées par des cercles proportionnels.

Bertin (1967) formule un ensemble de règles sémiologiques, illustrées par le tableau de la Figure 2.9. Elles constituent des recommandations pour la construction de représentations graphiques, en spécifiant la concordance entre l'utilisation d'une variable visuelle et les relations visuelles recherchées par le producteur de la carte. En effet, l'efficacité des variables visuelles diffère selon le type de relation visuelle recherchée (Garlandini et Fabrikant, 2009). C'est pourquoi elles doivent être manipulées avec précaution, afin de préserver l'intention du producteur de cartes et la qualité générale du rendu cartographique. Schlichtmann (1985 et 2009) rappellent que la prise en compte de ces règles sémiologiques dans les processus de conception cartographique permet d'assurer que l'information est interprétable par les utilisateurs. À la suite des travaux de Bertin, plusieurs travaux de recherche ont été menés en cartographie pour enrichir les connaissances et les recommandations sur les variables visuelles, telles qu'elles avaient initialement été proposées.

**Les extensions des variables visuelles**

Morrison (1974) propose de scinder la variable visuelle couleur en deux variables différentes : couleur et saturation. Bertin (1967) avait fait mention des propriétés

visuelles différenciées de la saturation et de la teinte d'une couleur, il avait cependant choisi de conserver la couleur en tant qu'une seule et même variable visuelle, car ses travaux de recherche ne s'intéressent pas spécifiquement à la couleur. Aujourd'hui, cette distinction est fondamentale. Les avancées techniques permettent de proposer des outils de conception cartographique assistée, au sein desquels il est devenu possible de spécifier indépendamment ces trois propriétés de la couleur : la valeur, la teinte, et la saturation. Par la suite, Brewer (1994) propose des gammes colorées afin de guider les utilisateurs dans la construction de légendes pour les cartes choroplèthes. Ces travaux s'appuient sur les relations de contraste et le cercle chromatique proposés par Itten (1996). Ils ont été implémentés au sein d'un outil nommé ColorBrewer[64] (Brewer, 2003), qui permet aux utilisateurs de consulter la base de gamme colorée selon deux critères : le nombre de classes thématiques et le type de relation entre classes. Pour sa part, MacEachren (1995) souhaite adapter les variables visuelles, initialement créées pour les cartes papier, aux représentations cartographiques numériques contenues dans les applications de géovisualisation. En ce sens, il propose trois nouvelles variables visuelles : la transparence, la résolution et le flou, afin de prendre en compte les possibilités offertes par l'affichage numérique. Ferland (1998) propose également une nouvelle variable visuelle pour les outils de géovisualisation : la luminance. Selon l'auteur, la possibilité d'ajuster l'intensité lumineuse des écrans d'ordinateur au phénomène spatial représenté permettrait d'améliorer le rendu cartographique. En ce sens, il propose d'indexer la valeur en candela[65] par pixel selon la valeur attributaire des données. Par la suite, Fabrikant et Goldsberry (2005) proposent l'utilisation de la variable « transition visuelle » pour améliorer la transmission d'un changement d'état au sein des représentations cartographiques dynamiques. De plus, Josselin (2011) et Abdelbery et al. (2014) proposent l'utilisation de variables sonores pour adapter les variables visuelles aux représentations cartographiques dynamiques et animées (Harrower et Fabrikant, 2008 ; Cunty et al., 2012). Halik (2012) souligne que les recherches effectuées sur les variables visuelles tentent le plus souvent de s'adapter aux nouvelles formes cartographiques que sont les applications de géovisualisation et les représentations cartographiques animées ou encore d'améliorer l'esthétique des cartes (Kent et al., 2012 ; Christophe et Hoarau, 2013 ; Jégou, 2014). À cet égard, Christophe et Hoarau (2013) revisitent l'association des variables grain et couleur : le grain coloré. Les auteures proposent des règles de construction de légende utilisant de manière combinée les variables visuelles - grain et couleur - pour améliorer l'esthétique de cartes topographiques au style Pop Art.

Pour conclure, une utilisation appliquée des différentes variables visuelles présentées ci-dessus permet au producteur de cartes de structurer et de hiérarchiser les informations géographiques contenues dans la carte (Béguin et Pumain, 1994) pour rendre le message plus compréhensible.

### La saillance visuelle : émergence de certains signes graphiques

La saillance visuelle correspond à l'émergence d'un signe graphique par rapport à un ou plusieurs autres signes graphiques, souvent nommés le *fond*. Les éléments saillants d'une

[64] http://colorbrewer2.org/

[65] Unité de base qui sert à mesurer l'intensité lumineuse ou éclat perçu par l'œil humain d'une source lumineuse.

carte sautent aux yeux de l'utilisateur et attirent son attention. La saillance visuelle intervient concrètement aux moments de lecture de la carte et de l'interprétation de l'information géographique qu'elle contient. Lorsqu'un élément de la carte est saillant, on peut s'attendre à ce que l'utilisateur le perçoive immédiatement. La saillance visuelle a beaucoup été étudiée en cartographie (Jagersand, 1995 ; Fabrikant et Goldsberry, 2005 ; Schnur et al., 2010 ; Fabrikant et al., 2010) en s'appuyant tout particulièrement sur des modèles de saillance issus de sciences cognitives (Itti et al., 1998 ; Zhaoping et Snowden, 2006). Par exemple, l'illustration B de la Figure 2.10 présente les éléments visuellement saillants de la carte thématique A (Jégou et Deblonde, 2012), identifiés à partir de l'algorithme SUN[66] proposé par Zhang et al. (2008). Cette illustration montre que les objets cartographiques représentés par un aplat rouge sur la carte sont visuellement plus saillants que ceux représentés par un aplat jaune ou vert. Par conséquent, l'information géographique représentée par un aplat rouge saute aux yeux de l'utilisateur et retient son attention à la première lecture. De nombreux paramètres interviennent dans la définition de la saillance visuelle d'un élément cartographique, sans pour autant qu'ils soient clairement définissables à travers des propriétés visuelles particulières. Le caractère saillant d'un signe graphique est directement lié à ses propriétés visuelles par rapport à celles des autres signes graphiques contenus dans la composition cartographique (Fabrikant et Goldsberry, 2005), le rendant ainsi visuellement prédominant. La saillance visuelle d'un signe graphique paraît être liée à la nature de son implantation, à sa forme et à sa symbolisation par rapport à l'implantation, la forme et la distribution spatiale des autres signes graphiques contenus dans la carte.

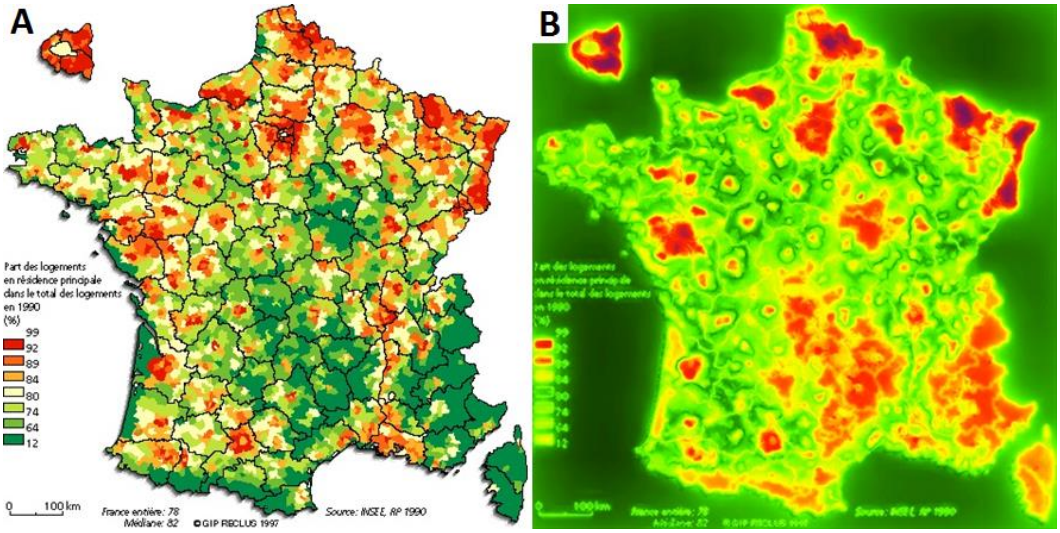



Figure 2.10 B : résultat[67] du test de saillance de la carte A, à partir de l'algorithme SUN (Jégou et Deblonde, 2012).

La saillance visuelle stimule, dirige et oriente l'attention de l'utilisateur, facilitant ainsi la perception et la sélection visuelle de l'information de certains éléments cartographiques par rapport à d'autres. C'est pourquoi la notion de saillance visuelle peut être mise en relation avec celle de message porté par la carte, étant donné qu'elle facilite la prise en

[66] Saliency Using Natural statistics.

[67] http://slideplayer.fr/slide/3694729/

compte de certains éléments cartographiques dans le processus de lecture et d'interprétation. Par ailleurs, Gao et Vasconcelos (2004) observent que la saillance visuelle joue un rôle prépondérant dans les mécanismes de reconnaissance visuelle. À partir de ce constat, la saillance visuelle semble être un paramètre déterminant dans la construction d'une carte. D'autant plus que la saillance visuelle n'est pas uniquement définie par les propriétés visuelles de la carte, mais également par l'usage de la carte. En effet, son importance est fonction du besoin utilisateur (Carter, 2005) et de la tâche que l'utilisateur souhaite réaliser (Landragin, 2004) avec la carte. Cela signifie que le producteur de cartes doit maîtriser finement les principes de conception cartographique afin de construire une abstraction de qualité qui assurera une transmission efficace de l'information géographique à l'utilisateur.

Grâce au système de signes graphiques sur lequel il repose, le langage cartographique possède une grande richesse expressive, qui permet de transmettre efficacement des informations géographiques aux utilisateurs. Ainsi, concevoir une carte topographique consiste à effectuer les bons choix d'abstraction cartographique pour créer des signes graphiques facilement interprétables.

### 2.1.2 Les processus d'abstraction cartographique

L'objectif d'un producteur de cartes est d'assurer que tous les éléments visuels contenus dans une carte soient correctement perçus et interprétés par l'utilisateur. Ainsi, les signes graphiques doivent être représentés de manière appropriée, afin qu'ils révèlent les caractéristiques et les spécificités spatiales du territoire représenté. La Figure 2.11 illustre les étapes de modélisation spatiale nécessaires à la construction d'une carte topographique : (1) la sélection et la préparation de données et (2) la conception cartographique.

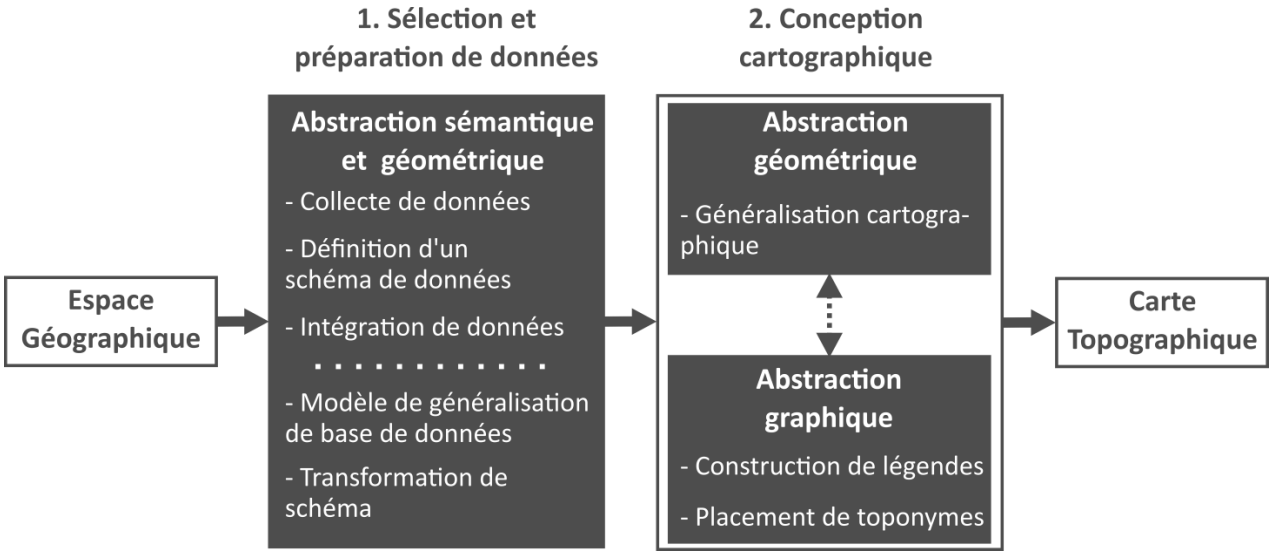



Figure 2.11 Étapes de construction d'une carte topographique et les processus d'abstraction cartographique associés, figure adaptée de Duchêne et al. (2011).

Chacune de ces étapes fait intervenir des processus d'abstraction cartographique de natures différentes : l'abstraction sémantique, l'abstraction géométrique et l'abstraction graphique (Hoarau, 2015). Ensemble, les trois processus d'abstraction permettent de retranscrire une réalité géographique sur une carte à échelle réduite. L'abstraction

sémantique vise à réduire la complexité sémantique de l'information géographique en sélectionnant les données correspondant à un schéma déterminé. L'abstraction géométrique a pour objectif de simplifier le niveau de détail géométrique des données géographiques sélectionnées afin de permettre leur perception à une échelle donnée. L'abstraction graphique constitue l'étape de symbolisation des données à travers la construction de légende. Ensemble, ces trois processus d'abstraction cartographique mettent en forme l'information géographique qui composera la future carte topographique et permettra à l'utilisateur de comprendre l'espace géographique représenté (Robinson, 1960 ; Barkowsky et Freksa, 1997). De nombreuses recherches ont été menées en conception de bases de données, en généralisation cartographique et en construction de légende, notamment par l'équipe COGIT de l'IGN, où de nombreux travaux existent sur l'évaluation des résultats obtenus par la mise en œuvre de ces processus cartographiques (Hubert et Ruas, 2002 ; Mackaness et Ruas, 2007 ; Bucher et al., 2007 ; Buard et Ruas, 2007 et 2009 ; entre autres). Dans cette sous-section, nous faisons référence à plusieurs de ces travaux à travers une synthèse des connaissances pour chacun des processus d'abstraction cartographique.

### L'abstraction sémantique : la sélection de données

À travers la formule : « *la carte n'est pas le territoire* », Korzybski (1998) précise qu'une carte n'est pas exhaustive et qu'elle constitue une vue sélective de l'espace géographique représenté. L'abstraction sémantique constitue cette sélection, qui consiste à adapter le contenu cartographique aux usages de la carte. Cette sélection est traduite par le schéma de données et les règles de sélections associées (Ruas et Mustière, 2005). L'abstraction sémantique appartient à l'étape 1 de la construction d'une carte topographique – sélection et préparation de données - telle qu'illustrée par la Figure 2.11. À travers le processus d'abstraction sémantique, il s'agit d'effectuer une analyse des usages de la future carte topographique et ainsi de déterminer les différents éléments géographiques qui devront être représentés dans les bases de données géographiques. L'abstraction sémantique constitue donc une réduction quantitative de l'information géographique en déterminant les objets géographiques retenus pour modéliser le monde réel en adéquation avec un usage donné. La sélection de données permet de retenir uniquement les thèmes géographiques souhaités, par exemple le bâti, le réseau routier, les limites administratives, le réseau hydrographique et divers éléments topographiques. Ainsi, des différences subsisteront toujours entre une base de données géographiques, des cartes, et l'espace géographique référent. Par exemple, certains chemins ruraux ne sont pas représentés par les bases de données géographiques, qui servent à la construction des cartes topographiques. Par ailleurs, les éléments géographiques retenus possèdent un niveau de détail sémantique, i.e. la granularité sémantique avec laquelle ils sont décrits, qui correspond à la finesse du processus d'abstraction. Par exemple, la largeur d'une route peut être décrite au centimètre près ou par des intervalles avec une précision métrique. Pour l'utilisateur, il s'agit donc d'interpréter, comprendre et reconnaître l'espace géographique à travers la sélection d'éléments géographiques qui lui est proposée.

### L'abstraction géométrique : la généralisation

L'abstraction géométrique, ou la généralisation, constitue un processus clé de la construction d'une carte topographique. Elle permet d'adapter le niveau de détail

géométrique des données géographiques à l'échelle de perception et de mettre en valeur les caractéristiques spatiales du territoire représenté. L´Association de Cartographie Internationale définit la généralisation comme :

> *« La sélection et la représentation simplifiée de détails en fonction de l´échelle et des objectifs de la carte ».*

Grâce au processus de généralisation, les données géographiques ou cartographiques sont géométriquement transformées en prenant en compte les contraintes de la perception visuelle humaine (Buttenfield et McMaster, 1991 ; Timpf, 1999) afin d'être adaptées à une échelle de visualisation. Ruas (2004) nomme cette échelle de visualisation - l'échelle caractéristique -, i.e. la plus appropriée à l'observation d'un phénomène spatial par utilisateur. Il existe deux grands types de généralisation, chacune présente à une étape différente de la construction d'une carte topographique :

1. **la généralisation de bases de données**, qui constitue l'abstraction géométrique présente à l'étape 1 de construction d'une carte topographique – sélection et préparation de données – de la Figure 2.11.
2. **la généralisation cartographique**, qui constitue l'abstraction géométrique présente à l'étape 2 de construction d'une carte topographique – conception cartographique – de la Figure 2.11.

Dans les deux cas, le processus de généralisation permet d'adapter le niveau de détail géométrique des données géographiques, i.e. de créer une nouvelle représentation en effectuant des transformations géométriques. Le niveau de détail géométrique correspond à la finesse de la description géométrique de l'objet représenté. On parle alors de résolution, i.e. plus petite unité mesurable ou représentable.

### La généralisation de base de données

Lors de l'étape de sélection et préparation des données, étape 1 de la Figure 2.11, la généralisation de bases de données géographiques permet d'adapter le niveau de détail géométrique des données géographiques à une échelle caractéristique. La Figure 2.12 illustre deux représentations différentes d'une implantation linéaire courbe, chacune possédant un niveau de détail différent. La distance entre les nœuds de l'objet matérialise sa résolution. Ainsi, l'implantation linéaire A de la Figure 2.12 possède une résolution plus fine que l'implantation linéaire B.

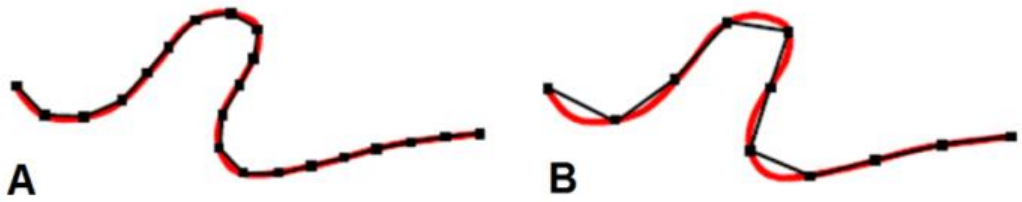



Figure 2.12 Un linéaire courbe possédant deux niveaux différents de résolution (Ruas et Mustière, 2005).

Par ailleurs, la généralisation de bases de données est également opérée pour effectuer des transformations de schémas de données, i.e. adapter le niveau de détail géométrique de données géographiques à un nouveau schéma de données. Le niveau de détail géométrique est directement lié au type d'implantation choisi pour représenter une classe d'objets : ponctuels, linéaires ou surfaciques. Par exemple, un objet « bâtiment »

représenté par une implantation surfacique possède un niveau de détail géométrique plus fin qu'un même objet « bâtiment » représenté par une implantation ponctuelle. Aujourd'hui, les moyens d'acquisitions de données sont toujours plus performants et permettent d'acquérir des données géographiques avec un niveau de détail de plus en plus fin (Egels et Kasser, 2003), nécessitant le plus souvent d'effectuer un processus de généralisation de bases de données pour adapter les données à une échelle de visualisation caractéristique. Enfin, différentes spécifications d'acquisitions de données géographiques (Gesbert, 2004) ou bien la saisie de données géographiques par des utilisateurs multiples sans réelle spécification, telle que la saisie collaborative, peuvent être à l'origine d'incohérences de niveaux de détail des bases de données cartographiques (Touya et Brando-Escobar, 2013). Touya et Baley (2014) montrent qu'il est possible de corriger ces incohérences de niveaux de détail en considérant le contexte spatial environnant aux données représentées, à travers l'exemple d'incohérences identifiées dans la base de données géographiques OSM.

### La généralisation cartographique

Lors de l'étape de conception cartographique, étape 2 de la Figure 2.11, la généralisation cartographique permet de réaliser une carte topographique à partir de données cartographiques définies pour une échelle de représentation plus grande (Gaffuri, 2008). Les objets cartographiques sont donc géométriquement transformés pour être adaptés à la nouvelle échelle de représentation (Duchêne et al., 2011). La Figure 2.13 illustre trois échelles de représentation du bâti : 1:25 000$^{ème}$, 1:50 000$^{ème}$ et 1:100 000$^{ème}$.

Figure 2.13 Exemples de généralisation cartographique sur des objets « bâtiment » (Regnauld, 1998).

Sur cet exemple, les données cartographiques de type « bâti » sont dérivées d'une grande échelle, le 1:25 000$^{ème}$ vers une échelle plus petite, le 1:100 000$^{ème}$, en subissant des transformations géométriques mises en œuvre par le processus de généralisation cartographique. Ces opérations de transformations géométriques sont indispensables pour adapter le niveau de détail des objets cartographiques et les rendre correctement perceptibles et interprétables par les utilisateurs (Spitaels, 2012). Au 1:100 000$^{ème}$, les objets « bâtiments » ne peuvent plus être perçus par les utilisateurs, s'ils sont trop grossis ; des conflits géométriques apparaissent entre les objets, c'est pourquoi ils sont totalement agrégés, devenant une nouvelle classe d'objets « bloc urbain ». La Figure 2.14 illustre ce principe à travers l'exemple de la carte topographique Swisstopo représentant la ville de Berne à deux échelles de représentation différentes : 1:25 000$^{ème}$ et 1:200 000$^{ème}$. Sur cet exemple, au 1:200 000$^{ème}$, le bâti est totalement agrégé pour devenir un bloc urbain.

Figure 2.14 Illustration de la généralisation cartographique à travers l'exemple de Swisstopo[68].

Les opérations de transformation géométrique subies par les objets cartographiques sont de plusieurs natures. Il n'existe pas de consensus sur la classification de ces opérations (McMaster et Shea, 1992 ; Weibel et Dutton, 1999 ; Foerster et al., 2007 ; Gaffuri, 2008). La Figure 2.15 illustre la classification proposée par Mustière (2001) : opérations de simplification (partie A), opérations de caricature (partie B) et opérations d'harmonisation (partie C). Nous reprenons cette classification en regroupant les opérations de simplification et de caricature comme une opération unique : la schématisation (Cuenin, 1972).

**La schématisation : faciliter la reconnaissance des objets cartographiques**

La schématisation est un processus de changement d'état des données, qui permet d'exprimer des formes cartographiques reconnaissables par les utilisateurs pour une échelle de visualisation donnée. La schématisation comprend deux types d'opérations de généralisation : la simplification et la caricature. La première consiste à simplifier les données cartographiques en éliminant de l'information. La partie A de la Figure 2.15 illustre différents exemples d'opérations de simplification : simplification géométrique du niveau de détail d'un bâtiment ou d'un virage de route, élimination d'informations sur un réseau routier, changement d'implantation pour un bras de cours d'eau et une forêt, etc.

Les opérations de caricature consistent à supprimer ou accentuer certains détails caractéristiques des objets cartographiques en fonction de leur degré d'importance dans le message cartographique délivré (Ai et al., 2014) et faciliter leur perception par les utilisateurs. La partie B de la Figure 2.15 illustre différents exemples d'opérations de caricature : amplifier la courbure d'un virage, amplifier le décrochement d'un bâtiment, fusionner des champs, structurer des bâtiments, etc. Les opérations de schématisation sont effectuées sous contraintes afin de conserver la structure et les éléments caractéristiques de la réalité du terrain. Il existe plusieurs types de contraintes : de lisibilité, de forme, sémantiques, spatiales, etc. (Beard, 1991 ; Ruas et Plazanet, 1996 ; Weibel et Dutton, 1999). Les opérations sont appliquées itérativement, jusqu'à atteindre une satisfaction maximale de ces contraintes.

[68] https://map.geo.admin.ch

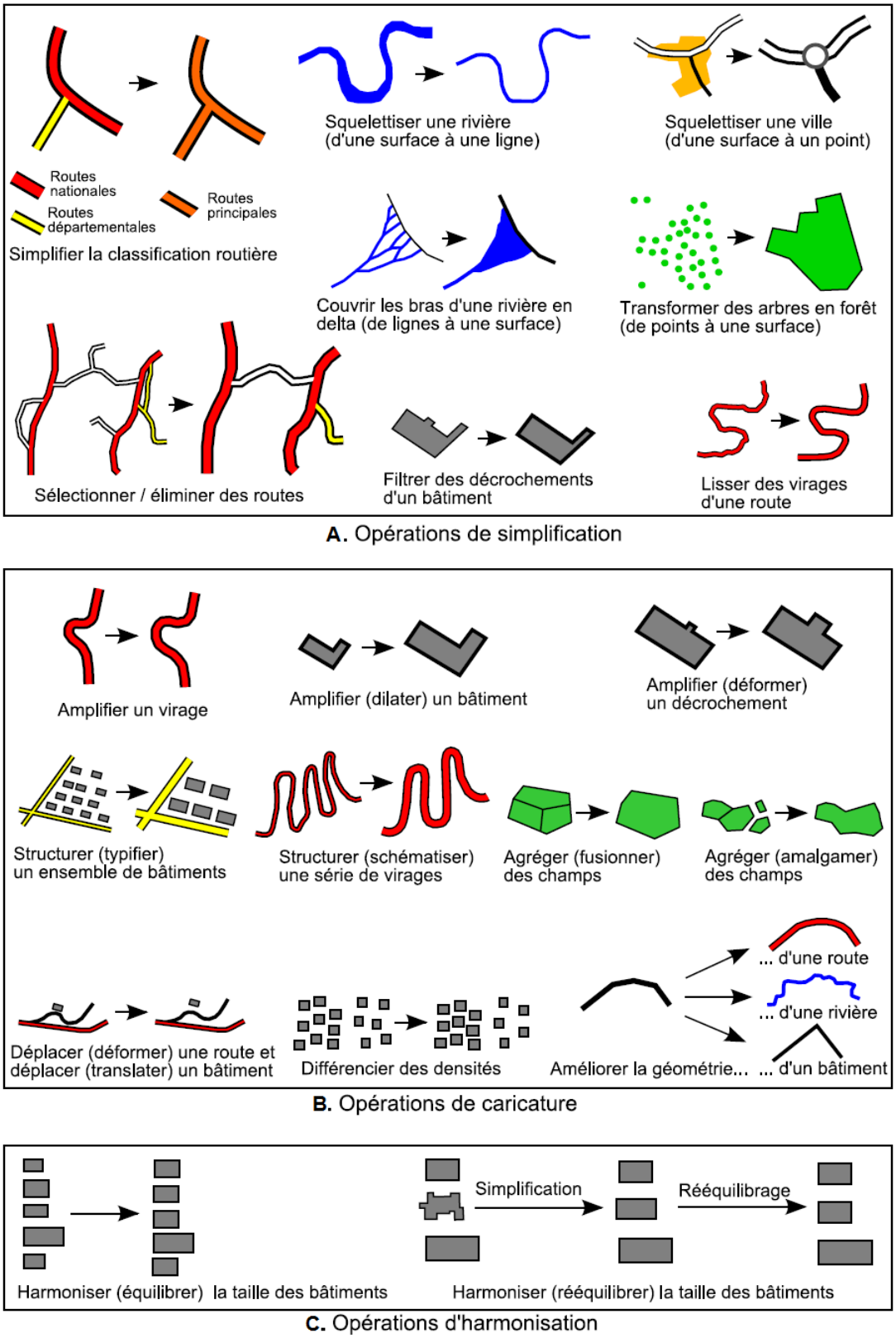



Figure 2.15 Principales opérations utilisées en généralisation cartographique d'après Mustière (2001).

**L'harmonisation : faciliter la compréhension de structures spatiales**

L'opération d'harmonisation a pour objectif d'effectuer un rééquilibrage géométrique global du niveau de détail, en gommant les différences géométriques peu perceptibles

(Mustière, 2001) et en rétablissant les relations spatiales entre les objets cartographiques qui ont été modifiées par les opérations de simplification et de caricature (Li et al., 2004). Par exemple, il peut s'agir de rétablir les distances entre deux objets cartographiques, de rééquilibrer les angles ou l'aire de différents objets cartographiques, etc. La partie C de la Figure 2.15 illustre différents exemples d'opérations d'harmonisation. Il s'agit par exemple de rétablir un alignement de bâtiments (Christophe et Ruas, 2002), qui constitue un agencement spatial caractéristique. Les objets cartographiques ne sont pas traités de manière individuelle, mais de manière groupée afin de préserver des structures et des agencements spatiaux possédant des propriétés semblables et analogues pour former des signes graphiques de haut niveau compréhensibles par les utilisateurs. Par conséquent, ce rééquilibrage géométrique doit prendre en compte certaines contraintes de la perception visuelle (Li et al., 2004) pour favoriser la reconnaissance d'objets et d'ensemble d'objets cartographiques.

Mustière et al. (2000) rappellent l'intérêt de ces différentes opérations de généralisation dans la mise en valeur des éléments géographiques significatifs d'un territoire et pour faciliter leur perception et leur reconnaissance visuelle par l'utilisateur (Steiniger et al., 2006).

> *« Certains éléments sont éliminés, d'autres agrandis, simplifiés, déplacés […]. Cela doit être fait de manière à assurer une bonne représentation de la réalité géographique et des relations entre objets, et c'est là que réside le savoir du cartographe : quoi, quand et comment éliminer, agrandir, simplifier, déplacer. » (Mustière et al., 2000)*

Les données cartographiques généralisées sont ensuite organisées visuellement grâce au processus d'abstraction graphique : la construction de légende.

### L'abstraction graphique : la construction de légende

L'abstraction graphique appartient à l'étape 2 de la construction d'une carte topographique – conception cartographique - telle qu'illustrée par la Figure 2.11. Il s'agit de l'étape de construction de légende permettant d'organiser et structurer visuellement l'information géographique portée par la carte topographique. Cette étape consiste à choisir les signes graphiques pour l'ensemble des objets cartographiques contenus dans la carte afin de construire des relations signes-sens facilement interprétables. Les cartes topographiques contiennent des données géographiques de différents types appelés thèmes cartographiques : le réseau routier, le bâti, les limites administratives, etc. La Figure 2.16 illustre les signes graphiques choisis pour quatre thèmes cartographiques différents : zone arborée, relief, hydrographie et réseau routier. Le thème hydrographie comprend deux sous-thèmes « rivière et fleuve » et « surface hydrographique », qui se différencient par leur implantation, linéaire pour le premier, surfacique pour le second. Le producteur de cartes spécifie les signes graphiques qui représentent les différents thèmes et sous-thèmes cartographiques, faisant ainsi émerger des relations visuelles et sémantiques entre eux.

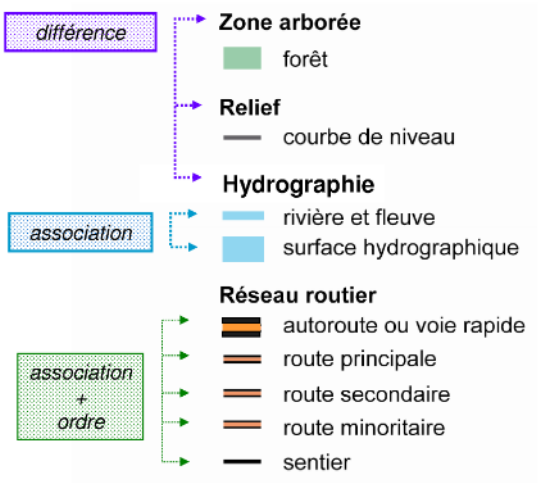



Figure 2.16 Exemple de relations visuelles et sémantiques entre des thèmes cartographiques (Chesneau, 2006).

La sémiologie graphique de Bertin (1967) propose des règles aidant à la construction de signes graphiques à travers la manipulation de variables visuelles. Le choix de variables visuelles adaptées permet de créer des relations de différence, de ressemblance et d'ordre entre les signes graphiques. Par exemple, la Figure 2.16 illustre différents types de relations visuelles, telles que la relation associative pour le thème hydrographie à travers l'utilisation de la variable visuelle couleur, ici le bleu. Les règles sémiologiques de Bertin (1967) ont donc pour objectif de guider le producteur de cartes dans leur utilisation afin de réduire les problèmes de lisibilité et d'incompréhension avec l'utilisateur, i.e. faciliter la transmission de l'information géographique représentée. Cependant, le processus de construction de légende est un processus créatif, où le producteur de cartes fait intervenir ses goûts et ses préférences (Christophe, 2011). Le champ des possibles est par conséquent assez vaste. Par exemple, Collier et al. (1998) montrent que les choix effectués pour représenter les objets cartographiques « végétation » sur les cartes topographiques de l'USGS[69] et l'Ordnance Survey[70] sont différents. En effet, la Figure 2.17 montre que chacune de ces agences de cartographie utilise des variables visuelles « texture » différentes pour construire des motifs qui lui sont propres.

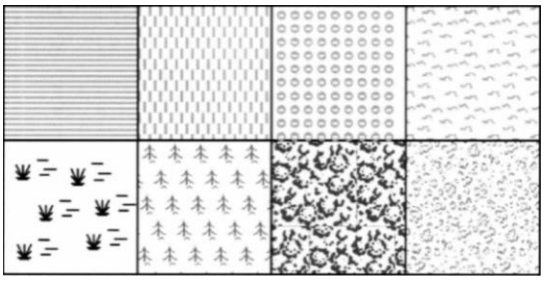


Figure 2.17 Différents exemples de motifs utilisés pour représenter la végétation dans les cartes topographiques (Collier et al., 1998).

[69] United States Geological Survey, cet institut est également en charge de la cartographie nationale aux États-Unis : http://www.usgs.gov/

[70] Il s'agit l'agence de cartographie nationale du Royaume-Uni chargée de la cartographie du pays : https://www.ordnancesurvey.co.uk/

Le processus de symbolisation consiste à appliquer automatiquement des signes graphiques choisis en légende sur un jeu de données cartographiques. La Figure 2.18 illustre le processus de symbolisation pour trois thèmes cartographiques : bâti, réseau et occupation du sol. Les paramètres retenus pour la construction de légende sont formalisables au sein d'un modèle de style cartographique, tel que le modèle SLD/SE introduit à la sous-section 1.2.2 du chapitre 1.

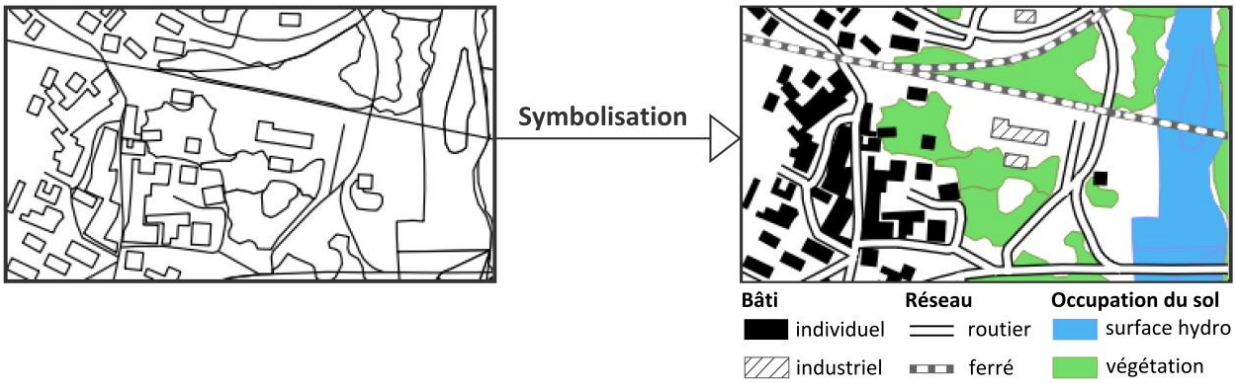



Figure 2.18 Processus de symbolisation d'un jeu de données cartographiques.

La Figure 2.19 illustre une version simplifiée du modèle de légende développé par l'équipe de recherche COGIT pour produire des cartes. Ce dernier permet notamment de manipuler les objets cartographiques d'une carte et de spécifier les relations sémantiques entre les différentes couches d'une carte (Hoarau et Mustière, 2011). Nombreux des travaux qui sont présentés dans la sous-section suivante (cf. sous-section 2.1.3) ont été implémentés au sein de ce modèle, constituant de nombreuses extensions de ce modèle non présentées ici.

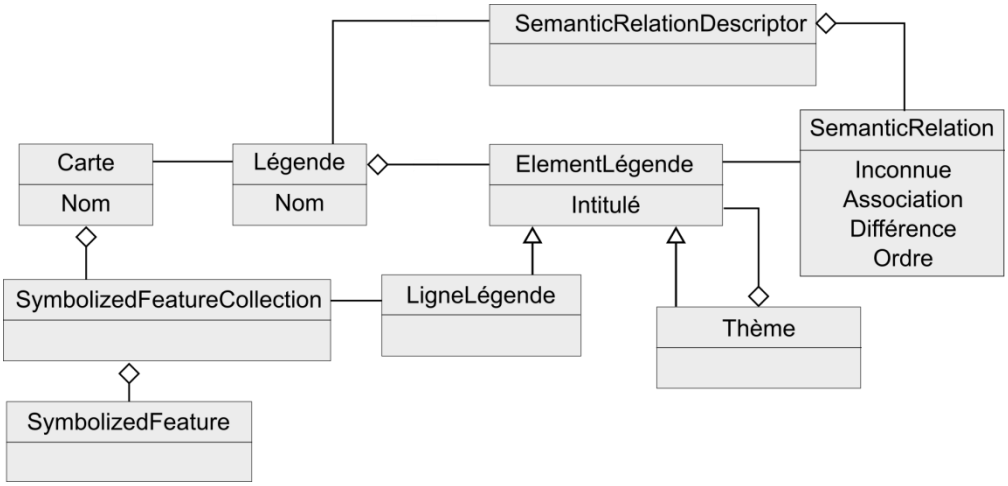



Figure 2.19 Modèle de légende de l'équipe de recherche COGIT (Hoarau et Mustière, 2011).

Une carte (classe « `Carte` ») est composée d'une légende (classe « `Légende` ») qui elle-même composée d'éléments de légende (classe « `ElémentLégende` »). Il s'agit soit de lignes de légende indépendantes (classe « `LigneLégende` ») ou regroupées par thèmes (classe « `Thème` »). Les éléments de légendes peuvent entretenir différents types de relations (classe « `SemanticRelation` ») : association, différenciation et ordre. Les couches (classe « `SymbolizedFeatureCollection` ») sont composées d'objets cartographiques (classe « `SymbolizedFeature` »), i.e. symbolisés et généralisés.

Pour conclure cette sous-section la Figure 2.20 reprend et synthétise l'ensemble des étapes nécessaires à la construction d'une carte topographique.

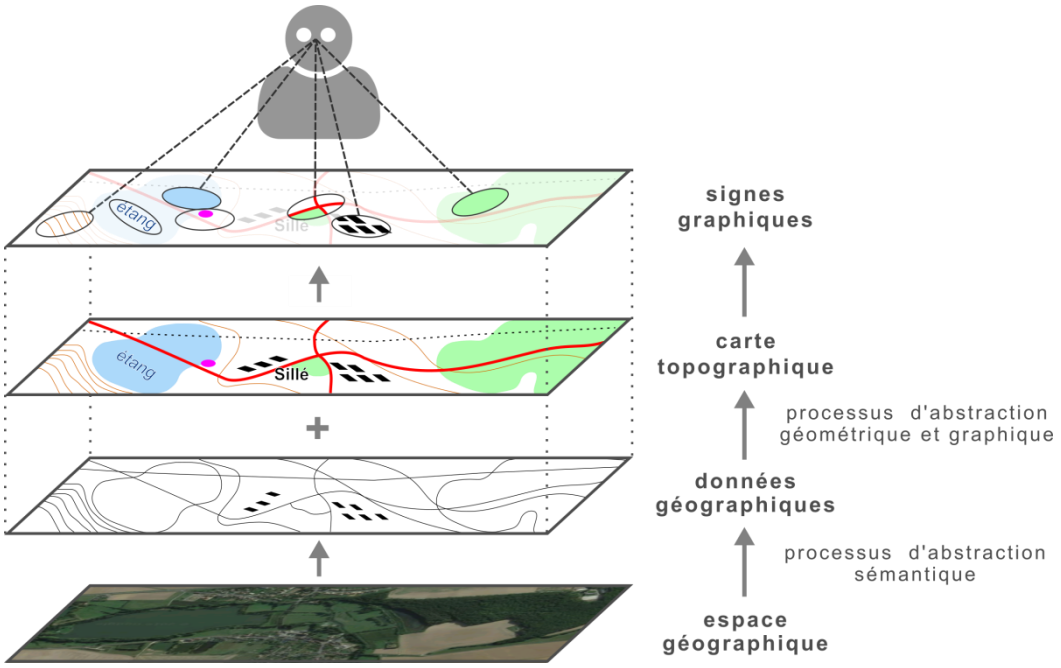



Figure 2.20 Construction d'un signe graphique dans une carte topographique.

Le producteur de cartes doit évaluer le rendu cartographique final, s'assurer d'une part qu'il correspond à son intention (Dominguès, 2012), et d'autre part qu'il est de qualité, i.e. que les signes graphiques sont lisibles et efficaces (Bessadok et al., 2010 ; Bessadok et Dominguès, 2011 ; Stigmar et Harrie, 2011 ; Harrie et al., 2015). Nombreux paramètres interviennent sur la qualité et la lisibilité du rendu cartographique final : le choix des paramètres de généralisation, le choix des variables visuelles pour la construction de légende, le placement des toponymes (Imhof, 1975 ; Lecordix et al., 1994) ou bien encore la manière de représenter le relief (Cuenin, 1972 ; Imhof, 1982). Dans la sous-section suivante, nous nous intéressons plus particulièrement aux différents travaux consacrés à l'enrichissement des connaissances sur la construction de légende.

### 2.1.3 Travaux relatifs à l'enrichissement des connaissances sur la construction de légende

Il existe plusieurs paramètres sur lesquels intervenir : la qualité, l'efficacité, la lisibilité. Dans cette sous-section, nous portons un intérêt particulier à la lisibilité d'une carte car elle conditionne son efficacité à transmettre une information à l'utilisateur. Nous présentons dans un premier temps un modèle ayant pour objectif de fournir des représentations cartographiques sur Internet. Dans un deuxième temps, nous présentons un ensemble d'approches permettant d'améliorer la lisibilité d'une carte et d'évaluer son apparence visuelle.

#### Modèle de spécifications d'une carte sur Internet

Avec le développement des applications webmapping, le rôle de l'utilisateur a considérablement évolué. L'utilisateur a notamment la possibilité d'intervenir directement sur le rendu cartographique via une interface de géovisualisation telle que

l'illustre la Figure 2.21. Via l'interface de géovisualisation, l'utilisateur spécifie différentes requêtes au serveur cartographique, qui exécute ses commandes et attaque la base de données géographiques référentes. Le serveur cartographique retourne ensuite une carte avec les données géographiques souhaitées par l'utilisateur. Une requête cartographique contient un certain nombre de paramètres tels que l'emprise spatiale, l'échelle de représentation, les couches visibles et dans certains cas les paramètres de rendu.

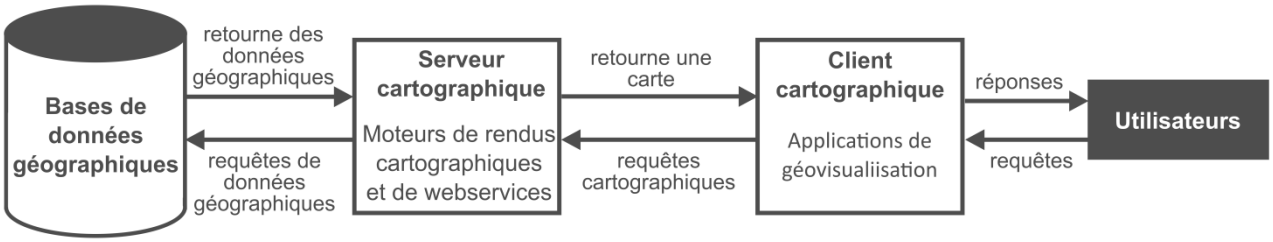



Figure 2.21 Principe de fonctionnement d'une application webmapping.

Face à ces évolutions techniques, de nombreux travaux se sont intéressés à l'aide à la conception de carte sur mesure sur Internet. Bucher (2009) propose par exemple un modèle de spécification de cartes ayant pour objectif de servir de l'information spatiale sur internet. Ce modèle vise à comprendre le besoin cartographique, à proposer une représentation cartographique adaptée au besoin de l'utilisateur et à évaluer et améliorer la représentation cartographique proposée si besoin. Ce modèle est illustré par la Figure 2.22. Il contient trois niveaux différents : les objectifs de la carte (cartes d'inventaire, d'analyse, d'orientation, etc.), le contenu de la carte et l'implémentation.

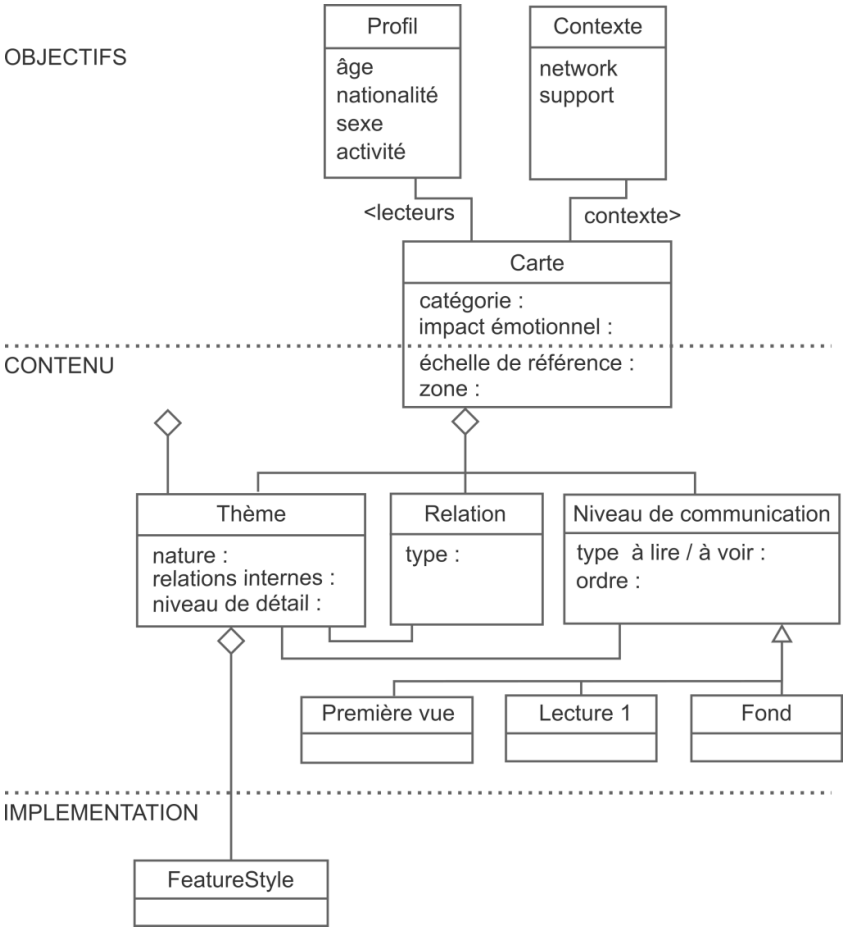



Figure 2.22 Modèle de spécifications d'une carte sur internet (Bucher, 2009).

Le premier niveau – objectifs de la carte – est caractérisé par le profil des utilisateurs de la carte, le contexte d'utilisation de la carte et deux propriétés de la carte : sa catégorie et son impact émotionnel.

Le second niveau – contenu de la carte – est caractérisé par deux propriétés de la carte : échelle de référence et zone, i.e. l'espace géographique représenté, les thèmes cartographiques représentés, leurs relations et enfin le niveau de communication. Le niveau de communication permet de spécifier les informations qui doivent être perçues en première lecture des informations qui caractérisent le fond de carte.

Le troisième niveau est celui de l'implémentation qui correspond au standard SE FeatureStyle de l'OCG (cf. sous-section 1.2.2 du chapitre 1).

Les attributs spécifiés au premier et second niveau du modèle permettent de spécifier le style de la représentation cartographique. Par exemple, si l'utilisateur souhaite effectuer une analyse à partir d'une carte de risques, il existe un ensemble de conventions pour la conception de ces cartes qui permettent de proposer à l'utilisateur une carte adaptée à son besoin, munie d'une codification visuelle prévue à cet effet. De la même façon pour les cartes topographiques, il s'avérerait particulièrement intéressant de pouvoir faire appel à un ensemble de signes grahiques connus des utilisateurs.

Dans la suite de cette sous-section, nous détaillons les nombreux travaux s'intéressant au premier niveau – objectif de la carte – et au second niveau – contenu de la carte. Ces travaux ont donné lieu au modèle proposé par Bucher (2009) et illustré par Figure 2.22. Ces travaux poursuivre les mêmes objectifs, i.e. améliorer la lisibilité des cartes et à évaluer leur apparence visuelle.

### Approches pour améliorer la lisibilité d'une carte

Stigmar et Harrie (2011) et Harrie et al. (2015) montrent que la lisibilité d'une carte peut être évaluée en considérant la quantité d'informations représentées et la distribution spatiale des objets cartographiques. Leurs recherches sont guidées par la volonté d'identifier des indicateurs permettant de qualifier la lisibilité d'une carte afin de guider des processus de généralisation cartographique ou des conceptions cartographiques par services web. Ils évaluent donc ces paramètres au sein d'une expérience visuelle faisant intervenir des participants. D'autres types d'approche cherchent à identifier des indicateurs de lisibilité ou à proposer des processus pour améliorer la lisibilité d'une carte.

#### En évaluant les principes sémiotiques

Comme nous l'avons vu précédemment, la prise en compte des principes sémiotiques dans la conception cartographique est incontournable (cf. section 2.2.1). En ce sens, de nombreux travaux ont cherché à mettre en place des méthodes pour aider les utilisateurs à construire une carte efficace, notamment en les aidant à faire les bons choix sémiotiques, tels que le choix des couleurs dans un espace de couleurs. Il s'agit d'une représentation des couleurs dans un système de synthèse des couleurs, où chaque couleur de lumière est caractérisée par un point dans un espace à trois dimensions, i.e. représentée sous la forme de triplets.

Chesneau (2006) fait l'hypothèse qu'une utilisation plus efficace de la couleur, en améliorant notamment les contrastes colorés, rend les cartes plus lisibles, tel que l'illustre la Figure 2.23.

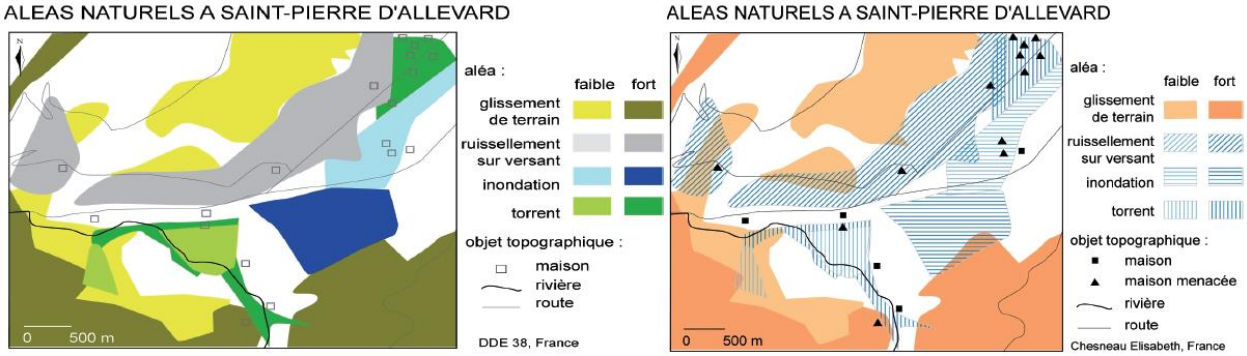



Figure 2.23 Amélioration des contrastes de couleur dans une carte de risques (Chesneau, 2006).

L'auteure propose une méthode permettant d'améliorer automatiquement les contrastes colorés dans la carte. La méthode proposée identifie le moins mauvais contraste des couleurs choisies pour symboliser les objets cartographiques, en s'appuyant sur le cercle chromatique défini par Chesneau et al. (2005). La méthode améliore ainsi la lisibilité du message cartographique en proposant une meilleure utilisation des couleurs. La méthode est appliquée sur des cartes thématiques nécessitant une bonne lisibilité : les cartes de risques.

Par ailleurs, Buard et Ruas (2007 et 2009) proposent de résoudre les problèmes de contrastes[71] à partir d'une approche différente en considérant les couleurs, non pas dans la carte, mais directement depuis la légende. Les auteures proposent deux méthodes différentes, (1) résolution de problèmes à partir de la satisfaction de contraintes et (2) à partir d'une approche multi-agent. Ces deux méthodes permettent d'évaluer la teinte et la valeur des couleurs de chacune des lignes de légende afin de déterminer quelle ligne de légende nécessite une amélioration. De même, Steinrücken et Plümer (2013) proposent une méthode permettant d'identifier automatiquement les couleurs les plus appropriées dans l'espace de couleurs CIELUV[72] pour concevoir une carte. Cette identification s'appuie sur une approche minimisant la distance[73] entre les couleurs originelles proposées par un utilisateur au sein d'un flux WMS.

Enfin, Dymon (2003) et Bianchetti et al. (2012) analysent les choix de construction cartographique de cartes servant d'outils de travail transnationaux pour la gestion de crise. Ils travaillent notamment sur l'exemple du tremblement de terre ayant eu lieu dans la région du Cachemire en Inde en 2005. Ces cartes ont été produites pour coordonner sur le terrain les actions d'organisations internationales aux cultures cartographiques différentes. Les auteurs ont mené une première recherche sur les différences visuelles existant entre les symboles « standardisés » de deux pays anglo-saxons : les États-Unis – ANSI - et le Canada – EMS (Dymon, 2005). Selon Bianchetti et al. (2012), pour améliorer la

[71] S'appuyant sur les contrastes de couleur définis par Johannes Itten, graphiste et peintre suisse du 20ème siècle.

[72] https://fr.wikipedia.org/wiki/CIE_L*u*v*

[73] Pour mesurer la différence entre deux couleurs, une distance lui est attribuée dans un espace colorimétrique.

compréhension de l'information de la carte, il existe trois paramètres sur lesquels intervenir pour la conception de symboles cartographiques : le niveau d'iconicité des symboles, l'interpolation de symboles cartographiques communs aux deux groupes d'utilisateurs et l'ajout de symboles cartographiques facilitant la perception des relations visuelles entre les différents symboles cartographiques, qui peuvent être disparates. Robinson et al. (2013) proposent une bibliothèque[74] de symboles cartographiques adaptés à la production de cartes en contexte d'utilisation internationale. Cette bibliothèque, accessible sur Internet, a vocation à faciliter la compréhension de l'information géographique portée par la carte pour des utilisateurs de nationalités différentes.

### En évaluant la complexité de la carte

La notion de *clutter* souligne que la surcharge d'informations dans une carte complexifie considérablement sa lecture rendant la carte peu lisible et la transmission d'informations moins efficace (Westerbeek et Maes, 2011 ; Jégou et Deblonde, 2012 ; Korpi et Ahonen-Rainio, 2013). Touya et al. (2015) rappellent que l'effet de *clutter* arrive quand un trop grand nombre d'informations sont présentes dans la carte ou quand l'information est désorganisée. Les auteurs soulignent que la possibilité de mieux mesurer le *clutter* permettrait d'améliorer la qualité des cartes, notamment celles produites par des systèmes automatiques. La mesure du *clutter* serait ainsi considérée comme un indicateur et une contrainte au sein des processus de conception cartographique. Cependant les systèmes de mesures présentés par Touya et al. (2015) ne peuvent pas prendre en compte tous les aspects du *clutter*, c'est pourquoi les auteurs proposent de les combiner ensemble afin d'améliorer l'évaluation du *clutter*. Plus spécifiquement, les auteurs soulignent que la mesure du *clutter* peut être intéressante à considérer pour l'interpolation de styles cartographiques. En effet, le niveau de *clutter* des styles topographiques sources pourrait être considéré comme une contrainte à préserver afin d'assurer que la qualité des rendus stylisés intermédiaires produits soit cohérente avec les deux styles topographiques sources. Autre exemple, l'application d'un style artistique sur un jeu de données cartographiques peut générer une augmentation du *clutter*, à cause de la complexité produite par l'application de certaines techniques graphiques, telles que les effets de coups de pinceau. En ce sens, mesurer le *clutter* permet de préserver une certaine lisibilité du rendu cartographique stylisé.

### En considérant les déficiences visuelles des utilisateurs

La lisibilité de la carte est également dépendante des propriétés physiques de l'utilisateur. 8% des hommes sont atteints de déficiences visuelles, percevant ainsi mal les couleurs (Dhée, 2013). En cartographie, la variable visuelle couleur est considérée comme une variable puissante, fortement constitutive du message que délivre la carte. En ce sens, Dhée (2013) propose une méthode basée sur des indicateurs de teinte pour améliorer la lisibilité des cartes topographiques. Ces résultats montrent que les évolutions de légende proposées permettent à 90% des daltoniens d'obtenir un meilleur accès à l'information géographique. Dans le même sens, Brock et al. (2010) rappellent qu'il est nécessaire d'activer d'autres sens que celui de la vue pour améliorer la lecture de

[74] http://www.symbolstore.org/

cartes des utilisateurs ayant des déficiences visuelles. Les auteurs proposent de développer une application cartographique interactive multimodale stimulant simultanément les sens de la vue, du toucher et l'ouïe pour améliorer la lecture de cartes. Le développement des applications mobiles a permis le développement de ce type d'outils cartographiques. Ils existent des exemples applicatifs d'outils cartographiques multimodaux à destination des utilisateurs ayant des déficiences visuelles telles Haptimap[75] ou le projet GeoTablet de Simonnet et al. (2012). Ce type d'applications cartographiques permet à des utilisateurs ayant des déficiences visuelles de lire une carte en découvrant l'information géographique à l'aide d'autres sens que celui de la vue et se construire ainsi des représentations mentales de l'espace géographique (Simonnet et al., 2013).

- **En considérant les préférences des utilisateurs**

Pour de nombreux auteurs, la prise en compte des préférences des utilisateurs dans le processus de conception cartographique permet d'améliorer considérablement l'efficacité de la carte (Stigmar, 2006 ; Wilkening, 2010 ; Wilkening et Fabrikant, 2011 ; Palka et al., 2013 ; Raposo et Brewer, 2014 ; Scholz et Lu, 2014). En effet, si l'on considère le modèle de communication cartographique proposé par Koláčný (1969), cette approche permet de réduire considérablement la distance entre la réalité du producteur de cartes et la réalité de l'utilisateur. En ce sens, Bucher et al. (2007 et 2010) proposent un système basé sur des services web, permettant de construire une légende cartographique à partir d'une faible interaction avec l'utilisateur. Le système propose des améliorations de légendes en demandant à l'utilisateur de spécifier trois critères de conception :

(1) Quel type de rendu cartographique à délivrer (lumineuse, réaliste, etc.) ? (Dominguès, 2008).

(2) Quel thème cartographique sera dominant dans le message délivré ?

(3) À quel public s'adresse la carte (adultes ou enfants) ?

Les préférences des utilisateurs sont directement intégrées au sein des spécifications cartographiques, permettant de proposer une composition cartographique prédéfinie et adaptée aux préférences spécifiées par l'utilisateur. Christophe (2009) propose une méthode qui permet d'effectuer le choix des couleurs pour la construction de légende de manière coopérative avec l'utilisateur. Cette méthode a été implémentée dans un outil nommé COlorLEGend, qui aide les utilisateurs à définir des couleurs personnalisées et originales, en tenant compte de leurs goûts et préférences. L'objectif final est d'améliorer la construction de cartes de manière générale et la qualité du message cartographique afin de permettre une meilleure compréhension et appropriation de celui-ci par l'utilisateur.

- **En combinant des représentations efficaces**

À travers son travail de recherche, Hoarau (2015) souligne que les orthophotographies et les cartes topographiques sont des modes de représentations cartographiques, possédant chacune des qualités différentes pour visualiser certains types d'informations

[75] http://www.haptimap.org/

géographiques. En ce sens, elles sont complémentaires. Cependant, le mélange de représentations photoréalistes et d'abstractions cartographiques produit bien souvent des cartes de mauvaises qualités et peu lisibles. Par ailleurs, la navigation entre différentes représentations au sein d'un guichet cartographique peut s'avérer difficile pour les utilisateurs. Ainsi, Hoarau (2015) propose des représentations cartographiques mixtes[76], qui combinent les propriétés visuelles des deux produits cartographiques : les orthophotos et les cartes topographiques. Ces représentations mixtes sont proposées en tant que rendus cartographiques intermédiaires pour faciliter la navigation[77] entre les orthophotos et les cartes topographiques dans un guichet cartographique. Hoarau (2015) propose un ensemble de paramétrages permettant d'adapter localement la symbologie des données cartographiques et de covisualiser efficacement ces deux types de représentations. La Figure 2.24 illustre un continuum géographique de ces combinaisons cartographiques. La partie gauche du continuum constitue l'abstraction et celle de droite la représentation réaliste. L'efficacité de ces représentations mixtes mérite d'être évaluée. De même, les cas d'application pour lesquels elles améliorent la transmission d'informations géographiques doivent être identifiés.

Figure 2.24 Continuum cartographique de représentations mixtes entre photoréalisme et abstraction cartographique (Hoarau, 2015).

### Approches pour évaluer l'apparence visuelle d'une carte

Évaluer l'apparence visuelle d'une carte revient à évaluer la qualité visuelle et esthétique de celle-ci ; ce qui s'avère être une tâche éminemment compliquée (Petchenik, 1974). L'évaluation esthétique est une fonction qui appartient plutôt au domaine des arts. Au sein de nombreuses recherches, l'art et la cartographie apparaissent comme deux mondes connexes. En effet, les cartes sont soit régulièrement comparées à des œuvres d'art (Roqueplo, 2010 ; Calvet, 2013), soit directement considérées comme des œuvres d'art (Imhof, 1967 ; Karssen, 1980 ; Keates, 1984 ; Gartner, 2008 ; Zanin, 2010 ; Lebrun et

[76] Il s'agit de représentations cartographiques construites à partir de la BD ORTHO® et des données cartographiques vecteurs utilisées pour la conception des fonds Scan Express®.
[77] https://youtu.be/vmKfoGPTS8E

Hofmann, 2012). Genette (2010) définit la qualité esthétique d'une œuvre d'art « comme une propriété objective », i.e. «*la valeur qui découle du sentiment qu'on éprouve à son endroit* ». Évaluer la qualité esthétique revient alors à considérer *« l'objectivation d'un jugement* » de la part de l'utilisateur, i.e. prendre en compte le degré de satisfaction de l'utilisateur. Cette définition de l'évaluation esthétique est équivalente à celle considérée et utilisée en cartographie, les propriétés esthétiques d'une carte sont généralement considérées sous l'angle du sentiment de satisfaction et du ressenti émis par l'utilisateur final. En ce sens, Jégou (2013) rappelle que la qualité esthétique d'une carte est définissable à travers trois principaux critères : l'harmonie, la composition et la clarté. Robinson (1952) propose la mise en place d'expérimentations visuelles afin d'analyser les éléments cartographiques perçus, lus et interprétés par les utilisateurs. Nous exposons ici différentes méthodes permettant d'évaluer visuellement un rendu cartographique. Elles peuvent prendre différentes formes, telles qu'une expérimentation visuelle qui recueille le ressenti de l'utilisateur ou qui analyse les mouvements oculaires de ce dernier à travers la réalisation de différentes tâches.

### En récoltant les ressentis des utilisateurs

Le ressenti des utilisateurs face aux cartes est un paramètre important dans le processus de communication cartographique, comme le titre Décryptagéo Le Mag (2015), « *la carte en proie aux émotions* ». Wood (1993) rappelle qu'un utilisateur évalue et juge visuellement une carte, au même titre que n'importe quel autre outil dont il se sert. La première réaction de l'utilisateur est suscitée par le rendu global de la carte et non pas par une analyse des différents éléments composant la carte (Petchenik, 1974). Selon Robinson (1960), Imhof (1967), Kent (2005 et 2013) et Jégou (2016) le ressenti de l'utilisateur sur un rendu cartographique, et notamment son esthétique, joue un rôle significatif dans l'interprétation de l'information géographique. Christophe (2009) appuie ce propos en suggérant qu'une bonne carte est une carte esthétiquement plaisante pour l'utilisateur. Selon l'auteure, une carte visuellement attractive est plus agréable à lire et par conséquent plus efficiente, i.e. qu'elle permet d'obtenir une information recherchée avec un minimum d'effort. En ce sens, il peut s'avérer intéressant de récolter un ensemble d'informations sur l'utilisateur, qui servira à guider les processus de conception cartographique en tant qu'indicateur.

#### 1. Méthodes appliquées aux cartes de manière générale

Petchenik (1974) propose un cadre théorique, qui permet de mesurer le ressenti de l'utilisateur en considérant individuellement quatre éléments caractéristiques de l'apparence visuelle d'une composition cartographique :

1. les caractéristiques spatiales de la carte,
2. la texture,
3. la lumière,
4. la qualité des données.

Chacun de ces éléments caractéristiques est évalué en utilisant des paires de descripteurs opposés, que Petchenik (1974) nomme *Emotional reactions*, précédemment citées : exubérante - sobre, agité - tranquille, passionnante - calme, joyeuse - sombre, festive - terne, etc. L'orientation de cette approche, centrée sur le ressenti de l'utilisateur, est particulièrement intéressante puisqu'elle permet d'évaluer simultanément des ensembles

de cartes hétérogènes, i.e. des cartes de différents types (thématique ou topographique), de différentes natures (numérique ou papier) à travers un cadre théorique constant.

### 2. Méthodes appliquées aux cartes topographiques

Dans le même sens, Dominguès (2008) propose un ensemble de descripteurs permettant de qualifier l'apparence visuelle d'une carte topographique. Ces descripteurs ont été récoltés grâce à la mise en place d'une expérimentation, demandant à 20 participants (experts en cartographie) de qualifier ouvertement un ensemble de 40 échantillons cartographiques[78] illustrés par la Figure 2.25. Les ressentis proposés par les participants sous forme textuelle ont ensuite été post-traités afin d'obtenir un jeu de descripteurs normalisés : *réaliste, attractive, artistique, lumineuse, pastel, riche, sobre, de couleurs chaudes, originale, etc.*

Figure 2.25 Échantillons cartographiques évalués à partir des descripteurs (Dominguès, 2008).

Par la suite, ces indicateurs ont servi à la formalisation du ressenti de différentes légendes issues de cartes topographiques européennes au 1:50 000$^{ème}$. Jolivet (2009) a étudié les paramètres de construction de 19 légendes de cartes topographiques européennes provenant de 16 pays différents, en considérant plusieurs critères dont :

1. l'absence et la présence d'un thème cartographique,
2. les couleurs utilisées pour représenter les différents thèmes cartographiques,
3. l'épaisseur des lignes.

L'ensemble des paramètres a été formalisé sous forme de spécifications cartographiques, qui ont permis de transférer ces légendes européennes sur trois jeux de données cartographiques IGN[79] représentant trois types d'espaces géographiques distincts : zone urbaine, zone rurale et zone montagnarde. La Figure 2.26 illustre le résultat cartographique obtenu en appliquant quatre légendes européennes différentes sur le jeu de données cartographiques IGN de la zone urbaine : Luxembourg, Norvège, Royaume-Uni et Pays-Bas (Renard, 2008 ; Jolivet, 2009). Ces cartes ont ensuite été évaluées à partir des descripteurs proposés par Dominguès (2008). L'objectif de ce travail est de pouvoir évaluer le ressenti suscité par différentes légendes européennes. L'expérimentation a été déployée auprès de douze participants experts en cartographie. Le temps requis pour mener l'expérimentation à son terme était d'environ une heure par participant. Les échantillons cartographiques ont été présentés au format numérique. Onze descripteurs,

[78] Un échantillon cartographique est un exemple de carte de taille réduite, obtenu en appliquant une légende cartographique à un jeu de données géographiques.

[79] BD Topo : seconde composante du Référentiel Géographique (RGE) à grande échelle produit par l'IGN.

illustrés par la Figure 2.27, ont été retenus. Chaque participant a la possibilité de calibrer le descripteur sur une échelle de -2 à 2 telle que l'illustre la Figure 2.27 afin de préciser au mieux son ressenti envers la carte topographique visualisée. Les résultats de ces travaux montrent que les différentes légendes topographiques européennes suscitent des ressentis différents chez les utilisateurs. Par ailleurs, les participants ont noté que la symbolisation de certaines couches cartographiques, telles que le bâti, le réseau routier et les zones de végétation, jouent un rôle significatif dans le ressenti exprimé. Ainsi, les différentes cartes européennes au 1:50 000ème suscitent un impact visuel différent auprès des utilisateurs, soit à cause d'une construction de légende différente, soit à cause de la nature de l'espace géographique représenté (urbain, rural, montagneux).

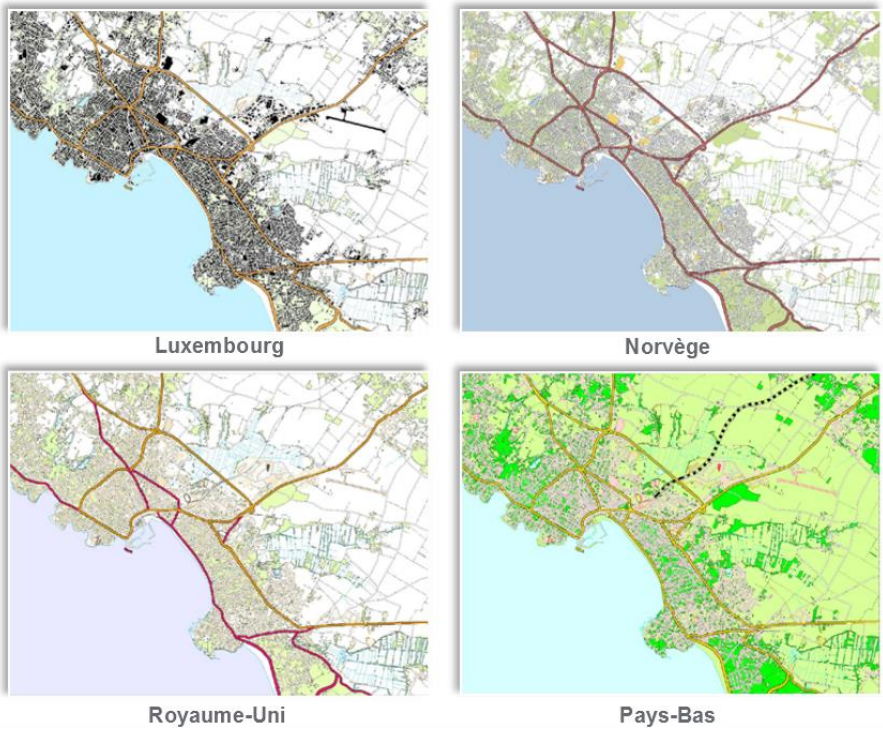



Figure 2.26 Résultats obtenus par application sur un même jeu de données cartographiques IGN de quatre légendes européennes (Jolivet, 2009).

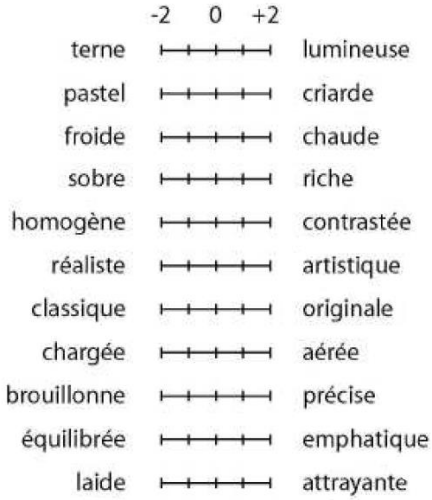



Figure 2.27 Couples de descripteurs présentés lors du test de Renard (2008).

Selon Fabrikant et al. (2012), les combinaisons colorées présentes dans une carte suscitent une réponse émotionnelle de la part des utilisateurs. Les auteurs proposent une

approche générique permettant de capturer et d'analyser la réponse émotionnelle d'un utilisateur face aux combinaisons colorées présentes dans différentes cartes topographiques illustrées par la Figure 2.28. Les auteurs souhaitent ainsi mettre en place un système de mesures permettant de décorréler émotion (je ressens) et perception (je connais ou je reconnais).

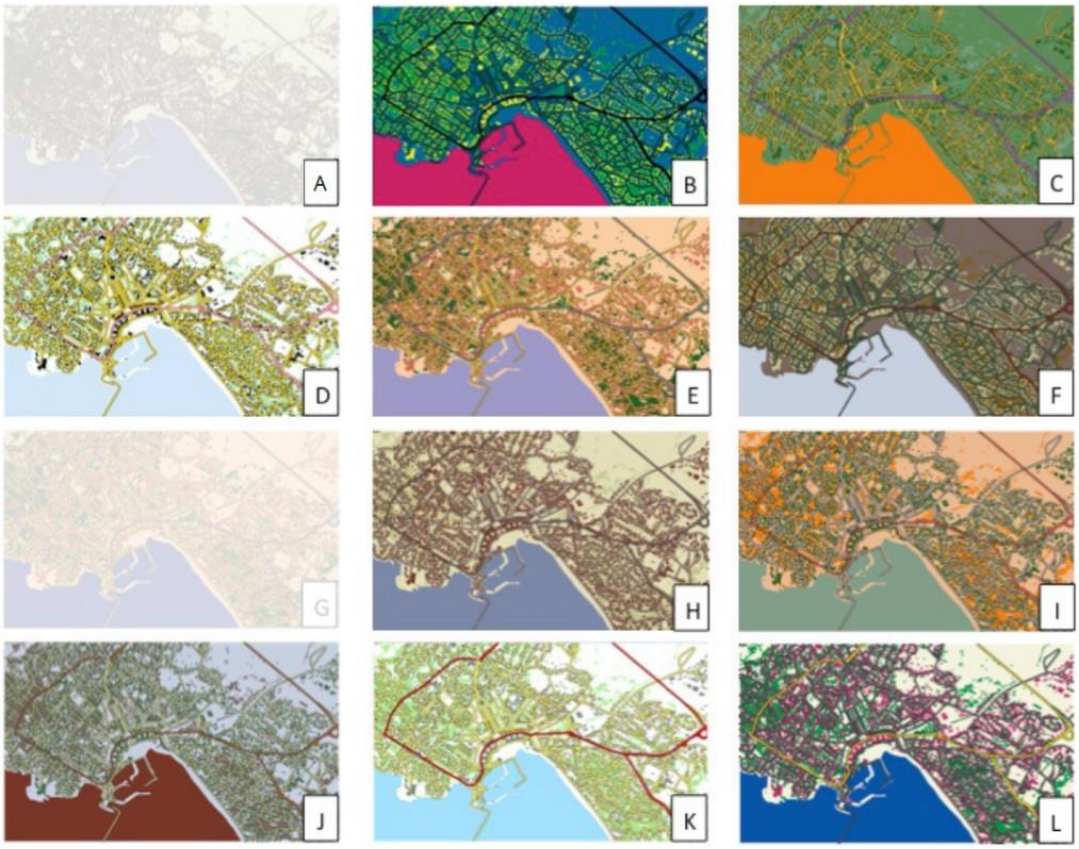



Figure 2.28 Cartes topographiques utilisées dans une expérimentation visuelle pour évaluer le ressenti des participants (Fabrikant et al., 2012).

Leur approche cherche à mesurer le changement d'état de plusieurs paramètres physiologiques d'un utilisateur : conductivité de la peau, pouls, etc. Le protocole a été testé sur douze cartes topographiques, dont les légendes ont été construites avec des couleurs extraites de tableaux de Maîtres : Derain, Matisse, Van Gogh à partir des travaux de recherche de (Christophe, 2009b) et des cartes topographiques classiques reprenant les couleurs conventionnelles des agences de cartographie IGN-France et Swisstopo. Les cartes testées représentent un espace géographique français - Royan - et ont été évaluées par des participants suisses. Uniquement quatre participants ont participé à cette expérimentation dont l'objectif était de tester la robustesse du protocole. Les résultats préliminaires suggèrent que les réponses émotionnelles peuvent être systématiquement capturées et analysées de façon significative pour évaluer l'esthétique d'une carte. Par ailleurs, les résultats montrent qu'il existe des réponses émotionnelles très différentes entre des compositions cartographiques dont les choix de construction de légende sont éloignés. Les deux cartes topographiques conventionnelles ont été préférées aux autres cartes alors même que les réponses émotionnelles suscitées par ces deux cartes étaient différentes. Les styles topographiques traditionnels ont été préférés par les participants. Il serait intéressant de poursuivre cette étude et d'identifier les paramètres véhiculant cette préférence.

Ortag (2009) cherche à identifier les critères en jeu dans l'appréciation esthétique d'une carte topographique en consultant les utilisateurs. En ce sens, il a mis en place une expérimentation visuelle, à travers laquelle il demande à des participants de choisir la carte topographique qu'ils préfèrent et d'énoncer les critères ayant permis d'effectuer ce choix. L'expérimentation est basée sur trois cartes topographiques papier au 1:20 000ème représentant le même espace géographique près du Lac Constance, à la frontière entre la Suisse, l'Allemagne et l'Autriche illustré par la Figure 2.29. Cette expérimentation a été effectuée auprès de 51 utilisateurs experts pendant un congrès[80] et 101 utilisateurs non experts interviewés dans la rue. Il ressort de ce travail que la couleur et la lisibilité sont les deux critères intervenant dans l'appréciation esthétique d'une carte topographique.

Figure 2.29 Cartes topographiques utilisées dans une expérimentation visuelle pour évaluer l'esthétique (Ortag, 2009).

Pour conclure, Hegarty et al. (2009) rappellent que les expérimentations menées pour récolter les préférences de l'utilisateur, même ceux des experts du domaine, ne sont pas une bonne indication de l'efficacité de la composition cartographique à transmettre une information géographique. Les auteurs rappellent qu'il est important de demander aux utilisateurs d'effectuer des tâches avec la carte puis d'évaluer la réussite ou non de l'utilisateur à effectuer celles-ci, afin d'obtenir des mesures objectives de l'efficacité de la carte.

### En étudiant les mouvements oculaires des utilisateurs

Montello (2009) recommande aux Sciences de l'Information Géographique de s'inspirer des méthodes existantes dans les Sciences Cognitives, telles que les techniques d'oculométrie[81], pour évaluer la lisibilité, la qualité et l'efficacité des rendus cartographiques. L'étude des mouvements oculaires des utilisateurs permet d'obtenir un

[80] Symposium Cartography and Art 2008 à Vienne.

[81] En anglais, les techniques d'Eyes Tracking. Elles regroupent un ensemble de techniques permettant d'enregistrer les mouvements oculaires des utilisateurs.

ensemble d'informations sur le développement du processus perceptif en jeu dans la lecture de cartes. Depuis une dizaine d'années, la recherche en Sciences de l'Information Géographique intègre ces techniques d'évaluation pour analyser la manière dont les utilisateurs perçoivent l'information géographique contenue dans les cartes. Fabrikant et al. (2008) enregistrent les mouvements oculaires pour mesurer l'*affordance* d'une composition cartographique. Çöltekin et al. (2009 et 2010) et Bektaş et Çöltekin (2011) évaluent l'efficacité d'interfaces de géovisualisation par l'étude de mouvements oculaires. Popelka et Brychtova (2013) étudient la différence de perception du relief entre un rendu 2D et un rendu 3D. Nous détaillons ici deux expérimentations visuelles intégrant les techniques d'oculométrie, une première pour analyser l'influence de la distance entre les couleurs sur la lisibilité et l'efficacité des cartes, une seconde pour analyser l'efficacité de cartes de différents styles cartographiques.

Brychtova et Çöltekin (2014) mettent en place une expérimentation visuelle couplant tâches utilisateur et techniques d'oculométrie, pour analyser l'influence de la distance entre les couleurs utilisées dans la carte et la couleur noire utilisée pour la toponymie, sur la lisibilité et l'efficacité de la carte. Les auteurs ont demandé aux participants d'effectuer une tâche de recherche visuelle via une interface de géovisualisation, où les participants devaient cliquer avec la souris pour montrer la bonne réponse. La réussite ou non de la tâche a permis d'analyser l'efficacité de la carte, et le temps de réponse des participants a permis d'analyser son efficience. Ces paramètres ont été étudiés sur cinq distances de couleurs différentes au sein de 15 compositions cartographiques différentes. 50 participants ont pris part à cette expérimentation, 60% d'entre eux sont considérés « experts » et les 40% restants comme « novices ». 100% des réponses obtenues dans l'expérimentation sont correctes. Les résultats de l'étude montrent que plus les distances entre les couleurs du fond de carte et les couleurs de la toponymie augmentent, plus la carte est lisible et efficace. Par ailleurs, plus la distance entre les couleurs est importante, plus les participants sont rapides pour donner une réponse correcte.

Drahošová (2015) étudie l'influence du style cartographique sur la lisibilité et la perception d'information dans une carte. L'auteure étudie sept paires de cartes provenant de deux atlas routiers différents produits par PRAHA Kartografie[82] : un premier atlas produit en 1994 et un second atlas datant de 2013. Entre ces deux dates, le producteur de cartes a fait évoluer le style de ses cartes, i.e. certains objets cartographiques ne sont plus représentés de la même façon, notamment pour les adapter aux supports numériques. Deux expérimentations utilisateur, à l'aide de techniques d'oculométrie, ont été menées en parallèle, au sein desquelles les participants devaient identifier l'itinéraire le plus court permettant de se rendre d'un point A à un point B. Au sein de la première expérience, 22 étudiants ont dû réaliser cette tâche avec les cartes tirées de l'atlas produit en 1994 et au sein de la seconde expérience, 24 autres étudiants ont dû réaliser la même tâche avec les cartes tirées de l'atlas de 2013. La Figure 2.30 illustre ces deux recherches d'itinéraire avec deux styles cartographiques différents. Le temps de réponse et le nombre de fixation des participants ont été étudiés et analysé pour le deux études. L'auteure constate que l'atlas de 1994 est plus efficace que celui de

[82] Kartografie PRAHA : http://www.kartografie.cz/

2013 pour réaliser la tâche de recherche d'itinéraire. En effet, les mouvements oculaires récoltés sur l'atlas de 1994 sont plus cohérents par rapport à la tâche demandée aux utilisateurs. En ce sens, l'auteure propose de changer la couleur des objets cartographiques « forêt » pour améliorer l'efficacité de la carte issue de l'atlas de 2013. Selon l'auteure, cela permettrait d'accentuer certains effets de contraste, qui ont une influence significative sur la recherche d'itinéraire. Ces recherches montrent que la représentation graphique des objets cartographiques et le style cartographique de la carte ont une influence directe sur la perception de l'information géographique et par conséquent sur l'exécution d'une tâche utilisateur.

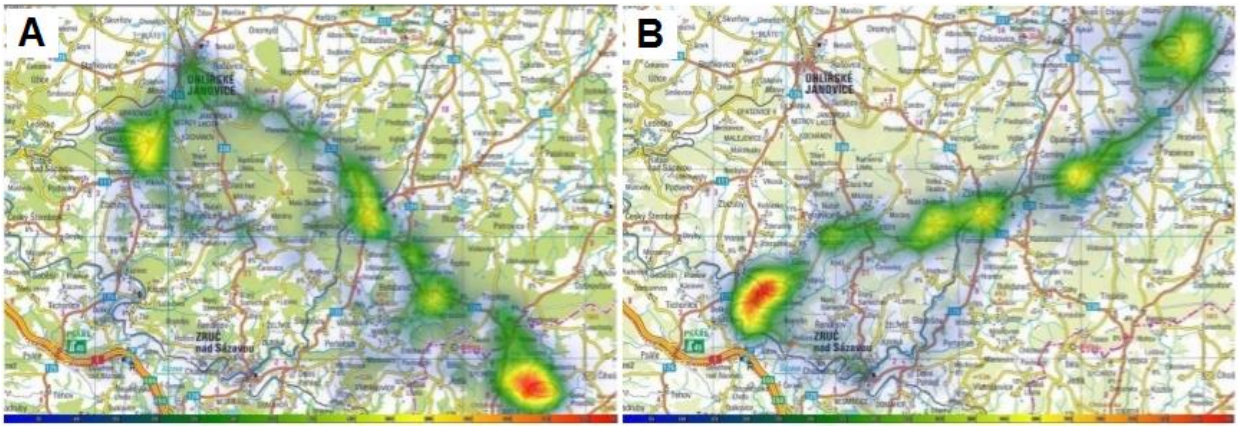



Figure 2.30 Cartes[83] de chaleur illustrant les mouvements oculaires obtenus avec l'eye-tracker pour évaluer la recherche d'itinéraire sur l'atlas 1994 - carte A - et l'atlas 2013 – carte B.

Dans cette section, nous avons rappelé que les cartes topographiques sont des abstractions constituées de signes graphiques, qui une fois interprétés, permettent aux utilisateurs de comprendre l'espace géographique représenté (*§2.1.1*). Nous avons également vu que la construction de ces signes graphiques fait appel à des processus d'abstraction cartographique complexes, tels que la sélection de données, la généralisation cartographique et la construction de légende. Nous avons notamment vu que les variables visuelles proposées par Bertin s'appuient sur des propriétés graphiques faciles à interpréter par la vision humaine. Une manipulation adaptée des variables visuelles permet de créer des relations visuelles structurées entre les différents signes graphiques, donnant ainsi à voir des structures spatiales explicites aux utilisateurs (*§2.1.2*). Enfin, nous avons présenté de nombreux travaux relatifs à l'enrichissement des connaissances sur la construction de légende (*§2.1.3*). Dans notre travail de recherche, nous souhaitons poursuivre l'enrichissement de ces connaissances en s'intéressant aux propriétés visuelles reconnaissables qui permettent de classifier une carte topographique au sein d'une famille cartographique. Il est par conséquent nécessaire de comprendre les mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique.

[83] http://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/magisterske/drahosova15/summary.html

## 2.2 Mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique

Nous sollicitons notre système visuel de manière quasi permanente pour appréhender l'environnement dans lequel nous évoluons. Grâce à lui, nous identifions, décodons et enregistrons la masse d'informations visuelles contenues dans chacune des scènes que nous percevons. À titre d'exemple, notre système visuel nous permet d'identifier les visages des individus que nous croisons (notre famille, nos collègues, etc.), de reconnaître les objets que nous utilisons (nos vêtements, notre voiture, notre vélo, etc.) et leurs caractéristiques, telles que la couleur de notre vélo. Il permet aussi de mémoriser l'agencement spatial des lieux de vie dans lesquels nous évoluons (notre ville, notre quartier, notre immeuble, notre maison, etc.). L'ensemble de ces actions s'appuie sur plusieurs mécanismes illustrés par la Figure 2.31 :

1. la vision, qui constitue un traitement physique de l'information visuelle par le système nerveux, permettant une stimulation des photorécepteurs rétiniens à l'origine de messages nerveux ;
2. la perception visuelle, qui consiste à identifier et regrouper des primitives visuelles permettant de créer une image mentale. Il s'agit d'une représentation qui rend sensible un objet ou un concept en l'amenant au niveau du cerveau (Denis, 1989) ;
3. la cognition, qui consiste à mobiliser différents processus mentaux, tels que la mémoire ;
4. la reconnaissance visuelle, qui consiste à comparer l'image mentale nouvellement acquise par le système nerveux avec les informations mémorisées.

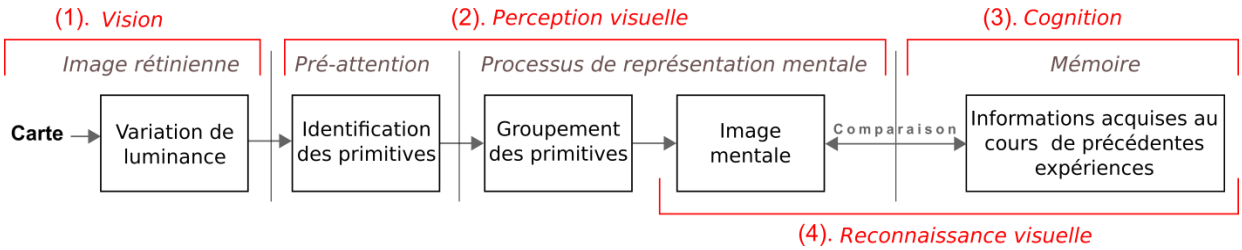



Figure 2.31 Mécanismes perceptifs sollicités pour l'interprétation d'une composition cartographique : vision, perception visuelle, cognition et reconnaissance visuelle, figure adaptée de Marr (1982) et Treisman et Gelade (1980).

D'après la Figure 2.31, l'interprétation d'une carte topographique par un utilisateur consiste (1) à visualiser une carte qui permet l'acquisition de l'image rétinienne, (2) à identifier et regrouper des primitives visuelles, afin de créer une image mentale de la carte visualisée, (3) à comparer les informations nouvellement acquises à celles stockées en mémoire afin de déclencher ou non (4) un processus de reconnaissance selon leurs proximités visuelles. De nombreux auteurs se sont appliqués à analyser et comprendre les ponts existants entre les principes de conception cartographique et les mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans l'interprétation d'une carte (Arnheim, 1976 ; Board et Taylor, 1977 ; Guelke, 1979 ; MacEachren, 1995 ; Monso et de Saint Pol, 2009 ; Griffin et Fabrikant, 2012). Ferland (1998) rappelle que *« les défis posés à la cartographie mènent à la cognition »*. Montello (2002) synthétise ces nombreux travaux faisant appel aux

sciences cognitives et rappelle leur intérêt pour la recherche en cartographie. Dans notre travail de recherche, nous nous intéressons tout particulièrement à la reconnaissance visuelle d'une composition cartographique. D'après Le Petit Robert (2015), l'action de reconnaître peut être définie de plusieurs manières. Nous nous intéressons tout particulièrement aux deux définitions suivantes :

1. *« Retrouver dans sa mémoire l'idée, l'image d'une personne, d'une chose, quand on vient à la revoir ou à l'entendre. »*
2. *« Connaître, distinguer ou identifier, à quelque signe ou à quelque caractère, d'après quelque indication, une personne ou une chose qu'on n'a jamais vue. »*

Selon Palmeri et Gauthier (2004), la reconnaissance d'un objet suppose que le cerveau des utilisateurs ressemble à une grande base de données, où sont stockées des images sous différents angles et à différentes tailles. La reconnaissance implique leur consultation rapide grâce à un système d'indexation. Selon Donaldson (1996), la reconnaissance est basée sur deux mécanismes distincts que sont la familiarité et la recollection. La familiarité est définie comme le sentiment d'avoir déjà vu un stimulus, i.e. reconnaître des propriétés visuelles du stimulus. La recollection est dépendante du contexte spatio-temporel dans lequel est perçu le stimulus. Pour un utilisateur, l'action de reconnaître une carte consiste à (1) associer ses propriétés visuelles aux propriétés visuelles préalablement apprises au cours d'expériences de lectures cartographiques antérieures en les retrouvant dans sa mémoire – la familiarité - ou (2) d'associer les propriétés visuelles d'une carte non connue à une connue de par leurs proximités visuelles – la recollection. Par conséquent, la reconnaissance visuelle s'appuie nécessairement sur un processus de transformation d'une scène visuelle en trois actes : acquisition d'une image rétinienne, représentation mentale et mémorisation de l'information (Marr et Nishihara, 1978). Dans cette section, nous étudions la reconnaissance visuelle, sous l'angle des processus mémoriels chargés de sélectionner et d'organiser activement les informations géographiques (2.2.1) en provenance d'une carte topographique afin de les encoder (2.2.2) et d'en construire des représentations mentales qui seront mémorisées (2.2.3). Enfin, dans une dernière partie, nous examinons comment la reconnaissance visuelle facilite l'accès à des fonctions cognitives plus complexes (2.2.4).

### 2.2.1 Sélectionner et organiser les éléments d'une scène visuelle : point de départ de la reconnaissance visuelle

De nombreux travaux de recherche se sont intéressés à la manière dont les utilisateurs sélectionnent et organisent l'information d'une scène visuelle. Certains d'entre eux proposent des modèles théoriques sur le fonctionnement de la perception visuelle humaine : la théorie de la Gestalt (Koffka, 1935), le modèle computationnel de Marr (1982), l'écologie de la perception (Gibson, 1966), etc. Dans cette section, nous présentons en premier lieu le fonctionnement de la perception pré-attentive en considérant notamment la reconnaissance de primitives visuelles, puis nous détaillons les principes de perception proposés par une théorie majeure en perception visuelle : la théorie de la Gestalt.

### La perception pré-attentive : sélectionner des primitives visuelles

Selon Treisman et Gormican (1988), certains éléments d'une scène visuelle sont détectés immédiatement par la perception pré-attentive. Au sein d'une représentation visuelle, si quelques variables rétiniennes sont différentes du reste, ces dernières seront alors traitées pré-attentivement par notre système visuel, qui perçoit automatiquement ces différences sans engendrer d'accroissement de la charge cognitive. Par ailleurs, Treisman (1985) rappelle qu'en visualisant une représentation graphique pendant une fraction de seconde, les utilisateurs peuvent répondre de manière très fiable à des questions concernant le contenu de cette représentation. Par exemple, si un utilisateur ne souffrant d'aucun handicap visuel observe la partie B de la Figure 2.32 pendant 250 ms (1/4 de seconde), il percevra immédiatement le rond rouge se trouvant parmi l'ensemble des ronds bleus. Cette perception ne requiert aucun effort cognitif de la part de l'utilisateur. Inversement sur la partie A de la Figure 2.32, les ronds sont difficilement distinguables les uns des autres au premier coup d'œil, car ils possèdent les mêmes propriétés visuelles.

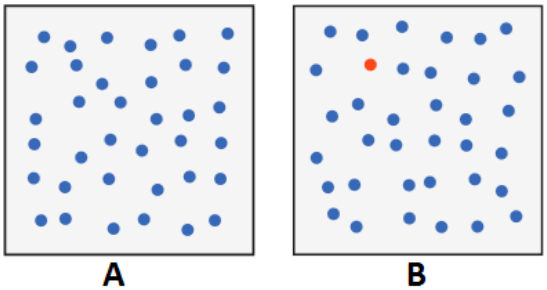



Figure 2.32 Illustration du fonctionnement de la perception pré-attentive à travers la détection visuelle d'un rond rouge au sein d'un ensemble de ronds bleus (Healey et Enns, 1999).

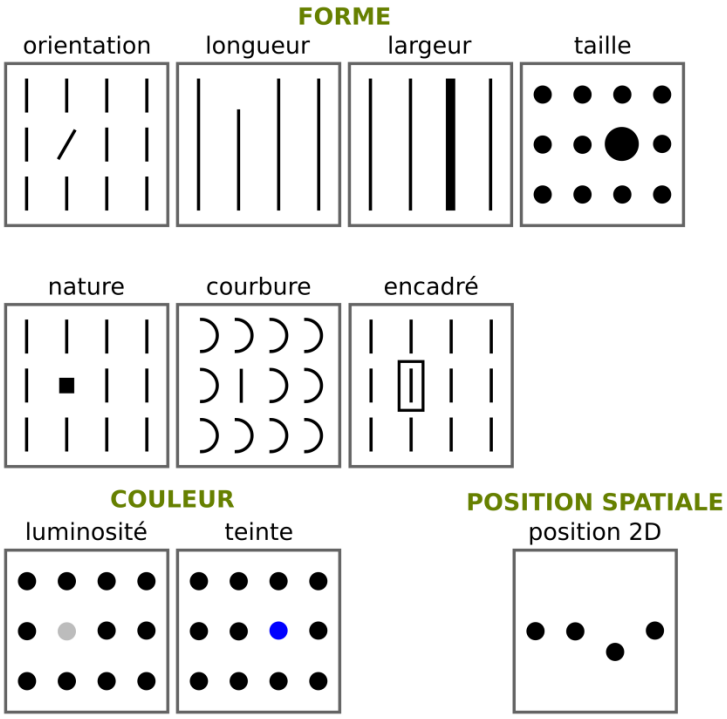



Figure 2.33 Exemples de variables visuelles auxquelles la perception pré-attentive est sensible, figure adaptée de Ware (2010).

Selon Healey et al. (1996) et Ware (2010), certains éléments d'une scène visuelle sont plus facilement identifiables que d'autres, à cause de leurs propriétés visuelles. En effet, la perception visuelle est sensible à certaines propriétés visuelles, qui sont immédiatement perçues par les utilisateurs, i.e. de manière pré-attentive. La Figure 2.33 illustre certaines de ces propriétés visuelles, appelées variables visuelles pré-attentives : orientation, longueur, largeur, taille, nature, etc. Nous avons regroupé ces variables en trois groupes distincts : la forme, la couleur et la position spatiale. Ware (2010) rappelle que ces variables visuelles pré-attentives guident l'attention des utilisateurs dans l'exploration d'une scène visuelle. En ce sens, une manipulation adaptée de ces variables visuelles pré-attentives permet de favoriser la perception de certaines informations au sein d'une représentation visuelle (Treisman, 1985). Vineeta (2014) évoque l'importance de l'utilisation de la couleur en tant que variable visuelle pré-attentive pour la conception de cartes thématiques. De leur côté, Michaelidou et al. (2005) étudient l'influence de la variable visuelle « forme » appliquée aux objets cartographiques ponctuels sur la perception pré-attentive des utilisateurs. Les auteurs ont mis en place une expérimentation visuelle, au sein de laquelle ils demandent aux participants d'identifier le plus rapidement possible dans une composition cartographique des symboles cartographiques qui leur sont connus. Il s'agit là d'une tâche de reconnaissance visuelle. Les auteurs notent que les symboles cartographiques aux formes géométriques simplifiées comprenant une distinction géométrique sur la partie haute du symbole comme l'illustrent les symboles A2, A4, A5 de la Figure 2.34 sont identifiés plus rapidement par les participants que des symboles cartographiques plus simples comme les symboles ronds et carrés ou les symboles illustratifs (symboles illustrés sur la partie droite de la figure). Par ailleurs, ils soulignent également que les symboles présentés au centre de la carte ont été identifiés plus rapidement par les participants que les symboles présentés en périphérie.

Figure 2.34 Symboles cartographiques ponctuels ayant servi de stimuli dans l'expérimentation de Michaelidou et al. (2005).

Lloyd et Hodgson (2002) utilisent une approche similaire pour évaluer la reconnaissance par les utilisateurs d'objets avec des formes géométriques connues : magasins, écoles, églises, fermes, parking, terrains de sport, cimetières et champs agricoles, au sein de représentations photoréalistes : des images aériennes. Les auteurs soulignent que le temps de recherche diminue considérablement lorsque le nombre d'objets dans la photographie augmente. Par ailleurs, les auteurs soulignent que la recherche d'objets effectuée au sein d'espaces géographiques ayant des configurations spatiales complexes est significativement plus longue.

Comme le montrent ces différents travaux, l'utilisation de variables visuelles pré-attentives permet de rendre saillante une information géographique par rapport à une autre. Ainsi, si un concepteur de cartes utilise des variables visuelles pré-attentives de manière adaptée, l'utilisateur percevra alors l'information choisie par le concepteur sans

effort. Inversement, une mauvaise manipulation des variables visuelles pré-attentives nécessitera un temps plus long aux utilisateurs pour identifier l'information géographique recherchée. Par ailleurs, ces variables visuelles pré-attentives sont également déterminantes dans l'organisation de l'information présente dans la scène visuelle.

### Organiser l'information visuelle perçue : exemple de la théorie de la Gestalt

La théorie de la Gestalt fournit une base de connaissances importante sur les mécanismes en jeu dans la perception d'une scène visuelle (Koffka, 1935). En allemand, le mot « *gestalten* » signifie « *mettre en forme, donner une signification* ». Cette théorie part du postulat que le système perceptif simplifie l'information perçue, en l'organisant, la structurant, la groupant de façon appropriée afin de rendre compréhensible la scène visuelle. L'information est organisée selon un certain nombre de lois, dites *Lois de la Forme*, qui permettent aux utilisateurs de grouper l'information perçue en distinguant certains éléments visuels appelés *figures*, d'autres éléments visuels formant le *fond*, et ainsi donner du sens à la scène visuelle. La configuration des éléments de la scène visuelle est par conséquent déterminante dans le traitement de l'information par le système visuel de l'utilisateur. Bertin (1967) souligne qu'il existe trois niveaux de perception d'une information visuelle :

1. le niveau élémentaire, où intervient la perception d'un seul élément visuel ;
2. le niveau moyen, où intervient la perception d'un groupe d'éléments visuels ;
3. le niveau supérieur, où intervient la perception de tous les éléments visuels.

Bertin (1967) précise qu'une représentation visuelle qui n'offre que le niveau de lecture élémentaire est de mauvaise qualité, car elle n'utilise pas l'ensemble des capacités perceptives humaines. Selon les gestaltistes, les utilisateurs perçoivent non pas une suite de signes graphiques, mais des configurations de signes graphiques directement organisées par leurs systèmes visuels qui sont structurés selon deux principes :

#### La distinction figure-fond

Le vase de Rubens, illustré par la partie A de la Figure 2.35, peut être perçu de deux manières différentes par les utilisateurs. Soit ceux-ci considèrent le noir de l'image comme le fond, ils perçoivent alors la figure d'un vase (en blanc). Soit, inversement, ils considèrent le blanc de l'image comme le fond, ils perçoivent alors la figure de deux visages se faisant face (en noir). Cet exemple montre que pour une même scène visuelle, le fond peut devenir la figure, et la figure devenir le fond, changeant complètement le sens de la scène. La perception visuelle des utilisateurs organise les éléments de telle façon que tout ce qui a une signification pour eux est considéré comme une figure, i.e. au premier plan. Cette distinction figure-fond est un paramètre important pour la reconnaissance des éléments contenus dans une scène visuelle. Par ailleurs, dans l'exploration visuelle d'une scène, les détails du fond sont souvent perçus de manière moins précise et moins bien structurée.

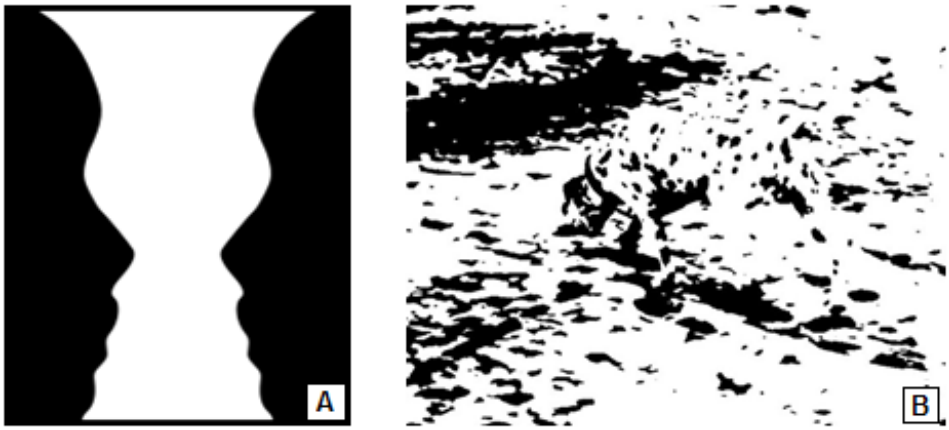



Figure 2.35 Exemple du vase de Rubens (A)[84] et du principe de regroupement (B)[85].

**Le principe de regroupement**

Selon la théorie de la Gestalt, « *Le tout est différent de la somme de ses parties* ». En regardant une scène visuelle dans sa totalité, l'utilisateur structure et regroupe les différents éléments selon leurs propriétés visuelles. À titre d'exemple, sur la partie B de la Figure 2.35, pour percevoir le chien dalmatien, le système visuel de l'utilisateur doit intégrer la forme de certaines taches noires en tant que contour d'une figure, à savoir le chien. Autre exemple, les cartes topographiques contiennent des signes graphiques, qui groupés, donnent à voir des structures et des agencements spatiaux, qui délivrent un sens supplémentaire à l'information géographique transmise aux utilisateurs. En effet, comme le rappelle Schlichtmann (2014), le sens d'une carte est porté par la signification des signes graphiques qu'elle contient, mais aussi par la signification portée par les regroupements de signes graphiques. Ces regroupements sont effectués selon certaines *Lois de la Forme*. Elles permettent aux utilisateurs d'organiser l'information perçue au sein d'une scène visuelle et ainsi, dissocier rapidement et efficacement une figure du fond :

1. **loi de la continuité :** dans une image, une figure est constituée d'éléments formant une continuité visuelle, créant ainsi l'unité. Cette loi est illustrée par la lettre **S** de la Figure 2.36.
2. **loi de la proximité :** dans une image, les éléments ayant une certaine proximité physique sont regroupés pour former une figure. Si la distance séparant les éléments ne permet pas aux utilisateurs de regrouper les éléments entre eux, leur perception visuelle considérera d'autres lois pour créer une figure. Cette loi est illustrée par la lettre **E** de la Figure 2.36.
3. **loi de la similarité :** dans une image, les éléments semblables, i.e. ayant les mêmes propriétés visuelles, forment une même figure. De même, les éléments disparates sont regroupés pour former une autre figure. Cette loi est illustrée par les deux lettres **T** de la Figure 2.36.

[84] http://preunet.fr/sites/default/files/pictures/faces_paradox.png
[85] http://preunet.fr/sites/default/files/pictures/dalmatien.jpg

4. **loi de fermeture :** les formes fermées sont plus prégnantes que les formes ouvertes. Selon la théorie de la Gestalt, une forme prégnante est définie comme une forme qui prédomine, qui s'impose à l'esprit par rapport aux autres formes d'une composition. Ainsi, une forme fermée est plus facilement identifiée comme une figure qu'une forme ouverte. Cette loi est illustrée par la lettre **G** de la Figure 2.36, qui a été découpée en deux pour retirer sa fermeture.

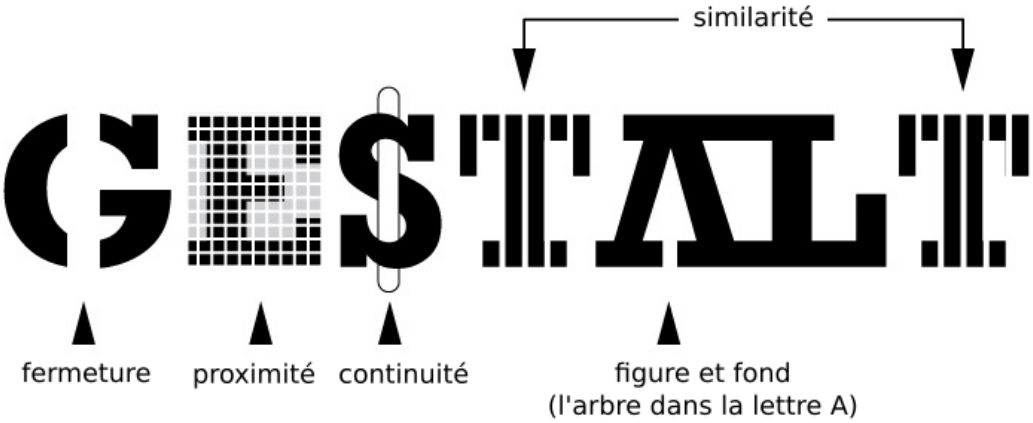



Figure 2.36 Les *Lois de la Forme* illustrées à travers le mot « GESTALT » [86].

De manière générale, ces lois contribuent à comprendre comment les utilisateurs perçoivent et structurent une scène visuelle. L'abstraction cartographique, en tant que représentation simplifiée, facilite la prise en compte de ces *Lois de la Forme* par le système visuel de l'utilisateur. En effet, dans une abstraction cartographique, les formes sont souvent plus distinguables que dans une représentation plus réaliste d'un espace géographique. C'est pourquoi les principes visuels énoncés par la théorie de la Gestalt doivent être considérés par les sciences de l'information géographique, afin d'affiner et d'enrichir les règles existantes sur la construction cartographique (MacEachren, 1995). Nombreux travaux en cartographie s'y sont intéressés. À titre d'exemple, Carvalho et Moura (2009) illustrent les principes des *Lois de la Forme* à travers plusieurs exemples de cartes thématiques. De même, Belbin (1996) propose des règles de placement de toponymes intégrant les principes de la théorie de la Gestalt. Dans le même sens, Sluter et Andrade (2015) considèrent les principes énoncés par la théorie de la Gestalt pour étudier la reconnaissance des symboles cartographiques présents dans les guides touristiques brésiliens. Les auteurs s'appuient sur les principes énoncés par la théorie de la Gestalt pour dégager des règles, ils souhaitent ainsi améliorer le processus de communication cartographique. Enfin, Schmidt et Delazari (2013) appliquent également les principes énoncés par la théorie de la Gestalt pour améliorer la détection de points de repère en navigation virtuelle effectuée avec des cartes 3D. À travers ces différents exemples, les principes énoncés par la théorie de la Gestalt sont pris en compte au sein des principes de conception cartographique pour espérer faciliter l'encodage de l'information géographique par le système mémoriel de l'utilisateur.

[86] http://www.disko.fr/wp-content/uploads/2015/04/gestalt_illustration-01.jpg

### 2.2.2 Encoder une information visuelle : pivot de la reconnaissance visuelle

En psychologie cognitive, la représentation mentale est une activité humaine cérébrale qui consiste à encoder l'information d'une scène visuelle, en provenance des signaux lumineux captés par les yeux. Denis (1989) rappelle que *« le terme de représentation est utilisé pour désigner à la fois un processus et le produit de ce processus ».* Dans ce paragraphe, nous nous intéressons uniquement au processus de représentation mentale.

#### La reconnaissance au cœur du processus de représentation mentale

La lecture de cartes, en tant qu'action de perception visuelle, s'appuie sur un processus de représentation mentale qui encode l'information acquise. Ce processus d'encodage repose sur un système de mémoire unique divisé en trois unités de stockage différentes aux fonctions spécifiques : mémoire sensorielle, mémoire à court terme et mémoire à long terme (Anderson, 2000 ; Kosslyn, 1985 ; Treisman, 1992). Au regard des mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu entre chaque unité de mémoire illustré par la Figure 2.37, la mémoire constitue une ressource de toute première importance pour déclencher le processus de reconnaissance. En effet, en plus de sa fonction de conservation de données, la mémoire joue un rôle de premier plan dans le traitement de l'information en réalisant des fonctions de sélection et d'abstraction, d'organisation et de catégorisation (Gagné et al., 1992).

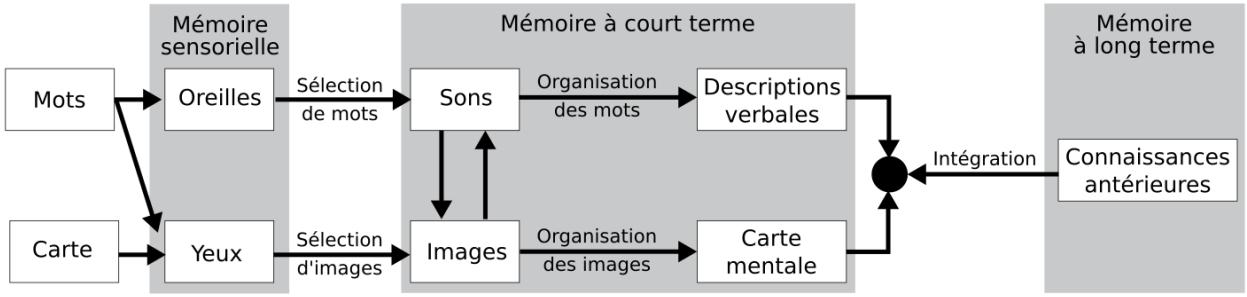



Figure 2.37 Comparaison du fonctionnement cognitif de la perception visuelle d'une carte et de l'écoute d'une phrase, figure adaptée de Mayer (2009).

Afin de bien comprendre le fonctionnement global de la mémoire, nous détaillons ci-dessous le fonctionnement individuel de chaque unité mémorielle et les relations existantes entre elles.

- **Mémoire sensorielle**

La mémoire sensorielle (*sensory memory* en anglais) a pour fonction un stockage temporaire des informations acquises par les différents sens des utilisateurs : l'ouïe, l'odorat, le toucher, la vue et le goût. La Figure 2.37 considère uniquement l'ouïe et de la vue. Dans notre contexte de recherche, nous considérons exclusivement l'information visuellement perçue. La mémoire sensorielle a une durée d'action très courte, de quelques centaines de millisecondes à deux secondes au maximum, au cours de laquelle elle retourne une exacte copie des informations visuellement perçues par l'utilisateur. Il est impossible pour les utilisateurs de mémoriser l'ensemble des informations perçues, c'est pourquoi l'attention visuelle de l'utilisateur détermine les informations qui seront retenues, i.e. celles qui seront transférées vers la mémoire à court terme. Ce premier

encodage visuel effectué par la mémoire sensorielle constitue donc un processus d'abstraction, qui est dépendant des caractéristiques physiques de l'utilisateur. À titre d'exemple, un utilisateur souffrant de déficiences visuelles perçoit une carte topographique différemment d'un utilisateur lambda. En ce sens, Dhée (2011) rappelle que les règles sémiologiques doivent être adaptées, afin de prendre en compte leurs déficiences visuelles et ainsi favoriser une interprétation correcte de l'information géographique représentée.

### Mémoire à court terme (MCT)

La mémoire à court terme (*short-term memory* en anglais) est souvent comparée à la RAM (*Random Access Memory*) en informatique. En effet, la mémoire à court terme, qui est également appelée mémoire de travail (*working memory* en anglais), fournit un espace mémoire de travail temporaire aux utilisateurs, permettant de considérer toute nouvelle information, soit en provenance de la mémoire à long terme, soit issue d'une nouvelle action de perception. La mémoire à court terme possède deux principales fonctions :

1. **mobiliser temporairement les informations** nécessaires à la réalisation d'une tâche utilisateur très simple, qui sera ensuite supprimée ;
2. **considérer les informations nécessaires** à l'exécution d'activités cognitives plus complexes (transfert vers la mémoire à long terme).

La mémoire à court terme permet de stocker et de réutiliser une quantité d'informations très limitée (Kosslyn, 1985 ; Alvarez et Cavanagh, 2004 ; Luck, 2007) et ce, pendant un laps de temps relativement court, allant d'environ d'une à trente secondes au maximum. Selon Miller (1956), la mémoire à court terme d'un utilisateur ne peut mémoriser que sept items (unités d'informations), plus ou moins deux selon le profil, l'état et les capacités de stockage de l'utilisateur (Bunch et Lloyd, 2006). Lorsque ce dernier lit une carte topographique, il sollicite et met à contribution sa mémoire à court terme, en décodant différents types d'informations : ce parc est proche de ce lac, ce bâtiment est plus gros que celui-ci, cette route est plus importante que celle-ci. Les utilisateurs organisent et stockent cette information dans leur mémoire à court terme comme l'illustre la Figure 2.37. Chaque réponse issue de la mémoire sensorielle et traitée par la mémoire à court terme monopolise un item. Or, la sélection visuelle d'informations dans une carte topographique est une action perceptive qui mobilise simultanément plusieurs items, d'où la nécessité d'optimiser le rendu cartographique afin de faciliter le traitement de l'information par la mémoire à court terme. Par ailleurs, bien qu'elle joue un rôle central dans le processus de perception visuelle, la mémoire à court terme est très vulnérable. Elle est sensible aux interruptions et aux interférences en provenance d'autres sources d'informations actives (sonores, visuelles, etc.) présentes dans l'environnement dans lequel l'utilisateur évolue (Oberauer et al., 2012). Une introduction, même brève, d'une autre information perturbe le traitement en cours. Ainsi, l'ensemble des informations géographiques contenues dans la carte doit être représenté de manière à ne pas interférer l'interprétation de l'utilisateur.

### Mémoire à long terme (MLT)

La mémoire à long terme est équivalente à celle employée dans le sens courant. En effet, de nombreuses expressions du langage courant s'y réfèrent : *« avoir un trou de mémoire », « avoir une mémoire d'éléphant », « être gravé dans la mémoire », « avoir la*

*mémoire qui flanche », etc.* La mémoire à long terme est une mémoire de stockage permanent. Les informations acquises par les utilisateurs au cours de leurs différents apprentissages et expériences y sont stockées. L'importance et le sens que l'utilisateur attache à ces informations déterminent si elles seront stockées ou non dans la mémoire à long terme ainsi que leur durée de stockage. Les informations stockées par la mémoire à long terme prennent la forme d'une base de connaissances indispensable au bon fonctionnement du traitement descendant de la perception visuelle. C'est notamment ces connaissances qui permettent de déclencher le processus de reconnaissance visuelle que nous détaillons ci-dessous.

### La reconnaissance visuelle entre traitements attentionnels ascendants et descendants

Fabrikant et Goldsberry (2005) rappellent que la perception visuelle est guidée par des mécanismes attentionnels ascendants et descendants. De manière générale, l'utilisateur peut opérer en premier lieu une perception globale et rapide de la carte - traitement attentionnel ascendant, puis en second lieu des perceptions plus guidées, permettant de rechercher plus spécifiquement une ou des informations - traitement attentionnel descendant. Chacun de ces traitements attentionnels fait intervenir un processus de reconnaissance visuelle. La Figure 2.38 représente ces deux types de reconnaissance visuelle.

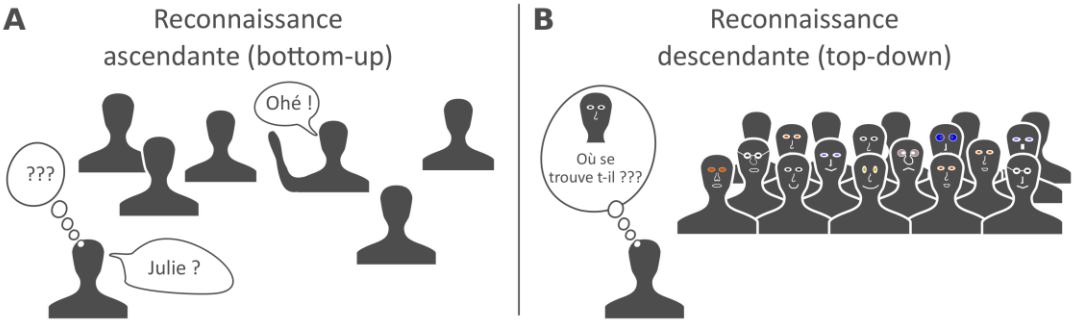



Figure 2.38 Différences entre le processus ascendant (A) et descendant (B) de reconnaissance, figure adaptée de Barragan-Jason (2013).

#### Traitement attentionnel ascendant (bottom-up)

Le traitement ascendant est un processus qui utilise les informations provenant des organes sensoriels. Grâce à sa fonction sélective basée sur la mémoire sensorielle, le traitement attentionnel ascendant considère uniquement les informations en fonction de leurs propriétés visuelles : il s'agit le plus souvent des variables visuelles pré-attentives. La scène visuelle est traitée uniquement sur la base de ces informations (Lindsay et Norman, 1977). La partie A de la Figure 2.38 illustre la reconnaissance visuelle effectuée par un traitement ascendant (bottom-up) à travers l'exemple d'un individu qui reconnaît une personne familière dans la rue, de manière inattendue. Ainsi, au sein d'un processus de reconnaissance visuelle ascendant, les premières informations acquises ont une importance primordiale, puisque ce sont elles qui seront traitées en premier par le système visuel de l'utilisateur.

Il en est de même dans la lecture d'une carte topographique, les informations retenues par le traitement ascendant seront évaluées en premier lieu par le système visuel et déterminent si le processus de reconnaissance visuelle peut être engagé en première

lecture. Cette première étape de reconnaissance s'appuie essentiellement sur la reconnaissance des éléments isolés de la scène visuelle, i.e. les éléments représentés par les variables visuelles pré-attentives. Pour une carte topographique, il peut s'agir de certains objets cartographiques, que l'on perçoit saillants à cause des propriétés visuelles qui les caractérisent. Ainsi, le traitement ascendant est le commencement d'un processus d'acquisition d'informations visuelles, qui déclenche ensuite des processus perceptifs et cognitifs plus complexes, tel que le traitement attentionnel descendant (top-down).

- **Traitement attentionnel descendant (top-down)**

Le traitement descendant est un processus qui utilise des connaissances stockées en mémoire à court terme et à long terme. L'utilisateur considère un ensemble d'informations visuelles acquises au cours de précédentes expériences de perception visuelle. Ces informations visuelles sont utilisées en tant que connaissances permettant de guider le processus perceptif de l'utilisateur. La partie B de la Figure 2.38 illustre la reconnaissance visuelle effectuée par un traitement descendant à travers l'exemple d'un individu qui cherche une personne familière au milieu d'une foule. Ainsi, l'attention visuelle de l'utilisateur est dirigée vers l'information qu'il juge signifiante pour répondre à son besoin.

Par ailleurs, Fabrikant et Goldsberry (2005) rappellent que le traitement attentionnel descendant est directement dépendant des capacités individuelles et personnelles de l'utilisateur, qui conditionnent le déroulement du processus perceptif. En cartographie, le traitement descendant joue un rôle important dans le processus de reconnaissance visuelle, car il peut permettre de déclencher un processus de reconnaissance visuelle en seconde et troisième lecture. Pour une carte topographique, le traitement descendant peut permettre de reconnaître les objets cartographiques qui n'avaient pas été retenus en première lecture et déclencher un processus de reconnaissance globale de l'espace représenté.

En cartographie, ces traitements attentionnels ascendants et descendants dépendent également de l'échelle de représentation. En effet, selon celle-ci, la mémoire sensorielle ne retiendra pas les mêmes objets cartographiques. Par conséquent, le processus perceptif qui s'ensuivra en dépend. Par ailleurs, Fabrikant et Goldsberry (2005) rappellent également que les propriétés visuelles de la carte topographique ainsi que le niveau d'expertise des utilisateurs sont des facteurs qui influencent les processus attentionnels ascendants et descendants dans la lecture de carte. De manière générale, les traitements attentionnels ascendants et descendants produisent des connaissances (Goldstein, 2010) qui sont encodées sous forme d'images mentales, qui peuvent être stockées au sein de la mémoire à long terme selon leur importance (Montello, 2002).

### 2.2.3 Mémoriser une information : socle de connaissances permettant la reconnaissance visuelle

Une partie des informations acquises par le système visuel de l'utilisateur pendant la lecture d'une carte sont mémorisées (Ooms et al., 2015), devenant une connaissance sur laquelle l'utilisateur peut s'appuyer pour activer le processus de reconnaissance visuelle d'une autre carte lors d'une nouvelle action de lecture. En effet, la reconnaissance visuelle implique de faire des associations et des liens entre les informations

nouvellement perçues et les connaissances mémorisées par l'utilisateur. Dans ce paragraphe nous nous intéressons uniquement au résultat du processus de la représentation mentale, i.e. les images mentales. Denis (1989) rappelle que les images mentales sont des représentations codifiées qui possèdent des fonctions bien spécifiques, telles que *« conserver une information qui est amenée à se détériorer»* ou bien « *guider et orienter les actions des individus.* ». Plus concrètement, ces images mentales matérialisent ce que les utilisateurs saisissent et retiennent de leurs interactions avec une scène visuelle, i.e. la représentation qu'ils se font d'un objet, d'une situation, d'un concept, par la pensée sous forme de codes. Pendant la lecture d'une carte topographique, grâce au processus de représentation mentale, les utilisateurs captent et conservent les relations majeures entre les différents éléments cartographiques sous forme d'images mentales. Les fonctions de stockage et de recherche dans la mémoire à long terme sont réalisées de manière associative. Selon leur importance, certaines de ces images codifiées sont stockées par les utilisateurs dans leur mémoire à long terme sous forme de base de connaissances, qui est ensuite sollicitée à chaque expérience de perception. Le passage de l'information de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme s'effectue grâce à un organe du cerveau nommé l'hippocampe (Squire et Cave, 1991). Les informations retenues et codifiées par la mémoire à court terme sont ensuite décodées et traitées par l'hippocampe, qui :

1. les envoie vers la mémoire à long terme pour être stockées ;
2. les retourne à la mémoire à court terme, en les ayant enrichies grâce aux informations stockées dans la mémoire à long terme.

L'expérience et l'apprentissage perceptifs d'un utilisateur se construisent par des passages multiples et répétitifs d'une même information visuelle dans l'hippocampe. Chacun des passages de l'information dans l'hippocampe augmente et favorise la mémorisation de l'information perçue. Selon la loi de Hebb, en répétant une même expérience, le cerveau des utilisateurs génère une adaptation neuronale (Hebb, 2002). Ainsi, à chaque passage d'une nouvelle information dans l'hippocampe, ce dernier renforce les liens avec l'information déjà stockée. La Figure 2.39 illustre ce mécanisme de répétition qui conduit le réseau neuronal à être plus sensible aux informations nouvellement acquises par les photorécepteurs. Ainsi, les utilisateurs sont plus efficaces dans le traitement de l'information, si celle-ci est déjà connue.

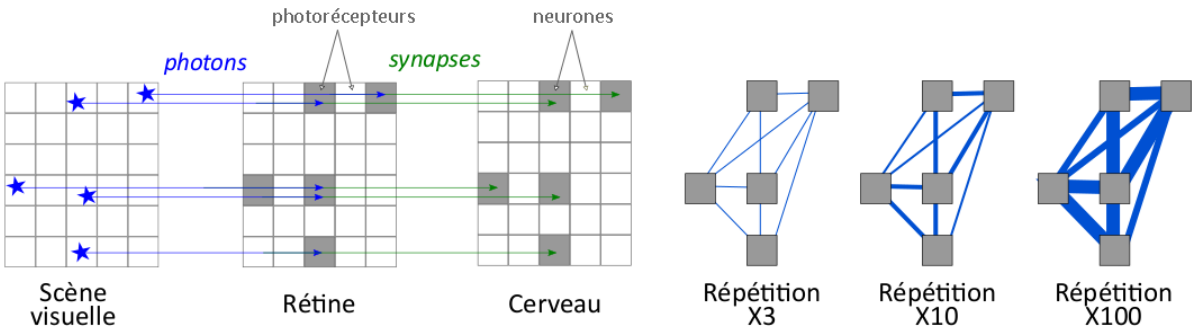



Figure 2.39 Principes de reconnaissance d'un objet selon la loi de Hebb (2002).

L'hippocampe joue ainsi un rôle intégrateur. Il détermine d'une part les liens entre les différentes informations perçues et d'autre part compare les informations nouvellement acquises avec celles déjà stockées (Squire et Cave, 1991). Par conséquent, l'hippocampe

joue un rôle clé dans le processus de reconnaissance visuelle (Brown et Aggleton, 2001). Avec le temps, le travail de l'hippocampe n'est plus nécessaire. En effet, le cerveau apprend par lui-même à lier ces différentes informations grâce au processus de reconnaissance visuelle. Plus la correspondance entre l'information acquise par les photorécepteurs et les associations du réseau neuronal est grande, plus facile sera la reconnaissance (Bishop, 1995). Si un utilisateur ne reconnaît pas, c'est que son expérience n'est pas assez grande pour avoir suffisamment activé certaines relations de son réseau de neurones. De même, selon cette même loi, il n'y a pas d'oubli d'une information, mais une inaccessibilité dû à un manque d'activation des associations au sein du réseau de neurones. Ainsi, Kosslyn (2005) et Ware (2010) rappellent que la perception visuelle est évolutive, créant des utilisateurs aux profils différents : niveau d'expertise, taille des connaissances d'un domaine, etc. (Aykin et Aykin, 1991 ; MacEachren, 1995). L'apprentissage cartographique, à travers la lecture de cartes, s'inscrit dans la même logique. Chen et Zheng (2013) soulignent que l'acquisition de connaissances génère des utilisateurs aux profils différents, qui ne déploient pas les mêmes stratégies visuelles pour rechercher un itinéraire dans une carte. Selon Peterson (1987), le processus d'interprétation d'une carte est directement influencé par les connaissances acquises et mémorisées par les utilisateurs au cours de leurs expériences cartographiques antérieures. Selon l'auteur, les utilisateurs mémorisent notamment certaines formes géographiques représentatives. La Figure 2.40 illustre la modélisation proposée par Peterson (1987) de la reconnaissance de formes géographiques dans la lecture de cartes.

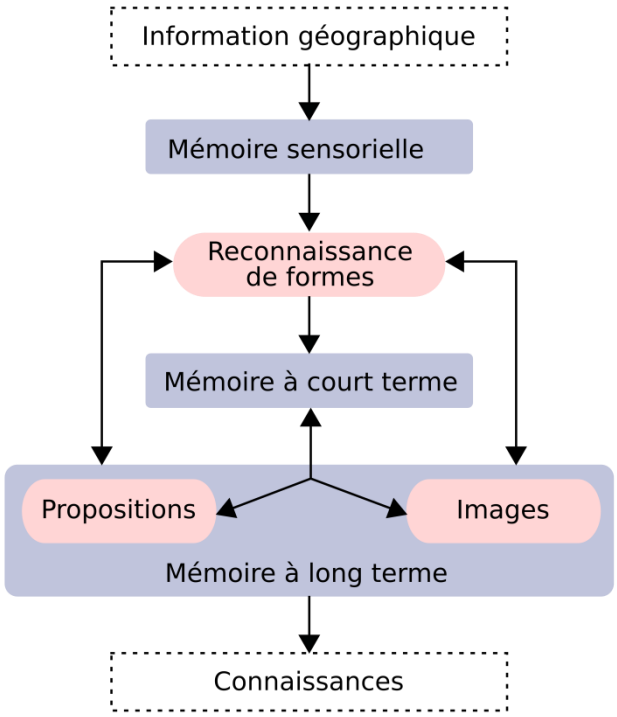



Figure 2.40 Principes de la reconnaissance de formes géographiques selon Peterson (1987).

À travers la lecture d'une carte, la mémoire sensorielle de l'utilisateur extrait les informations correspondant aux variables visuelles pré-attentives : forme, couleur, position spatiale, etc. qu'elles transfèrent à la mémoire à court terme qui elle-même les compare avec les connaissances préalablement stockées dans la mémoire à long terme : banque d'images constituant une base de propositions. Si celles-ci correspondent aux

informations acquises, le processus de reconnaissance est déclenché. Par exemple, la plupart des utilisateurs résidant en France connaissent la forme hexagonale de la France. Cette connaissance permet d'identifier assez rapidement la France sur une carte d'Europe. Ainsi, l'étude des connaissances stockées par les utilisateurs sous forme d'images mentales apporte des éléments de compréhension sur le niveau d'expertise de l'utilisateur et peuvent être considérées pour faciliter la communication cartographique. Nous pensons que les utilisateurs font de même pour la reconnaissance des principes d'abstraction cartographique utilisés par les agences de cartographie. Les variables visuelles pré-attentives sélectionnées par leur mémoire sensorielle sont comparées aux images mentales stockées en mémoire pour déclencher le processus de reconnaissance visuelle. En effet, au cours de leur expérience, les utilisateurs acquièrent des connaissances sur les principes cartographiques utilisés (éléments de légende, agencements spatiaux générés par la généralisation, etc.), via les informations visuelles contenues dans la carte qu'ils décodent. Ces connaissances sont mémorisées et mises à disposition par le système visuel, facilitant ainsi toute nouvelle lecture de cartes. Par ailleurs, les connaissances stockées dans la mémoire à long terme jouent également un rôle central dans la navigation spatiale des utilisateurs (Poucet et al., 2010).

### 2.2.4 Reconnaître pour interagir avec un environnement géographique

Lorsqu'un utilisateur se déplace et navigue dans un espace géographique avec lequel il est non familier, il se sert généralement de supports cartographiques, tels que les cartes topographiques, les cartes routières, les plans de métro/bus, les plans de ville, etc. pour s'orienter. Les représentations spatiales simplifiées proposées par ces différents supports cartographiques permettent à l'utilisateur de se créer des images mentales de l'espace géographique représenté, qui lui est méconnu et de pouvoir ainsi prendre un ensemble de décisions pour se déplacer correctement et atteindre le lieu géographique souhaité.

#### La mémoire spatiale : connaissances servant à la navigation spatiale

La mémoire spatiale est une fonction mémorielle faisant partie intégrante de la mémoire à long terme et qui joue un rôle bien spécifique chez l'utilisateur : elle stocke les informations que l'utilisateur a retenues, soit de ses interactions avec un environnement géographique, soit de ses interactions avec un support cartographique. Ainsi, la mémoire spatiale est la partie de la mémoire à long terme qui enregistre les informations relatives aux caractéristiques d'un espace géographique et aux déplacements spatiaux effectués sur ce même espace : les informations spatiales. Elles sont mémorisées sous la forme de cartes cognitives, souvent appelées cartes mentales (Lynch, 1960), permettant à l'utilisateur de naviguer facilement dans les lieux qui lui sont familiers et de résoudre les problèmes rencontrés par des tâches engageant un déplacement spatial. Wan et al. (2007) proposent un modèle synthétisant le fonctionnement de la mémoire spatiale au sein de l'ensemble du système mémoriel. Ce modèle, illustré par la Figure 2.41, montre que la construction d'une carte mentale est régie par de nombreux facteurs :

1. les facteurs environnementaux : il s'agit par exemple de la configuration spatiale des éléments composant l'espace géographique, mais aussi la manière d'interagir avec ces éléments influençant directement la manière de se le représenter.

2. les facteurs individuels : il s'agit de propriétés inhérentes aux utilisateurs, telles que son expérience, sa culture ou sa nationalité.
3. les facteurs liés à la tâche : il s'agit du but et de l'objectif recherché par un déplacement spatial.

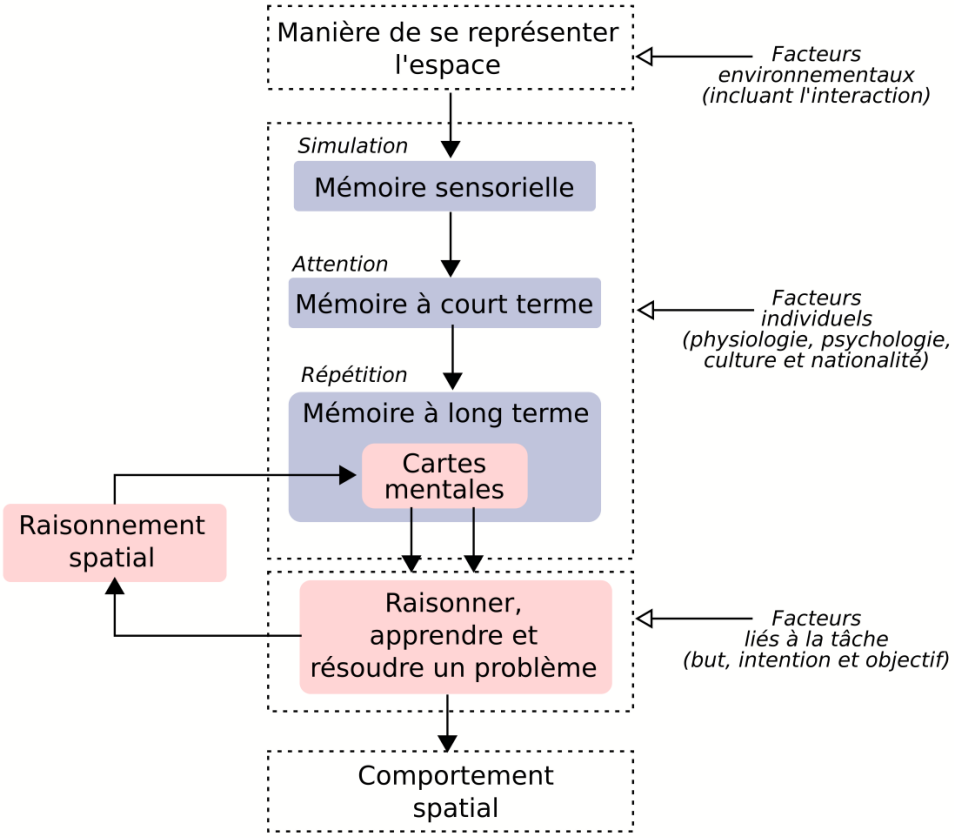



Figure 2.41 Fonctionnement de la mémoire spatiale au sein du système mémoriel (Wan et al., 2007).

L'acquisition de connaissances spatiales nécessite plusieurs capacités chez l'utilisateur :

1. comprendre les relations spatiales majeures entre les différents éléments d'un espace géographique ;
2. percevoir et mémoriser ces relations ;
3. s'orienter dans l'espace géographique en question.

Le chemin le plus court pour un trajet domicile-travail ou domicile-supermarché, ou bien encore le lieu exact où les utilisateurs ont garé leur voiture, sont des exemples d'informations spatiales stockées par la mémoire spatiale. La mémorisation spatiale est réalisée de manière naturelle chez la plupart des utilisateurs et classée en cinq catégories distinctes (Lynch, 1960) :

1. les points de repère, qui constituent des informations suffisamment significatives pour être perçues de loin ;
2. les nœuds, qui constituent des informations stratégiques dans la navigation, telle qu'un carrefour entre deux axes de déplacement ;
3. les chemins, qui constituent les axes de déplacement ;

4. les limites, qui permettent de discriminer un espace ;
5. les quartiers, qui constituent des ensembles géographiques fermés.

Downs et Stea (2011) identifient quatre fonctions spatiaux-cognitives, auxquelles les connaissances stockées dans la mémoire spatiale des utilisateurs doivent répondre :

1. *s'orienter*, i.e. la capacité d'un utilisateur à connaître sa position par rapport à la destination finale ;
2. *sélectionner un itinéraire, i.e.* la capacité d'un utilisateur à établir un itinéraire pour atteindre une destination finale ;
3. *contrôler l'itinéraire, i.e.* la capacité d'un utilisateur à suivre correctement l'itinéraire établi ;
4. *reconnaître la destination finale, i.e.* la capacité d'un utilisateur à réaliser qu'il a atteint la destination finale ;

Étant donné que les cartes mentales ont une fonction relativement proche de celle d'une carte traditionnelle (Lynch, 1960), i.e. représenter un espace géographique par des éléments caractéristiques, leur analyse permet de comprendre les pratiques spatiales de l'utilisateur (Denis, 1979 ; Gould et White, 1986) et le plus souvent de déterminer son espace vécu.

L'aptitude spatiale, i.e. la capacité d'un utilisateur à réaliser une tâche spatiale, est un sujet important au sein des sciences cognitives et des sciences de l'information géographique. Par exemple, les processus d'abstraction cartographique utilisés pour la construction d'une carte ont un impact considérable sur le traitement des informations géographiques par l'utilisateur. Ainsi, pour faciliter l'aptitude spatiale des utilisateurs, il est nécessaire de concevoir des cartes adaptées à la façon dont l'utilisateur interprète une information géographique sur une carte et la façon dont il la stocke en mémoire (Soh et Smith-Jackson, 2004). Les concepts proposés par l'approche écologique de la perception peuvent permettre d'expliquer l'impact de l'environnement utilisateur sur son processus d'interprétation d'une carte.

### Approche écologique de la perception visuelle : comment l'information suscite l'action ?

Gibson (1979) étend les théories classiques de la perception visuelle, telle que la théorie de la Gestalt, en introduisant son approche écologique de la perception. Dans cette approche, la perception de l'utilisateur ne peut être appréhendée en dehors de son environnement. Avant de comprendre la manière dont le système visuel de l'utilisateur traite l'information, il est nécessaire de comprendre les caractéristiques de l'environnement qui influencent l'information qui sera traitée par l'utilisateur (Gibson, 1979). Ainsi, l'approche écologique de la perception de Gibson (1979) fonde son analyse sur les rapports qu'entretiennent les utilisateurs et l'environnement. La signification de l'information est relative aux agissements et aux déplacements de l'utilisateur dans l'environnement. Or, les théories classiques de la perception visuelle définissent la perception comme un processus au sein duquel l'utilisateur est réduit à un rôle de récepteur immobile d'informations. Le processus de perception se trouve alors uniquement conditionné par l'image formée au fond de la rétine, i.e. une image composée des propriétés visuelles acquises par la mémoire sensorielle. Contrairement à

cette vision classique de la perception, Gibson (1979) avance l'idée que la perception est une fonction adaptative dont l'objectif est de saisir la signification de l'information par rapport à l'action. L'information ne serait pas uniquement construite et stockée en mémoire, mais avant tout disponible afin que l'utilisateur entre en résonance avec elle. Ainsi, grâce aux possibilités de mouvements des yeux, de la tête et du corps, les utilisateurs peuvent agir sur la perception : bouger les yeux, pencher la tête, avancer et reculer pour mieux appréhender une information. Ces mouvements impliquent une volonté de l'utilisateur de mieux percevoir une information en particulier, i.e. que le processus perceptif n'est plus seulement un processus passif, mais bien un processus actif, où l'action génère la perception, qui elle-même commande l'action. Le concept d'*affordance* constitue le cœur de l'approche écologique de la perception (Gibson, 1979). L'environnement est constitué de signes qui sont attachés à des fonctions spécifiques, appelées *affordance* (Norman, 1999). Par exemple, pour un utilisateur, la perception de l'objet chaise est associée à l'action de s'asseoir ; l'objet chaise possède une fonction prédéfinie. Les *affordances* sont des propriétés de l'environnement qui existent indépendamment de la perception. Une *affordance* non perçue par un utilisateur reste une *affordance* pour le prochain. En ce sens, l'*affordance* correspond aux possibilités d'actions offertes à l'utilisateur par l'environnement. Une *affordance* représente concrètement une interaction entre un utilisateur et un environnement, dont les propriétés de l'environnement (signes visuels le composant) sont perçues en fonction des caractéristiques de l'utilisateur et de l'action à réaliser. Dans le domaine de la cartographie, le concept d'*affordance* est un moyen permettant de représenter un espace géographique directement signifiant pour l'utilisateur. En effet, l'utilisateur doit reconnaître les *affordances* portées par les signes graphiques, délivrant ainsi une nouvelle connaissance et délivrant ainsi la possibilité d'accomplir des actions. À titre d'exemple, la carte topographique au 1:25 000$^{\text{ème}}$ illustre des structures et des agencements spatiaux, qui sont directement perceptibles dans le paysage et simulent les *affordances* de l'espace géographique. Ces propriétés offrent ainsi des possibilités de déplacements à l'utilisateur, qui doit nécessairement prendre une décision pour les restreindre.

### La reconnaissance : vecteur d'efficacité cartographique permettant la prise de décision

La prise de décision est un processus cognitif complexe qui est généré en aval de toute action de l'utilisateur. De nombreuses recherches s'accordent à considérer l'action comme le résultat du processus perceptif de l'utilisateur (Goldstein, 2014). Cependant, la perception est un processus continu d'acquisition d'information. Ainsi, un changement d'état des stimuli présents dans une scène visuelle génère une prise de décision, qui engendre soit une continuité de l'action en cours, soit un arrêt de l'action en cours pour une nouvelle action. Atkinson et Shiffrin (1968) décrivent le processus de prise de décision sous la forme d'un modèle séquentiel, illustré par la Figure 2.42, intervenant entre la perception d'un stimulus et la réponse associée. Le stimulus subit dans un premier temps des traitements sensoriels par la mémoire sensorielle (cf. section 2.3.2), il subit ensuite des traitements perceptifs et mémoriels correspondant à l'interprétation, qui intègre l'action à réaliser et qui peut déclencher un processus de reconnaissance. Cette séquence de traitements débouche sur des traitements décisionnels déterminant l'action de l'utilisateur finale, i.e. la réponse au stimulus. Ainsi, le processus de reconnaissance (1) agit sur le processus de prise de décision (2).

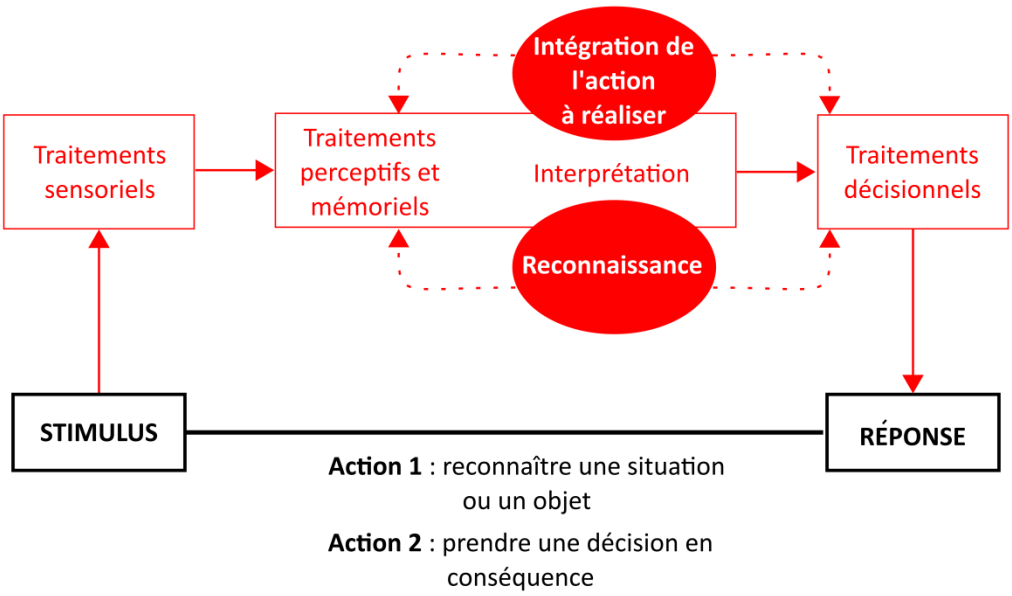



Figure 2.42 Traitements séquentiels intégrant la reconnaissance dans le processus de décision d'après Atkinson et Shiffrin (1968).

En cartographie, Duchêne et al. (2011) rappellent que la carte est un support d'informations, qui permet de prendre des décisions :

> *« L'information géographique est souvent utilisée par l'utilisateur final comme un support de prise de décision. Ainsi, pour assurer un contenu géographique de qualité, c'est très important de communiquer cette information à l'utilisateur final dans une forme qui va vraiment l'aider à prendre une décision. »*

L'interprétation des stimuli cartographiques, i.e. l'ensemble des signes graphiques contenus dans la carte, permet aux utilisateurs de prendre une décision. En ce sens, les propriétés visuelles des stimuli jouent un rôle important dans la prise de décision par l'utilisateur. Hochmair (2009) analyse comment le design des cartes de métro influence et affecte le choix des utilisateurs dans leur trajet de transport en commun. Guo (2011) propose un cadre théorique permettant d'évaluer l'impact d'une carte de métro sur les décisions prises par les utilisateurs. Ce cadre théorique est basé sur quatre paramètres : le degré de distorsion de l'espace, la capacité de la carte à conserver les caractéristiques spatiales de l'espace même si déformé, la codification, i.e. la symbolisation des différents signes graphiques contenus dans la carte (lignes, stations et connexions) et la cognition, i.e. l'effet perceptif de la carte sur la représentation de l'espace géographique. L'auteur expérimente son approche sur la carte du métro de Londres[87]. Les résultats de l'étude montrent que l'élasticité de la carte peut être le double du temps de voyage, i.e. que la distance spatiale entre les stations de métro ne représente pas la distance temps réelle. Par ailleurs, les résultats montrent également que les utilisateurs, même les plus expérimentés, i.e. ceux qui prennent régulièrement le métro, font plus confiance à la carte qu'à leur expérience de voyage sur le meilleur trajet à prendre. De même, la symbolisation des stations permet d'effectuer des changements de lignes, affecte le choix du trajet à effectuer. Par conséquent, la prise de décision associée à un support

[87] London Tube Maps : https://tfl.gov.uk/maps/track/tube

cartographique fait intervenir la notion d'efficacité de la carte, qui est une problématique centrale dans la recherche en cartographie (Moles, 1964 ; Camu, 1965 ; Keates, 1982 ; Brunet, 1987 ; MacEachren, 1995 ; Bord, 1997 ; Field et Demaj, 2012). Bertin (1967) propose de définir l'efficacité d'une composition graphique comme telle :

> *« Si, pour obtenir une réponse correcte et complète à une question donnée et toutes choses égales, une construction requiert un temps de perception plus court qu'une autre construction, on dira qu'elle est plus efficace pour cette question. »*

À travers cette définition, Bertin (1967) aborde deux notions, celle de l'efficacité, mais également celle de l'efficience. D'une part, une carte est dite plus efficace qu'une autre si un grand nombre d'informations peut être perçu et assimilé avec moins d'erreurs, guidant ainsi correctement l'utilisateur pour prendre une décision et réaliser une action en conséquence. D'autre part, une carte est dite plus efficiente qu'une autre, plus le temps requis par l'utilisateur pour lire la carte est court et plus l'effort consenti pour prendre une décision et réaliser une action est faible (Chesneau, 2007). Par ailleurs, l'efficacité d'une carte ne peut être clairement évaluée sans considérer son usage et les capacités des utilisateurs à réaliser une action donnée. En ce sens, Ooms (2012) rappelle que l'évaluation de l'efficacité fait intervenir trois principaux indicateurs : la précision de l'action, l'intégralité de son exécution et la rapidité à réaliser une action. Par ailleurs, Wilkening et Fabrikant (2011a) rappellent que les utilisateurs prennent souvent des décisions à partir de différents types de cartes : les cartes schématiques de métro, les cartes topographiques, etc. et à travers diverses contraintes de temps. En ce sens, les auteurs mènent une étude pour analyser la manière dont différents types de cartes de relief et différentes contraintes de temps peuvent influencer la prise de décision des utilisateurs. Les auteurs mettent en place une expérimentation visuelle au sein de laquelle ils demandent aux participants de réaliser une tâche d'identification de zone géographique à partir de cartes de différentes natures, représentant des zones de montagne en Suisse, illustrées par la Figure 2.43.

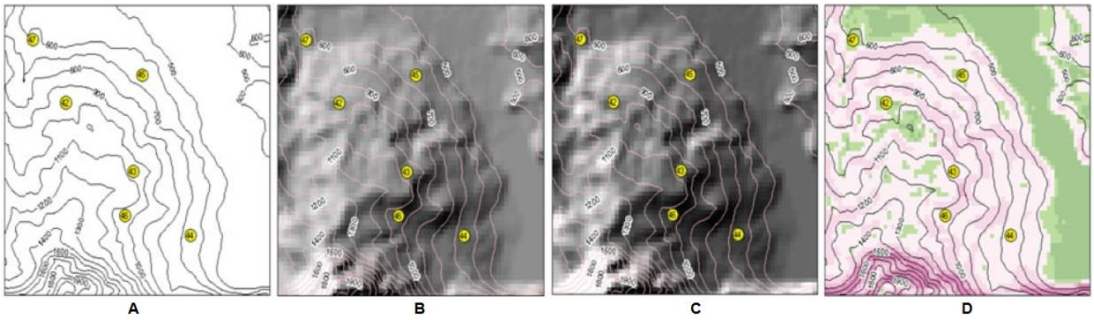



Figure 2.43 les quatre types de cartes utilisés dans l'expérience de Wilkening et Fabrikant (2011a) - a : courbes de niveaux b : ombrage clair + courbes de niveaux c : ombrage sombre + courbes de niveaux d : cartes de pentes

Pour chaque carte, les participants doivent sélectionner un ou plusieurs emplacements géographiques, assez plats pour qu'un hélicoptère puisse s'y poser. Trois contraintes de temps ont été imposées aux participants durant l'expérimentation : 20 secondes, 40 secondes et 60 secondes. Les participants ont sélectionné la ou les zones choisies à l'aide de la souris. 52 étudiants du département de l'Université de Zurich ont participé à cette étude. Dans 50% des cas, les zones choisies étaient trop raides pour faire atterrir un hélicoptère. Les résultats de cette étude montrent que les cartes de relief les plus abstraites (carte A et D de la Figure 2.43) sont plus efficaces que les cartes 3D réalistes

(carte B et C de la Figure 2.43) dans la réussite d'une tâche. Or, les mêmes participants ont spécifiés préférer les cartes 3D réalistes. Ces résultats suggèrent que communiquer une information géographique grâce à une abstraction a un coût cognitif supplémentaire pour l'utilisateur, mais permet une prise de décision plus efficace.

Dans cette section, nous avons exposé les connaissances issues de la psychologie visuelle et cognitive nous permettant de mieux comprendre les mécanismes en jeu dans la reconnaissance visuelle d'une composition cartographique. Nous avons vu que l'information contenue dans une carte est tout d'abord sélectionnée et organisée par le système visuel de l'utilisateur, en suivant de nombreux principes perceptifs (*§2.2.1*). L'information est ensuite encodée grâce à un système mémoriel complexe permettant de se représenter mentalement l'espace géographique représenté (*§2.2.2*). Enfin, une partie de cette information est mémorisée (*§2.2.3*), car jugée importante par l'utilisateur pour prendre des décisions et interagir avec un environnement spatial (*§2.2.4*). D'après les connaissances émises dans cette section, il semble que la manière de construire une carte a un impact sur l'interprétation de l'information géographique par l'utilisateur. En effet, les mécanismes de perception visuelle et de cognition mobilisés par l'utilisateur pendant la lecture de la carte semblent être sensibles à ses propriétés visuelles et notamment leur reconnaissance visuelle. Dans la suite de cette partie, nous abordons ce problème de reconnaissance visuelle d'une carte sous la notion de style cartographique.

## 2.3 Le style cartographique en tant que famille cartographique

Étudier le style cartographique constitue une voie intéressante pour enrichir les connaissances existantes sur la construction de cartes. Christophe (2012) souligne que si le producteur des cartes pouvait spécifier le style cartographique qu'il souhaite obtenir pendant la phase de conception cartographique, la qualité de la représentation cartographique produite serait considérablement améliorée. En effet, l'intention initiale du producteur de cartes se trouverait alors formalisée sous forme de paramètres de construction cartographique et le résultat cartographique serait qualitativement mieux maîtrisé. La lecture et l'interprétation d'informations géographiques, qui s'ensuivent, seraient grandement facilitées (Beconyte, 2011).

Dans cette section, nous présentons tout d'abord les éléments de définition d'un style cartographique issus de l'état de l'art (2.3.1) puis les différents travaux formalisant la notion de style cartographique en tant que famille cartographique (2.3.2).

### 2.3.1 Style cartographique : éléments de définition issus de l'état de l'art

Il n'existe pas de définition précise du concept de style cartographique. Il s'agit d'une notion très large à laquelle s'intéressent plusieurs chercheurs (Benová et Pravda, 2009 ; Beconyte et Viliuviene, 2009 ; Kent et Vujakovic, 2009 ; Beconyte, 2011 ; Kent et

Vujakovic, 2011 ; Field et Demaj, 2012 ; Muehlenhaus, 2012 ; Christophe, 2012 ; Muehlenhaus, 2013a ; Kriz, 2013 ; Ory et al., 2015 ; Brasebin et al., 2015). Dans cette sous-section, nous tentons d'effectuer une synthèse des connaissances issues de la littérature sur la notion de style cartographique.

En art, Fernie (1995) définit le style comme « *une manière distinctive qui permet de regrouper des travaux en catégories selon des propriétés liées* ». Gombrich (1977) enrichit cette définition en précisant que le caractère distinctif est reconnaissable par l'utilisateur, i.e. qu'il peut reconnaître l'acte de l'artiste ou la manière dont il a été exécuté. Dans le langage courant, le style est défini[88] comme *« une procédure particulière par laquelle une chose est faite, une manière ou un moyen »*, et par son *« aspect distinctif, généralement déterminé par les principes selon lesquels quelque chose est conçu »*, mais aussi par *« une élégance et une sophistication »*. Selon cette définition, trois principaux ingrédients définissent le style d'un objet : (1) une procédure de conception particulière permettant l'attribution de propriétés visuelles aux cartes, (2) une apparence distinctive permettant la reconnaissance visuelle d'une carte et (3) une élégance et une sophistication transmettant une émotion aux utilisateurs. Nous détaillons ci-dessous ces trois ingrédients.

### Attribuer des propriétés visuelles aux cartes

La Figure 2.44 présente une collection de trente-neuf compositions cartographiques retenues par les experts en cartographie pour leur qualité cartographique (Field et Demaj, 2012). Ces compositions cartographiques sont de natures variées (cartes thématiques, cartes topographiques, cartes schématiques, etc.) et possèdent des propriétés visuelles différentes. En effet, certaines cartes sont plus colorées, d'autres sont plus réalistes ou plus schématiques, etc. Demaj et Field (2012) détaillent et explicitent les propriétés visuelles de chacune des cartes[89] de la collection, cherchant à mettre en lumière les ingrédients conduisant à leur qualité cartographique. Ces propriétés visuelles particulières sont le fruit des différents processus d'abstraction cartographique utilisés.

[88] Définition extraite du dictionnaire Oxford, version en ligne, 2014, http://www.oxforddictionaries.com

[89] https://norismo.wordpress.com/2013/03/23/los-mejores-mapas-de-la-historia-via-bitacora/

Figure 2.44 Trente-neuf compositions cartographiques sélectionnées par des experts pour leur qualité jugée exceptionnelle (Demaj et Field, 2012).

Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux cartes topographiques, il en est de même. Rekacewicz (2006) considère une carte topographique comme une « vue » particulière de l'espace géographique, à cause des choix d'abstraction cartographique opérés :

> *« les cartes topographiques les plus détaillées font l'objet d'une pensée et d'une construction minutieuses, chacun de leurs éléments étant soigneusement choisi : certains sont renforcés, d'autres disparaissent […] Voilà de quoi sonner le glas des illusions de cette partie du public qui lit la carte comme un fidèle reflet de ce qui se passe sur le terrain. »*

Larsgaard (1993) souligne que la culture et les habitudes cartographiques des agences de cartographie ont une incidence sur les propriétés visuelles des cartes topographiques :

> *« And in all cases, the official topographic maps issued by any one nation express something about that nation's ethos and character, as clearly do art (other forms of art that is !) and music. » (Larsgaard, 1993)*

Outre l'échelle de représentation, le contexte spatial à représenter (zones urbaines, zones maritimes, zones de montagne, etc.), et l'usage de la carte, la paramétrisation des processus d'abstraction dépend également de la culture cartographique du producteur de

cartes. Collier et al. (1998) montrent que les agences de cartographie s'approprient les conventions cartographiques de manière différente, notamment dans l'utilisation des variables visuelles pour représenter la végétation dans les cartes topographiques. Un même espace géographique se trouve ainsi être représenté différemment et possède des propriétés visuelles singulières, relatives aux choix opérés pendant les processus d'abstraction : la couleur et la forme du réseau routier, la couleur et la texture de la végétation, la couleur et la forme du bâti, etc. (Ory et al., 2013). Par exemple, la Figure 2.45 illustre deux cartes topographiques représentant le même espace géographique, à même échelle : Sant Pol de Mar (commune de la province de Barcelone) et conçues par deux producteurs différents ICC de Catalogne (carte A) et IGN Espagnol (carte B).

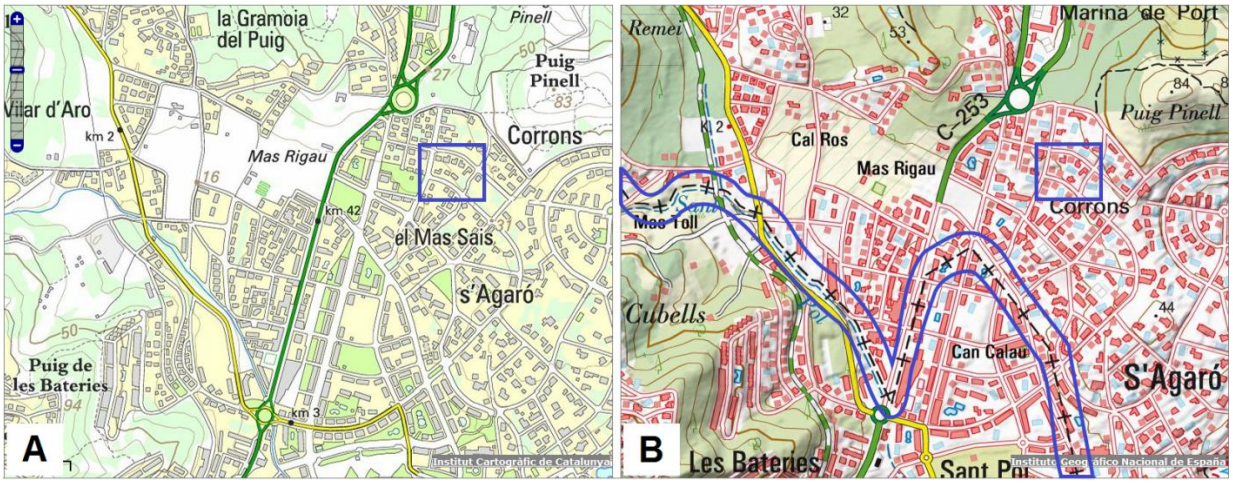



Figure 2.45 Comparaison[90] des rendus cartographiques ICC de Catalogne (A) vs IGN Espagnol (B) sur une même zone géographique en Espagne : Sant Pol de Mar.

Nous observons de nombreuses différences entre les deux cartes. Les objets cartographiques « bâtiments » possèdent des formes et des alignements différents, fruits des opérations de généralisation. Les objets cartographiques « occupation du sol » et « bâtiments » sont symbolisés différemment, fruits de la construction de légende. De même, la sélection de données est différente, les limites administratives sont retenues sur la carte B alors qu'elles ne le sont pas sur la carte A. Ainsi, les propriétés visuelles d'une carte topographique semblent être directement liées aux processus d'abstraction cartographique déployés par les agences de cartographie – pour concevoir leurs cartes topographiques : (1) l'abstraction sémantique (la sélection de données), (2) l'abstraction géométrique (la généralisation) et (3) l'abstraction graphique (la construction de légende).

L'ouverture des possibles offerts par la paramétrisation des processus d'abstraction cartographique nous invite à penser qu'il est possible d'étudier les cartes topographiques à travers des propriétés visuelles identifiables et reconnaissables, fruits d'une pratique cartographique. En paramétrant différemment les processus d'abstraction cartographique pour représenter l'espace géographique dont elles sont en charge, les agences de cartographie proposent des représentations cartographiques aux propriétés visuelles

[90] http://www.icc.cat/web/comparador-cartografia-ign/

singulières (Jolivet, 2009 ; Kent et Vujakovic, 2009 ; Ortag, 2009). Lee et al. (2013) rappellent que les propriétés visuelles d'un style peuvent subir des variations à travers le temps et l'espace. Appliqué à la cartographie, cela signifie que les propriétés visuelles de certains signes graphiques peuvent varier dans le temps en raison de l'évolution des pratiques cartographiques. Pour diffuser un message cartographique cohérent aux utilisateurs à travers le temps, les producteurs de cartes topographiques développent des pratiques cartographiques méthodiques s'appuyant sur des spécifications générales et techniques (Ruas, 2007). Ces spécifications déterminent les paramètres de chacun des processus d'abstraction cartographique et produisent des signes graphiques aux propriétés visuelles théoriquement proches dans le temps. Beconyte et Viliuviene (2009) soulignent que ces propriétés visuelles singulières constituent ce qui rend le style de la carte mémorable et reconnaissable.

### Permettre la reconnaissance visuelle d'une carte

Willats et Durand (2005) soulignent que la majorité des utilisateurs est capable de reconnaître des différences stylistiques entre trois écoles de peinture, en considérant les signes graphiques contenus dans chacune des compositions. Selon ces auteurs, la reconnaissance d'un style est dépendante des connaissances que possède l'utilisateur des principes de conception mis en œuvre pour faire les tableaux et des propriétés visuelles qui les composent.

Cependant, la sélection et l'identification des propriétés visuelles représentatives, permettant aux utilisateurs de reconnaître un style ne sont pas évidentes. Shamir et Tarakhovsky (2012) ont proposé une approche automatique permettant d'identifier les propriétés visuelles servant à catégoriser des peintures dans un style artistique. L'analyse montre que l'ordinateur est en mesure d'identifier les différences visuelles entre différents styles artistiques : le Réalisme et l'art contemporain. 18 peintres du Réalisme et 16 peintres contemporains ont été étudiés. L'algorithme a automatiquement séparé les peintres en deux groupes au sein desquels il a identifié des sous-groupes appartenant au même mouvement artistique. Il a ainsi automatiquement placé les artistes de la Renaissance, Raphaël, Leonardo Da Vinci et Michel-Ange très proches les uns des autres. De la même manière, les peintres baroques Vermeer, Rubens et Rembrandt ont été automatiquement identifiés par l'algorithme comme appartenant au même courant artistique. Cette problématique d'identification des propriétés visuelles permettant de former des familles de même style est commune à plusieurs domaines de recherche. Karayev et al. (2013) ont mis en place une approche permettant de reconnaître le style d'images sur Flickr[91], en traitant les propriétés visuelles des objets contenus dans ces images. D'autres s'intéressent aux styles vestimentaires à travers la reconnaissance de propriétés visuelles dans une image (Bossard et al., 2012). Par exemple, Kiapour et al. (2014) cherchent à identifier les propriétés visuelles permettant de reconnaître certains styles vestimentaires : hipster, bohémien, pin-up, preppie et gothique. Les auteurs ont déployé une plateforme sur Internet permettant de récolter les avis d'une large communauté d'individus. De même, en architecture, Doersch et al. (2012) examinent les

[91] Site web de partage de photographies et de vidéos : https://www.flickr.com/

éléments architecturaux (fenêtres, balcons, etc.) permettant de définir le style architectural d'une ville. Leur méthode se base sur l'identification de patchs, ayant des propriétés visuelles similaires, au sein d'un large ensemble d'images géo-taggées. Les auteurs font l'hypothèse que ces patchs sont des éléments visuels discriminants qui permettent à un individu de reconnaître le style architectural d'une ville. Ils appliquent leur méthode sur les villes de Paris, Prague et Londres. De leur côté, Lee et al. (2013) utilisent une méthode similaire en considérant des critères spatio-géographiques. Selon ces auteurs, le style évolue à travers le temps et l'espace. Ils cherchent donc à identifier des variations visuelles d'un style dans le temps et dans l'espace. Ils appliquent leur méthode pour analyser l'évolution des styles automobiles dans le temps. Ils identifient des variations visuelles caractéristiques de styles automobiles, qu'ils considèrent comme des propriétés visuelles permettant de reconnaître le style d'une voiture.

**Transmettre une émotion à l'utilisateur**

L'émotion appartient au domaine du ressenti et est souvent définie comme une sensation (Le Petit Robert, 2015). La nature de l'émotion peut varier de positive à négative. Kent (2005), Fabrikant et al. (2012) et Muehlenhaus (2013b) soulignent que certaines propriétés visuelles d'une composition cartographique provoquent des émotions de différentes natures aux utilisateurs. Jolivet (2009) montre que l'application de différentes légendes topographiques européennes sur un même jeu de données cartographiques produit des cartes aux apparences et propriétés visuelles différentes. L'évaluation par des experts révèle que ces cartes suscitent des ressentis fondamentalement différents. Certaines sont jugées ternes alors que d'autres, plutôt lumineuses ; certaines sont qualifiées de réalistes alors que d'autres, plutôt artistiques. Ainsi, les propriétés visuelles d'une carte conditionnent les émotions des utilisateurs résultantes. Par ailleurs, les émotions jouent un rôle important dans la prise de décision des utilisateurs. Selon Damasio (1994), les émotions sont au cœur même de la prise de décision. Par exemple, une prise de décision est très rapide lorsqu'un utilisateur doit réagir à un danger immédiat. Dans ce cas précis, l'émotion joue un rôle central et conditionne la prise de décision. Par ailleurs, la mémorisation est associée à des repères émotionnels. Berthoz (2003) précise que l'émotion aurait un rôle fondamental de pré-catégorisation des stimuli visuels. Les utilisateurs mémorisent les propriétés visuelles de scènes visuelles en y associant des émotions. Ainsi il semble exister une relation entre les trois éléments : propriétés visuelles – émotions – décisions.

Les trois ingrédients explicités ci-dessus : (1) une procédure de conception particulière délivrant des propriétés visuelles, (2) une apparence distinctive permettant la reconnaissance visuelle d'une carte, (3) l'élégance et la sophistication transmettant une émotion à l'utilisateur, semblent permettre d'approcher la notion de style cartographique sous l'angle de « famille cartographique » regroupant des propriétés visuelles communes.

### 2.3.2 Approches existantes pour formaliser le style cartographique en tant que famille cartographique

Dans cette sous-section, nous présentons différentes approches ayant tenté de formaliser la notion de style cartographique en tant que famille cartographique ayant des propriétés

visuelles communes. Ces approches sont présentées en s'appuyant sur le cadre théorique proposé par Christophe (2012) illustré par la Figure 2.46.

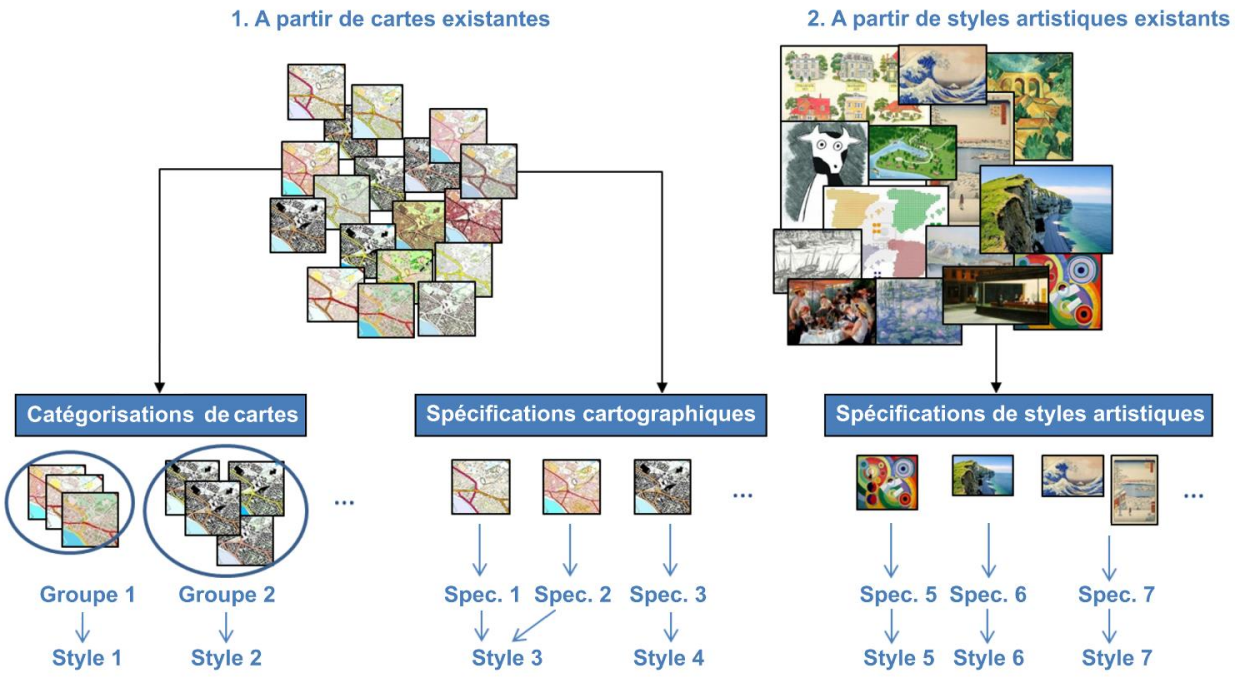



Figure 2.46 Différents types d'approches pour formaliser la notion de style cartographique (Christophe, 2012).

Ce cadre théorique est articulé autour de deux grands axes :

1. Un premier axe permet d'identifier les caractéristiques visuelles représentatives d'un style cartographique en étudiant un ensemble de cartes :
   - Catégorisation visuelle d'un ensemble de cartes de différentes natures, telle que l'approche proposée par Beconyte (2011) ;
   - Étude des spécifications de légendes cartographiques, soit de cartes topographiques (Kent et Vujakovic, 2009), soit de cartes thématiques (Muehlenhaus, 2011 et 2013b).
2. Un deuxième axe s'appuie sur les connaissances issues des spécifications de styles artistiques. Cette approche permet l'identification de caractéristiques visuelles représentatives d'un style artistique source, qui sont transférées vers un style cartographique cible (Christophe et al., 2012). Comme mentionné précédemment, en art pictural, le style peut être décrit à partir de propriétés visuelles, telles que les couleurs utilisées ou bien encore la nature des lignes représentées (Willats et Durand, 2005). Par exemple en peinture, les choix effectués par l'artiste ne sont pas arbitraires. Par conséquent, il est possible d'identifier certaines propriétés visuelles constantes, soit dans la pratique artistique d'un artiste ou d'un groupe d'artistes en étudiant un ensemble d'œuvres. Les propriétés visuelles identifiées sont spécifiées sous forme d'attributs visuels, tels que la couleur ou l'épaisseur des traits au moment de la construction de légende.

Les propriétés visuelles identifiées par chacune de ces approches constituent un socle de connaissances sur la manière dont les signes graphiques sont construits. Ces

connaissances peuvent être ensuite utilisées pour catégoriser des cartes en familles de légendes, mais aussi pour favoriser la créativité des utilisateurs (Christophe, 2012). Par ailleurs, des travaux en cours sur la formalisation des styles cartographiques 2D (Christophe et al., 2015) et 3D (Brasebin et al., 2015), doivent permettre d'enrichir ce cadre théorique. Dans la suite de ce paragraphe, nous illustrons ces trois approches à travers différents exemples.

### Catégoriser visuellement un ensemble de cartes

Beconyte (2011) propose de formaliser la notion de style cartographique afin de l'utiliser comme outil au service de la conception cartographique. Selon l'auteure, la notion de style permettrait :

1. de proposer un cadre de conception pertinent aux producteurs de cartes ;
2. aux utilisateurs d'identifier le concepteur de la carte ou d'associer la pratique cartographique du concepteur à une culture en particulier ;
3. d'améliorer la transmission d'informations géographiques, en suscitant une réponse émotionnelle de la part des utilisateurs.

Cependant, l'auteure souligne que la notion de style cartographique est difficile à définir puisqu'elle est sous l'influence de nombreux facteurs, tels que l'espace géographique, le temps et la culture du producteur de cartes et un ensemble d'autres facteurs plus pratiques tels que l'objectif de la carte (le message cartographique), le public visé et le média de diffusion. Face à ces nombreux paramètres, Beconyte (2011) propose d'étudier le style d'une composition cartographique autour de trois paramètres caractéristiques : décoratif, expressif et original. La Figure 2.47 illustre ces trois paramètres au sein d'un repère tridimensionnel, où chaque axe correspond à un paramètre :

1. **Le fait d'être décoratif** : ce paramètre considère la quantité de travail qu'a demandé la fabrication de la carte, notamment pour rendre les éléments cartographiques esthétiquement agréables. Il s'agit le plus souvent d'amélioration du rendu cartographique de manière manuelle, i.e. éliminer ou améliorer les imperfections visuelles produites par des processus de conception automatique.
2. **L'expressivité :** ce paramètre considère l'intention de rendre certains éléments cartographiques remarquables grâce à une maitrise de l'expression graphique
3. **L'originalité** : ce paramètre considère le degré d'écart des propriétés visuelles de la carte avec celles d'une carte standard.

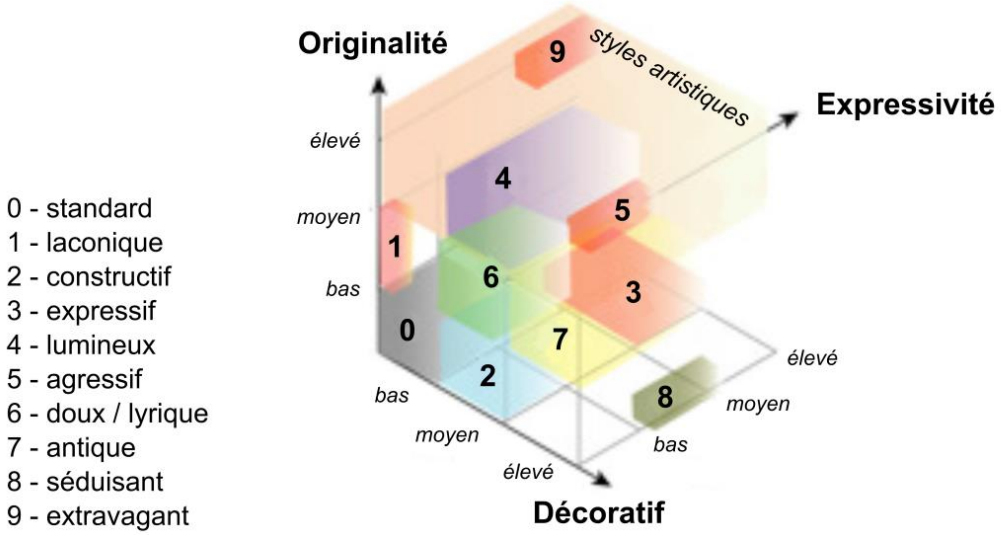



Figure 2.47 Repère tridimensionnel spécifiant les trois paramètres définissant le style cartographique : l'originalité, l'aspect décoratif, l'expressivité (Beconyte, 2011).

Beconyte (2011) met en place une approche de comparaison visuelle d'un ensemble de cartes de différentes natures (thématiques et topographiques) et de différents types (papier et numérique). Les différentes cartes sont évaluées par comparaison à l'aide des trois paramètres cités précédemment selon un système de trois valeurs : faible / moyen / élevé. Grâce à cette évaluation, dix styles cartographiques ont été identifiés : standard, laconique, constructif, expressif, plaisant, agressif, doux/lyrique, antique, attractif et extravagant. La Figure 2.47 illustre le positionnement de ces dix styles cartographiques au sein du repère tridimensionnel, grâce aux valeurs récoltées pour chaque paramètre. La Figure 2.48 expose des exemples de compositions cartographiques appartenant à quelques-uns de ces styles cartographiques. L'auteure propose des éléments de définition pour chacun de ces styles cartographiques. Par exemple, la carte 3 de la Figure 2.48 illustre le style agressif, qui se manifeste par l'utilisation de variables visuelles suscitant l'attention des utilisateurs et favorisant la mémorisation des informations représentées. Autre exemple, la carte 6 de la Figure 2.48 illustre le style extravagant, qui se manifeste par l'utilisation de couleurs non conventionnelles et des combinaisons de couleurs inhabituelles, voire dissonantes, permettant ainsi de stimuler l'attention visuelle des utilisateurs. Par ailleurs, Beconyte (2011) souligne que les cartes de références, telles que les cartes topographiques, possèdent un haut niveau de standardisation, c'est pourquoi les différences stylistiques sont moindres en comparaison des cartes thématiques. L'auteure classe ces cartes comme appartenant à un style cartographique à part entière, qu'elle nomme le style conventionnel.

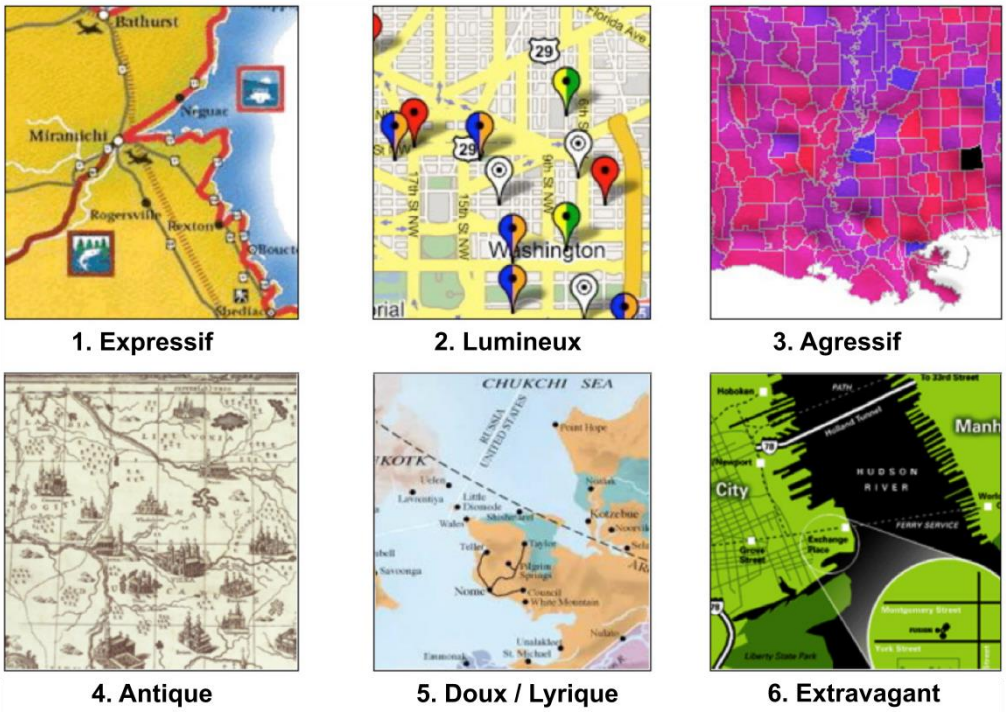



Figure 2.48 Illustrations de différents styles cartographiques (Beconyte, 2011).

L'approche de Beconyte (2011) est intéressante dans le sens où elle rappelle qu'il existe une très grande diversité de rendus cartographiques catégorisables à l'aide de propriétés visuelles distinctives.

### Analyser des spécifications de légende

L'analyse des spécifications de légende consiste à étudier les propriétés visuelles des signes graphiques choisis pour construire la carte. Cette méthode peut être appliquée à différents types de cartes, qu'il s'agisse de cartes thématiques, de plans de villes ou bien encore de cartes topographiques.

#### De cartes thématiques

Muehlenhaus (2013b) s'intéresse au style cartographique « persuasif ». Il sélectionne un ensemble de cartes thématiques papier qu'il considère comme représentatives du style cartographique « persuasif ». Il s'appuie sur cette sélection de cartes pour étudier leurs propriétés visuelles et ainsi formaliser les connaissances sur la construction de cartes de style « persuasif ». Grâce à cette analyse visuelle, Muehlenhaus (2013a) souligne l'existence de quatre styles cartographiques plus ou moins persuasifs : sobre, autoritaire, propagandiste et sensationnaliste, qui sont définis par (1) la quantité de données contenue dans la carte et (2) la nature de la communication cartographique suggérée, émotionnelle ou rationnelle. La Figure 2.49 expose quatre exemples de cartes thématiques appartenant à chacun de ces styles cartographiques persuasifs.

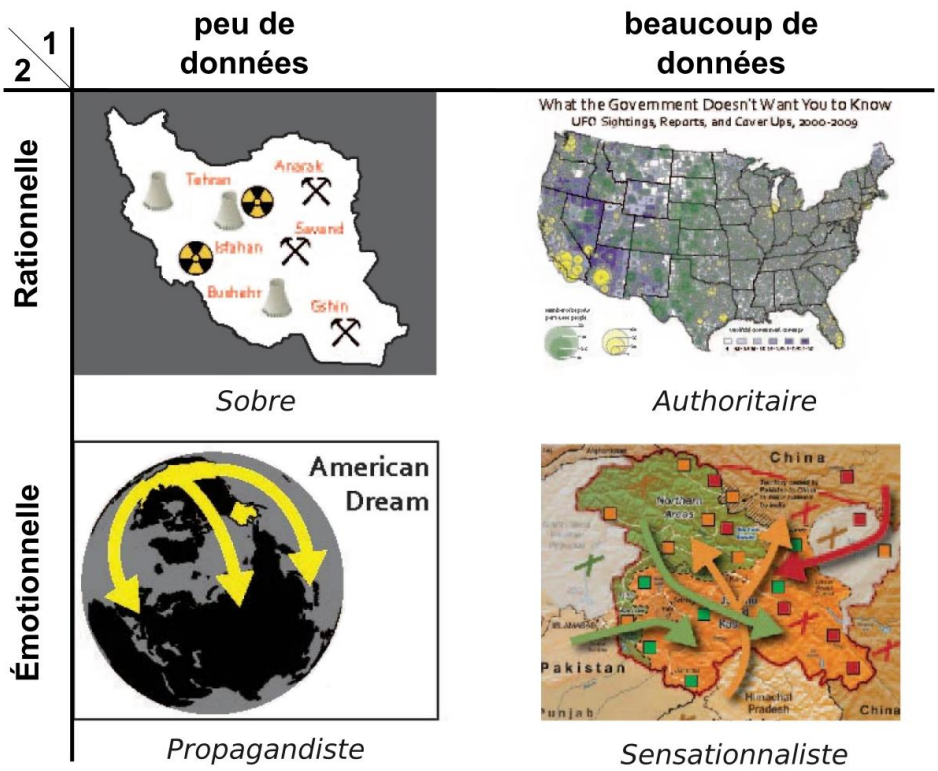



Figure 2.49 Matrice de la communication cartographique persuasive (Muehlenhaus, 2013a).

Dans un second travail, l'auteur réitère son approche avec un ensemble de cartes numériques (Muehlenhaus, 2014). Il compare les résultats obtenus pour chacune des analyses : cartes papier et cartes numériques, afin d'enrichir les connaissances sur le style « persuasif ». Son approche est intéressante à considérer étant donné que les principes mis en œuvre sont applicables à d'autres styles cartographiques, permettant des groupes de cartes de même style et d'identifier des propriétés visuelles communes à ces différents groupes.

### De plans de villes

Ciołkosz-Styk (2011) rappelle qu'avec le développement du tourisme, les plans de ville sont devenus des supports cartographiques très appréciés et bien connus des utilisateurs. L'auteure cherche à approcher la notion de style cartographique 54 plans de villes en provenant de 21 pays européens. Les plans de villes sélectionnées ont été choisis parmi plusieurs centaines de plans en considérant des villes ayant des caractéristiques et des infrastructures urbaines similaires : théâtres, musées, cinémas, etc. afin de ne pas introduire de biais en terme de contenu cartographique. Seuls les plans de ville récents ont été retenus, i.e. des plans ayant été conçus après 2000. La méthode choisie consiste à analyser les spécifications de légende de l'ensemble des thèmes cartographiques présents sur les plans de ville : le réseau routier, les zones bâties, les transports publics, les infrastructures sportives et les espaces de récréations, les différents services (tourisme, santé, culture, éducation, religieux, etc.) et les limites administratives. La Figure 2.50 expose quatre plans de ville sélectionnés pour l'étude, deux d'Europe de l'Est et d'Europe centrale : Minsk (A) et Prague (B) et deux d'Europe de l'Ouest : Rome (C) et Madrid (D).

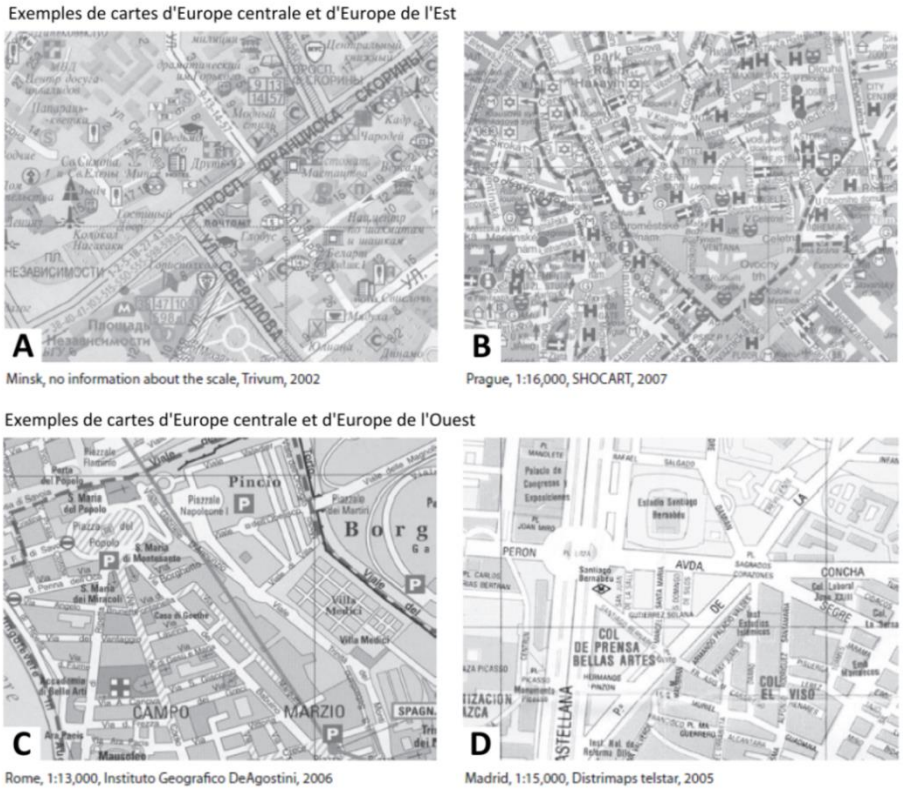



Figure 2.50 Exemples de plans de ville étudiés par Ciołkosz-Styk (2011).

L'étude montre qu'il existe des différences de style cartographique entre les plans de villes de l'Europe de l'Ouest et ceux d'Europe Centrale et d'Europe de l'Est. En effet, les plans de villes de l'Europe Central et d'Europe de l'Est - A et B de la Figure 2.50 - sont plus riches en informations cartographiques que les plans de ville d'Europe de l'Ouest - C et D de la Figure 2.50. Cette distinction est tout particulièrement visible au niveau des symboles cartographiques ponctuels : les services de tourisme, de santé, de culture, d'éducation, religieux, etc. Selon Ciołkosz-Styk (2011), la richesse informative est caractéristique du style cartographique Soviétique des pays d'Europe centrale et d'Europe de l'Est. Elle permettait notamment à ces pays de planifier des opérations militaires (Kent et Davies, 2013).

### De cartes topographiques

De leur côté, Kent et Vujakovic (2009) s'intéressent plus particulièrement au style topographique. Les auteurs rappellent que la carte topographique est un produit cartographique populaire et familier, dans lequel les utilisateurs ont confiance. En effet, les utilisateurs ne lisent pas les cartes topographiques comme une représentation du monde, mais comme le monde lui-même. Par ailleurs, les auteurs soulignent que malgré le fait que les agences de cartographie utilisent des conventions communes, telles que l'utilisation de la couleur bleue pour représenter l'hydrolographie et le vert pour représenter la végétation. Il existe des différences et variations importantes dans l'apparence visuelle des cartes topographiques des différents pays européens (Hopfstock, 2005). La Figure 2.51 expose trois cartes topographiques au 1:50 000$^{ème}$ de trois pays européens différents : le Danemark, la Norvège et la Suède. Ces trois cartes possèdent des propriétés visuelles différentes.

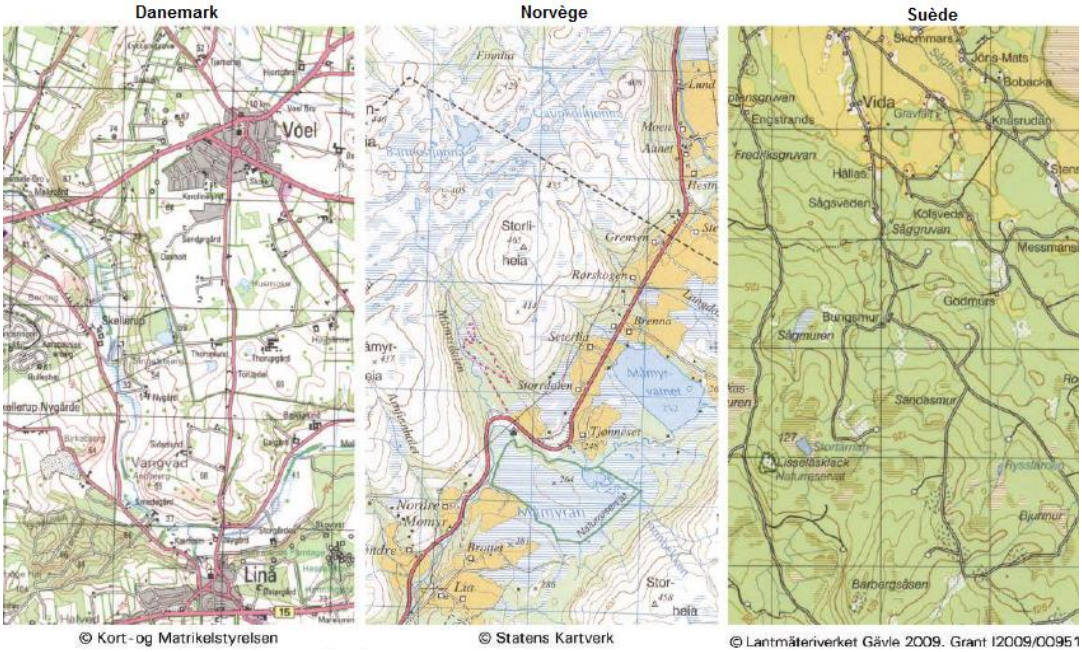



Figure 2.51 Exemples de cartes topographiques au 1:50 000ème sélectionnées dans l'étude de Kent et Vujakovic (2009).

Selon Kent et Vujakovic (2009), le style topographique correspond à la manière dont le territoire est représenté, i.e. les processus d'abstraction utilisés : une sélection particulière d'objets géographiques, le choix des paramètres pour le processus de généralisation et le choix des variables visuelles pour la construction de légende. L'ensemble de ces choix donne naissance à une carte topographique, dont l'apparence visuelle suggère une façon de voir l'espace géographique, i.e. celle de l'agence de cartographie. Pour définir la notion de style topographique, les auteurs ont comparé de manière systématique le contenu de vingt légendes topographiques européennes au 1:50 000ème produites par différentes agences nationales de cartographie. L'approche consiste en une analyse des thèmes géographiques présents en légende et une comparaison multicritères des symboles cartographiques utilisés pour représenter chacun des thèmes géographiques : le bâti, la végétation, l'hydrolographie, etc. Les résultats de leur approche suggèrent qu'il existe une diversité de styles topographiques européens en partie due à la diversité des variables visuelles utilisées pour représenter les différents thèmes géographiques. Les auteurs montrent également que chacune des cartes européennes possède des propriétés visuelles rendant leur style unique. Cependant, lorsque les légendes sont étudiées avec un niveau de détail moindre, certaines similitudes apparaissent entre certains styles européens. À titre d'exemple, la Grande-Bretagne et l'Irlande utilisent une classification similaire des thèmes géographiques. Autre exemple, les auteurs notent que les cartes topographiques IGN-France et Swisstopo possèdent des apparences visuelles proches, causées par une utilisation semblable des variables visuelles pour construire leurs symboles cartographiques. De même, les auteurs considèrent que les styles cartographiques de Grande-Bretagne et d'Irlande possèdent des spécifications de conception de légendes assez proches pour parler de style cartographique supranational, qui suppose que les utilisateurs des deux pays seraient aussi familiers avec l'un ou l'autre des deux langages cartographiques.

Grâce à leur approche, Kent et Vujakovic (2009) ont montré que les choix d'abstraction opérés par les agences de cartographie sont à l'origine des propriétés visuelles contenues

dans les cartes topographiques. Ces dernières semblent permettre de définir la notion de style topographique. Il serait donc intéressant de poursuivre ces travaux afin de formaliser la manière dont les utilisateurs perçoivent ces différents styles topographiques, en identifiant notamment les propriétés visuelles permettant de reconnaître un style topographique en particulier.

### S'inspirer de styles existants

Une dernière approche consiste à s'inspirer directement de styles existants soit de styles cartographiques existants, soit de styles artistiques existants.

#### De styles cartographiques existants

Les possibilités de description proposées par les modèles SLD/SE sont grandes. Il reste cependant difficile, voire impossible, de spécifier les styles de représentation d'objets cartographiques complexes. D'autres formats d'échange ont vu le jour, tel que le CartoCSS basé sur le langage *JavaScript et* proposé par la société MapBox[92] ou le QML, langage de description basé sur le JSON (*JavaScript Object Notation*) initialement utilisé pour décrire les interfaces mobiles, mais aujourd'hui également utilisé par le logiciel QGIS pour décrire le style de représentation de données cartographiques. Les possibilités de description offertes par ces formats sont plus nombreuses, mais il n'est cependant pas encore possible de spécifier des rendus complexes, tels que le dessin du rocher pour les massifs montagneux ou bien encore de reproduire le style de cartes anciennes. Grâce aux outils de rendu cartographique, de plus en plus puissants, combinant à la fois les outils des sciences de l'information géographique et les outils de l'informatique graphique (Semmo et al., 2016 ; Christophe et al., 2016), il est désormais possible de paramétrer la stylisation de rendus cartographiques complexes ou d'opérer des transferts de styles (Bruckner et Gröller, 2007 ; Christophe et al., 2016). Christophe et al. (2016) proposent des extensions des standards OGC SLD/SE illustrés par la Figure 2.52. Il s'agit de méthodes contrôlables qui permettent au concepteur de cartes de décrire finement la manière dont il souhaite styliser l'intérieur d'un polygone ou la représentation de polylignes : remplissage par motifs, stylisation linéaire, effet de dilution.

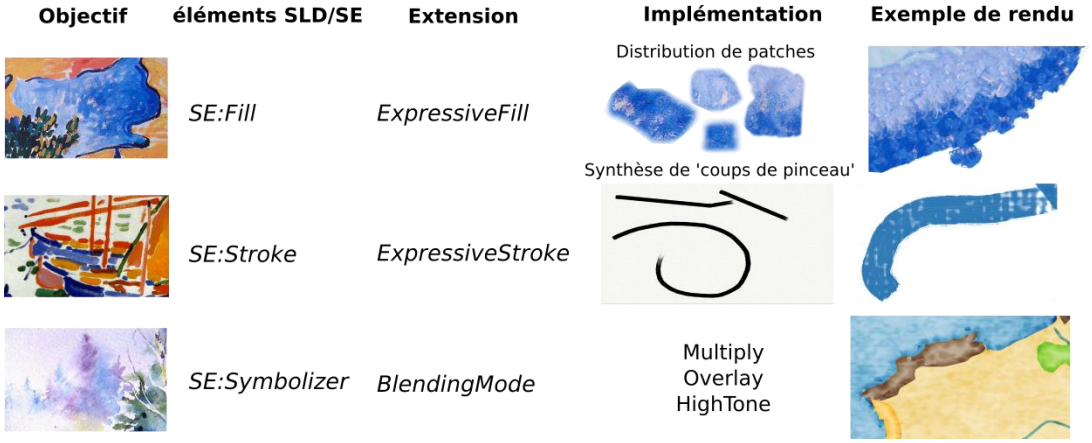


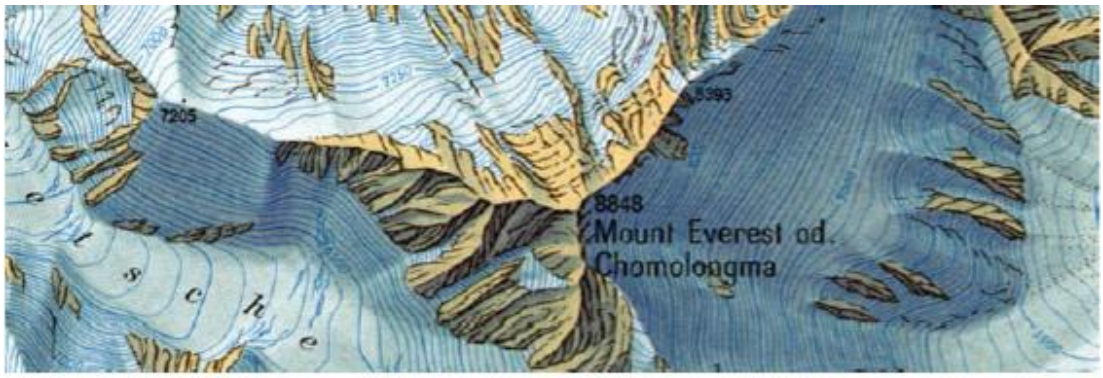

Figure 2.52 Trois extensions ajoutées aux standards SLD/SE : ExpressiveFill, ExpressiveStroke, BlendingMode, (Christophe et al., 2016).

[92] https://www.mapbox.com/

Grâce à ces extensions, il est possible de réaliser des rendus cartograohiques expressifs et de contrôler différents styles cartographiques artistiques. Dans la suite de ce paragraphe, nous explicitons la notion de rendu stylisé avec des exemples de rendus cartographiques en zones de montagne, de rendus de cartes anciennes et des rendus cartographiques au style artistique.

**Rendu cartographique de montagne : dessin du rocher**

Afin de formaliser précisément la manière dont les massifs montagneux sont représentés sur les cartes topographiques, Hurni et al. (2015) ont réalisé une étude comparative de différentes représentations cartographiques de l'Everest. La Figure 2.53 expose deux représentations cartographiques de l'Everest traitées dans cette étude, qui ont été extraites de deux atlas cartographiques suisses à deux dates et deux échelles différentes. Cette étude montre que le dessin du rocher est une composante majeure de la représentation du relief dans les cartes de manière générale. Or, il s'agit de rendus complexes, le plus souvent qui ont été produits à la main par des cartographes. Leur reproduction est donc difficilement réalisable de manière automatique (Jenny et al., 2014).




Carte topographique de l'Everest à l'échelle du 1:200 000
*Atlas Mondial Suisse, édition 2002*

Carte topographique de l'Everest à l'échelle du 1:100 000
*Atlas Scolaire Suisse pour l'Enseignement Secondaire, 1962*

Figure 2.53 Deux représentations cartographiques différentes de l'Everest (Hurni et al., 2015).

Geisthövel et Hurni (2015) proposent une méthode permettant de générer automatiquement le dessin du rocher à partir d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain). La partie A de la Figure 2.54 illustre le résultat cartographique obtenu par application de la méthode sur une zone test, la partie B combine ce résultat avec les lignes de crêtes d'un MNT de la même zone test. À la suite de ce premier rendu cartographique, les auteurs envisagent la génération automatique d'autres caractéristiques cartographiques

représentatives des massifs montagneux, telles que les éboulis. De la même manière, les méthodes contrôlables proposées par Christophe et al. (2016) ont été utilisées pour reproduire le dessin du rocher de l'Aiguille du Moine proposée dans la carte topographique IGN au 1:10 000ème. Grâce aux extensions apportées aux standards SLD/SE, le producteur de cartes génère automatiquement des textures vectorielles linéaires dans des objets surfaciques de type polygone, qui sont dans un second temps paramétrées : couleur, densité, épaisseur, etc. La Figure 2.55 illustre la comparaison entre la version originale de l'Aiguille du Moine et le rendu cartographique obtenu grâce aux extensions SLD/SE proposées par Christophe et al. (2016).

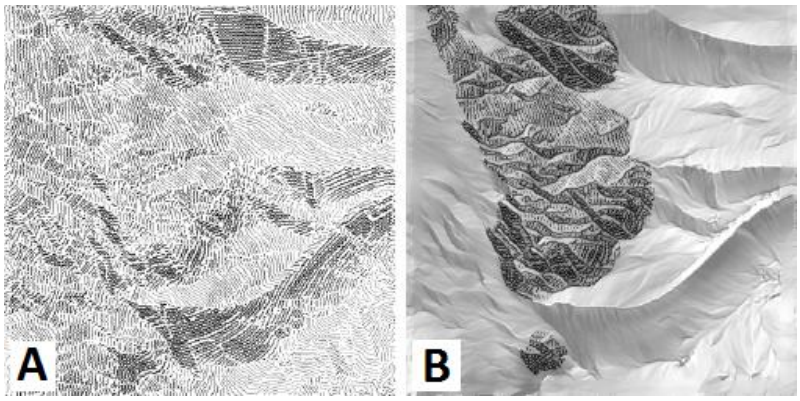



Figure 2.54 Génération automatique du dessin de rocher (A) – Dessin du rocher associé aux lignes de crêtes d'un MNT (B), (Geisthövel et Hurni, 2015).

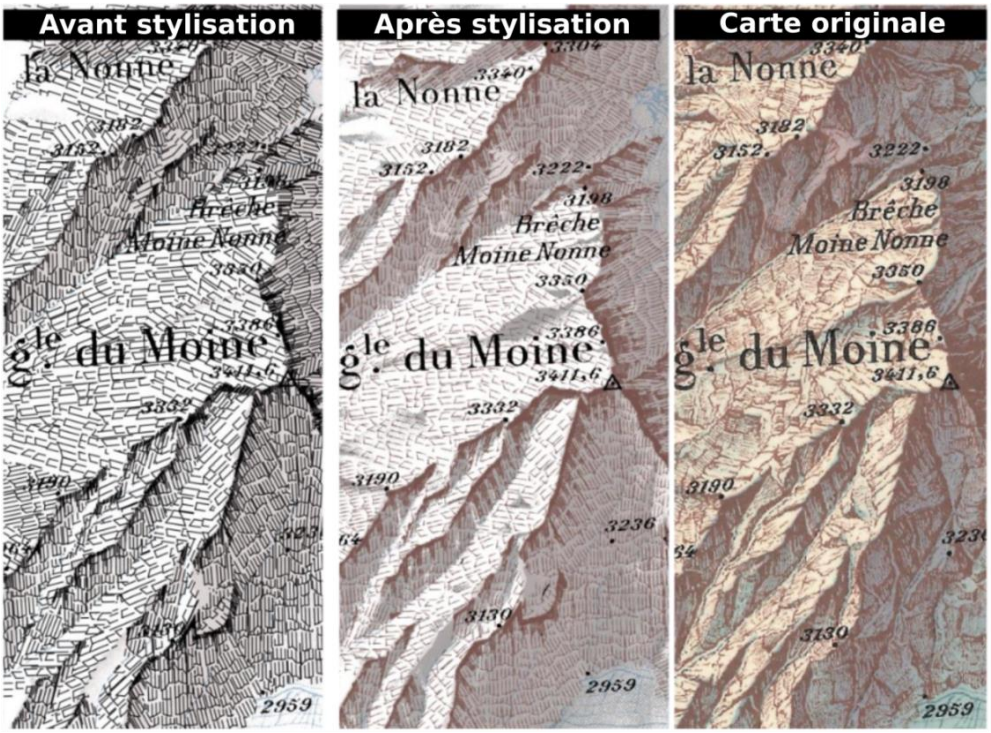



Figure 2.55 Comparaison entre le dessin du rocher de l'Aiguille du Moine sur la carte IGN au 1:10 000ème et celui obtenu par les extensions SLD/SE proposées par Christophe et al. (2016).

Bien que la Figure 2.55 montre que bien qu'il subsiste des différences entre le rendu cartographique original et celui obtenu par la méthode automatique, les caractéristiques

physiques de la montagne : lignes de crêtes, pentes de différentes natures, les différences d'ensoleillement entre adrets[93] et ubac[94], sont correctement retranscrites.

**Rendu cartographique ancien : le style Cassini**

La carte de Cassini est la première carte topographique de grande ampleur en France. Elle constitue un véritable symbole cartographique, qui représente une révolution cartographique pour l'époque (Costa et Robert, 2009). En effet, la carte de Cassini couvre l'ensemble du territoire national à l'échelle du 1:86 400 et fût réalisée entièrement à la main. Il est aujourd'hui très difficile, voire impossible, de reproduire cette carte avec des outils de conception cartographique automatique. Christophe et al. (2015) ont pour objectif d'identifier les caractéristiques visuelles représentatives du style cartographique Cassini en vue de concevoir des cartes à la manière de Cassini. Après avoir été extraites du style Cassini, les caractéristiques visuelles représentatives sont intégrées au processus de conception cartographique sous forme de patchs grâce aux standarts SLD/SE. Cette méthode permet de transférer les caractéristiques visuelles représentatives d'un style source vers un style cible. La Figure 2.56 illustre cette fonction de transfert entre le style cartographique source - Cassini - et le style cartographique cible - à la manière de Cassini. Sur cet exemple, les caractéristiques visuelles ont été appliquées sur un jeu de données cartographiques représentant la région de St-Jean-de-Luz. Par ailleurs, grâce aux extensions apportées par Christophe et al. (2016) au standard SLD, il est possible de paramétrer la distribution de vagues par rapport à la distance de la côte. De même, ces méthodes permettent également une stylisation vectorielle des routes et des rivières, améliorant ainsi l'expressivité du rendu cartographique à la manière de Cassini.

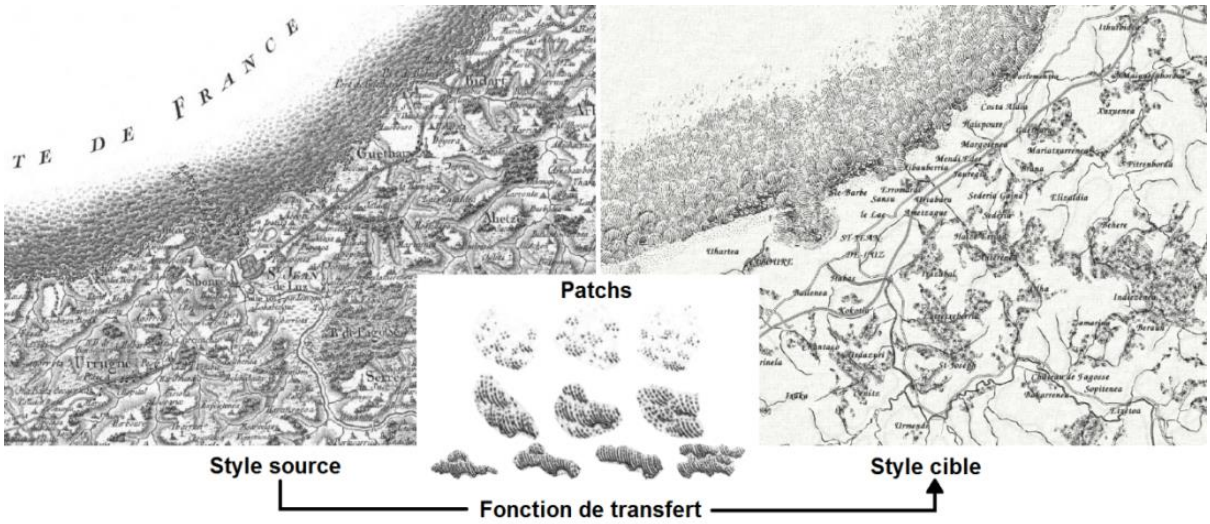



Figure 2.56 Extraction de caractéristiques visuelles représentatives du style Cassini : style source, utilisées en tant que patchs pour produire une carte à la manière Cassini : style cible (Christophe et al., 2015).

[93] L'adret désigne les versants d'une vallée de montagne qui bénéficient de la plus longue exposition au soleil.

[94] L'ubac désigne les versants d'une vallée de montagne qui bénéficient de la plus courte exposition au soleil.

### De styles artistiques existants

Moore (2009) souhaite reprendre le principe séquentiel existant dans les bandes dessinées pour l'appliquer à la conception cartographique, en s'appuyant sur les principes mis en œuvre dans la bande dessinée, i.e. l'expressivité, la généralisation et la caricature. Il souhaite ainsi proposer une méthode de conception pour les cartes thématiques illustrant des évolutions temporelles. De son côté, Christophe (2011) s'appuie sur les palettes de couleurs extraites directement de tableaux de maîtres pour favoriser la créativité des utilisateurs. La Figure 2.57 illustre les différentes étapes de conception cartographique, depuis l'extraction de palettes de couleurs jusqu'à leur application sur un jeu de données cartographiques.

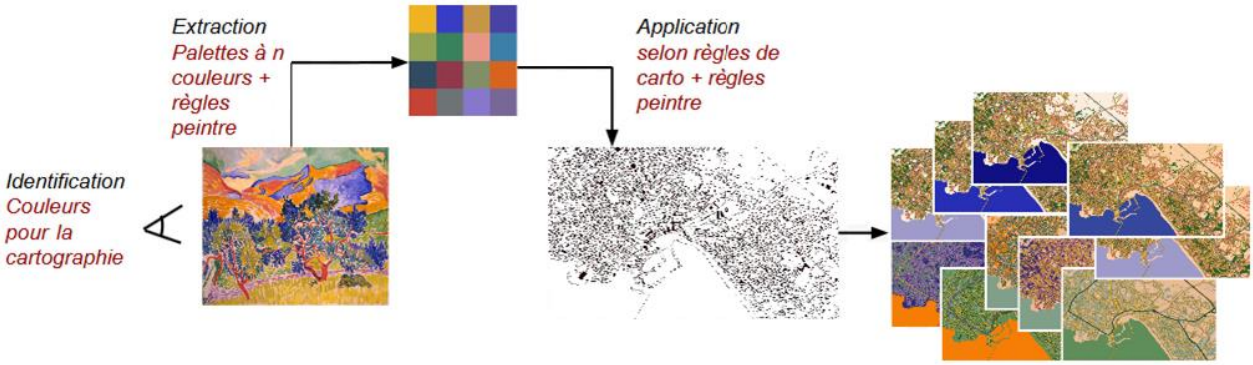



Figure 2.57 Principes d'extraction et d'application de palettes de couleurs sur un jeu de données cartographiques (Christophe, 2011).

Christophe et Hoarau (2013) proposent de créer des cartes topographiques de style Pop Art, en s'appuyant sur les propriétés visuelles représentatives d'œuvres Pop Art[95]. La Figure 2.58 illustre trois images représentatives du style Pop Art que les auteures ont sélectionnées (A : Diptyque Marilyn, sérigraphie de Andy Warhol[96], réalisée en 1962 ; B : Maybe, peinture de Roy Lichtenstein[97] 1965 C : Che Guevara, sérigraphie de Andy Warhol, réalisée en 1968).

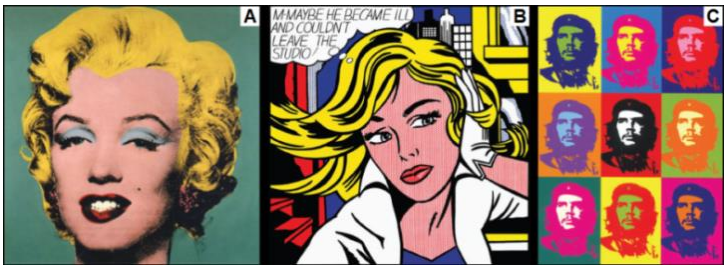



Figure 2.58 Images représentatives du style Pop Art (Christophe et Hoarau, 2013).

Les auteures ont extrait manuellement un ensemble de propriétés visuelles jugées représentatives du style Pop Art : trames Benday, typographie *cartoon*, couleurs vives, contours noirs, etc. La Figure 2.59 illustre un exemple de rendu cartographique obtenu par application de ces propriétés visuelles sur un jeu de données cartographiques. Cette

[95] Artiste américain née en 1922 et mort en 1987 : https://fr.wikipedia.org/wiki/Andy_Warhol.
[96] Artiste américain née en 1923 et mort en 1997 : https://fr.wikipedia.org/wiki/Roy_Lichtenstein.
[97] Le pop art est mouvement artistique née dans les années 1950 qui utilise des symboles populaires dans un but de désacralisation de l'œuvre d'art qui auparavant était réservée à une élite.

carte représente la région de Saint-Cast-le-Guildo dans les Côtes-d'Armor (Bretagne). Différentes combinaisons de propriétés visuelles ont été testées puis évaluées pour proposer un ensemble de recommandations permettant de construire une légende cartographique au style Pop Art lisible et en accord avec les règles de sémiologie graphique. Les recommandations proposées sont spécifiées pour chacun des thèmes de la légende cartographique. L'objectif de ces travaux de recherche est de favoriser la créativité du concepteur de cartes tout en préservant les relations signes-sens, i.e. de la lisibilité et la compréhensibilité de la carte par les utilisateurs.

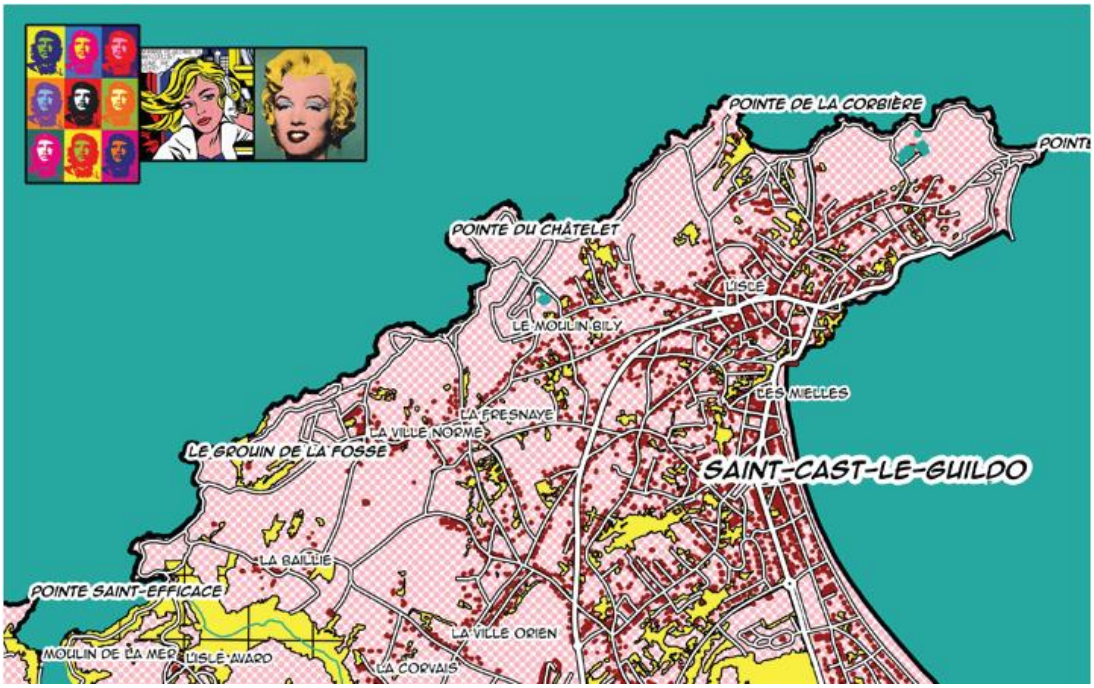



Figure 2.59 Exemple de rendu cartographique obtenu à partir de la BD CARTO®[98] en suivant les recommandations sur construction d'une carte au style Pop Art émises par Christophe et Hoarau (2013)

D'après les différents éléments de connaissance qui ont été présentés dans cette section le style cartographique peut être étudié de deux manières différentes : soit (1) à travers l'identification de propriétés visuelles représentatives des processus d'abstraction cartographique mis en œuvre pour concevoir la carte et permettant de former des familles cartographiques aux propriétés visuelles proches, soit (2) à travers une modélisation spécifiant les propriétés visuelles des objets cartographiques, i.e. comment ils doivent être représentés graphiquement. Dans notre travail de recherche, nous nous intéressons à l'identification de propriétés visuelles représentatives de cartes topographiques et tout particulièrement aux propriétés visuelles appartenant à une famille de cartes topographiques reconnaissables. À ce titre, nous nous inscrivons dans l'axe - Étude des spécifications de légendes cartographiques – du cadre théorique proposé par Christophe (2012).

[98] http://professionnels.ign.fr/bdcarto

Nous souhaitons poursuivre ces travaux en modélisant la notion de style topographique en tant que famille cartographique reconnaissable.

## 2.4 Verrous scientifiques

Dans cette section, nous explicitons les verrous auxquels nous sommes confrontés pour atteindre l'objectif de recherche que nous nous étions fixés à l'issue du chapitre 1 : **formaliser la notion de style topographique en tant que « famille cartographique » regroupant des signes graphiques reconnus des utilisateurs** et répondre aux deux questions de recherche qui en découlent (cf. sous-section 1.4.2). D'après les connaissances émises dans l'état, il semble que deux verrous majeurs se dégagent pour répondre à ces questions de recherche :

### Verrou 1 : La nécessité d'unifier les connaissances de l'état de l'art

Le caractère transversal de notre problématique à la rencontre des Sciences de l'Information Géographique et des Sciences Cognitives nous a amené à présenter et à détailler de nombreux concepts dans ce chapitre d'état de l'art. Nous avons vu que de nombreuses travaux cherchent à améliorer la construction des cartes topographiques, à les rendre plus efficaces. De même, nous avons vu que de nombreux travaux cherchent à grouper et catégoriser les cartes sous forme de familles pour approcher la notion de style cartographique. Enfin, nous avons explicité les principaux mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans l'interprétation d'une carte. Il semble désormais nécessaire d'unifier ces connaissances afin de rendre visibles les liens de cohérence et de complémentarité entre ces différentes connaissances et de proposer des concepts pour formaliser notre problème de recherche sur la reconnaissance visuelle d'une famille cartographique.

### Verrou 2 : La nécessité d'identifier les propriétés visuelles déterminant l'appartenance d'une carte à une famille cartographique

Nous déclinons ce verrou en deux grandes questions.

1. **Quels sont les signes graphiques, présents dans plusieurs cartes topographiques, représentatifs des principes d'abstaction d'une famille cartographique ?**

Une pratique cartographique constante de la part d'un producteur de cartes, i.e. utilisant les mêmes paramètres de conception, crée des cartes visuellement proches. Plusieurs approches ont proposé des cartes de différentes familles entre elles (Beconyte, 2011; Kent et Vujakovic, 2009), mais nous n'avons pas identifié d'approches permettant de comparer des cartes de la même famille pour identifier les signes graphiques qui lui sont représentatifs. Il apparaît donc indispensable de proposer une approche permettant leur identification.

2. **Quels signes graphiques favorisent la reconnaissance visuelle d'une carte appartenant à une famille cartographique donnée ?**

Comme nous l'avons vu, au cours de leur expérience cartographique, les utilisateurs décodent un certain nombre de signes graphiques, dont certains sont mémorisés, constituant un socle de connaissances sous forme de représentations mentales. Ces connaissances affectent les processus perceptifs et cognitifs déployés par les utilisateurs

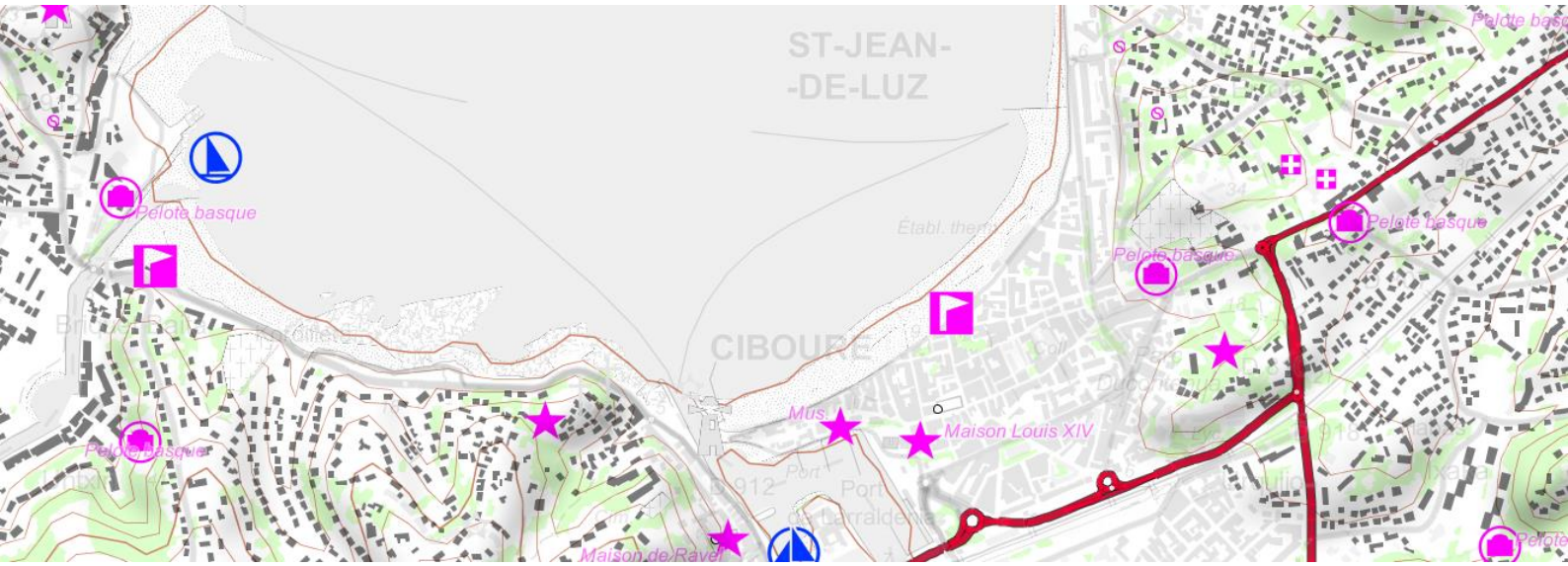
pour interpréter une carte. Il apparaît indispensable d'observer, d'investiguer et d'analyser les représentations mentales des utilisateurs pour identifier les signes graphiques favorisant la reconnaissance visuelle d'une famille de cartographique à laquelle appartient une carte topographique. Actuellement, les règles émises par la sémiologie graphique ne considèrent pas les connaissances acquises par les utilisateurs au cours de leurs expériences cartographiques. L'identification des signes graphiques reconnus par des utilisateurs permettrait d'enrichir les connaissances en sémiologie graphique et de spécifier certaines phases de conception cartographique pour proposer des rendus cartographiques plus cohérents à la représentation mentale des utilisateurs.

*« Le style n'est rien, mais rien n'est sans le style »*

*Antoine De Rivarol (1753-1801), essayiste français.*

# PARTIE 2

# MODÉLISATION DE STYLES TOPOGRAPHIQUES ET SON EXPLOITATION POUR L'AIDE À LA RÉDACTION CARTOGRAPHIQUE



# Chapitre 3.
# Le style topographique : famille reconnaissable de légendes et de cartes

**3.1 Approche générale ..... 134**
3.1.1 Cadre unificateur ..... 134
3.1.2 Définition des concepts clés de notre approche : signature visuelle reconnaissable et famille cartographique ..... 137
3.1.3 Intégration des concepts clés proposés au sein du cadre unificateur ..... 140
3.1.4 Intégration des concepts clés aux standards cartographiques actuels ..... 142
**3.2 Approche suivie pour valider le modèle de style topographique ..... 144**
3.2.1 Étude de cartes pour extraire des signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle ..... 144
3.2.2 Étude des utilisateurs pour valider et instancier le modèle de style ..... 145
3.2.3 Synthèse ..... 146
**3.3 Mise en œuvre de l'étude de cartes : cas IGN et Swisstopo ..... 147**
3.3.1 Approche déployée pour l'étude de cartes ..... 148
3.3.2 Analyse de l'évolution de la légende à travers le temps ..... 150
3.3.3 Comparaison de légendes topographiques sur une même zone géographique ..... 155
3.3.4 Synthèse des connaissances acquises par l'étude de cartes ..... 161
3.3.5 Extraction de signes graphiques candidats à la caractérisation des signatures visuelles IGN et Swisstopo ..... 162

Dans ce chapitre, nous formalisons notre proposition générale permettant d'étudier la notion de style topographique en tant que famille cartographique reconnaissable et de lever les verrous scientifiques identifiés dans le chapitre précédent. Pour présenter notre approche, nous nous appuyons sur le cadre formel proposé par Livet et al. (2010) et illustré par la Figure 3.1. Ce cadre décrit les circulations entre le domaine théorique des concepts, le domaine empirique et le domaine du modèle lors de la construction de connaissances.

1. le domaine empirique constitue un ensemble d'observations ;

2. le domaine des concepts correspond à la construction d'un cadre conceptuel permettant de formuler et d'étudier les concepts en jeu dans les observations faites ;

3. le domaine du modèle constitue la formalisation des concepts à l'aide d'un système informatique formel.

Dans notre cas, le domaine empirique correspond aux observations sur l'existence de styles topographiques différents. Ces observations sont validées par la mise en œuvre de deux expérimentations utilisateur que nous développerons dans le chapitre suivant.

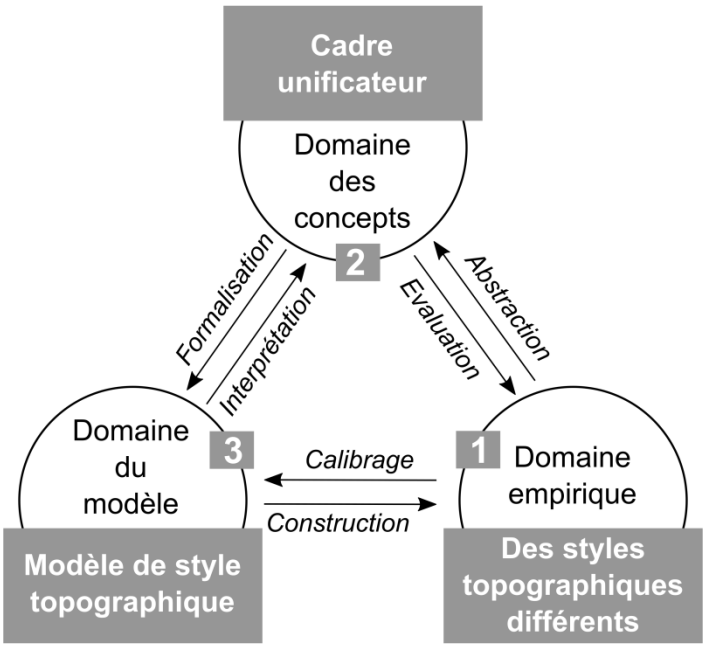



Figure 3.1 Cadre formel synthétisant notre approche générale, figure adaptée de Livet et al. (2010).

Dans une première section, nous présentons notre approche générale basée sur la proposition d'un cadre unificateur et d'un modèle de style topographique (3.1). Dans une deuxième section, nous présentons l'approche suivie pour valider notre modèle de style topographique (3.2). Enfin, dans une troisième section, nous mettons en œuvre la première partie de notre approche : études de cartes pour extraire les signes graphiques candidats à la caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo (3.3).

## 3.1 Approche générale

Dans cette section, nous proposons tout d'abord un cadre unificateur - élément 2 de la Figure 3.1 - synthétisant les différentes connaissances présentées dans l'état de l'art (3.1.1). Nous définissons ensuite les concepts clés nécessaires à la résolution de notre problème de recherche : signature visuelle et famille cartographique (3.1.2) et leur intégration au sein du cadre unificateur (3.1.3). Enfin, nous intégrons ces concepts au sein d'un modèle de style topographiques - élément 3 de la Figure 3.1 - respectant les standards de conception cartographique actuels (3.1.4).

### 3.1.1 Cadre unificateur

Les concepts clés décrits dans l'état de l'art sur la construction d'une carte topographique et les fonctions perceptives et cognitives déployées pour leur interprétation doivent être mis en relation les uns avec les autres pour répondre à notre problème. Tenter de rattacher ces mécanismes entre eux n'est pas chose aisée, car les mécanismes perceptifs et cognitifs en jeu dans la lecture d'une carte sont déployés de manière quasi simultanée. Néanmoins, il nous semble primordial de disposer d'une telle

connaissance pour enrichir celles existantes en conception cartographique. Nous proposons un cadre unificateur, illustré par la Figure 3.2, qui représente la nature relationnelle et structurée des connaissances en sciences de l'information géographique et celles en sciences cognitives et psychologie visuelle. Ce cadre unificateur ne se veut pas exhaustif. Il est utile à notre recherche dans le sens où il représente l'ensemble des concepts permettant d'étudier et d'approcher la notion de style topographique. Ce cadre unificateur a vocation à rendre visibles les liens de cohérence et de complémentarité entre ces différentes connaissances. Il constitue ainsi une structure théorique servant de support et de guide à notre problème de recherche autour de deux ensembles : (1) contexte de construction d'une carte topographique et (2) contexte d'interprétation d'une carte topographique. Nous détaillons ces deux parties ci-dessous. Les termes en gras correspondent aux concepts clés du cadre unificateur.

### Contexte de construction d'une carte topographique

Un **espace géographique** est caractérisé par un ensemble d'éléments physiques au sein d'une emprise spatiale délimitée. Ils définissent la nature de l'espace géographique : milieu urbain, milieu rural, milieu montagnard, milieu maritime, etc. Le **processus de sélection** permet de ne retenir que les éléments géographiques nécessaires à la construction d'une carte pour une échelle donnée. La sélection de données est à la fois quantitative et qualitative. Cette sélection est stockée au sein d'un **jeu de données géographiques**, constitué d'**objets géographiques**. Chaque objet géographique possède une forme qui correspond à la modélisation géométrique des éléments physiques du monde réel. Chaque objet géographique est rattaché au **thème géographique** auquel il appartient. Les objets géographiques sélectionnés possèdent une distribution spatiale et des arrangements spatiaux particuliers. Les différents **thèmes** présents dans la carte sont représentés par une ou plusieurs **lignes de légende**, qui contiennent les spécifications nécessaires au processus de **symbolisation** : couleur, texture, épaisseur, bordure, pictogramme, typographie. La **légende** contient l'ensemble des lignes de légendes nécessaires à l'interprétation de la carte pour une échelle donnée. Les spécifications de construction de légende sont en étroites relations avec les spécifications du processus de **généralisation** cartographique. Les secondes sont ajustées au regard des premières. Les processus de généralisation et de symbolisation sont appliqués sur un objet géographique pour donner naissance à un **objet cartographique**. Ce dernier hérite de l'ensemble des propriétés de l'objet géographique et de la ligne de légende. L'objet cartographique peut posséder une forme et une localisation différente de l'objet géographique selon le paramétrage du processus de généralisation, qui a pour objectif de l'adapter à l'échelle de représentation de la **carte topographique** qui le porte. Certains objets cartographiques possèdent des propriétés visuelles représentatives d'une pratique cartographique particulière, i.e. d'**une famille cartographique**.

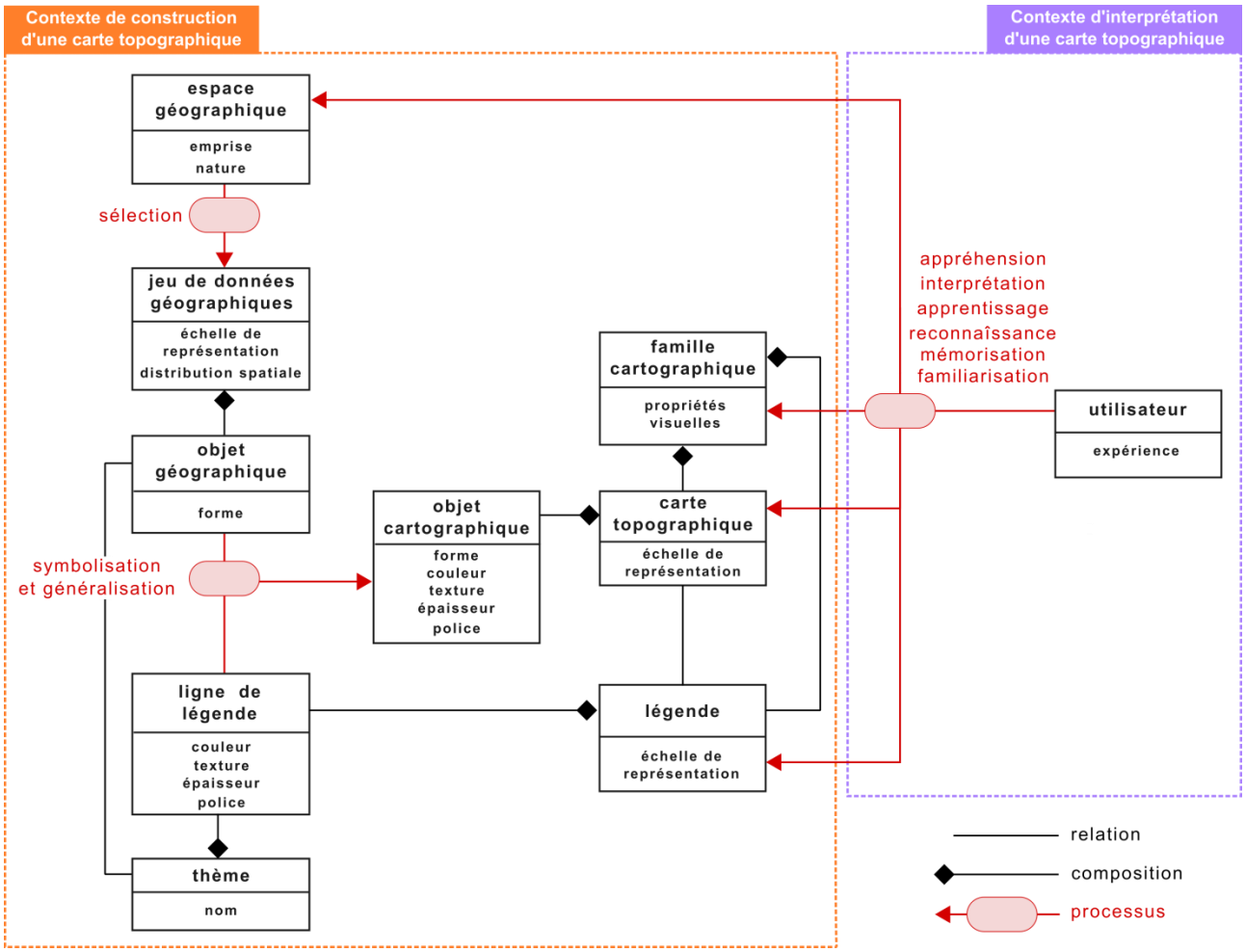



Figure 3.2 Carte unificateur associant les processus de conception d'une carte topographique et les fonctions perceptives et cognitives engagées par les utilisateurs pour l'interpréter.

### Contexte d'interprétation d'une carte topographique

La lecture de cartes topographiques apparaît comme un acte singulier, qui dépend de son objectif, de l'utilisateur et de son expérience cartographique. On suppose ici que la lecture de cartes topographiques est également régie par des mécanismes perceptifs et cognitifs généraux, déployés de manière similaire par les utilisateurs.

La lecture et l'interprétation d'une carte topographique permettent à un utilisateur d'**appréhender** correctement l'**espace géographique** représenté. À travers l'**interprétation** d'une **carte topographique**, un **utilisateur apprend** à décoder les différents signes graphiques de la carte grâce à **la légende**. L'ensemble de ces utilisations répétées constitue l'**expérience de l'utilisateur**. Au cours de ces différentes expériences cartographiques, l'utilisateur **mémorise** certains principes d'abstraction cartographique, se **familiarisant** ainsi avec une **famille cartographique**. Les connaissances sur ces différentes activités perceptives et cognitives déployées par les utilisateurs : interprétation, identification, apprentissage, mémorisation, reconnaissance, familiarisation, sont à affiner, notamment en spécifiant précisément les relations entretenues par chacune de ces activités perceptives et cognitives avec les autres concepts du cadre unificateur.

Il s'agit d'un cadre unificateur qui a vocation à servir de base de travail pour mener à bien nos recherches. En ce sens, il sera enrichi dans la suite de ce mémoire. Dans la section suivante, nous définissons les concepts clés de notre approche.

### 3.1.2 Définition des concepts clés de notre approche : signature visuelle reconnaissable et famille cartographique

Nous pensons que la notion de style topographique repose sur le concept de **signature visuelle reconnaissable d'une famille cartographique**. Dans cette sous-section, nous repartons de la définition de **reconnaissance** qui nous guide vers celle de **signature visuelle** qui elle-même nous conduit au concept de **famille cartographique**.

#### Définition du concept de signature visuelle

Tel que nous l'avons introduit dans la sous-section 1.3.2 et défini dans la section 2.3, reconnaître une carte topographique consiste à mettre en relation les propriétés visuelles perçues avec celles déjà connues. Nous proposons d'illustrer ce processus de reconnaissance au sein de la Figure 3.3 autour de deux phases distinctes. Au sein de la première phase, que nous nommons extraction, les propriétés visuelles de certains signes graphiques constituent des stimuli, auxquels les photorécepteurs des utilisateurs sont sensibles. Cette stimulation des photorécepteurs des utilisateurs constitue le traitement attentionnel ascendant. Les propriétés visuelles perçues vont être structurées sous forme de signature visuelle perçue qui sera traitée par la mémoire à court-terme.

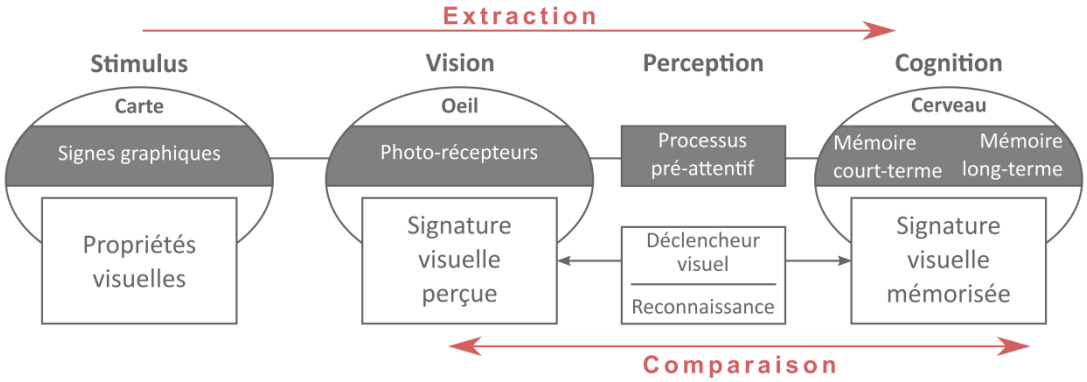



Figure 3.3 Processus de la reconnaissance d'un style topographique.

L'ensemble des propriétés visuelles acquises et mémorisées par l'utilisateur au cours d'expériences cartographiques antérieures sont stockées sous forme d'une signature visuelle mémorisée. Au cours de la seconde phase, la signature visuelle perçue va être comparée avec la signature visuelle mémorisée. Ce processus de comparaison constitue le traitement attentionnel descendant. S'il existe une proximité et des similarités entre la signature visuelle perçue et la signature visuelle mémorisée, le processus de reconnaissance visuelle peut alors être déclenché. Il s'agit là d'une fonction cognitive, qui donne la capacité aux utilisateurs de différencier une carte topographique d'une autre. Les connaissances de l'utilisateur apparaissent donc être un facteur incontournable pour identifier les propriétés visuelles qui permettent la reconnaissance de la signature visuelle d'une carte topographique.

Les utilisateurs ne se souviennent pas clairement de toutes les propriétés visuelles, mais plutôt de celles qui sont les plus représentatives. L'activation du processus de mémorisation des propriétés visuelles se produit lors du premier contact avec le stimulus : une carte topographique, donnant naissance à des images mentales. Il se poursuit à chaque fois que l'utilisateur se souvient ou a la nécessité d'utiliser une carte topographique. L'expérience de l'utilisateur transforme au fil du temps les images mentales. Le ressenti éprouvé par l'utilisateur lors de la première découverte d'une carte n'est pas comparable à la familiarité qui naît après différentes utilisations successives. Les premières perceptions et interprétations d'une carte sont peu à peu éloignées, pour constituer un ensemble de connaissances complexes, fait d'usages cumulés. L'expérience utilisateur constitue ainsi un processus par lequel les images mentales sont construites, et réajustées par les expériences suivantes. Ainsi, différents usages de cartes topographiques sont autant d'expériences cartographiques, qui laissent des traces et structurent les images mentales d'un utilisateur. Ces dernières ne constituent pas une représentation fidèle de la réalité, mais un modèle cognitif façonné par l'utilisateur, conservant les caractéristiques des objets ou situations auxquelles elles se réfèrent. Pour les cartes, il s'agit d'une représentation interne schématisée du fonctionnement des cartes topographiques, sollicitée à chaque lecture et interprétation d'une carte topographique, et nouvellement structurée au retour de chacune de ces expériences. Certains signes graphiques présents dans une carte topographique se trouvent ainsi être plus représentatifs que d'autres des processus d'abstraction cartographique mis en œuvre par le producteur de cartes et permettant de déclencher le processus de reconnaissance d'une signature visuelle. Notre objectif est d'identifier ces signes graphiques en étudiant un ensemble de cartes topographiques issues d'un même producteur puis d'identifier ceux qui sont reconnus par les utilisateurs pour caractériser un style topographique en particulier.

### Propriétés des signes graphiques constitutifs d'une signature visuelle

Le système de perception des utilisateurs organise les informations de telle façon que tout ce qui a une signification pour eux, ou tout ce qui possède des propriétés visuelles saillantes est plus facilement perçu (cf. sous-section 2.3.1). Il écarte certains signes graphiques pour ne conserver que ceux qui sont visuellement distinctifs. Ce constat nous amène à qualifier les signes graphiques composant une signature visuelle à travers deux propriétés : (1) prédominant et (2) distinctif.

(1) Le **caractère prédominant** d'un signe graphique est conditionné par sa représentation graphique constante au sein d'un ensemble de cartes topographiques appartenant à la même famille cartographique à travers le temps. Les similarités visuelles existantes dans la représentation de signes graphiques à travers le temps délivrent un effet de répétition, qui permet aux utilisateurs de connaître et reconnaître sa codification visuelle. De même, certaines relations spatiales sont constantes et se répètent de manière identique à travers le temps et entre différentes cartes. Nous pensons que ces relations constantes créent des configurations spatiales connues des utilisateurs, qu'ils s'attendent normalement à retrouver à la lecture d'une carte.

(2) Le **caractère distinctif** d'un signe graphique est conditionné par sa saillance visuelle. En règle générale, lors de la lecture d'une carte, une plus grande attention est accordée aux

signes graphiques dont les propriétés sont visuellement saillantes : couleurs, formes, textures et typographies. Nous qualifions ces signes graphiques de signes distinctifs, i.e. qu'ils sont distinctifs des autres signes graphiques portés par la carte mais aussi distinctifs des signes graphiques d'une autre carte. Ces signes graphiques distinctifs rendent la carte qui les porte visuellement distinctive d'une autre et en même temps proche des cartes qui portent des signes distinctifs avec les mêmes propriétés visuelles. Pour ce dernier cas, nous pensons qu'il s'agit de cartes appartenant à la même famille cartographique.

Un signe distinctif peut être constitué d'un signe graphique isolé ou d'un groupe de signes graphiques. En effet, dans certains cas, la combinaison de plusieurs signes graphiques crée des propriétés visuelles saillantes non présentes à l'échelle du signe graphique isolé. Ceci reprend les Lois de la Forme énoncées par la théorie de la Gestalt (Koffka, 1935) (cf. sous-section 2.2.1). Il s'agit de signes graphiques de haut niveau portés par les relations visuelles et spatiales de différents signes graphiques.

Ainsi, selon ces premières définitions de signes graphiques prédominants et distinctifs, la forme, la distribution spatiale et la représentation graphique des objets cartographiques sont déterminantes dans la caractérisation d'une signature visuelle. La Figure 3.4 illustre deux exemples de signes graphiques au caractère prédominant et distinctif.

1. **Les signes graphiques « route principale »** : la répétition de tronçons de route rouge lissés accompagnée de formes particulières, telles que la courbure des ronds-points et des échangeurs, constituent des propriétés visuelles saillantes. Elles sont à la fois représentatives de la manière de représenter les routes principales dans les cartes topographiques IGN à travers le temps – caractère prédominant – et à la fois distinctives des propriétés visuelles utilisées pour représenter les routes principales dans d'autres cartes topographiques – caractère distinctif -.

2. **Les signes graphiques « bâtiment individuels »** : ils possèdent des formes géométriques et une distribution spatiale reconnaissables, qui rappellent notamment des configurations géométriques de la réalité : alignements de bâtis. De même, la variable visuelle couleur noire est traditionnellement utilisée dans les cartes topographiques IGN pour représenter le thème bâti à travers le temps, facilitant ainsi leur identification visuelle par les utilisateurs. Cette représentation est à la fois représentative de la manière de représenter les bâtiments individuels dans les cartes topographiques IGN à travers le temps – caractère prédominant – et à la fois distinctives de cartes topographiques, représentant des espaces urbains possédant des structures spatiales différentes – caractère distinctif -.

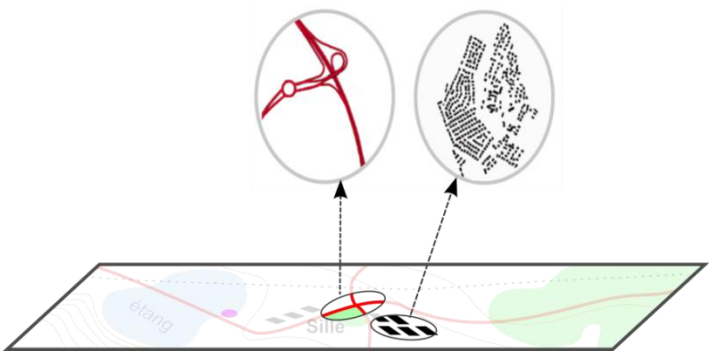



Figure 3.4 Exemples de signes graphiques distinctifs et prédominants au sein d'une carte topographique IGN.

Ce concept de signature visuelle composée de signes graphiques prédominants et distinctifs, nous conduit au concept de famille cartographique.

**Définition du concept de famille cartographique**

Dans le chapitre d'état de l'art, nous avons présenté le concept de famille cartographique en tant que famille de légendes possédant des propriétés communes. Nous étendons ce concept en caractérisant une famille cartographique à travers une signature visuelle reconnaissable, i.e. un ensemble de cartes possédant des signes graphiques reconnus des utilisateurs. Les signes graphiques prédominants et distinctifs, présentés ci-dessus, constituent des déclencheurs visuels permettant de reconnaître la signature visuelle de la carte et de la classer au sein d'une famille cartographique. Nous parlons alors de fonction d'appartenance d'une carte à une famille cartographique grâce à la signature visuelle qu'elle porte. Nous pensons qu'au cours de leurs différentes expériences cartographiques les utilisateurs mémorisent les signatures visuelles de différentes cartes leur permettant de se représenter différentes familles cartographiques.

### 3.1.3 Intégration des concepts clés proposés au sein du cadre unificateur

Pour comprendre le rôle central des concepts clés de signature visuelle et de famille cartographique, nous proposons de les intégrer au cadre unificateur présenté précédemment (cf. section 3.1.1). Ces deux concepts permettent de préciser les liens entre les connaissances émises en cartographie sur la conception de cartes topographiques et les connaissances émises en perception et cognition décrivant les activités déployées par l'utilisateur. Notre proposition, intégrant les concepts de signature visuelle et famille cartographique, est spécifiée par l'encadré de couleur verte au sein de la Figure 3.5. Ces deux concepts entretiennent des relations avec les autres concepts fondamentaux du cadre unificateur. Elles sont représentées en bleu au sein de la Figure 3.5. Nous détaillons ici les relations entretenues par les concepts de signature visuelle et famille cartographique proposées :

1. Une **famille cartographique** comprend un ensemble de cartes topographiques et de légendes. Une famille cartographique est caractérisée par une **signature visuelle** reconnaissable.

2. Une **signature visuelle** est constituée d'une combinaison d'objets cartographiques dont les propriétés (couleur, texture, épaisseur, police) sont reconnues des utilisateurs. Elle détermine la fonction d'appartenance d'une carte à une famille cartographique.

3. Les utilisateurs, à travers une interprétation répétée de cartes topographiques et de légendes, **mémorisent la signature visuelle d'une famille cartographique.** La signature visuelle **mémorisée** par les utilisateurs constitue un pivot de **reconnaissance visuelle**, sur lequel les utilisateurs s'appuient pour déterminer l'appartenance d'une carte topographique à une famille cartographique.

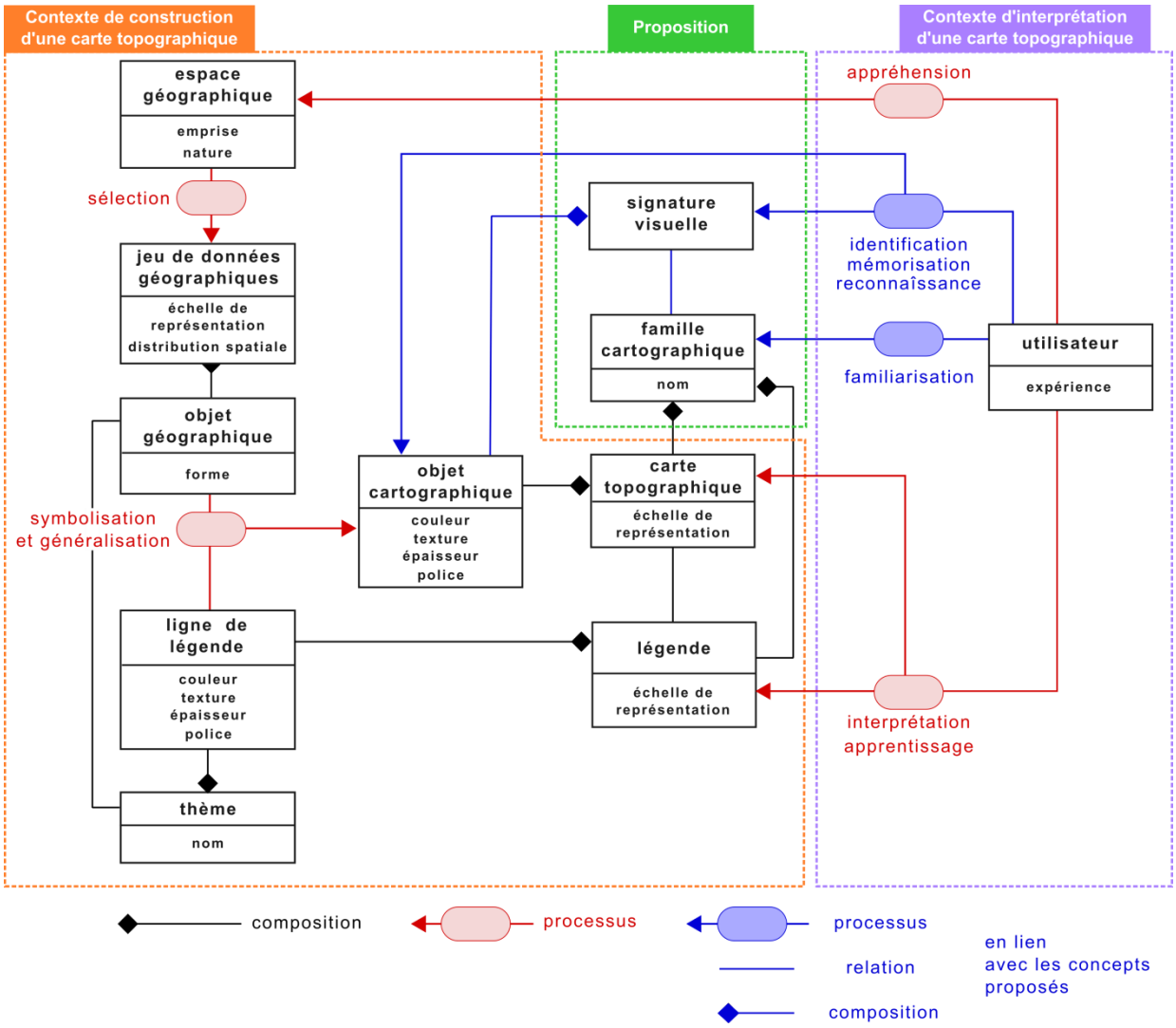



Figure 3.5 Cadre unificateur intégrant les concepts et les hypothèses proposés.

Une interprétation répétée constitue l'expérience cartographique, i.e. **la familiarisation** avec des cartes topographiques d'une même famille cartographique. Cette expérience cartographique structure chez l'utilisateur des images mentales qui formalisent la manière de décoder les signes graphiques qu'elles contiennent. Les utilisateurs apprennent ainsi la manière dont un espace géographique est représenté par une agence nationale de cartographie.

### 3.1.4 Intégration des concepts clés aux standards cartographiques actuels

Nous souhaitons dépasser l'approche classique de construction de légende pour mettre en place une approche permettant de créer des cartes topographiques dont la signature visuelle est reconnaissable par des utilisateurs. Il est du plus grand intérêt pour un concepteur de cartes de pouvoir disposer de la caractérisation de la signature visuelle d'une famille cartographique. Ces connaissances permettraient notamment de mieux spécifier les règles de conception cartographique pour adapter les rendus cartographiques aux connaissances des utilisateurs et espérer ainsi améliorer la communication cartographique.

En ce sens, nous proposons un modèle de style topographique permettant de manipuler des spécifications de légende pour créer, modifier et reproduire des représentations cartographiques appartenant à une famille cartographique, en préservant la reconnaissance par les utilisateurs de la signature visuelle associée. Ce modèle s'appuie sur deux modèles reprenant les standards de l'OGC, d'une part sur le **modèle de légende** développé par l'équipe de recherche COGIT (cf. section 2.1.2) et d'autre part sur **le modèle de symbolisation** proposé par les standards SLD/SE proposant un format de partage standardisé pour symboliser un jeu de données cartographiques (cf. section 1.2.2). La Figure 3.6 illustre ces deux modèles auxquels nous ajoutons les classes « `FamilleCartographique` », « `SignatureVisuelle` » et « `GuideRedaction` ». Les classes du modèle de légende de l'équipe de recherche COGIT sont représentées en gris, celles du standard SLD/SE sont représentées en jaune, celles correspondant à notre proposition sont représentées en rose.

#### Notre proposition de modèle de style

La classe « `FamilleCartographique` » que nous proposons est rattachée aux classes « `Carte` » et « `Légende` ». Une « `FamilleCartographique` » contient plusieurs « `Carte` » et « `Légende` ». Une « `FamilleCartographique` » est caractérisée par une ou plusieurs « `SignatureVisuelle` ». La classe « `SignatureVisuelle` » est composée de différents « `SymbolizedFeature`», i.e. d'objets cartographiques dont les propriétés visuelles sont reconnues par les utilisateurs comme appartenir à une « `FamilleCartographique` » donnée. Pour créer une « `Carte` » avec une « `SignatureVisuelle` » reconnaissable, nous proposons également la classe « `GuideRedaction`» qui manipule les classes « `FeatureTypeStyle` » et « `Thème` ». La classe « `GuideRedaction`» spécifie le contenu d'un rendu cartographique, i.e. les différents « `Thème` », et leurs sources de données et les « `FeatureTypeStyle` » pour les représenter. La méthode `Appliquer_Signature` renvoie une carte avec des propriétés correspdant aux spécifications du guide de rédaction.

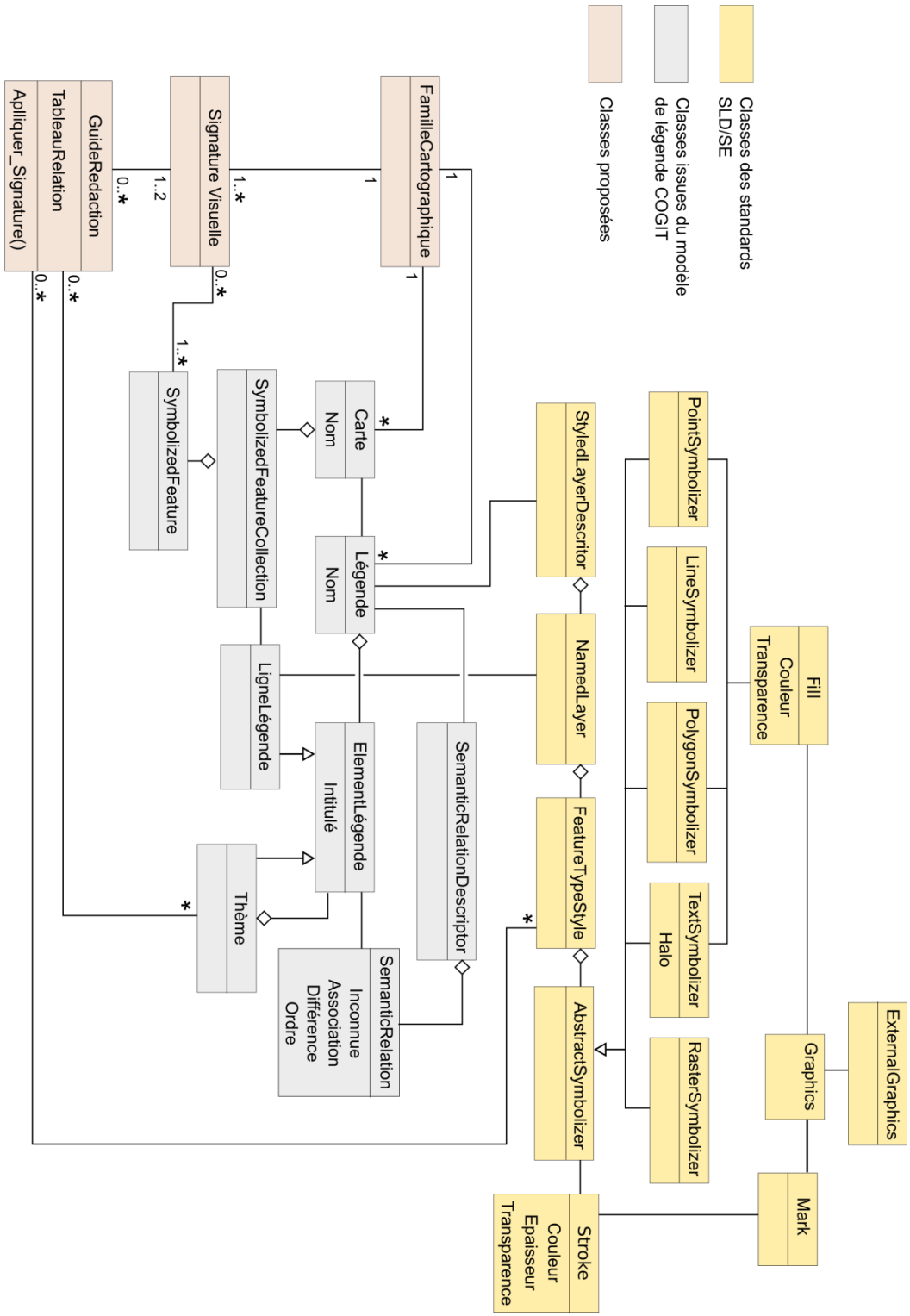



Figure 3.6 Alignement de notre proposition sur le modèle de légende de l'équipe de recherche COGIT et les standards SLD/SE.

Grâce à notre proposition, nous pouvons mettre en place des spécifications fonctionnelles de la légende en manipulant à la fois les spécifications de dessin et les objets cartographiques contenus dans une signature visuelle reconnue des utilisateurs. En s'appuyant sur ces classes, il s'agit d'assurer l'appartenance d'une carte à une famille

cartographique donnée. Dans la section 4.7 du chapitre 4, nous décrivons deux cas d'application pour lesquels ce modèle de style topographique est instancié.

Dans la section suivante, nous détaillons notre approche pour valider notre modèle de style topographique à travers l'identification de signes graphiques aux propriétés visuelles représentatives des familles cartographiques IGN et Swisstopo.

## 3.2 Approche suivie pour valider le modèle de style topographique

Nous proposons une approche qui s'appuie sur deux études distinctes. Une première étude de cartes, qui consiste à extraire les signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle ; une seconde étude des utilisateurs, qui a vocation à identifier ceux qui sont reconnus par des utilisateurs. La Figure 3.7 représente le cheminement de l'approche que nous proposons.

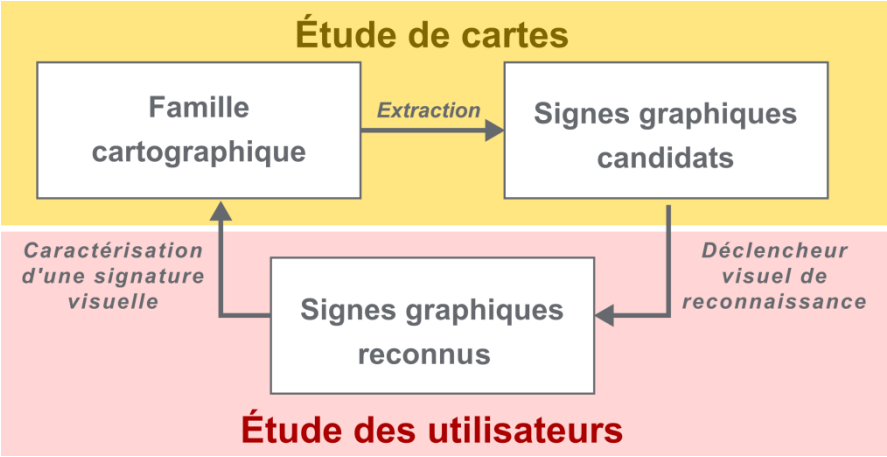



Figure 3.7 Cheminement de l'approche entre étude de cartes et étude des utilisateurs.

Les résultats de cette double étude doivent permettre de caractériser les signatures visuelles des familles cartographiques étudiées.

Dans la suite de cette sous-section, nous détaillons tout d'abord l'étude de cartes puis l'étude des utilisateurs.

### 3.2.1 Étude de cartes pour extraire des signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle

L'étude de cartes a vocation à extraire des signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle d'une famille cartographique. Cette étape pose de nombreuses questions. En effet, faut-il s'orienter vers une approche étudiant les propriétés visuelles globales de la carte, telle qu'illustrée par la partie A de la Figure 3.8 ou faut-il s'orienter vers une approche locale étudiant les propriétés visuelles locales de certains signes graphiques, telle qu'illustrée par la partie B de la Figure 3.8, ou bien les deux.

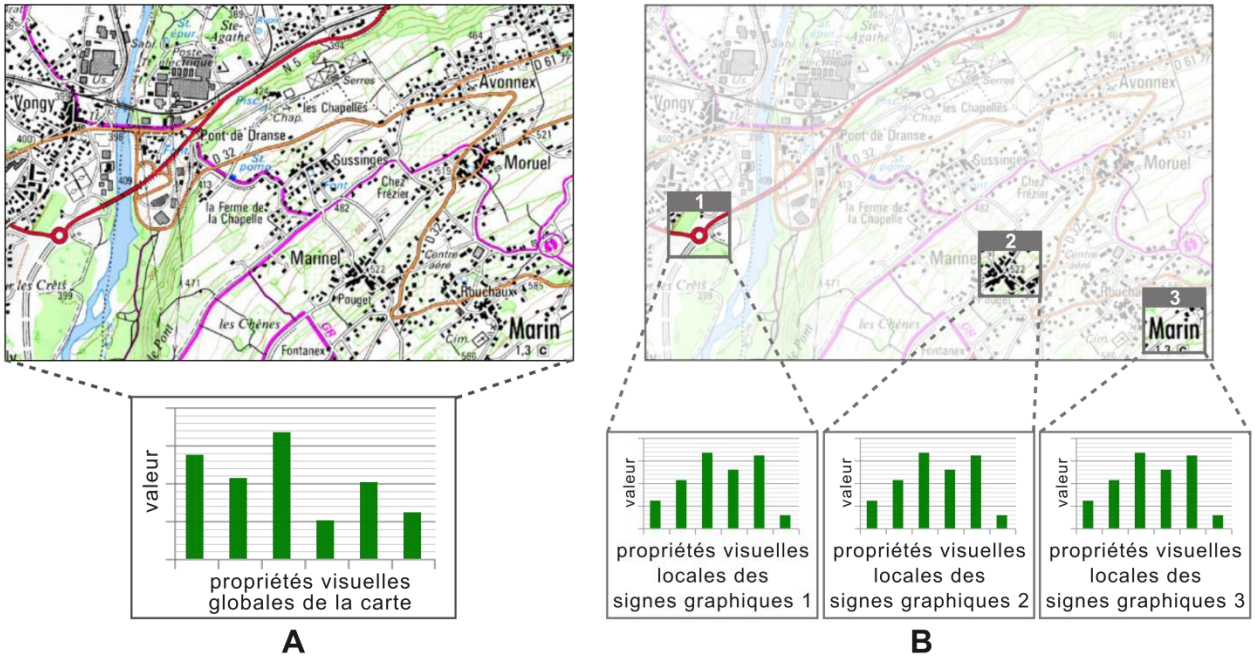



Figure 3.8 Distinctions entre l'évaluation des propriétés visuelles globales (A) et les propriétés visuelles locales d'une carte topographique (B).

La première approche (A) consiste à récolter et formaliser un ensemble d'informations sur les propriétés visuelles globales d'une carte afin de caractériser sa signature visuelle : distribution des couleurs, distribution et arrangements des formes des objets cartographiques, complexité visuelle, saillance visuelle, etc. L'approche est répétée pour différentes cartes topographiques représentatives d'une famille cartographique donnée. Avec cette approche, la signature visuelle caractérisée se trouve impactée par un ensemble de paramètres autres que les processus d'abstraction cartographique utilisés : l'emprise géographique choisie, l'échelle de représentation et la nature de l'espace géographique représenté, qui conditionnent la forme géométrique et la distribution spatiale des objets cartographiques. Ainsi, l'utilisation de processus d'abstraction cartographique similaire pour représenter des espaces géographiques de différentes natures produira des cartes topographiques possédant des signatures visuelles variées.

Une seconde approche (B) consiste à identifier les propriétés visuelles locales, i.e. des signes graphiques dont les propriétés visuelles sont représentatives des processus cartographiques mis en œuvre. Cette approche considère la carte comme une collection de régions locales. Nous optons pour cette deuxième approche qui répond mieux à notre problème de recherche. En effet, l'étude de propriétés visuelles locales est adaptée aux concepts que nous proposons : une signature visuelle reconnaissable à partir de signes graphiques prédominants et distinctifs.

### 3.2.2 Étude des utilisateurs pour valider et instancier le modèle de style

Après avoir extrait les signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle d'une famille cartographique, il est nécessaire d'évaluer leur reconnaissance par des utilisateurs. Pour ce faire, nous faisons appel aux outils proposés par les sciences

cognitives et la psychologie visuelle : les expérimentations utilisateur. Le principe d'évaluation consiste à présenter divers stimuli visuels, répartis au sein de différentes tâches utilisateur et d'évaluer les résultats. Une expérimentation utilisateur permet d'évaluer l'efficacité d'un stimulus dans la réussite d'une tâche mais aussi d'émettre des hypothèses sur les processus cognitifs en jeu. La Figure 3.9 présente l'intérêt de l'expérimentation utilisateur au sein de notre approche. Nous observons et étudions un processus cognitif en particulier : la reconnaissance visuelle de cartes topographiques et de signes graphiques appartenant à une famille cartographique. Nous demandons aux participants de réaliser plusieurs tâches utilisateur telles que :

1. reconnaître la ou les cartes topographiques appartenant à une famille cartographique donnée ;
2. sélectionner les signes graphiques les plus représentatifs d'une famille cartographique donnée.

L'évaluation des résultats obtenus pour chaque tâche permet :

1. d'évaluer la capacité d'un utilisateur à reconnaître une famille cartographique ;
2. d'identifier les signes graphiques et par conséquent leurs propriétés visuelles favorisant la reconnaissance d'une famille cartographique.

Ainsi, la mise en place d'une expérimentation utilisateur permet d'évaluer la proximité d'un utilisateur avec une famille cartographique, d'identifier les signes graphiques dont les propriétés visuelles ont été assimilées par les utilisateurs au cours de leurs expériences cartographiques antérieures, et de caractériser une signature visuelle reconnaissable de la famille cartographique étudiée. Par ailleurs, les résultats obtenus au sein de l'expérimentation utilisateur permettent de compléter et de tester la validité du cadre unificateur que nous proposons.

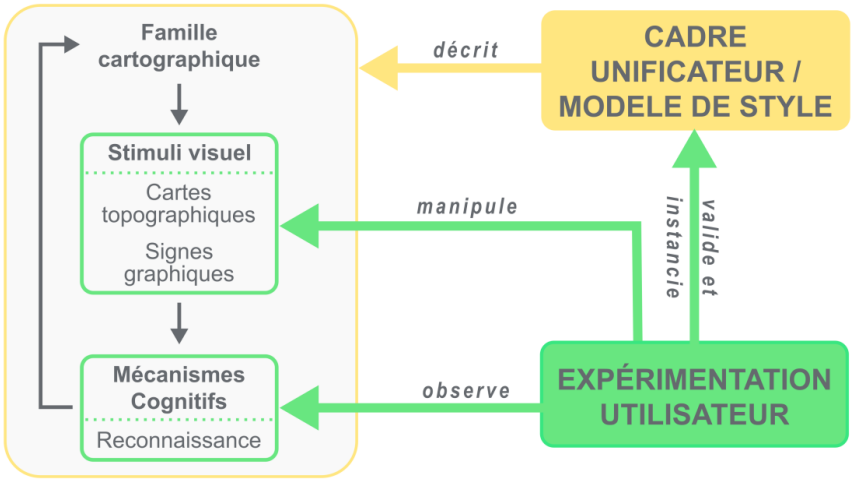



Figure 3.9 Principes constitutifs de l'expérimentation utilisateur et les relations existantes avec le modèle de style proposé.

### 3.2.3 Synthèse

La Figure 3.10 représente les différentes étapes de notre approche, de la proposition d'un cadre unificateur et d'un modèle de style implémenté (1), en passant par l'étude de

cartes permettant l'identification de signes graphiques distinctifs et prédominants, et l'extraction de signes graphiques candidats (2) puis leurs évaluations grâce à une expérimentation utilisateur (3), dont les résultats obtenus permettent de caractériser la signature visuelle de la famille cartographique étudiée (4). L'étude des utilisateurs permet d'instancier le concept de signature visuelle perçue et mémorisée.

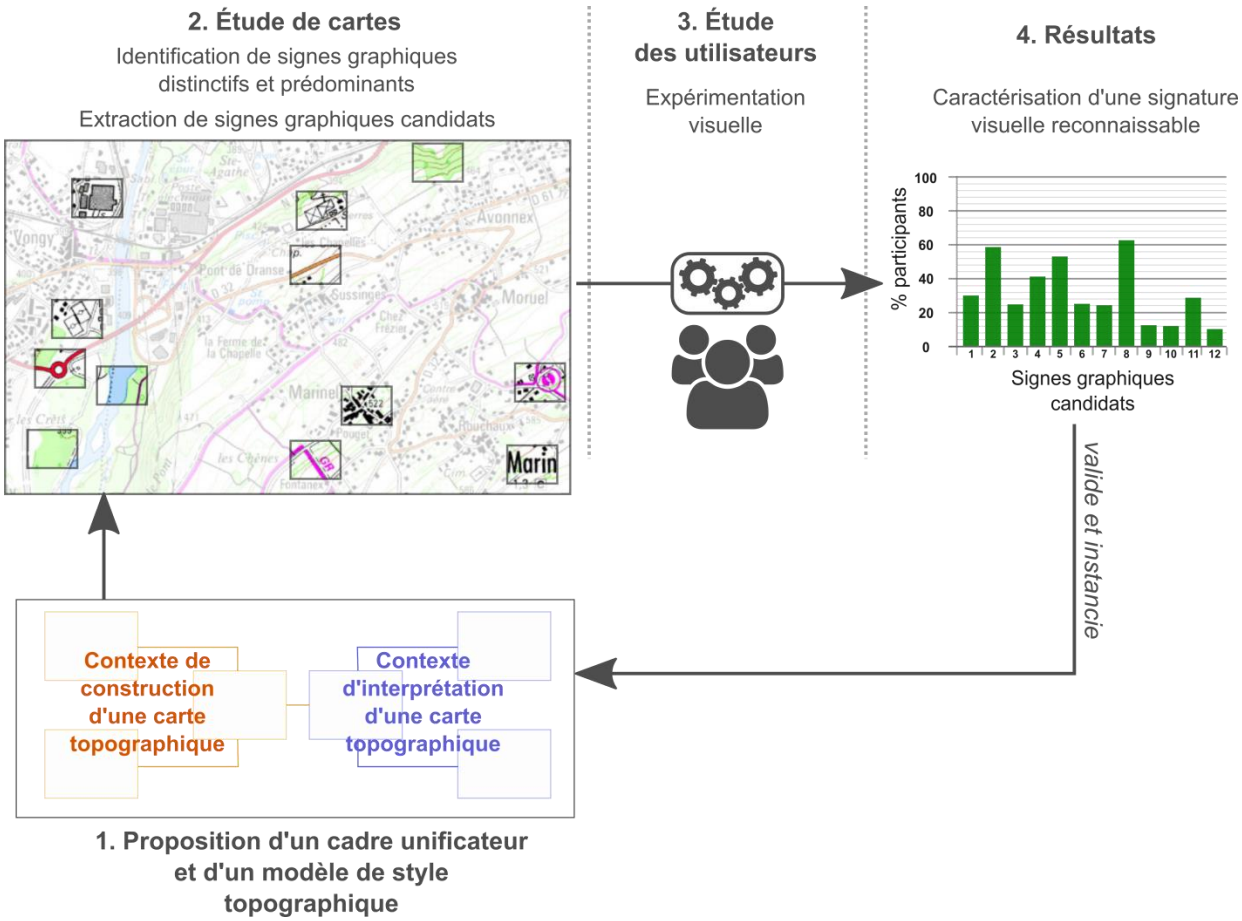



Figure 3.10 Étapes vers la caractérisation d'une signature visuelle reconnaissable.

Dans la section suivante, nous détaillons la mise en œuvre de notre étude de cartes.

## 3.3 Mise en œuvre de l'étude de cartes : cas IGN et Swisstopo

Dans cette section, nous mettons en œuvre la première partie de notre approche : études de cartes pour deux familles cartographiques distinctes : IGN (France) et Swisstopo. Ces deux agences nationales de cartographie possèdent chacune une histoire cartographique riche, pour laquelle il nous est aisé d'obtenir un ensemble d'informations. La mise en œuvre de cette étude de cartes a vocation à extraire les signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle. Nous rappelons que nous avons défini la signature visuelle comme une composition de signes graphiques aux caractères prédominants et distinctifs (cf. sous-section 3.1.2). Nous présentons tout d'abord notre méthode permettant d'extraire les signes graphiques prédominants et distinctifs (3.3.1). Nous déployons ensuite cette méthode pour les signes graphiques prédominants (3.3.2) puis pour les signes graphiques distinctifs (3.3.3). Nous effectuons ensuite une synthèse

des connaissances acquises (3.3.4) sur lesquelles nous nous appuyons pour extraire les signes graphiques candidats (3.3.5).

### 3.3.1 Approche déployée pour l'étude de cartes

Nous nous fixons comme objectif d'identifier les signes graphiques prédominants et distinctifs. Notre approche se décline en trois étapes clés :

1. Sélectionner les cartes sur lesquelles portera l'étude ;

2. Déployer la méthode pour identifier les signes graphiques prédominants ;

3. Déployer la méthode pour identifier les signes graphiques distinctifs ;

Nous reprenons ci-dessous ces trois étapes clés.

**1. Sélection de cartes :**

Après avoir mené une série d'entretiens avec des experts en cartographie auprès des deux agences de cartographie IGN et Swisstopo, dont le protocole est présenté en Annexe A, il apparaît que les cartes topographiques au 1:50 000ème sont les plus représentatives des pratiques cartographiques de chacune des deux agences nationales de cartographie. Cependant, la production de la carte au 1:50 000ème IGN a été arrêtée pour se concentrer sur deux autres produits de référence : la carte au 1:25 000ème et la carte au 1:100 000ème. Nous avons donc choisi de mener notre étude à partir de la carte au 1:25 000ème, dont le contenu cartographique et ses spécifications de représentation sont très proches de celle au 1:50 000ème pour l'agence de cartographie IGN. Du côté de l'agence Swisstopo, il en est de même, le contenu cartographique et les spécifications de représentation de la carte au 1:50 000ème sont très proches de la carte au 1:25 000ème. Pour étudier la notion de style topographique, nous choisissons les cartes topographiques au 1:25 000ème pour chacune de ces deux agences nationales de cartographie.

**2. Déployer une méthode pour identifier les signes graphiques prédominants :**

Nous formulons l'hypothèse suivante :

**H1 :** Une famille cartographique contient des signes graphiques possédant des similarités visuelles à travers le temps les rendant prédominants.

Afin d'identifier les propriétés visuelles rendant certains signes graphiques prédominants dans une série de cartes, nous comparons des légendes topographiques à travers le temps grâce à la construction d'un continuum topographique. Ce dernier a pour objectif de fournir une vision d'ensemble des cartes topographiques produites à différentes dates et de faciliter ainsi l'identification des similarités visuelles entre les signes graphiques à travers le temps. Nous considérons les signes graphiques portant ces similarités visuelles comme des signes graphiques prédominants.

### Principes de conception d'un continuum topographique : assemblage de légendes cartographiques issues d'un même producteur de cartes

Un espace géographique est sélectionné en s'assurant qu'il contienne des éléments géographiques représentatifs de l'ensemble des éléments présents sur le territoire cartographié par l'agence nationale de cartographie. Le continuum représente l'espace géographique sélectionné grâce à un ensemble de cartes topographiques produites à différentes dates formant une continuité spatiale. La construction du continuum s'effectue selon plusieurs règles, les cartes topographiques choisies doivent :

1. être produites par le même producteur de cartes ;
2. posséder la même échelle de représentation ;
3. être produites à différentes dates, i.e. appartenir à des séries topographiques différentes ;
4. représenter une continuité spatiale, i.e. que les différentes cartes composant le continuum représentent un espace géographique de manière ininterrompue.

Le continuum topographique fournit une vision d'ensemble du territoire et des différentes cartes, qui facilite la comparaison des signes graphiques contenus dans chacune d'elles, comme l'illustrent les Figure 3.11 et Figure 3.12.

Nous cherchons à identifier les similarités visuelles entre les signes graphiques des différentes cartes composant le continuum topographique. Nous observons tout particulièrement les processus d'abstraction cartographique suivants : la sélection de données géographiques, la généralisation cartographique et la construction de légende.

### 3. Déployer une méthode pour identifier les signes graphiques distinctifs :

Nous formulons l'hypothèse suivante :

**H2 :** Une carte topographique contient des signes graphiques distinctifs d'une carte appartenant à une autre famille cartographique.

Afin d'identifier les signes graphiques distinctifs, nous comparons deux cartes topographiques sur une même zone géographique. La méthode de comparaison doit permettre de dégager et d'évaluer les signes graphiques les plus distinctifs pour chacune des cartes. Soumettre deux cartes à comparaison permet d'apprécier l'impression visuelle d'ensemble de chacune des cartes. Nous définissons l'impression visuelle comme la manière dont un utilisateur perçoit et ressent visuellement une carte topographique. En ce sens, les cartes topographiques comparées doivent :

1. posséder la même échelle de représentation ;
2. avoir la même emprise spatiale, i.e. représenter le même espace géographique ;
3. être produites par deux producteurs de cartes différents.

Ces trois règles permettent de comparer aisément les processus d'abstraction cartographique : sélection de données, généralisation, construction de légende, pour chacun des signes graphiques identifiés comme visuellement distinctifs. Une analyse fine

des différences visuelles observées est alors opérée. La Figure 3.13 et la Figure 3.14 illustrent deux exemples de cartes topographiques répondant aux règles de comparaison.

Dans les deux sous-sections suivantes, nous déployons notre méthode pour identifier les signes graphiques prédominants dans les cartes IGN et Swisstopo (3.3.2) puis pour identifier les signes graphiques distinctifs (3.3.3).

### 3.3.2 Analyse de l'évolution de la légende à travers le temps

Dans cette sous-section, nous construisons tout d'abord deux continuums topographiques à travers le temps pour les familles cartographiques IGN et Swisstopo selon les principes de conception détaillées précédemment. Nous présentons ensuite les résultats obtenus, i.e. les signes graphiques prédominants identifiés.

#### Continuum cartographie IGN : la carte au 1:25 000ème

Dans ce paragraphe, nous détaillons les différents types de légendes cartographiques que nous avons sélectionnés pour la construction du continuum topographique IGN illustré par la Figure 3.11. L'espace géographique représenté est une zone rurale au Nord de Bourges dans le département du Cher. De haut en bas, le continuum assemble les trois types de légendes topographiques au 1:25 000ème - type 93, type 72, type 22 - appartenant à la carte de base IGN :

1. **Légende de type 22** : Cette légende a été utilisée pour la construction des cartes topographiques au 1:25 000ème à partir de 1922. La construction de ces cartes topographiques était entièrement faite à la main par des opérateurs cartographes (Chappart et Reynard, 2007). À l'époque, cette carte topographique a été créée pour combler le retard cartographique français au regard de la cartographie allemande à la suite de la première guerre mondiale.
2. **Légende de type 72 :** Cette légende a été utilisée pour la construction des cartes topographiques au 1:25 000ème à partir de 1972. Les premières versions de ces cartes topographiques sont réalisées à la main. Dans les années 90, grâce à la numérisation des planches mères sous forme de scans, les mises à jour sont apportées de manière numérique. Certains thèmes cartographiques de cette légende possèdent une représentation graphique moins détaillée que celle présente sur le type 22. Il s'agit de profiter des avancées techniques pour accélérer la production cartographique.
3. **Légende de type 93 :** Cette légende incarne la production de cartes topographiques à partir de bases de données spatiales numériques. Les cartes topographiques au 1:25 000ème sont réalisées à partir d'une base de données géographiques BD Topo (Maugeais et al., 2011).

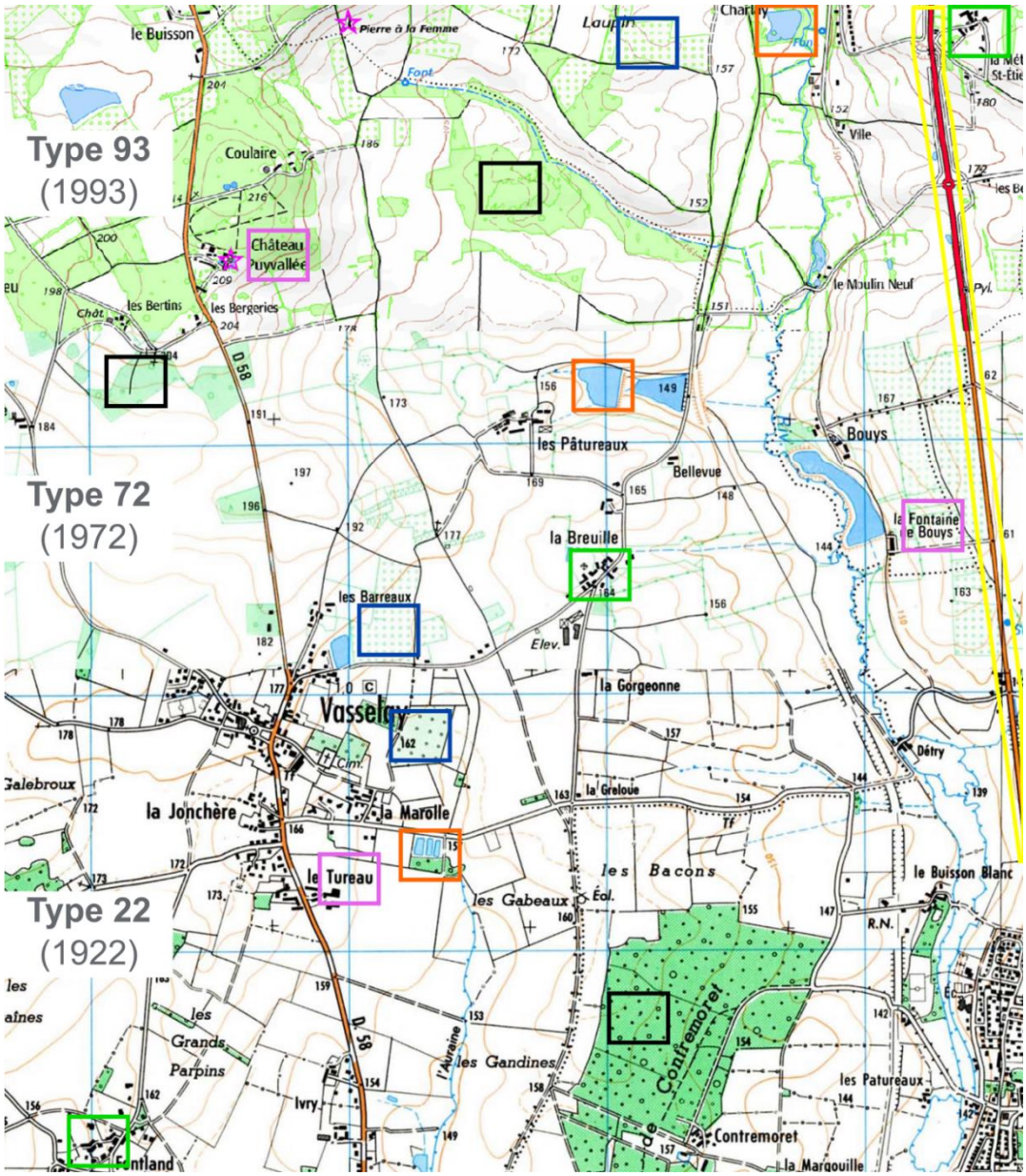



Figure 3.11 Continuum topographique représentant différents types de légende IGN au 1:25 000ème : type 22, type 72, type 93 (IGN® copyright).

## Continuum cartographique Swisstopo : la carte au 1:25 000ème

Dans ce paragraphe, nous détaillons les types de légende cartographique au 1:25 000ème sélectionnés pour construire le continuum topographique Swisstopo.

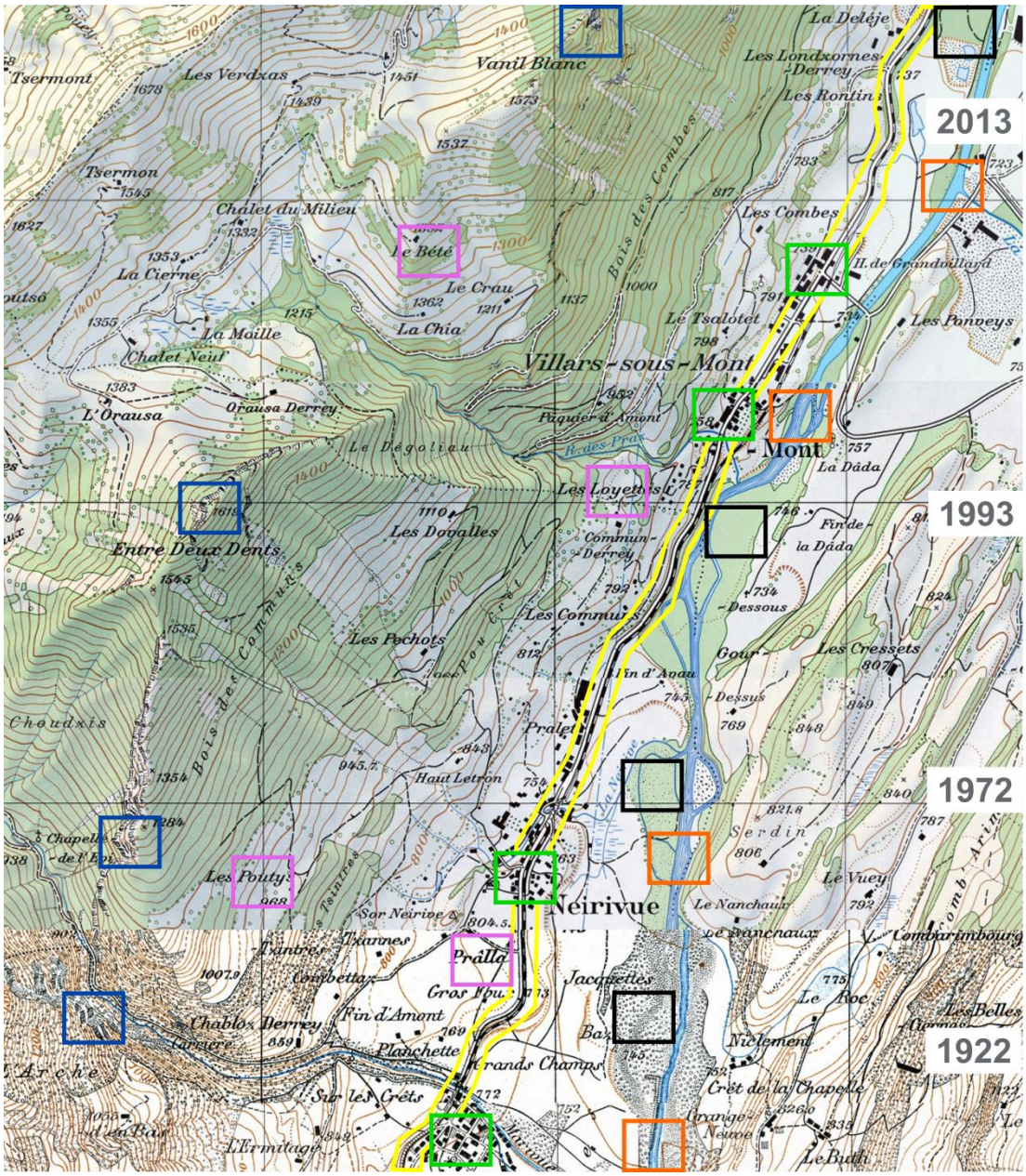



Figure 3.12 Continuum topographique représentant les différentes légendes Swisstopo au 1:25 000ème à travers le temps, de 1922 à 2013 (Swisstopo® copyright).

Historiquement, la carte Dufour constitue la première carte topographique de l'ensemble du territoire Suisse au 1:100 000ème basée sur des mesures géométriques précises (Jeanrichard, 1986). Par la suite, il y eut la mise en œuvre de la Carte Siegfried, qui incarne les premières cartes topographiques à des échelles plus grandes : 1:25 000ème et 1:50 000ème de l'ensemble du territoire Suisse (Rickenbacher, 2013). La carte Siegfried fut produite entre 1870 et 1926. Elle est représentée au 1:25 000ème pour le plateau suisse, les Préalpes, le Jura et le sud du Tessin, et au 1:50 000ème pour les Alpes. Uniquement trois couleurs ont été utilisées pour la conception et l'impression de la carte Siegfried : le brun pour les courbes de niveau, le bleu pour les surfaces hydrographiques et le noir pour le reste de l'information géographique. La carte Siegfried a été mise à jour jusqu'en 1949. À partir des années 1950, elle fût remplacée par les nouvelles cartes de la Suisse, toujours en vigueur actuellement. La Figure 3.12 représente un continuum topographique réalisé

avec ces différents types de cartes topographiques Swisstopo à travers le temps entre 1922 et 2013, de bas en haut. Ces extraits de cartes topographiques sont tirés de l'application « Voyage dans le temps »[99] proposée par le guichet cartographique en ligne de l'agence de cartographie Swisstopo.

### Résultats : identification des propriétés visuelles rendant un signe graphique prédominant

Pour chacun des continuums, nous évaluons les similarités visuelles entre les signes graphiques des différentes cartes topographiques. Nous utilisons la même approche pour le continuum topographique IGN et le continuum topographique Swisstopo.

Tant sur le continuum topographique IGN que sur celui de Swisstopo, nous observons que la sélection de données est constante aux différentes dates. En effet, les cartes topographiques représentent les mêmes thèmes cartographiques, à savoir : le réseau routier, le bâti, l'occupation du sol, l'hydrographie, le relief, la toponymie et les limites administratives. Par ailleurs, nous observons des niveaux d'abstraction semblables aux différentes dates pour chacun des continuums. Ce niveau d'abstraction constant à travers le temps délivre quatre types de similarités visuelles que nous détaillons ci-dessous : la forme, la couleur, la texture et la typographie.

#### La forme

La forme des objets cartographiques est une composante majeure du niveau d'abstraction puisqu'elle facilite la reconnaissance et la compréhension des structures spatiales pour une échelle de perception. L'utilisation de niveau d'abstraction constant à travers le temps délivre des formes possédant des similarités visuelles : formes du bâti et du réseau routier notamment. Nous observons des formes constantes à travers le temps. Les formes rectilignes appartiennent plus aux milieux urbains, notamment aux aménagements humains : le bâti (les encadrés de couleur verte des Figure 3.11 et Figure 3.12) et les réseaux de transport (les linéaires jaunes des Figure 3.11 et Figure 3.12). Inversement, les formes plus irrégulières appartiennent aux milieux naturels : les forêts (les encadrés noirs des Figure 3.11 et Figure 3.12), les réseaux hydrographiques (les encadrés de couleur orange des Figure 3.11 et Figure 3.12), le relief, etc. La forme des objets géographiques contenus dans les cartes est dépendante de deux processus d'abstraction cartographique : la sélection de données et la généralisation. La sélection de données va conditionner ou non la présence d'une information géographique au sein d'une carte. De même, la généralisation appliquée aux objets cartographiques impacte fortement leurs formes finales. Par exemple, les opérations de simplification et de caricature accentuent ou suppriment certaines caractéristiques des objets cartographiques sélectionnés.

#### La couleur

Nous observons une utilisation constante de la couleur pour représenter les différents thèmes cartographiques pour chacun des deux continuums topographiques. À titre

[99] https://map.geo.admin.ch/

d'exemple, l'utilisation de 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 bleu pour représenter les surfaces hydrographiques. Étudiés individuellement, nous observons au sein des deux continuums, une utilisation constante de certaines couleurs à travers le temps. Les encadrés de couleur jaune, orange, vert et noir des Figure 3.11 et Figure 3.12 représentent ces constances de l'utilisation des couleurs à travers la représentation des thèmes cartographiques : réseau de transport (les encadrés de couleur jaunes), bâti (les encadrés de couleur verte), végétation (les encadrés de couleur noir) et hydrographie (les encadrés de couleur orange). Le choix des couleurs apparaît être un paramètre de similarité visuelle entre les cartes.

**La texture**

Les textures sont utilisées pour représenter différentes natures d'occupation du sol : arboriculture, rocher, etc. (les encadrés bleus des Figure 3.11 et Figure 3.12). Au sein des cartes topographiques IGN, on note la présence de textures construites à partir de petits pictogrammes dont la distribution est aléatoire. Inversement au sein des cartes topographiques Swisstopo, nous retrouvons des textures à partir de linéaires avec des distributions régulières. Nous observons que les motifs constitutifs des textures sont assez constants à travers le temps pour les cartes topographiques IGN et Swisstopo.

**La typographie**

La typographie correspond à la manière de représenter les toponymes, à travers l'utilisation de polices de caractères. L'agence de cartographie IGN utilise une police de caractères sans empattement et l'agence de cartographie Swisstopo utilise une police de caractères avec empattement. Les encadrés roses des Figure 3.11 et Figure 3.12 montrent que l'utilisation de ces polices de caractères semble être constante à travers le temps aussi bien pour les cartes topographiques IGN que Swisstopo.

En conclusion de cette sous-section, outre l'impression visuelle d'ensemble unique délivrée par ces continuums topographiques, ces derniers nous ont permis d'identifier certaines similarités visuelles entre les signes graphiques de différentes légendes topographiques produites par un même producteur à travers le temps : similarités de forme, de couleur, de texture et de typographie. Ces similarités visuelles sont le fruit de pratiques cartographiques constantes qui s'inscrivent dans une longue tradition cartographique, notamment dans le paramétrage des processus d'abstraction cartographique. Nous supposons que ces similarités visuelles à travers le temps rendent les signes graphiques qui les portent prédominants. C'est le cas notamment des signes graphiques contenus dans les thèmes : bâti, réseau routier, surfaces hydrographiques, végétation et toponymie. Ces signes graphiques sont donc des candidats à la caractérisation des signatures visuelles de chacune des familles cartographiques étudiées : IGN et Swisstopo.

### 3.3.3 Comparaison de légendes topographiques sur une même zone géographique

Dans cette sous-section, nous présentons tout d'abord les cartes topographiques sélectionnées permettant d'effectuer la comparaison. Ensuite, nous détaillons les résultats obtenus, i.e. les signes graphiques distinctifs identifiés.

#### Cartes topographiques sélectionnées

Nous avons sélectionné deux cartes topographiques IGN et Swisstopo au 1:25 000ème, respectivement illustrées par la Figure 3.13 et la Figure 3.14. Ces deux cartes représentent la région de Thonon-les-Bains. Cette zone géographique a été sélectionnée car elle se situe à la frontière franco-suisse, côté français, et est à la fois cartographiée par l'agence nationale de cartographie IGN et celle de Swisstopo. Cette particularité permet une comparaison des deux cartes topographiques. Par ailleurs, cette zone géographique présente à la fois des configurations spatiales représentatives du territoire français et du territoire suisse. En effet, la région de Thonon-les-Bains constitue un espace géographique, où cohabitent :

1. un **milieu urbain** caractérisé par la présence de zones bâties (bâtis individuels, bâtis denses et de réseaux routiers) ;
2. un **milieu rural** caractérisé par la présence de cultures et de forêts ;
3. des **zones de relief** caractérisées par une présence de changements d'altimétrie brute (talus) ;
4. des **zones hydrographiques** caractérisées par une présence de vastes surfaces en eau.

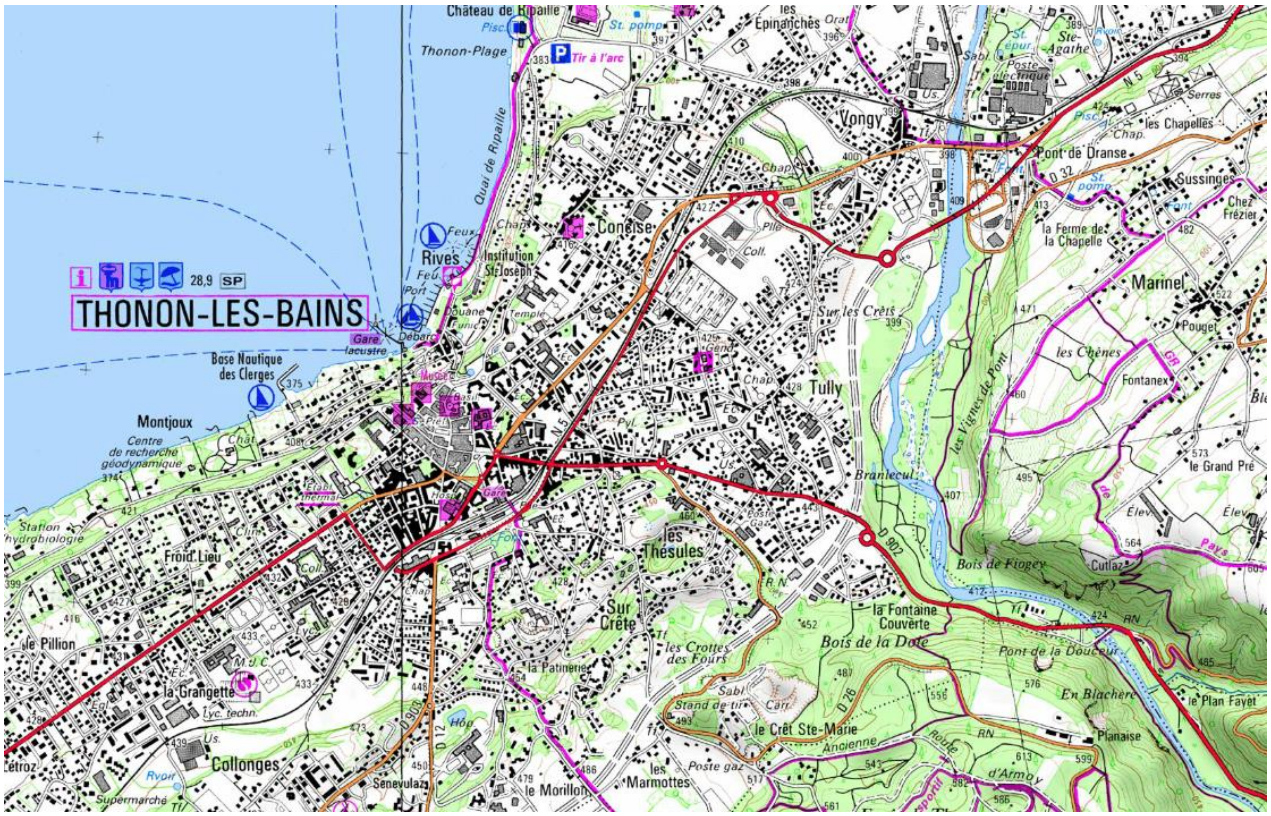



Figure 3.13 Carte topographique IGN au 1:25 000ème représentant la région de Thonon-les-Bains (IGN® copyright).

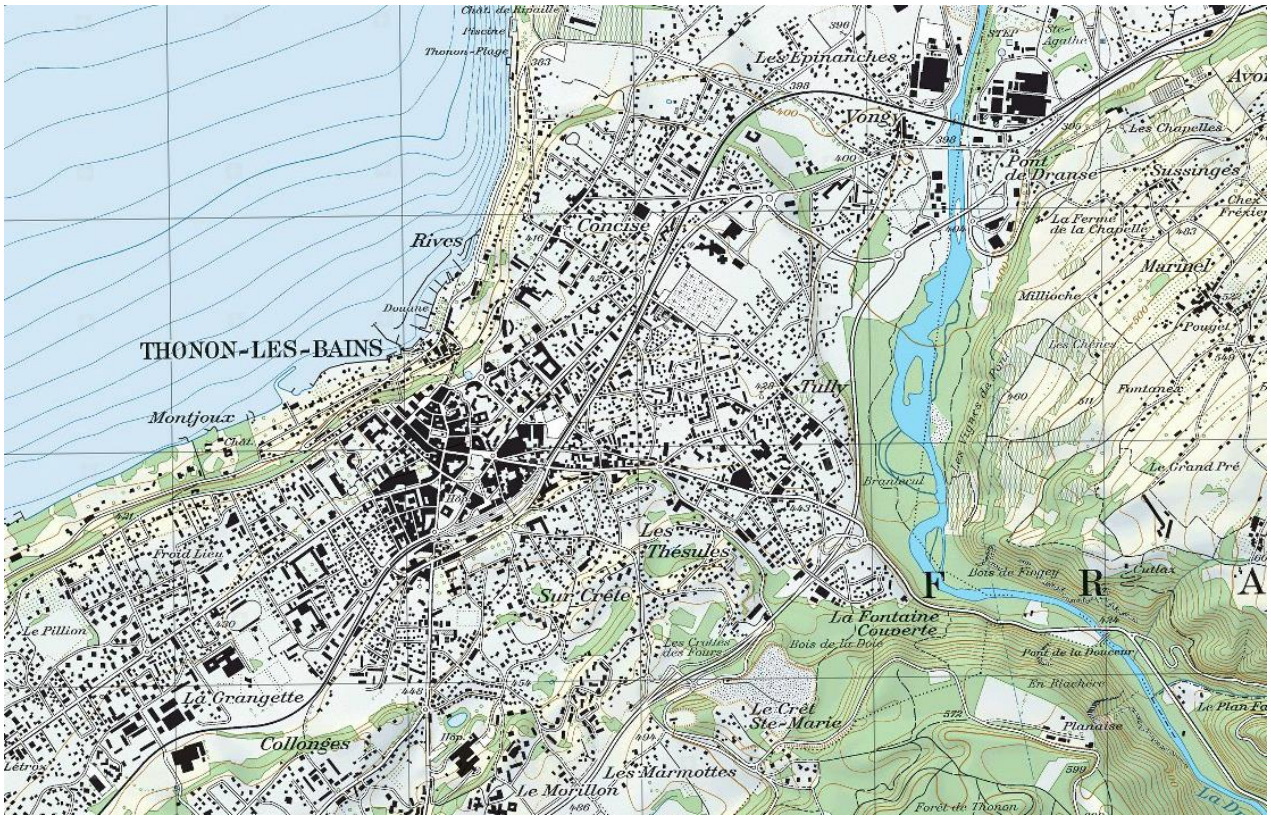



Figure 3.14 Carte topographique Swisstopo au 1:25 000ème représentant la région de Thonon-les-Bains (Swisstopo® copyright).

### Résultats : identification des signes graphiques distinctifs

Nous comparons simultanément les deux cartes topographiques IGN et Swisstopo illustrées respectivement par les Figure 3.13 et Figure 3.14. La zone géographique représentée par ces figures ne constitue pas la totalité de la zone qui est soumise à comparaison, il s'agit uniquement du cœur de la zone géographique, qui est en réalité plus vaste. Cependant, les contraintes de format de ce mémoire de thèse ne permettent pas d'illustrer la totalité de la zone géographique.

Les deux cartes topographiques IGN et Swisstopo produisent une impression visuelle différente. La carte topographique IGN apparaît visuellement colorée, avec des couleurs vives et brillantes, délivrant de forts contrastes. La carte topographique Swisstopo apparaît visuellement moins colorée, avec des couleurs plus ternes, délivrant des contrastes plus atténués. Après une analyse comparative fine, nous identifions sept thèmes cartographiques majeurs qui sont visuellement distinctifs : le réseau routier, le bâti, l'occupation du sol, l'hydrographie, le relief, l'information touristique et la toponymie. Nous observons des différences visuelles importantes dans la représentation des objets cartographiques de ces thèmes. Nous nous appuyons sur ces différences visuelles pour tenter d'identifier ici les principes d'abstraction cartographique qui rendent certains signes graphiques visuellement distinctifs. La méthode consiste à sélectionner un groupe d'objets cartographiques visuellement distinctifs sur une des deux cartes, de décrire ses propriétés visuelles et de les comparer avec les propriétés visuelles de l'autre carte. Nous répétons ce procédé pour l'ensemble des sept thèmes cartographiques identifiés comme visuellement distinctifs.

#### Le réseau routier

Premièrement, le thème cartographique « réseau routier » porte des signes graphiques, qui rendent visuellement distinctive la carte IGN de la carte Swisstopo, et inversement. Le producteur IGN utilise une combinaison des variables visuelles « couleur » et « taille » pour classifier les différents objets cartographiques structurant le thème réseau routier tandis que l'agence de cartographique Swisstopo utilise uniquement la variable visuelle « taille ». La partie A de la Figure 3.15 représente bien cette différence : sur la carte topographique IGN, le réseau routier est symbolisé à l'aide de couleurs chaudes, rouge et orange, sur la carte topographique Swisstopo, il est représenté en blanc et noir. L'utilisation de la variable visuelle « couleur » rend le thème cartographique « réseau routier » beaucoup plus saillant sur la carte topographique IGN que sur la carte topographique Swisstopo.

Par ailleurs, nous observons également des différences au niveau des spécifications du processus de généralisation. Sur la carte topographique Swisstopo, nous observons une amplification et un lissage de certaines formes du réseau routier, telles que les virages des routes. L'amplification est un processus de généralisation consistant à caricaturer la forme de l'objet géographique. L'amplification accentue ici les courbures des routes tandis que le lissage élimine les fluctuations de la route (cf. sous-section 2.1.2). L'amplification et le lissage mobilisent deux processus de généralisation cartographique particuliers : la caricature et la simplification. Au sein des cartes topographiques IGN, nous observons une amplification des objets cartographiques de type « rond-point ». Leurs représentations se trouvent ainsi visuellement prédominantes.

**Le bâti**

Deuxièmement, le thème cartographique « bâti » porte des signes graphiques, qui rendent distinctive la carte IGN de la carte Swisstopo, et inversement. Au sein de la carte topographique IGN, la distinction entre les différences classes de bâtiments est permise grâce à l'utilisation de la variable visuelle « couleur » : les bâtiments individuels sont symbolisés avec la couleur noire et les bâtiments industriels sont symbolisés en gris. Alors que sur la carte topographique Swisstopo, tous les bâtiments, quelle que soit leur nature, sont symbolisés en noir. L'utilisation unique de la couleur noire pour représenter l'ensemble des classes de bâti, accompagnée de la l'opération de différenciation pour le bâti individuel et l'amplification de leur taille pour le bâti industriel, impactent considérablement le rendu de la carte topographique Swisstopo et rendent ces objets cartographiques visuellement distinctifs. La partie B de la Figure 3.15 illustre cette différence de symbolisation du thème cartographique « bâti » entre les deux agences de cartographie.

La seconde différence identifiée est au niveau des spécifications des paramètres de généralisation. Pour expliciter cette différence, nous distinguons le bâti individuel, du bâti dense et du bâti industriel. Au niveau du bâti individuel, il existe une différence de typification rendant les objets cartographiques dans la carte topographique Swisstopo de plus petite taille que dans la carte topographique IGN. De plus, au niveau du bâti dense et industriel, les géométries des objets cartographiques sont plus amplifiées dans la carte topographique Swisstopo. Par exemple, les formes des objets bâtiment sont dilatées ou déformées pour faciliter leurs perceptions.

**L'occupation du sol**

Troisièmement, le thème cartographique « occupation du sol » porte des signes graphiques, qui rendent distinctive la carte IGN de la carte Swisstopo, et inversement. Nous observons deux types de différences. Une première au niveau de la construction de légende et plus précisément sur le choix des variables visuelles. La couleur verte est traditionnellement utilisée par les producteurs de cartes pour représenter l'occupation du sol dans les cartes topographiques (Traversi, 1967). Cependant, la couleur verte utilisée dans les cartes topographiques IGN est plus vive et plus brillante que celle utilisée dans les cartes topographiques Swisstopo, qui est plus mate et plus terne. La quantité relative de couleur porté par ce thème par rapport aux autres thèmes a un fort impact sur le rendu de la carte. De même, tel que nous l'avons déjà noté durant l'analyse des continuums, les textures utilisées pour symboliser certaines classes de l'occupation du sol dans les cartes Swisstopo sont constituées d'un ensemble de linéaires distribués géométriquement alors que celles utilisées dans les cartes topographiques IGN sont constituées d'un ensemble de petits pictogrammes distribués aléatoirement au sein de l'objet cartographique. La partie C de la Figure 3.15 illustre cette différence de construction de légende pour le thème cartographique « occupation du sol ». Deuxièmement, nous observons des différences notables au niveau de la généralisation. Les objets cartographiques de la carte topographique Swisstopo sont géométriquement plus simplifiés et caricaturés que ceux de la carte topographique IGN. Nous observons notamment une agrégation pour de nombreux objets cartographiques au sein de la carte topographique Swisstopo, ces objets cartographiques se retrouvent ainsi fusionnés et amalgamés.

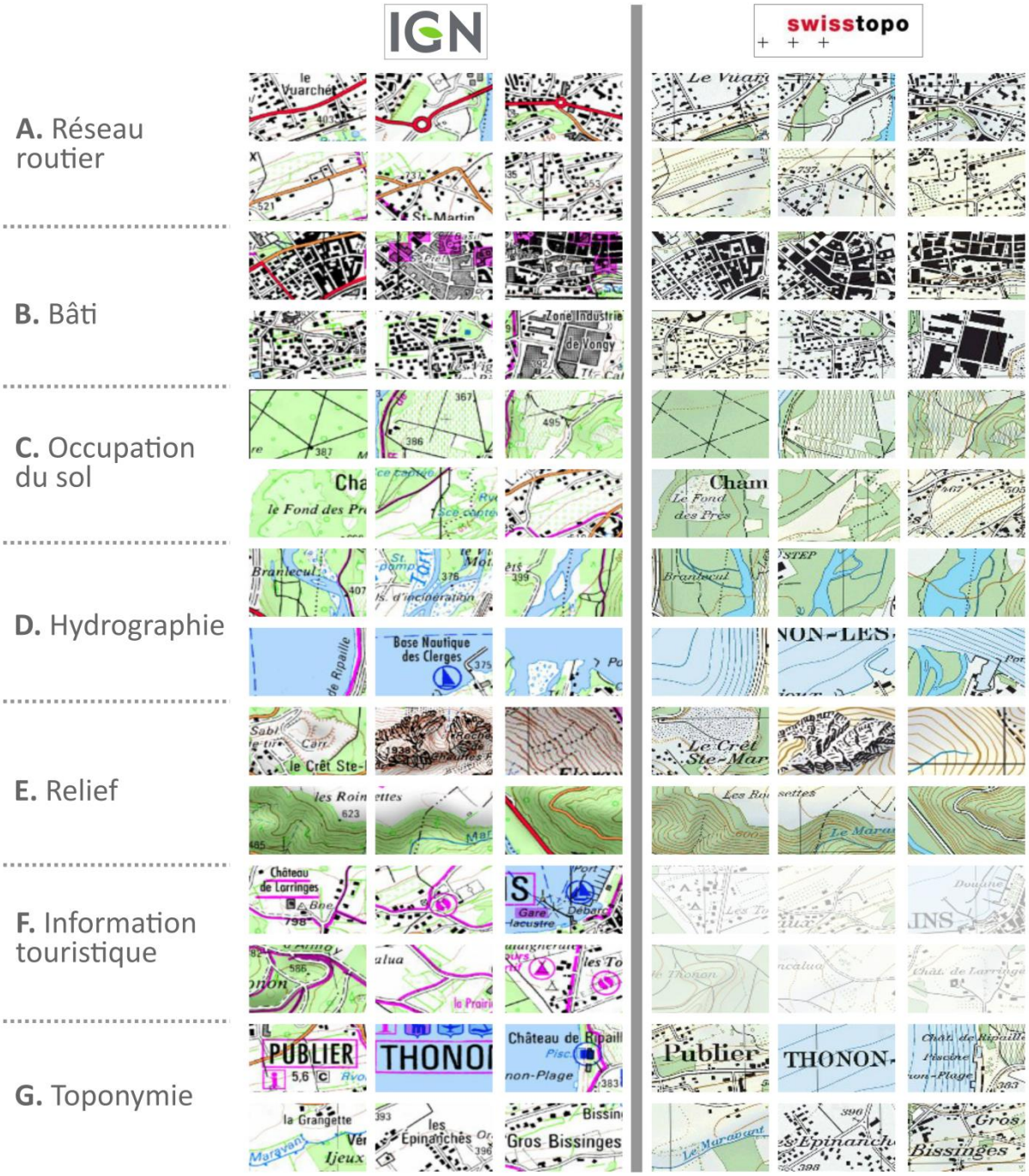



Figure 3.15 Liste des signes distinctifs identifiés et classés par thème cartographique pour chacun des deux producteurs de cartes IGN et Swisstopo (IGN® et Swisstopo® copyright).

**L'hydrographie**

Quatrièmement, le thème cartographique « hydrographie » porte des signes graphiques, qui rendent distinctive la carte IGN de la carte Swisstopo, et inversement. Nous observons trois types de différences. Premièrement, au niveau des spécifications de sélection de données. Par exemple, nous observons la présence d'une information

bathymétrique, avec la représentation des isobares[100] sur la carte topographique Swisstopo. Cette information n'est pas représentée sur la carte topographique IGN. Deuxièmement, nous observons des différences significatives sur la délimitation géométrique des objets hydrographiques représentés. La partie D de la Figure 3.15 illustre ces différences. Il s'agit de différences de spécifications de sélection. Nous pouvons observer que les formes du lit de la rivière sont fondamentalement différentes. Troisièmement, au sein de la carte topographique IGN, nous notons l'utilisation d'un bleu vif unique pour représenter l'ensemble des objets cartographiques appartenant au thème hydrographie, quelle que soit leur nature. Inversement, au sein de la carte topographique Swisstopo, la variable visuelle « couleur » est utilisée à travers la spécification de deux nuances de bleu pour distinguer les eaux courantes (bleu acier) des eaux stagnantes (bleu clair).

**Le relief**

Cinquièmement, le thème cartographique « relief » porte des signes graphiques, qui rendent distinctive la carte IGN de la carte Swisstopo, et inversement. Nous observons deux types de différences. Tout d'abord, au niveau de la construction de légende, où deux façons de représenter le rocher s'opposent. Bien que le rocher soit représenté en noir par les deux agences nationales de cartographie, nous observons une différence dans le trait du dessin qui est hérité de l'époque, où les cartographes dessinaient encore les cartes topographiques à la main. Les manières de dessiner le rocher côté IGN et côté Swisstopo se trouvent ainsi représentatives de la pratique cartographique de chacune de ces deux agences. La deuxième différence observée est sur les spécifications de généralisation des courbes de niveau, notamment les opérations de simplifications : les courbes de niveau sur les cartes Swisstopo sont plus lissées que sur les cartes topographiques IGN. Par ailleurs, nous observons une différence colorimétrique entre l'ombrage IGN, grisâtre, et l'ombrage Swisstopo, jaunâtre. La partie E de la Figure 3.15 illustre l'ensemble de ces différences de représentations au niveau du relief.

**L'information touristique**

Sixièmement, le thème cartographique « information touristique » porte des signes graphiques, qui rendent distinctive la carte IGN de la carte Swisstopo, et inversement. Il s'agit là d'une différence d'intention entre les deux agences nationales de cartographie. L'agence IGN a choisi de préfigurer par défaut l'information thématique « information touristique ». Cette différence est observable sur la partie F de la Figure 3.15. Par ailleurs, nous observons que l'information touristique est représentée avec la couleur magenta. Il s'agit d'une couleur vive et brillante, qui contraste ce thème avec le reste des informations topographiques présentes dans la carte. Cette information thématique se trouve ainsi visuellement prédominante dans les cartes topographiques IGN pour correspondre à certains usages des utilisateurs : randonnées, tourisme montagnard et balnéaire, etc.

[100] https://fr.wikipedia.org/wiki/Isobare_%28m%C3%A9t%C3%A9orologie%29

**La toponymie**

Pour finir, nous nous intéressons à des signes graphiques particuliers : les signes textuels. En effet, les cartes contiennent des signes textuels, appelés toponymes. Ces derniers représentent les noms de lieux. Nous observons une utilisation similaire des variables visuelles « taille » et « couleur » pour chacune des deux agences de cartographie IGN et Swisstopo, qui leur permet de hiérarchiser et catégoriser les lieux à désigner.

Notre méthode de comparaison visuelle a permis d'identifier les principes d'abstraction cartographique rendant certains signes graphiques visuellement distinctifs des signes graphiques d'une autre carte.

### 3.3.4 Synthèse des connaissances acquises par l'étude de cartes

Nos deux analyses, analyse de l'évolution de la légende à travers le temps (1) et comparaison de légendes topographiques sur une même zone géographique (2), ont permis d'identifier des propriétés visuelles qui rendent certains signes graphiques prédominants à travers le temps (1) et des signes graphiques visuellement distinctifs (2). L'existence de ces signes graphiques est conditionnée par les choix d'abstraction cartographique effectués : sélection de données, généralisation cartographique ou bien encore construction de légende. Nous synthétisons les connaissances acquises par ces deux analyses au sein d'un tableau de synthèse illustré par la Figure 3.16. En colonne, nous positionnons les propriétés visuelles rendant un signe graphique visuellement prédominant, il s'agit donc de propriétés visuelles constantes à travers le temps. En ligne, nous positionnons les thèmes cartographiques visuellement distinctifs identifiés. Une lecture croisée de ce tableau permet de souligner explicitement les instances des propriétés visuelles qui rendent certains objets cartographiques visuellement distinctifs. À titre d'exemple, si l'on considère la première ligne de ce tableau, le réseau routier des cartes topographiques IGN est visuellement distinctif grâce à deux principaux critères : l'utilisation de couleurs vives, rouges et orange, et une amplification géométrique des objets ronds-points. Par ailleurs, en plus des sept thèmes cartographiques, nous ajoutons les propriétés visuelles du fond de carte que nous pensons distinctives des pratiques cartographiques des deux agences de cartographie. Le fond des cartes topographiques IGN est représenté en blanc alors que le fond des cartes topographiques Swisstopo est représenté en gris. La couleur utilisée pour représenter les fonds des cartes a toute son importance, puisqu'elle conditionne de nombreux contrastes dans la carte.

| | | Forme | | Couleur | | Texture | | Typographie | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | IGN | Swisstopo | IGN | Swisstopo | IGN | Swisstopo | IGN | Swisstopo |
| Réseau routier | | rond points amplifiés | courbures lissées | couleurs chaudes hiérarchisées : rouge, orange, jaune | blanc | | | | |
| Bâti | bâti individuel | amplifiée | objets différenciés | noir | noir | | | | |
| | bâti industriel | objets typifiés | objets typifiés et agrégés | gris | noir | | | | |
| Occupation du sol | | | objets simplifiés, caricaturés et agrégés | vert vif et brillant | vert mate et terne | à base de ponctuels et pictogrammes | à base de linéaires | | |
| Hydrographie | eaux de surface | | | bleu vif | bleu clair | | | | |
| | eaux courantes | | | une couleur bleu unique | bleu acier | | | | |
| | bathymétrie | Absence | courbures lissées | Absence | bleu foncé | | | | |
| Relief | Ombrage | | | gris | jaunâtre | | | | |
| | Rocher | | | noir | noir | | | | |
| | Courbes de niveau | | courbures lissées | marron | marron | | | | |
| Information touristique | Itinéraire | | Absence | magenta | Absence | | | | |
| | POI | | Absence | magenta | Absence | | | | |
| Toponymie | | | | noir | noir | | | sans empattement | avec empattement |
| Fond | | | | blanc | gris | | | | |

Figure 3.16 Synthèse des connaissances acquises par l'étude de cartes.

Par notre étude de cartes, nous avons montré l'existence de signes graphiques prédominants et distinctifs. Toute la difficulté réside dans leurs extractions pour former des candidats à la caractérisation d'une signature visuelle.

### 3.3.5 Extraction de signes graphiques candidats à la caractérisation des signatures visuelles IGN et Swisstopo

Nous avons opté pour une sélection « experte », qui consiste à s'appuyer sur notre expertise cartographique et notre familiarité avec les cartes topographiques IGN et Swisstopo, pour extraire les signes graphiques que nous pensons les meilleurs candidats à la caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo. Dans la suite de ce mémoire, nous nommons les signes graphiques extraits : signes graphiques candidats ; il s'agit d'un ensemble d'objets cartographiques généralisés et symbolisés candidat à la caractérisation d'une signature visuelle d'une famille cartographique.

Nous avons sélectionné un ensemble de cartes topographiques au 1:25 000$^{ème}$. Pour les cartes topographiques IGN, il s'agit de cartes construites à partir des spécifications de

légende de type 72 et type 93 fournies par le Géoportail. Les cartes topographiques Swisstopo utilisées sont celles fournies par le guichet cartographique Swisstopo, il s'agit de cartes construites à partir des spécifications de légende de la carte Siegfried. Par ailleurs, ces différentes cartes topographiques représentent des espaces géographiques de différentes natures pour chacune des deux agences de cartographie. Le contenu cartographique de ces cartes est représentatif de l'ensemble des cartes topographiques produites par chacune des deux agences de cartographie IGN et Swisstopo.

Nous utilisons les connaissances acquises par la construction des continuums : identification des propriétés visuelles rendant un signe graphique prédominant, et les connaissances acquises par la méthode de comparaison visuelle : identification des signes graphiques distinctifs. Nous prenons la décision d'extraire des signes graphiques lorsque nous jugeons que ceux-ci sont représentatifs des principes d'abstraction cartographique mobilisés par le producteur de cartes et par conséquent constituent de bons candidats à la caractérisation de la signature visuelle. La Figure 3.17 illustre le principe d'extraction des signes graphiques candidats.

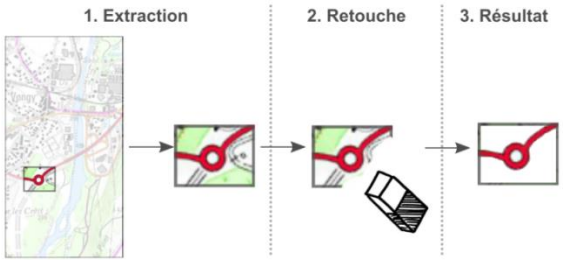



Figure 3.17 Principe d'extraction des signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle.

Un morceau de la carte topographique, contenant les signes graphiques candidats, est extrait de la carte à l'aide d'un logiciel d'édition d'image[101]. Le morceau de carte est ensuite retouché afin de ne conserver que les signes graphiques que l'on souhaite mettre en avant. Les signes graphiques candidats sont exposés au sein d'une vignette rectangulaire dont le fond est blanc pour la famille cartographique IGN et gris pour la famille cartographique Swisstopo. Les couleurs des fonds permettent d'exposer les signes graphiques en cohérence avec leurs représentations originelles, i.e. reprendre les couleurs de fond présentes dans la carte topographique dont elle est issue. Ce choix est notamment guidé par la volonté de recréer un contraste coloré similaire à celui présent dans la carte.

Certaines extractions de signes graphiques spatialement non continus dans la carte ont été rapprochées au sein d'une même vignette afin d'obtenir des signes graphiques candidats. Par exemple, les toponymes sont rapprochés et exposés comme un seul groupe. Il a été fait de même pour les pictogrammes représentant les points d'intérêt touristique et les infrastructures humaines légères, appartenant au thème cartographique « bâti ». Le rapprochement de ces signes graphiques permet d'amplifier leur représentativité et d'obtenir des candidats.

[101] Le logiciel GIMP.

Seize signes graphiques candidats ont été extraits pour chacun des deux producteurs de cartes permettant de retranscrire finement le contenu thématique et graphique des cartes topographiques produites par chacune des agences. La Figure 3.18 représente l'ensemble des signes graphiques candidats qui ont été extraits pour chacune des familles cartographiques IGN et Swisstopo. Ces signes graphiques candidats mettent en avant les processus d'abstraction cartographique utilisés par chacune des agences de cartographie IGN et Swisstopo : la sélection de données géographiques, la généralisation cartographique et les choix de construction de légende ainsi que des configurations spatiales héritées de la forme et de la distribution spatiale des données géographiques utilisées. Les signes graphiques candidats sont catégorisés et exposés par thème cartographique, correspondant aux thèmes cartographiques portant les signes graphiques distinctifs identifiés au sein de notre méthode de comparaison visuelle (cf. section 3.2.2).

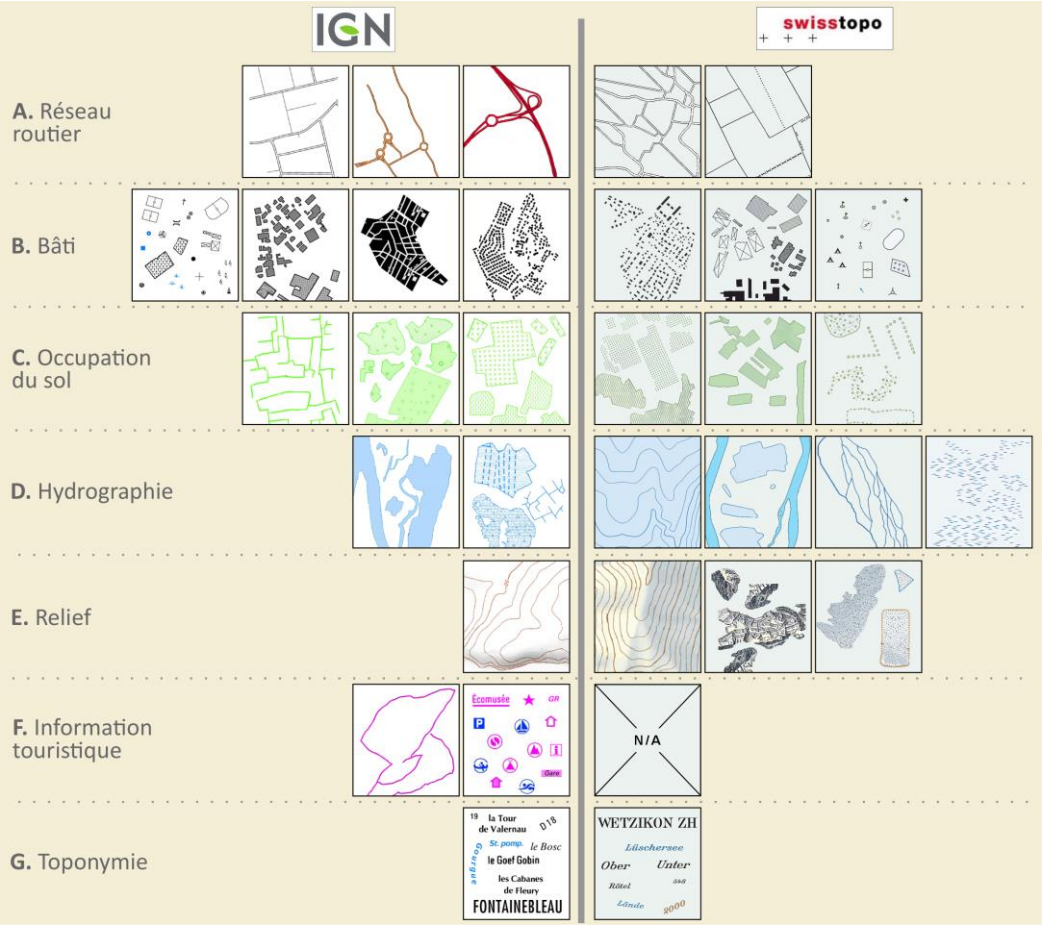



Figure 3.18 Signes graphiques candidats extraits d'un ensemble de cartes topographiques IGN et Swisstopo au 1:25 000ème (IGN® et Swisstopo® copyright).

Pour un même thème cartographique, le nombre de signes graphiques candidats est différent entre la famille cartographique IGN et Swisstopo :

A. **Réseau routier :** Nous sélectionnons trois signes graphiques candidats pour l'agence de cartographie IGN et deux pour l'agence Swisstopo. La hiérarchie du réseau routier est représentée grâce à l'utilisation de la variable visuelle couleur côté IGN, présentant une plus grande diversité de représentations que du côté Swisstopo. Par conséquent, un plus

grand nombre de signes graphiques candidats est nécessaire pour représenter la famille cartographique IGN.

B. **Bâti :** Nous sélectionnons quatre signes graphiques candidats pour l'agence de cartographie IGN et trois pour l'agence Swisstopo. Ils représentent les centres urbains denses, les bâtiments individuels, les bâtiments industriels et diverses infrastructures humaines (stade, cimetière, etc.). Pour la famille cartographique Swisstopo, nous avons fait le choix de regrouper le bâti dense avec le bâti industriel au sein d'un même signe graphique candidat, jugeant l'un et l'autre individuellement pas suffisamment représentatif de la pratique cartographique du producteur.

C. **Occupation du sol** : Nous sélectionnons trois signes graphiques candidats pour l'agence de cartographie IGN et Swisstopo, représentant trois natures d'occupation du sol : haies, forêts et vergers. D'après notre étude de cartes, il s'agit des trois natures d'occupation du sol des espaces géographiques dont sont en charge les deux agences de cartographie.

D. **Hydrographie** : Nous sélectionnons deux signes graphiques candidats pour l'agence de cartographie IGN. La nature de l'espace géographique suisse et la prédominance de ce thème cartographique dans les cartes Swisstopo nous invite à sélectionner quatre signes graphiques candidats afin de représenter efficacement la diversité graphique de ce thème : bathymétrie, eaux stagnantes, eaux courantes et marais.

E. **Relief** : Nous sélectionnons un seul signe graphique candidat pour l'agence de cartographie IGN et trois pour l'agence Swisstopo. La nature de l'espace géographique suisse et la prédominance de ce thème cartographique dans les cartes nous invite à sélectionner trois signes graphiques candidats afin de représenter efficacement la diversité graphique ce thème : ombrage + courbe de niveau, dessin du rocher et talus + éboulis.

F. **Information touristique** : Nous sélectionnons deux signes graphiques candidats pour représenter cette information thématique côté IGN. La saillance de cette information thématique sur les cartes topographiques IGN mérite qu'elle soit évaluée précisément. Cette information n'est pas représentée côté Swisstopo.

G. **Toponymie** : Pour chacune des agences de cartographie IGN et Swisstopo, nous sélectionnons un signe graphique candidat représentant la toponymie et la typographie associée. Les signes graphiques candidats sont composés de plusieurs toponymes, qui ont été extraits et rapprochés.

Dans ce chapitre, nous avons détaillé l'ensemble de notre approche, de la proposition d'un cadre unificateur, la proposition des concepts de signature visuelle et famille cartographique, à la proposition d'un modèle de style topographique. Nous avons également proposé une approche en deux temps permettant de valider et d'instancier notre modèle de style topographique. La mise en œuvre de la première partie : étude de cartes, nous a permis d'identifier les signes graphiques prédominants et distinctifs, et d'extraire les signes graphiques candidats pour la caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo.

À présent, nous souhaitons identifier les signes graphiques candidats reconnus par les utilisateurs afin de caractériser la signature visuelle des familles cartographiques IGN et Swisstopo. Dans le même temps, nous souhaitons également valider que notre cadre

unificateur dispose bien des principaux ingrédients que l'on attribue au style topographique. En ce sens, nous mettons en œuvre la deuxième partie de notre approche : l'étude des utilisateurs.

# Chapitre 4.
# Validation et exploitation du modèle de style topographique

**4.1 Objectifs et hypothèses des expérimentations utilisateurs ..... 168**
**4.2 Protocole d'expérimentation ..... 169**
4.2.1 Matériel de l'expérimentation : cartes topographiques et signes graphiques candidats ..... 170
4.2.2 Participants ..... 180
4.2.3 Détails du protocole ..... 181
**4.3 Analyse des résultats pour la famille cartographique IGN ..... 186**
4.3.1 Profil des participants ..... 186
4.3.2 Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique IGN parmi d'autres ..... 189
4.3.3 Identification des ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle des cartes de la famille cartographique IGN ..... 190
4.3.4 Évaluation du rôle de la toponymie et de la typographie ..... 194
4.3.5 Identification des signes graphiques perçus et mémorisés pour la famille cartographique IGN ..... 195
**4.4 Analyse des résultats pour la famille cartographique Swisstopo ..... 199**
4.4.1 Profil des participants ..... 199
4.4.2 Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique Swisstopo parmi d'autres ..... 202
4.4.3 Identification des ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle des cartes de la famille cartographique Swisstopo ..... 203
4.4.4 Évaluation du rôle de la toponymie et de la typographie ..... 207
4.4.5 Identification des signes graphiques perçus et mémorisés pour la famille cartographique Swisstopo ..... 209
**4.5 Résultats majeurs et discussion sur le protocole d'expérimentation ..... 212**
4.5.1 Résultats majeurs ..... 213
4.5.2 Forces et limites de notre protocole d'expérimentation ..... 213
**4.6 Qualification et caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo ..... 216**
4.6.1 Qualification d'une signature visuelle ..... 216
4.6.2 Caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo ..... 219
**4.7 Description des cas d'application : besoins, problématique et proposition d'un guide de rédaction ..... 224**
4.7.1 Cas d'application 1 : produire de nouvelles cartes topographiques appartenant à une famille cartographique en modifiant certaines spécifications de légende ..... 225
4.7.2 Cas d'application 2 : produire de nouvelles cartes topographiques à partir d'un jeu de données cartographiques d'une autre agence nationale de cartographie ..... 231

Dans ce chapitre, nous présentons la mise en place et les résultats de deux expérimentations utilisateur visant à valider notre modèle de style topographique et caractériser les signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo. Dans un premier temps, nous présentons les objectifs que nous souhaitons atteindre et les hypothèses (4.1) qui guident notre protocole d'expérimentation (4.2). Dans un second temps, nous exposons les résultats obtenus pour la famille cartographique IGN (4.3) puis Swisstopo (4.4). Dans un troisième temps, nous présentons une synthèse des résultats obtenus et nous ouvrons une discussion sur notre protocole d'expérimentation (4.5). Ensuite, nous caractérisons les signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo (4.6) et nous proposons un guide de rédaction cartographique pour deux cas d'application (4.7), sur lesquels nous mettons en œuvre notre modèle de style topographique (4.8).

Pour faciliter la lecture de ce chapitre, des encarts colorés permettent d'identifier visuellement le contenu du texte. Les encarts rouge clair présentent les objectifs des expérimentations utilisateur. Les encarts vert clair contiennent les hypothèses de travail. Les encarts jaunes font référence aux questions posées dans chacune des expérimentations.

## 4.1 Objectifs et hypothèses des expérimentations utilisateurs

Nous cherchons à comprendre les relations de causalité intervenant dans la formalisation du style topographique en recueillant un ensemble de résultats par observation. Les trois objectifs majeurs de ces expérimentations utilisateurs sont :

**1**. Évaluer si les utilisateurs sont capables de reconnaître visuellement la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique IGN ou Swisstopo ;

**2**. Identifier les ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique IGN ou Swisstopo ;

**3**. Caractériser la signature visuelle des familles cartographiques IGN et Swisstopo par les utilisateurs.

Pour atteindre ces objectifs, nous formulons quatre hypothèses directrices qui vont guider notre protocole d'expérimentation, i.e. le choix du matériel de l'expérimentation et les tâches que les utilisateurs devront réaliser au sein de l'expérimentation :

**H1.** Les utilisateurs sont capables de reconnaître la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique.

**H2.** La symbolisation et la forme des objets cartographiques jouent un rôle important dans la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique (H2.1). Certains thèmes cartographiques sont plus significatifs que d'autres dans la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique (H2.2). La toponymie et la typographie jouent un rôle important dans la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique (H2.3).

**H3.** Les utilisateurs mémorisent certains signes graphiques à travers un usage répété de cartes topographiques d'une même famille cartographique.

**H4.** Certains signes graphiques sont visuellement saillants et constituent des stimuli visuels permettant d'associer une carte topographique à une famille cartographique.

À travers la mise en place de ces expérimentations utilisateur, nous nous intéressons à trois principaux ingrédients de notre modèle de style : **les utilisateurs (1), les signatures visuelles (2) et les familles cartographiques (3)**. Par conséquent, la construction du protocole d'expérimentation est structurée de manière à évaluer en priorité ces trois ingrédients et tout particulièrement : identifier les signes graphiques candidats reconnus par des utilisateurs experts (1) pour caractériser les signatures visuelles (2) des familles cartographiques IGN et Swisstopo (3). Par ailleurs, grâce à des questions dédiées à cet effet, nous nous intéressons à différents ingrédients de notre cadre unificateur : l'espace géographique, la symbolisation des objets cartographiques (i.e. couleur et texture), les thèmes cartographiques représentés par la carte, le niveau de généralisation des objets

cartographiques (i.e. la forme des objets). Il s'agit d'une part de vérifier que notre cadre unificateur dispose bien de tous les ingrédients et d'autre part d'évaluer leur poids dans la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique donnée.

## 4.2 Protocole d'expérimentation

Le protocole regroupe la description des conditions de mise en œuvre et le déroulement précis des expérimentations.

Pour chacune des deux expérimentations, l'objectif est de récolter des informations auprès de participants possédant un haut niveau d'expertise dans la lecture, et l'interprétation de cartes topographiques, i.e. qui utilisent régulièrement des cartes topographiques au sein de leurs activités professionnelles : des cartographes, des chercheurs en géographie et cartographie, des professionnels de la cartographie, etc. ou au travers de leurs loisirs (randonnées, voyages, etc.). Par ailleurs, nous souhaitons atteindre des participants qui possèdent une connaissance fine du territoire représenté et de ses caractéristiques spatiales, i.e. majoritairement des participants de nationalité française pour l'expérimentation IGN et des participants résidents en Suisse pour l'expérimentation Swisstopo.

Chaque expérimentation se présente sous la forme d'un questionnaire non supervisé et anonyme, déployé sur un site web[102]. Le questionnaire complet tel qu'il a été présenté aux participants pour l'expérimentation IGN est restitué en Annexe B1 et en Annexe B2 pour l'expérimentation Swisstopo. Au sein de ces deux annexes, les cartes sont restituées avec des dimensions identiques à celles utilisées pour la diffusion des expérimentations. Dans la suite de ce chapitre, nous utilisons ces mêmes cartes sous forme miniature à cause des contraintes de format du manuscrit.

L'expérimentation utilisateur IGN a été diffusée une première fois pendant la 26ème Conférence Internationale de Cartographie[103] à Dresden, puis une seconde fois sur la mailing liste francophone de Géographie Geotamtam[104]. Cette expérimentation est restée ouverte un mois du 25 Août 2013 au 25 septembre 2013.

L'expérimentation Swisstopo a été diffusée du 15 Juin 2013 au 15 septembre 2013 sur différents canaux de communication à destination de professionnels en cartographie et en Sciences de l'Information Géographique :

- SGK (Schweizerische Gesellschaft für Kartografie) - Société Suisse de Cartographie[105] : Il s'agit d'une association de professionnels et d'utilisateurs Suisses en cartographie et Sciences de l'Information Géographique.

[102] Le framework LimeSurvey écrit en PHP et qui repose sur la base de données MySQL a été utilisé pour diffuser les deux expérimentations : https://www.limesurvey.org/
[103] http://icaci.org/icc2013/
[104] https://sympa.unil.ch/wws/info/geotamtam
[105] http://kartografie.ch

- Institute of Cartography and Geoinformation[106] - ETH Zürich : Il s'agit des étudiants de l'Institut de Cartographie et de Sciences de l'Information Géographique de l'école polytechnique fédérale de Zurich.
- Geobeer Switzerland[107] : Il s'agit d'une communauté d'utilisateurs Suisses passionnés de géographie, de cartographie et de Sciences de l'Information Géographique. Ils se rencontrent régulièrement pour échanger sur l'actualité de ces domaines.
- Department of Geography[108] - University of Zürich : Il s'agit des étudiants appartenant au département de Géographie de l'Université de Zürich.
- COGVIS[109] (Commission on Cognitive Issues in Geographic Information Visualization) : Il s'agit des membres de l'ACI (Association Internationale de Cartographie) s'intéressant aux questions cognitives appliquées à la cartographie.

Au sein de cette section, nous présentons notre protocole d'expérimentation pour les deux expérimentations utilisateur. Nous présentons tout d'abord le matériel d'étude (4.2.1) puis nous fournissons une description des participants (4.2.2) enfin nous détaillons les protocoles complets (4.2.3).

### 4.2.1 Matériel de l'expérimentation : cartes topographiques et signes graphiques candidats

Dans cette sous-section, nous détaillons le matériel d'étude utilisé au sein des deux expérimentations IGN et Swisstopo, i.e. les cartes topographiques, les signes graphiques candidats et les échantillons de toponymes.

#### Sélection experte de cartes topographiques

L'objectif n° 1 est d'évaluer si les utilisateurs sont capables de reconnaître visuellement la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique IGN ou Swisstopo ;

Pour atteindre cet objectif, nous proposons de sélectionner un ensemble de cartes topographiques de différents pays afin de tester si les participants sont capables d'identifier leur origine, i.e. le producteur pour chacune des cartes.

Avec la volonté d'identifier et de sélectionner le matériel le plus approprié pour représenter et étudier les deux familles cartographiques IGN et Swisstopo au sein des deux expérimentations, nous avons analysé de nombreuses spécifications, soit sur la construction des bases de données géographiques et cartographiques servant à la production des cartes topographiques, soit sur les règles de conception cartographique utilisées pour la production des cartes topographiques : généralisation et construction de légende. Par ailleurs, nous avons également mené une série d'entretiens auprès d'experts cartographes pour chacune des agences nationales de cartographie. Les protocoles complets de ces entretiens sont présentés en Annexes A de ce mémoire. Selon ces

[106] ttps://www.ethz.ch/content/specialinterest/baug/institute-ikg/institute-ikg/en.html
[107] http://www.geobeer.ch/
[108] http://www.geo.uzh.ch/en.html
[109] http://cogvis.icaci.org/

experts, les cartes topographiques au 1:50 000ème sont les cartes topographiques les plus représentatives des pratiques cartographiques des deux agences nationales de cartographie IGN et Swisstopo. Pour les mêmes raisons que celles détaillées en introduction de la section 3.3.1 nous avons sélectionné un ensemble de cartes topographiques au 1:25 000ème que l'on pense représentatives des pratiques cartographiques de chacune des deux agences nationales de cartographie IGN et Swisstopo, mais aussi des différents types d'espaces géographiques qu'il est possible de trouver en France et en Suisse : milieu urbain, milieu rural, milieu maritime et milieu montagnard.

Par ailleurs, pour déterminer le profil des participants et évaluer la reconnaissance des cartes topographiques IGN et Swisstopo parmi d'autres, nous avons également sélectionné des cartes topographiques produites par d'autres agences de cartographie : Institut Cartographique de Catalogne[110] (ICC - Espagne), Administration du Cadastre et de la Topographie [111] (ACT - Luxembourg), Ordnance Survey [112] (Royaume-Uni), Land Information of New-Zealand [113] (LINZ - Nouvelle-Zélande), Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [114] (BEV - Autriche). Certaines des cartes topographiques sont communes aux deux expérimentations, cependant pour une meilleure compréhension, nous détaillons séparément les cartes topographiques sélectionnées pour l'expérimentation IGN de celles sélectionnées pour l'expérimentation Swisstopo.

**Les cartes topographiques utilisées pour l'expérimentation utilisateur IGN**

Pour l'expérimentation utilisateur IGN, nous avons sélectionné :

**1. six cartes topographiques IGN**, cinq au 1:25 000ème et une au 1:50 000ème. Ces cartes illustrées par les miniatures présentées en Figure 4.1 ont été extraites du Géoportail[115]. Elles représentent des territoires différents : milieu urbain, milieu rural, milieu maritime, milieu de moyenne montagne, dont nous jugeons le contenu géographique représentatif des configurations spatiales qu'il est possible de trouver sur le territoire français. La carte au 1 :50 000ème représente un territoire Italien (en bas à gauche de la Figure 4.1).

[110] http://www.icc.cat/
[111] http://www.act.public.lu/fr/index.html
[112] https://www.ordnancesurvey.co.uk/
[113] http://www.linz.govt.nz/
[114] http://www.bev.gv.at/
[115] http://tab.geoportail.fr/

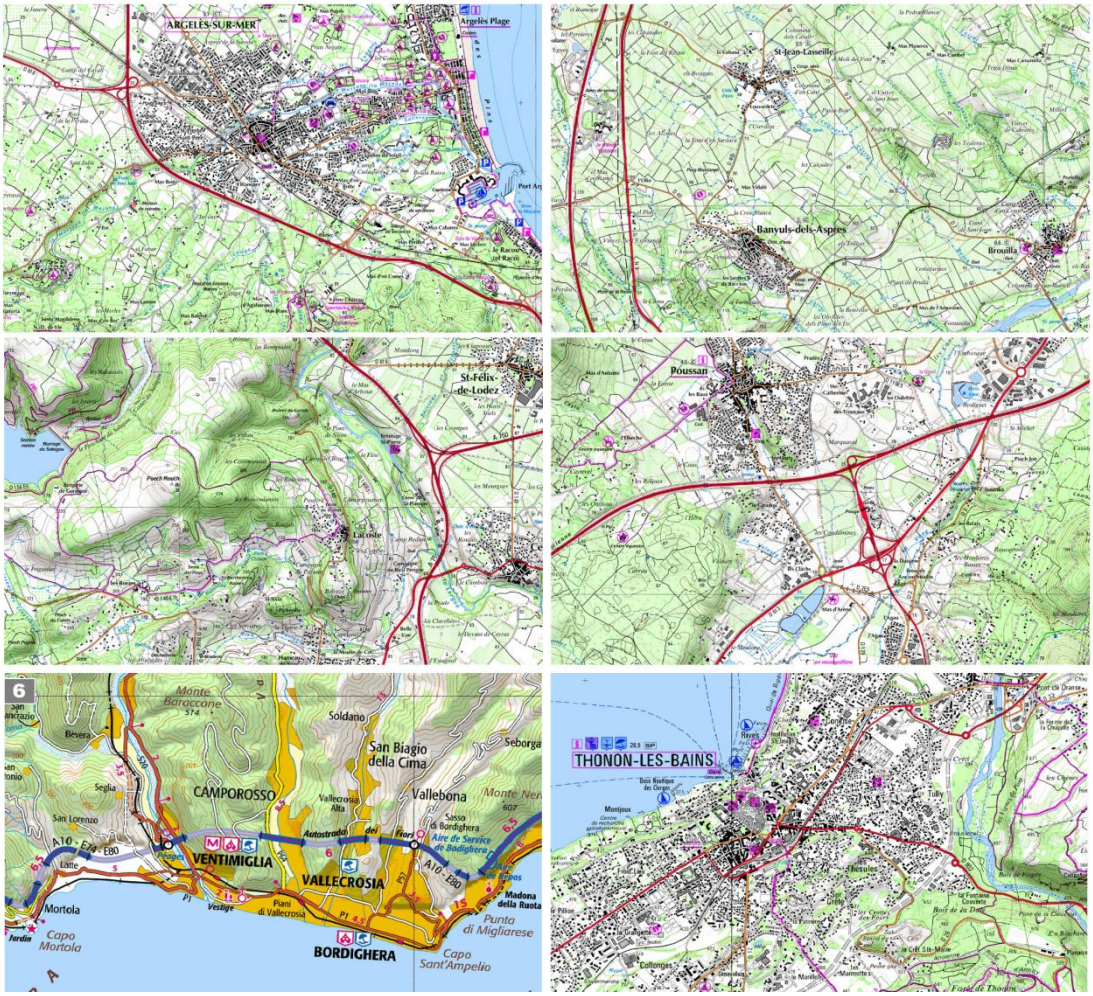



Figure 4.1 Cartes topographiques sélectionnées pour représenter la famille cartographique IGN (représentées ici en miniatures - IGN® copyright).

**2. six cartes topographiques produites par d'autres agences de cartographie :** deux cartes topographiques produites par l'agence de cartographie Swisstopo, 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). Il s'agit de cartes topographiques au 1:25 000$^{ème}$ ou à une échelle proche pour visuellement correspondre aux six cartes topographiques sélectionnées en (1). La Figure 4.2 illustre les miniatures de ces différentes cartes topographiques.

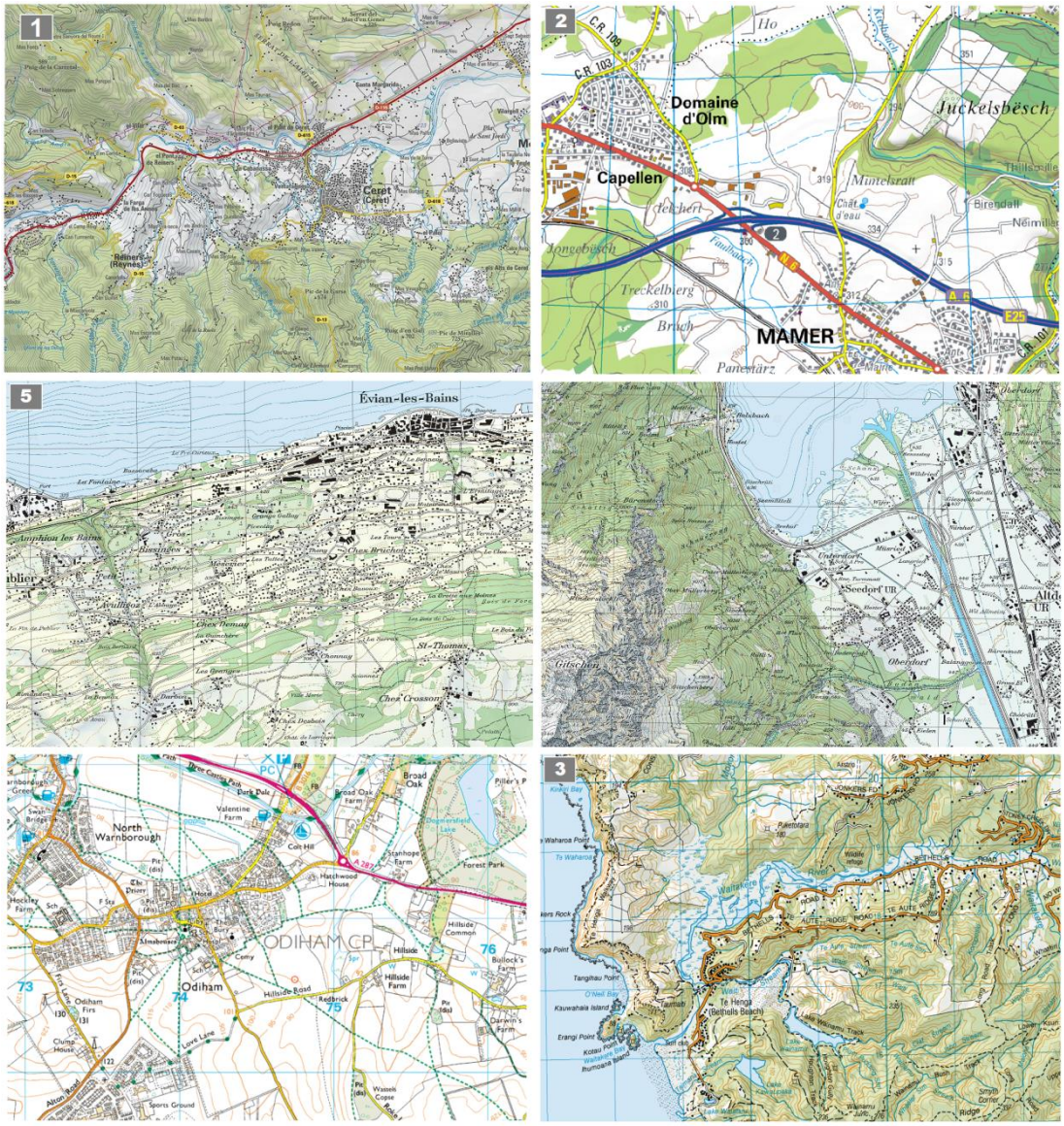



Figure 4.2 Cartes topographiques sélectionnées pour déterminer le profil des participants et évaluer la reconnaissance d'une carte topographique IGN (représentées ici en miniatures).

Nous avons sélectionné ces cartes soit pour leur proximité visuelle avec les cartes topographiques IGN au 1:25 000ème, i.e. que nous avons considéré que les propriétés visuelles (couleurs et formes) générées par la généralisation et/ou la construction de légende étaient proches de celles d'une carte topographique IGN au 1:25 000ème, soit pour leur contenu géographique proche du contenu que l'on peut trouver en France, i.e. des objets cartographiques de nature semblable ou des contextes géographiques similaires.

**Les cartes topographiques utilisées pour l'expérimentation utilisateur Swisstopo**

De la même manière, pour l'expérimentation utilisateur Swisstopo, nous avons sélectionné :

**1. cinq cartes topographiques Swisstopo au 1:25 000ème**. Ces cartes illustrées par les miniatures présentées en Figure 4.3 ont été extraites du guichet cartographique Swisstopo[116] et du Géoportail[117]. Ces cartes topographiques représentent des territoires différents dont nous jugeons le contenu géographique représentatifs des configurations spatiales qu'il est possible de trouver sur le territoire Suisse : milieu urbain, milieu rural et milieu montagnard. Une des cartes représente un territoire français à la frontière franco-suisse : Évian-Les-Bains.

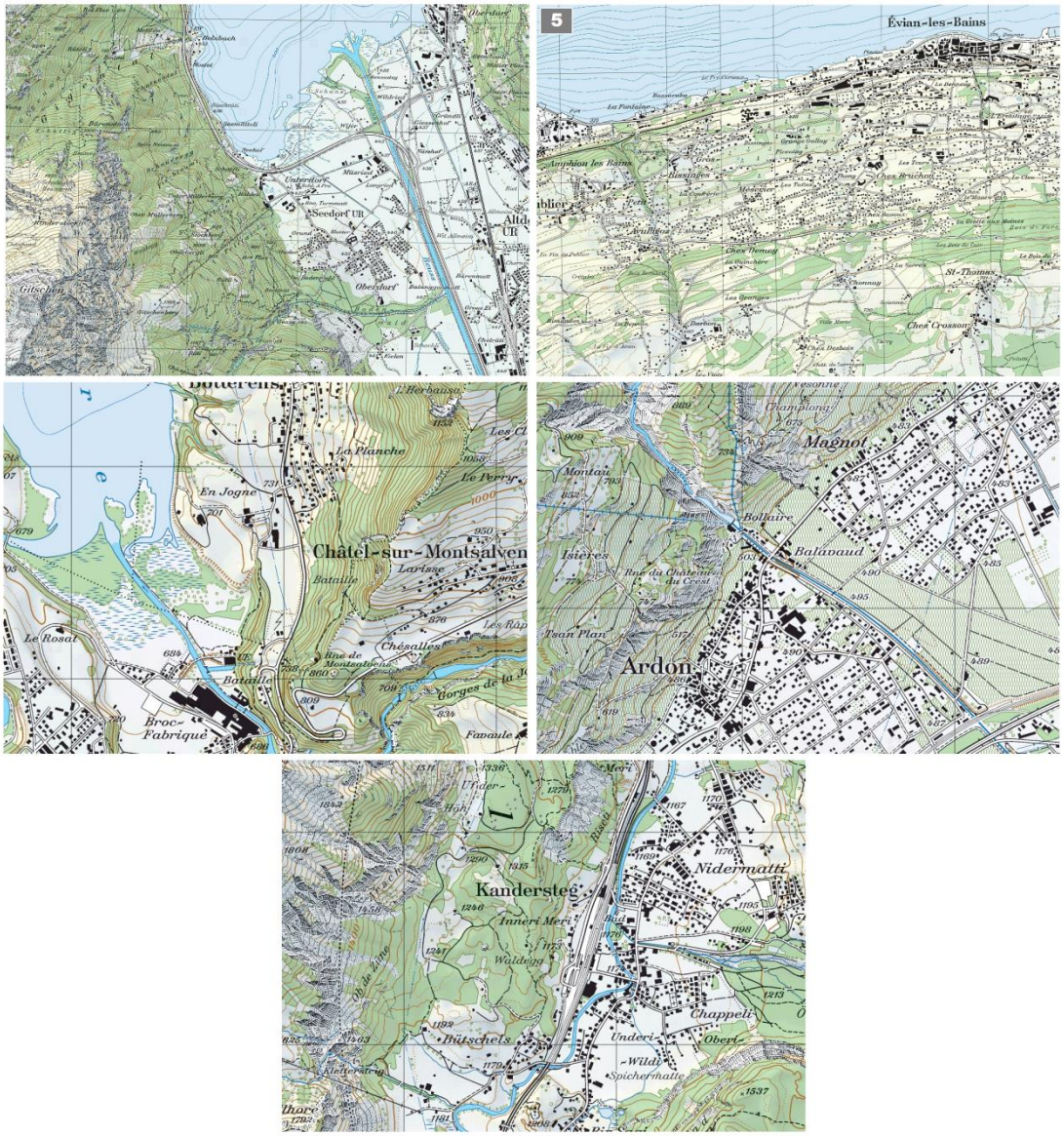



Figure 4.3 Cartes topographiques sélectionnées pour représenter la famille cartographique Swisstopo (représentées ici en miniatures - Swisstopo® copyright).

**2. sept cartes topographiques produites par d'autres agences de cartographie**, trois cartes topographiques produites par l'agence de cartographie IGN, une par l'Ordnance

116 http://www.act.public.lu/fr/index.html

117 Depuis la dernière version du Géoportail, il est possible de consulter les cartographies de certains pays limitrophes : Suisse, Espagne et Luxembourg.

Survey, une par l'Institut Cartographique de Catalogne, une par le Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV - Autriche), et une par Land Information of New-Zealand. Il s'agit de cartes topographiques au 1:25 000ème ou à une échelle proche pour visuellement correspondre aux six cartes topographiques sélectionnées en (1). La Figure 4.4 illustre les miniatures de ces différentes cartes.

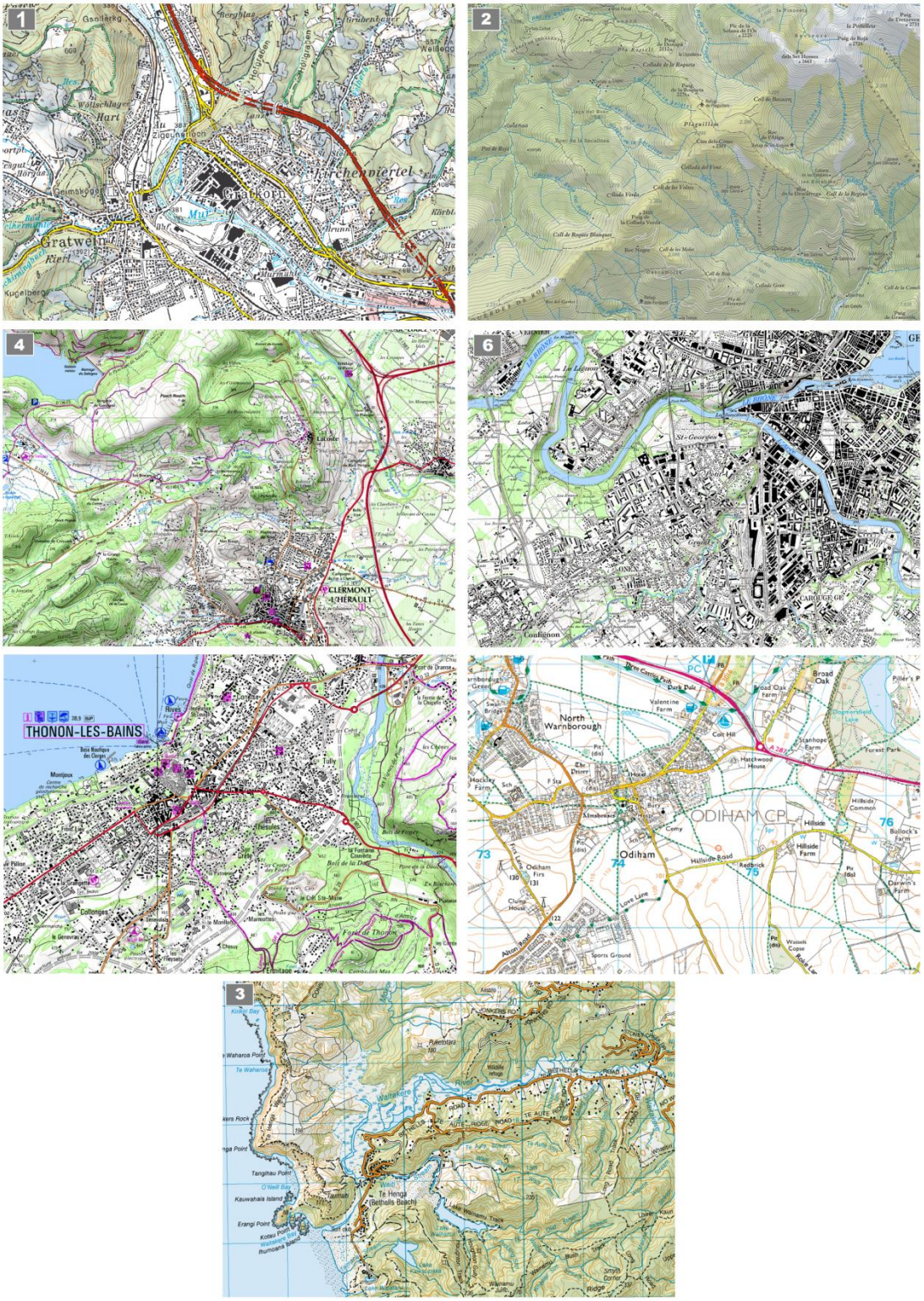



Figure 4.4 Cartes topographiques sélectionnées pour déterminer le profil des participants et évaluer la reconnaissance d'une carte topographique Swisstopo (représentées ici en miniatures - IGN® copyright).

Nous avons sélectionné ces cartes soit pour leur proximité visuelle avec les cartes topographiques Swisstopo au 1:25 000ème, i.e. que nous avons considéré que les propriétés visuelle générées par la généralisation et/ou la construction de légende étaient proches de celles d'une carte topographique Swisstopo au 1:25 000ème, soit pour leur contenu géographique proche du contenu que l'on peut trouver en Suisse, i.e. des objets cartographiques de natures semblables ou des contextes géographiques similaires. Une des cartes IGN représente un territoire Suisse, à la frontière franco-suisse : Genève.

### Sélection experte de signes graphiques candidats

L'objectif n° 3 est de caractériser la signature visuelle des familles cartographiques IGN et Swisstopo par les utilisateurs.

Pour atteindre cet objectif, nous proposons un ensemble de signes graphiques candidats à la caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo. Nous repartons ici de la définition de signes graphiques, telle que présentée dans la sous-section 3.2.1 du chapitre 3. Nous repartons des signes graphiques candidats extrait de plusieurs cartes topographiques numériques IGN et Swisstopo au 1:25 000ème dans la section 3.3.5. Nous rappelons que pour effectuer ces extractions de signes graphiques candidats, nous nous sommes basés à la fois sur les connaissances issues de notre étude des spécifications cartographiques présentées en introduction de cette section et sur les connaissances acquises par l'étude de cartes dans la section 3.2 du chapitre 3. Il s'agit d'extractions de signes graphiques portés par les principaux thèmes cartographiques représentés dans la carte. Ils mettent en évidence les choix cartographiques effectués par le producteur de cartes (schéma de données, généralisation, symbolisation) et les caractéristiques spatiales du territoire représenté. Les signes graphiques sont ensuite présentés au sein d'une vignette dont la couleur du fond correspond à la couleur du fond de la carte source, i.e. un fond blanc pour les cartes topographiques IGN et un fond gris pour les cartes topographiques Swisstopo. Nous considérons les deux jeux de signes graphiques candidats ci-dessous comme représentatifs de l'apparence visuelle et du contenu cartographique des cartes topographiques IGN et Swisstopo.

#### Jeu de signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique IGN

La Figure 4.5 expose les signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique IGN. Les thèmes cartographiques représentés par ces signes graphiques candidats sont les suivants :

1. **le relief :** l'ombrage et les courbes de niveau (1) ;
2. **le réseau routier :** le réseau routier principal (3), le réseau routier secondaire (16) et le réseau routier local (10) ;
3. **le bâti :** le centre urbain dense (7), les bâtiments individuels (12), les bâtiments industriels (14) et diverses infrastructures humaines (4) ;
4. **l'occupation du sol :** les haies (6), les forêts (8) et les vergers (15) ;
5. **l'hydrographie :** les canaux et marais (2) et les surfaces hydrographiques (9) ;
6. **la toponymie et la typographique** (11) ;

7. **l'information touristique** : les itinéraires touristiques (5) et les points d'intérêt touristique (13).

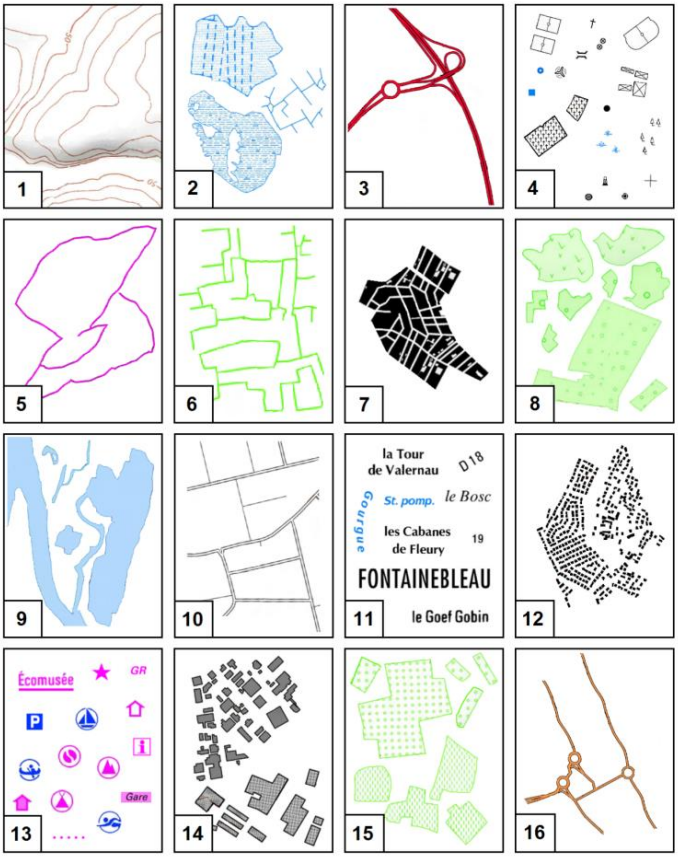



Figure 4.5 Jeux de signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique IGN (IGN® copyright).

**Jeu de signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo**

La Figure 4.6 expose les signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo. Les thèmes cartographiques représentés par ces signes graphiques candidats sont les suivants :

1. **le relief :** l'ombrage et les courbes de niveau (9) et le dessin du rocher (15) ;
2. **le réseau routier :** le réseau routier local (14) et les chemins carrossables (3) ;
3. **le bâti :** les bâtiments individuels (8), les ensembles urbains et les bâtiments industriels (11) et diverses infrastructures humaines (12) ;
4. **l'occupation du sol :** les vergers (2), les forêts (16), les haies et forêts clairsemées (5) et les gravières et talus (13) ;
5. **l'hydrographie :** les marais (1), le réseau hydrographique surfacique (4), les surfaces hydrographiques et les isobathes (7) et le réseau hydrographique linéaire (10) ;
6. **la toponymie et la typographique** (6).

Figure 4.6 Jeux de signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo (Swisstopo® copyright).

Pour compléter ces deux jeux de signes graphiques candidats, nous effectuons également une extraction de toponymes.

### Sélection experte d'échantillons de toponymes

L'objectif n° 2 est de faire identifier par les participants les ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique IGN ou Swisstopo ;

Nous considérons que la toponymie a une influence significative sur l'impression générale produite par la carte. Selon nous, elle constitue une propriété cartographique favorisant la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique (H2.3). Nous pensons que les utilisateurs perçoivent et évaluent les toponymes différemment des autres signes graphiques contenus dans une carte topographique. Les toponymes ont une double fonction, soit ils désignent un lieu : nom de villes, de cours d'eau, zones naturelles, etc., soit ils désignent la nature du lieu : nature d'une route, d'un bâtiment (musée, aéroport, etc.) ou bien encore l'altimétrie d'un point géographique. Afin de distinguer visuellement ces différentes fonctions, la représentation des toponymes se base sur un système de codification visuelle : couleur et typographie. Les toponymes noirs représentent généralement les noms de lieux, les toponymes bleus les noms de cours d'eaux, les toponymes verts les zones naturelles, les toponymes marrons l'altimétrie et les toponymes avec un halo de couleurs la nature d'un réseau routier. De même, il existe des règles de placement très précises, selon la classe à laquelle appartiennent les toponymes.

Par ailleurs, la structure verbale des toponymes peut contenir des particularités, telle que la présence de lettres ou d'accents spéciaux, qui peuvent être perçus comme le signe d'une langue spécifique. L'impression visuelle produite par les signes textuels, que sont les toponymes, dépend dans une large mesure du nombre de lettres et de la structure des mots. Sur le plan visuel, la structure ou la séquence des syllabes de la toponymie jouent un rôle important. Par exemple, des différences dans le nombre et l'ordre des lettres sont souvent suffisantes pour distinguer l'origine d'une carte. Lorsqu'un toponyme représente un mot étranger, il peut arriver qu'une fraction importante des utilisateurs ne reconnaisse pas la langue étrangère qui correspond aux termes utilisés. Cette structure particulière de la toponymie est alors visuellement prédominante pour l'utilisateur et attire son attention. Par conséquent, il se souviendra distinctement de ce détail. Par ailleurs, les signes textuels possèdent une impression phonétique en plus de l'impression visuelle. C'est pourquoi il est justifié d'adopter une approche particulière pour les toponymes et de les évaluer indépendamment des signes graphiques candidats. Pour évaluer ce critère, nous proposons d'extraire différents échantillons de toponymes de cartes produites par différents producteurs sur le même principe d'extraction que pour les signes graphiques candidats. Nous extrayons des toponymes de huit cartes différentes : Swisstopo, Google Maps[118], ACT, OSM[119], Ordnance Survey, ICC, IGN et USGS[120]. Nous avons décidé d'extraire des toponymes avec deux types de structure. (1) des structures correspondant à la langue française : les cartes IGN, Swisstopo, ICC, Google Maps et OSM représentent des territoires français. De même, la carte ACT représente un territoire limitrophe de la France, où les toponymes ont des structures proches de la langue française. (2) des structures correspondant à la langue anglaise : les cartes Ordnance Survey et USGS représentent des territoires britanniques et américains, où les toponymes ont des structures types correspondant à la langue anglaise.

Cette manière de faire permet d'évaluer à la fois la reconnaissance de la structure verbale de la toponymie et de la typographie, i.e. sa représentation graphique. L'ensemble des toponymes sont disposés sur des vignettes avec un fond blanc tel que l'illustre la Figure 4.7. Nous utilisons les mêmes extraits de toponymes pour les deux expérimentations IGN et Swisstopo.

118 https://www.google.fr/maps
119 http://openstreetmap.fr/
120 https://www.usgs.gov/

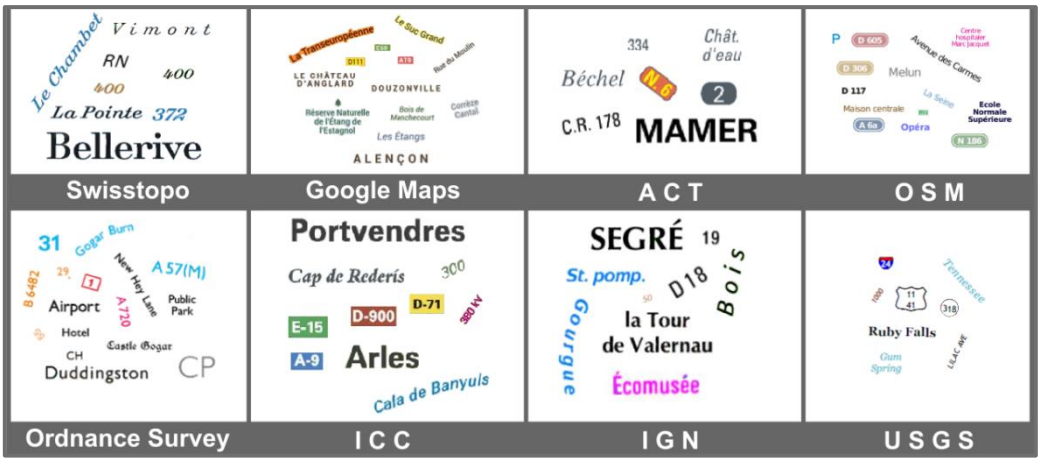



Figure 4.7 Échantillons de toponymes extraits de différentes cartes : Swisstopo, Google Maps, ACT, OSM, Ordnance Survey, ICC, IGN et USGS.

L'ensemble du matériel que nous venons de présenter : cartes topographiques, signes graphiques candidats et échantillons de toponymes, doit permettre d'évaluer efficacement la reconnaissance de la signature visuelle des cartes appartenant aux familles cartographiques IGN et Swisstopo. En ce sens, nous avons construit un protocole de manière à ce que les participants se focalisent sur l'apparence visuelle de l'ensemble du matériel sélectionné.

### 4.2.2 Participants

Dans cette sous-section, nous détaillons les caractéristiques des participants pour les deux expérimentations.

#### Participants à l'expérimentation IGN

379 participants (43% femmes) ont participé à cette expérimentation. La moyenne d'âge des participants est de 35 ans, s'étalant entre 18 et 85 ans (σ=11). Les canaux de communication utilisés nous ont permis d'atteindre des participants avec le profil que nous recherchions : 73% 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% de Français et 10% d'Européens (hors France).

#### Participants à l'expérimentation Swisstopo

163 participants (28% femmes) ont participé à cette expérimentation. La moyenne d'âge des participants est de 39 ans, s'étalant entre 20 et 85 ans (σ=11,2). Ces canaux de communication nous ont permis d'atteindre des participants avec le profil que nous recherchions : 63% des participants effectuent des recherches en cartographie ou dans une discipline connexe. 72% des participants considèrent avoir un niveau avancé ou être experts en cartographie. 21 nationalités différentes ont participé à l'expérimentation, dont 51% de Suisses et 41% d'Européens (hors Suisse).

### 4.2.3 Détails du protocole

L'expérimentation se présente sous la forme d'un questionnaire en huit groupes de questions. Ces groupes de questions sont détaillés en Annexe B1 et Annexe B2, respectivement pour les expérimentations utilisateur IGN et Swisstopo. Le protocole est identique pour les deux expérimentations IGN et Swisstopo. Seul le matériel a varié pour les groupes de questions 4, 5 et 7.

Nous présentons notre protocole en trois grandes parties. Une première partie : profils utilisateurs, qui vise à déterminer le profil des participants et une seconde partie : évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique, qui vise à vérifier les hypothèses H1 et H2 présentées en section 4.1 et une troisième partie : caractérisation d'une famille cartographique, qui vise à vérifier les hypothèses H3 et H4 présentées en section 4.1. Les questions sont le plus souvent construites de manière à obtenir des réponses correspondant à des variables qualitatives ordinales.

#### Profils utilisateurs

Les groupes de questions suivants visent à déterminer le profil des participants et à récolter un ensemble d'informations sur ces derniers.

**Évaluation de l'expérience cartographique du participant (les groupes de questions N° 1, 2 et 3)**

Les trois premiers groupes de questions n'ont pas vocation à tester une hypothèse en particulier, mais à déterminer le profil des participants en évaluant leur expérience cartographique. Ces groupes de questions ont été placés au début de l'expérimentation afin de familiariser les participants avec l'interface de l'expérimentation. Le groupe de questions N° 1 vise à évaluer le niveau d'expertise du participant avec les cartes topographiques de manière générale.

**Q1.1** : Combien de fois utilisez-vous les cartes topographiques dans votre vie quotidienne ?

⇨ Réponses possibles : Jamais / Rarement (une fois par an) / Occasionnellement (une fois par mois) / Régulièrement (une fois par semaine) / Autres, précisez

Le groupe de questions N° 2 vise à évaluer si le participant a déjà vu des cartes topographiques produites par différents producteurs (sans mention du producteur), et tout particulièrement s'il a déjà vu des cartes de la famille cartographique étudiée dans l'expérimentation (IGN ou Swisstopo). Si le participant connaît la carte, il lui est alors demandé de nommer le producteur correspondant. Des cartes topographiques IGN et Swisstopo sont utilisées comme matériel pour cette question. De même, on lui demande s'il pense pouvoir reconnaître facilement une carte topographique à partir de son apparence visuelle et si oui pourquoi. L'objectif de cette question est d'obtenir le ressenti du participant sur notre problème de recherche.

**Q2.1** : Avez-vous déjà vu ce type de cartes topographiques auparavant ?

⇨ Réponses possibles : Oui / Non

Si oui, par quelle agence de cartographie a été produite cette carte ?

**Q2.2** : Pensez-vous qu'une carte topographique est facilement reconnaissable par son apparence graphique ?

⇨ Réponses possibles : Oui / Ça dépend / Non / Je ne sais pas.

Le groupe de questions N° 3 vise à caractériser la relation et l'affinité du participant avec les cartes topographiques de la famille cartographique étudiée dans l'expérimentation, i.e. IGN pour l'expérimentation IGN et Swisstopo pour l'expérimentation Swisstopo. D'autre part, nous demandons au participant s'il pense pouvoir reconnaître une carte topographique de la famille cartographique associée.

**Q3.1** : Avez-vous vu ou utilisé une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN (ou Swisstopo pour la deuxième expérimentation) ?

⇨ Réponses possibles : Oui / Non / Je ne sais pas.

**Q3.2** : Pensez-vous pouvoir reconnaître une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN (ou Swisstopo pour la deuxième expérimentation) ?

⇨ Réponses possibles : Oui, avec certitude / Oui, probablement / Peut-être / Non, probablement pas / Non, pas du tout

Une analyse croisée de ces différentes questions permet de vérifier la cohérence des réponses du participant et de vérifier que nous atteignons bien des **utilisateurs experts**. Par ailleurs, grâce à ces questions nous pouvons catégoriser les participants selon **trois types d'usages** différents que ce dernier entretient avec la famille cartographique étudiée : rarement (moins d'une fois par an), occasionnelle (une fois par mois), régulier (plusieurs fois par mois).

#### Récolter un ensemble d'informations sur le participant : le groupe de questions N° 8

Le groupe de question N° 8 vise à récolter un ensemble d'informations sur le participant : genre, année de naissance, s'il effectue de la recherche en cartographie ou non, l'intitulé de son emploi, s'il se considère expert en cartographie ou non et le support numérique utilisé pour répondre à l'expérimentation. Ces questions ont été posées à la toute fin de l'expérimentation.

En dernier lieu, un espace de libre expression a été laissé aux participants afin qu'ils puissent s'exprimer librement sur leurs participations à l'expérimentation.

### Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique

Les deux groupes de questions suivant visent à répondre aux objectifs 1 et 2 que nous nous sommes fixés et de vérifier les hypothèses H1, H2 et H3 présentées dans la section 4.1. Pour chaque question, nous rappelons l'objectif, l'hypothèse de travail à laquelle nous associons une tâche utilisateur.

#### Évaluation de la reconnaissance d'une carte topographique parmi d'autres et identification des critères favorisant cette reconnaissance (le groupe de questions N° 4)

Ce groupe de questions vise à répondre aux objectifs initiaux 1 et 2, que nous rappelons ici :

**1**. Évaluer si les utilisateurs sont capables de reconnaître visuellement la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique IGN ou Swisstopo ;

**2**. Identifier les ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique IGN ou Swisstopo ;

Pour ce groupe de questions nous formulons trois hypothèses : H1, H2.1, H2.2 auxquelles nous y associons trois tâches : T1, T2.1 et T2.2. Il s'agit de déterminer si les participants sont capables de reconnaître une carte topographique appartenant à une famille cartographique parmi d'autres. D'autre part, il s'agit d'identifier les ingrédients ayant permis cette reconnaissance : symbolisation, généralisation, contexte géographique, etc.

**H1.** Les utilisateurs sont capables de reconnaître la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique.

→

**T1.** Identifier une ou plusieurs cartes topographiques appartenant à une famille cartographique parmi un jeu de six cartes topographiques de différentes familles cartographiques et représentant différents espaces géographiques.

**Q4.1** : Quelle(s) carte(s) est produite(s) par l'agence de cartographie IGN (ou Swisstopo pour la deuxième expérimentation ?

Les six cartes présentées pour l'expérimentation IGN sont : deux cartes produites par l'IGN, une au 1:25 000$^{ème}$ et une au 1:50 000$^{ème}$, quatre cartes topographiques produites par l'ICC, Swisstopo, ACT et LINZ, à des échelles proches du 1:25 000$^{ème}$. 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. De même, la carte topographique IGN au 1:50 000$^{ème}$ représente un territoire italien.

Les six cartes présentées pour l'expérimentation Swisstopo sont : deux cartes produites par l'IGN au 1:25 000$^{ème}$ et quatre cartes topographiques produites par Swisstopo, BEV – Autriche, ICC – Espagne et LINZ - Nouvelle-Zélande, à des échelles proches du 1:25 000$^{ème}$. Une des cartes produites par l'IGN représente la région de Genève en Suisse et la carte Swisstopo représente la région d'Évian-les-Bains en France.

**H2.1.** La symbolisation et la forme des objets cartographiques jouent un rôle important dans la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique.

→

**T2.1.** Évaluer les ingrédients ayant permis d'identifier une carte topographique parmi d'autres.

**Q4.2** : Quels critères vous ont aidé à effectuer votre choix ?

⇨ Réponses possibles : le contenu géographique (i.e. les thèmes cartographiques représentés par la carte) / la symbolisation des objets cartographiques (i.e. la couleur et la texture) / le niveau de généralisation des objets cartographiques (i.e. la forme des objets) / la toponymie / l'espace géographique représenté par la carte

Pour cette question, nous proposons les cinq ingrédients ci-dessus, extraits de notre modèle de style. Nous jugeons ces ingrédients déterminants dans la reconnaissance de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique. Nous avons demandé aux participants d'évaluer l'importance de chacun de ces ingrédients pour

reconnaître les cartes topographiques IGN et Swisstopo parmi d'autres, selon trois valeurs : très important – assez important – pas important.

**H2.2.** Certains thèmes cartographiques sont plus significatifs que d'autres dans la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique.

→ **T2.2.** Évaluer les représentations graphiques des différents thèmes cartographiques ayant permis d'identifier une carte topographique parmi d'autres.

**Q4.3** : Comment la représentation graphique des différents thèmes cartographiques vous a aidé à effectuer votre choix ?

⇨ Réponses possibles : représentation graphique du réseau routier / représentation graphique de l'hydrographie / représentation graphique de l'occupation du sol / représentation graphique des zones bâties / représentation de la toponymie (typographie) / représentation du relief

Pour cette question, nous avons demandé aux participants d'évaluer la représentation graphique de six thèmes cartographiques ci-dessus, que nous supposons influents dans la reconnaissance de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique. Les participants ont évalué l'importance de chacune de ces représentations selon trois valeurs : très important – assez important – pas important.

**Évaluation de la reconnaissance d'une famille cartographique à l'aide uniquement des toponymes et de la typographie (le groupe de questions N° 6)**

Le groupe 6 vise à répondre à l'objectif 2 :

**2**. Identifier les ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique IGN ou Swisstopo ;

Pour ce groupe de questions, nous formulons une hypothèse H2.3 à laquelle nous y associons une tâche T2.3. Il s'agit d'évaluer l'importance de la toponymie et de la typographie dans la reconnaissance de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique.

**H2.3.** La « toponymie et typographie » jouent un rôle important dans la reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique.

→ **T2.3. Mémorisation visuelle** : Identifier la famille cartographique à laquelle appartiennent des extraits de toponymes.

**Q6.1** : Plusieurs échantillons de toponymes ont été extraits de différentes cartes topographiques représentant diverses régions du monde et produits par différents producteurs de cartes. Pour chaque échantillon spécifiez le nom du producteur de cartes associé (agence de cartographie, société productrice, etc.)

Pour cette question, nous avons présenté les échantillons de toponymes présentés dans la sous-section 4.2. Pour chacun des échantillons, nous avons demandé aux participants de mentionner le nom de la famille cartographique associée.

### Identification de signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle

Les groupes de questions suivants visent à répondre à l'objectifs 3 que nous nous sommes fixés et de vérifier les hypothèses H3 et H4 présentées en dans la section 4.1. Pour chaque question, nous rappelons l'objectif, l'hypothèse de travail à laquelle nous associons une tâche utilisateur. Par souci de compréhension, nous utilisons le terme de « caractéristiques visuelles » pour désigner les signes graphiques candidats à la caractérisation des signatures visuelles dans les questions posées aux participants.

#### Identification des signes graphiques candidats mémorisés (le groupe de questions N° 5)

Ce groupe de questions vise à répondre à l'objectif 3 :

**3**. caractériser la signature visuelle des familles cartographiques IGN et Swisstopo pour les utilisateurs.

Pour ce groupe de questions, nous formulons une hypothèse H3 à laquelle nous y associons une tâche T3. Il s'agit d'identifier les signes graphiques mémorisés par les utilisateurs.

**H3.** Les utilisateurs mémorisent certains signes graphiques à travers un usage répété de cartes topographiques d'une même famille cartographique.

→

**T3. Mémorisation visuelle :** Sélectionner les caractéristiques visuelles les plus représentatives d'une famille cartographique en s'appuyant uniquement sur les représentations mentales associées à cette famille cartographique.

**Q5.1** : Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN (ou Swisstopo pour la deuxième expérimentation).

Pour cette question, nous avons présenté les signes graphiques candidats extraits pour chacune des familles cartographiques IGN et Swisstopo. Puis, nous avons demandé aux participants de sélectionner les quatre plus représentatifs d'une famille cartographique sans visualiser d'exemple de cartes sous les yeux. Les participants ont fait appel uniquement à leur mémoire. Étant donné qu'il s'agit d'une tâche de mémorisation, il est important que cette question soit posée suffisamment tôt dans l'expérimentation, afin que les réponses données ne soient pas influencées par la perception de quelconques cartes des familles cartographiques IGN et Swisstopo.

#### Identification des signes graphiques candidats perçus (le groupe de questions N° 7)

Le groupe 7 vise à répondre à l'objectif 3 :

**3**. caractériser la signature visuelle des familles cartographiques IGN et Swisstopo pour les utilisateurs.

Il s'agit d'identifier les signes graphiques saillants perçus par les utilisateurs. Pour ce groupe de questions, nous formulons une hypothèse H4 à laquelle nous y associons une tâche T4.

**H4.** Certains signes graphiques sont visuellement saillants et constituent des stimuli visuels permettant d'associer une carte topographique à une famille cartographique.

**T4. Perception visuelle :** sélectionner les caractéristiques visuelles les plus représentatives des cartes de la famille cartographique perçue

**Q7.1** : Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN (ou Swisstopo pour la deuxième expérimentation).

Pour cette question, nous avons présenté les signes graphiques candidats extraits pour chacune des familles cartographiques IGN et Swisstopo puis nous avons demandé aux participants de sélectionner les quatre plus représentatifs des cartes topographiques qu'ils étaient en train de visualiser. L'ensemble des cartes appartenait à la même famille cartographique soit IGN soit Swisstopo selon l'expérimentation.

## 4.3 Analyse des résultats pour la famille cartographique IGN

Pour chaque groupe de questions, nous analysons statistiquement les réponses récoltées. Nous donnons dans un premier temps un profil détaillé des participants (4.3.1). Nous évaluons ensuite la reconnaissance d'une carte topographique IGN parmi d'autres (4.3.2), puis nous identifions les propriétés de la carte ayant permis la reconnaissance de la famille à laquelle elle appartient (4.3.3). Enfin, nous évaluons le rôle de la toponymie dans la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique IGN (4.3.4) et nous identifions les signes graphiques candidats perçus et reconnus par les utilisateurs pour cette famille cartographique (4.3.5).

### 4.3.1 Profil des participants

Dans cette sous-section, nous détaillons le profil des participants. Les questions Q1.1, Q2.1 et Q3.1 ont pour objectif d'identifier des participants non-experts, i.e. qui n'ont jamais utilisé de cartes topographiques (Q1.1), qui ne connaissent pas les cartes topographiques de la famille cartographique IGN (Q2.1 et Q3.1). Les filtres opérés sur ces questions ont permis de repérer 31 participants non-experts. Leurs réponses ont été exclues du traitement afin d'obtenir des résultats intégrant uniquement des participants experts.

Dans la suite de cette section, pour chaque question nous détaillons les résultats obtenus pour le reste des participants.

**Q1.1** : Combien de fois utilisez-vous les cartes topographiques dans votre vie quotidienne ?

⇨ Réponses possibles : Jamais / Rarement (une fois par an) / Occasionnellement (une fois par mois) / Régulièrement (une fois par semaine) / Autres, précisez

Le diagramme en bâtons de la Figure 4.8 illustre la fréquence d'utilisation de cartes topographiques par les participants. 54% des participants utilisent occasionnellement une carte topographique, 34% rarement et 11% régulièrement.

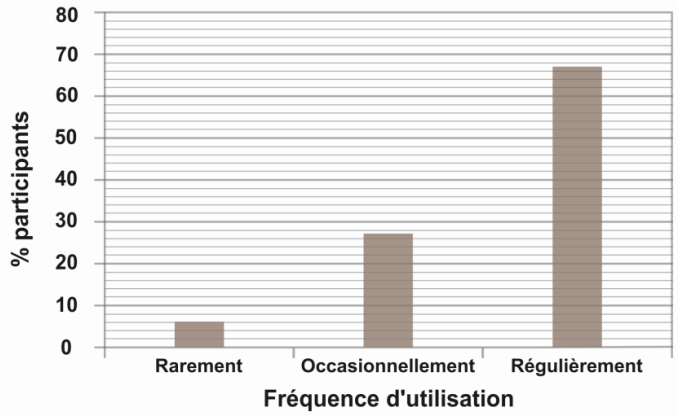



Figure 4.8 Diagramme en bâtons illustrant la fréquence d'utilisation de cartes topographiques par les participants.

**Q2.1** : Avez-vous déjà vu ce type de cartes topographiques auparavant ?

⇨ Réponses possibles : Oui / Non

Si oui, par quelle agence de cartographie a été produite cette carte ?

Le diagramme en bâtons de la Figure 4.9 illustre la relation des participants aux cartes topographiques IGN, Ordnance Survey et Swisstopo. 100% des participants ont spécifié déjà avoir vu une carte topographique de la famille cartographique IGN. Parmi ces participants, 91% des participants ont su nommer la famille cartographique à laquelle appartenait la carte topographique IGN présentée. 40% des participants ont spécifié déjà avoir vu une carte topographique de la famille cartographique Ordnance Survey. Parmi ces participants, 45% des participants ont su nommer la famille cartographique à laquelle appartenait la carte topographique Ordnance Survey présentée. 64% des participants ont spécifié déjà avoir vu une carte topographique de la famille cartographique Swisstopo. Parmi ces participants, 20% des participants ont su nommer la famille cartographique à laquelle appartenait la carte topographique Swisstopo présentée.

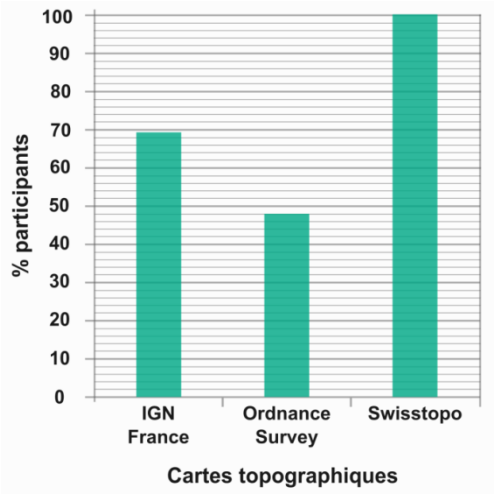



Figure 4.9 Diagramme en bâtons illustrant la relation des participants aux cartes topographiques IGN, Ordnance Survey et Swisstopo.

**Q2.2** : Pensez-vous qu'il est possible d'identifier le producteur d'une carte à partir de son apparence visuelle ?

⇨ Réponses possibles : Oui / Ça dépend / Non / Je ne sais pas.

60% des participants pensent que le producteur est identifiable à partir de l'apparence visuelle de la carte. 32% spécifient « ça dépend », 3% pensent que le producteur n'est pas identifiable et 4% ne savent pas. Le Tableau 4.10 croise la fréquence d'utilisation d'une carte topographique et la possibilité d'identifier le producteur d'une carte topographique à partir de son apparence visuelle. Nous observons que la fréquence d'utilisation des cartes topographiques par les participants n'influe pas sur le fait qu'ils pensent pouvoir identifier le producteur d'une carte topographique à partir de son apparence visuelle. La croyance de pouvoir identifier le producteur de la carte est assez haute pour l'ensemble des participants : 59% pour ceux qui utilisent rarement des cartes topographiques, 63% pour ceux qui utilisent occasionnellement des cartes topographiques et 53% pour ceux qui utilisent régulièrement des cartes topographiques.

| | Rarement | Occasionnellement | Régulièrement |
|---|---|---|---|
| Oui | 59 | 63 | 53 |
| Ça dépend | 29 | 33 | 45 |
| Non | 5 | 2 | 3 |
| Je ne sais pas | 8 | 2 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Tableau 4.10 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte topographique par son apparence visuelle.

**Q3.2** : Pensez-vous pouvoir reconnaître une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN ?

⇨ Réponses possibles : Oui, avec certitude / Oui, probablement / Peut-être / Non, probablement pas / Non, pas du tout

48% des participants ont spécifié pouvoir reconnaître une carte produite par l'agence de cartographie IGN avec certitude, 39% oui, probablement, 10% peut-être, 2% non, probablement pas, 1% non, pas du tout. Le Tableau 4.11 croise la fréquence d'utilisation d'une carte topographique et la possibilité de reconnaître une carte de la famille cartographique IGN. Nous observons que plus les participants utilisent des cartes topographiques, plus ils pensent pouvoir reconnaître une carte de la famille cartographique IGN avec certitude, ainsi 65% des participants qui utilisent des cartes topographiques régulièrement pensent pouvoir reconnaître une carte de la famille cartographique IGN avec certitude.

| | Rarement | Occasionnellement | Régulièrement |
|---|---|---|---|
| Oui, avec certitude | 26 | 59 | 65 |
| Oui, probablement | 55 | 31 | 33 |
| Peut-être | 16 | 7 | 3 |
| Non, probablement pas | 2 | 1 | 0 |
| Non, pas du tout | 1 | 1 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Tableau 4.11 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte de la famille cartographique IGN.

Au regard de ces premiers résultats, il est nécessaire d'évaluer la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique IGN par des participants experts et d'investiguer sur les principes en jeu dans cette reconnaissance.

### 4.3.2 Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique IGN parmi d'autres

Dans cette sous-section nous proposons les résultats pour la question 4.1 :

**Q4.1** : Quelle(s) carte(s) est (sont) produite(s) par l'agence de cartographie IGN ?

Le diagramme en bâtons de la Figure 4.12 illustre les réponses spécifiées par les participants pour cette question.

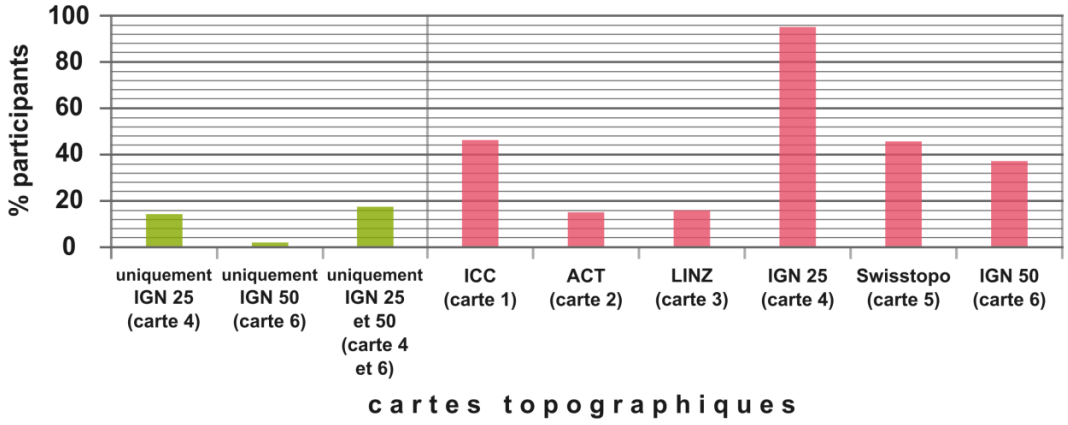



Figure 4.12 Diagramme en bâtons illustrant les cartes sélectionnées comme appartenant à la famille cartographique IGN.

17% ont spécifié les deux bonnes réponses, i.e. uniquement les cartes topographiques IGN au 1:25 000$^{ème}$ et au 1 :50 000$^{ème}$. 14% des participants ont sélectionné uniquement la carte IGN au 1:25 000$^{ème}$ et 0.5% des participants ont sélectionné uniquement la carte IGN au 1:50 000$^{ème}$. Par ailleurs, de nombreuses réponses des participants contiennent plusieurs cartes. La carte topographique IGN au 1:25 000$^{ème}$ se trouve ainsi présente dans

93% des réponses, sélectionnant très souvent une carte topographique d'un autre producteur en même temps. Par exemple, 29% des participants ont sélectionné la carte IGN au 1:25 000ème sélectionnant dans le même temps la carte Swisstopo (Suisse) et/ou la carte ICC (Espagne), représentant des espaces français.

Les résultats relèvent que la carte IGN au 1:25 000ème est mieux reconnue que la carte IGN au 1:50 000ème, qui représentait un territoire italien. De plus, ces résultats font état d'une bonne reconnaissance visuelle de la carte IGN au 1 :25 000ème, validant notre hypothèse H1, mais également d'un certain nombre de confusions de la part des participants. En effet, les cartes topographiques Swisstopo et ICC représentant des territoires français ont été considérées très souvent comme des cartes appartenant à la famille cartographique IGN par les participants. Ces résultats suggèrent que le contexte géographique représenté et la langue exprimée par la toponymie sont des critères influençant la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique IGN.

Au regard de ces résultats, il est nécessaire d'investiguer plus précisément sur les critères qui interviennent dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique appartenant à la famille cartographique IGN.

### 4.3.3 Identification des ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle des cartes de la famille cartographique IGN

Dans cette sous-section nous proposons les résultats pour la question 4.2 et 4.3.

**Q4.2** : Quels critères vous ont aidé à effectuer votre choix ?

⇨ Réponses possibles : le contenu géographique (les thèmes cartographiques représentés par la carte) / la symbolisation des objets cartographiques (i.e. couleur et texture) / le niveau de généralisation des objets cartographiques (i.e. la forme des objets) / la toponymie / l'espace géographique représenté par la carte

Le Tableau 4.13 illustre les résultats obtenus à cette question.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| Le contenu géographique | 27 | 58 | 16 | 100 |
| La symbolisation des objets cartographiques | 81 | 17 | 2 | 100 |
| Le niveau de généralisation des objets cartographiques | 47 | 43 | 10 | 100 |
| La toponymie | 32 | 51 | 16 | 100 |
| L'espace géographique représenté par la carte | 20 | 41 | 39 | 100 |

Tableau 4.13 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour l'ensemble des participants.

La symbolisation et le niveau de généralisation des objets cartographiques sont considérés par les participants comme les critères plus importants pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique IGN, respectivement 81% et 47% - cellules orange du Tableau 4.13. Par ailleurs, le contenu géographique et la toponymie sont considérés comme assez important par les participants respectivement 58% et 51% - cellules jaunes du Tableau 4.13. Il semble que l'espace géographique représenté ne soit pas un critère important pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour les participants (39%) – cellule rouge du Tableau 4.13.

Si l'on considère uniquement les participants ayant spécifié les deux bonnes réponses à la question Q4.1, i.e. ayant sélectionné uniquement les deux cartes topographiques appartenant à la famille cartographique IGN, nous obtenons les résultats illustrés par le Tableau 4.14. La symbolisation et le niveau de généralisation des objets cartographiques sont considérés par les participants comme les critères plus importants pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique IGN, respectivement 92% et 51% - cellules orange du Tableau 4.14. De même, le contenu géographique et la toponymie sont considérés comme assez important par les participants respectivement 62% et 41% - cellules jaune du Tableau 4.14. Ces résultats confirment ceux obtenus pour l'ensemble des participants. En revanche, nous observons une différence pour le critère « espace géographique représenté par la carte ». Ce dernier était le critère considéré comme le critère le moins important pour l'ensemble des participants, or il est considéré ici comme très important pour plus de 50% de participants. Nous pensons que c'est en s'attardant sur ce critère que les participants ont pu reconnaître la carte IGN au 1 :50 000ème représentant le territoire italien.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| Le contenu géographique | 11 | 62 | 27 | 100 |
| La symbolisation des objets cartographiques | 92 | 8 | 0 | 100 |
| Le niveau de généralisation des objets cartographiques | 51 | 43 | 6 | 100 |
| La toponymie | 33 | 46 | 21 | 100 |
| L'espace géographique représenté par la carte | 51 | 43 | 6 | 100 |

Tableau 4.14 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour les participants ayant sélectionnées uniquement les cartes appartenant à la famille cartographique IGN.

Au regard de ces résultats, la symbolisation des objets cartographiques semble être le critère cartographique principal pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN. De même, le niveau de généralisation cartographique apparaît être un critère

significatif dans la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique IGN. Ces résultats valident notre hypothèse H2.1. Par ailleurs, nous pensons que l'importance, manifestée par les participants pour le niveau de généralisation, est fortement dépendante de leur niveau d'expertise. De même, en reconnaissant la langue exprimée par la toponymie, à savoir la langue française, les participants ont sélectionné des cartes topographiques appartenant a priori à la famille cartographique IGN : les cartes topographiques de Swisstopo et de l'ICC représentant des territoires français. Au regard de ces résultats, nous souhaitons évaluer le poids des symbolisations de différents thèmes cartographiques dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique appartenant à la famille cartographique IGN.

**Q4.3** : Comment la symbolisation des différents thèmes cartographiques vous a aidé à effectuer votre choix ?

⇨ Réponses possibles : la symbolisation du réseau routier / la symbolisation de l'hydrographie / la symbolisation de l'occupation du sol / la symbolisation des zones bâties / la représentation de la toponymie (typographie) / la représentation du relief

Les résultats obtenus à cette question sont très serrés tel que l'illustre le Tableau 4.15. 62% des participants considèrent la représentation du relief comme le critère le plus important pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique IGN, devant la symbolisation des zones bâties (49%) et la symbolisation du réseau routier (47%). Suivent derrière la symbolisation de l'occupation du sol (46%) - cellules orange du Tableau 4.15. De même, 54% des participants considèrent la symbolisation de l'hydrographie comme un critère assez important devant la représentation de la toponymie (48%) - cellules jaunes du Tableau 4.15.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| La symbolisation du réseau routier | 47 | 46 | 7 | 100 |
| La symbolisation de l'hydrographie | 22 | 54 | 24 | 100 |
| La symbolisation de l'occupation du sol | 46 | 45 | 9 | 100 |
| La symbolisation des zones bâties | 49 | 41 | 11 | 100 |
| La représentation de la toponymie (typographie) | 39 | 48 | 13 | 100 |
| La représentation du relief | 62 | 34 | 4 | 100 |

Tableau 4.15 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour l'ensemble des participants.

Si l'on considère uniquement les participants ayant spécifié les deux bonnes réponses à la question Q4.1, i.e. ayant sélectionné uniquement les deux cartes topographiques appartenant à la famille cartographique IGN, nous obtenons les résultats illustrés par le Tableau 4.16. Les résultats obtenus sont également assez serrés et confirment ceux obtenus pour l'ensemble des participants. 60% des participants considèrent la représentation du relief comme le critère le plus important pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique IGN, devant la symbolisation de l'occupation du sol (59%) ; suivent derrière la symbolisation du réseau routier (49%), la représentation de la toponymie (49%) et la symbolisation des zones bâties (46%) et - cellules orange du Tableau 4.16. De même, 62% des participants considèrent la symbolisation de l'hydrographie comme un critère assez important devant la symbolisation du réseau routier (46%) - cellules jaunes du Tableau 4.16.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| La symbolisation du réseau routier | 49 | 46 | 5 | 100 |
| La symbolisation de l'hydrographie | 11 | 62 | 27 | 100 |
| La symbolisation de l'occupation du sol | 59 | 33 | 8 | 100 |
| La symbolisation des zones bâties | 46 | 38 | 16 | 100 |
| La représentation de la toponymie (typographie) | 49 | 41 | 10 | 100 |
| La représentation du relief | 60 | 35 | 5 | 100 |

Tableau 4.16 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour les participants ayant sélectionné uniquement les cartes appartenant à la famille cartographique IGN.

Au regard de ces résultats, la représentation du relief est un critère important qui permet aux utilisateurs de reconnaître une carte topographique de la famille cartographique IGN. De même, la symbolisation des zones bâties, la symbolisation du réseau routier et la symbolisation de l'occupation du sol semblent visuellement structurants et apparaissent être des critères favorisant la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique IGN. Ces résultats valident notre hypothèse H2.2, i.e. que la représentation de certains thèmes cartographiques sont plus significatifs que d'autres dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique. Il est également intéressant de noter que près de 40% des participants considèrent la typographie comme un critère important et que ce dernier tient une place considérable chez les participants ayant sélectionné uniquement les cartes appartenant à la famille cartographique IGN (49%). Si nous interprétons ce résultat au regard des résultats obtenus à la question précédente, où la toponymie était

considérée comme un critère important par 33% des participants, nous remarquons que la typographie (Q4.3) semble être plus importante que la langue exprimée par la toponymie (Q4.2). La question suivante Q6.1 permet d'investiguer plus profondément sur le rôle cumulé de la toponymie + la typographie pour reconnaître une carte d'une famille cartographique en particulier.

### 4.3.4 Évaluation du rôle de la toponymie et de la typographie

Dans cette sous-section, nous proposons les résultats obtenus pour la question Q6.1.

**Q6.1** : Plusieurs échantillons de toponymes ont été extraits de différentes cartes topographiques représentant diverses régions du monde et produits par différents producteurs de cartes. Pour chaque échantillon spécifiez le nom du producteur de cartes associé (agence de cartographie, société productrice, etc.)

Pour cette question, nous faisons l'hypothèse que la toponymie et la typographie jouent un rôle prépondérant dans la reconnaissance visuelle d'une carte et son appartenance à une famille cartographique (H2.3). Le diagramme en bâtons de la Figure 4.17 illustre le taux de reconnaissance pour les huit échantillons de toponymes extraits. La série statistique est ordonnée et classée en trois groupes distincts[121]. D'après les résultats obtenus à cette question, il semble que notre hypothèse H2.3 soit validée. En effet, les toponymes extraits des cartes topographiques IGN ont majoritairement été reconnus par 70% des participants. Ce résultat forme le groupe A de la Figure 4.17. Le groupe B est constitué des échantillons de toponymes qui ont été moyennent bien reconnus, i.e. l'USGS à 39% et l'Ordnance Survey à 28%. Le groupe C est constitué des échantillons de toponymes qui ont été très faiblement reconnus : Swisstopo (13%), Google Maps (10%), OSM (8%), ICC (7%) et ACT (5%). **Ces résultats montrent que lorsque le participant est familier de la structure verbale et de la typographie des toponymes, il est en mesure de reconnaître la famille cartographique dont ils sont extraits**. Par ailleurs, ces résultats montrent également que l'impression phonétique des toponymes a une influence considérable sur la reconnaissance de la famille cartographique à laquelle ils appartiennent. En effet, les échantillons de toponymes à consonance anglaise ont été assez bien reconnus or les échantillons de toponymes dont la consonance est française ont été assez mal reconnus. Il apparaît que cette discrimination ne s'est pas faite sur la typographie mais sur l'impression phonétique du toponyme.

[121] Le nombre de classes a été determiné avec la méthode de Sturges [log(N+1,base=2)] et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

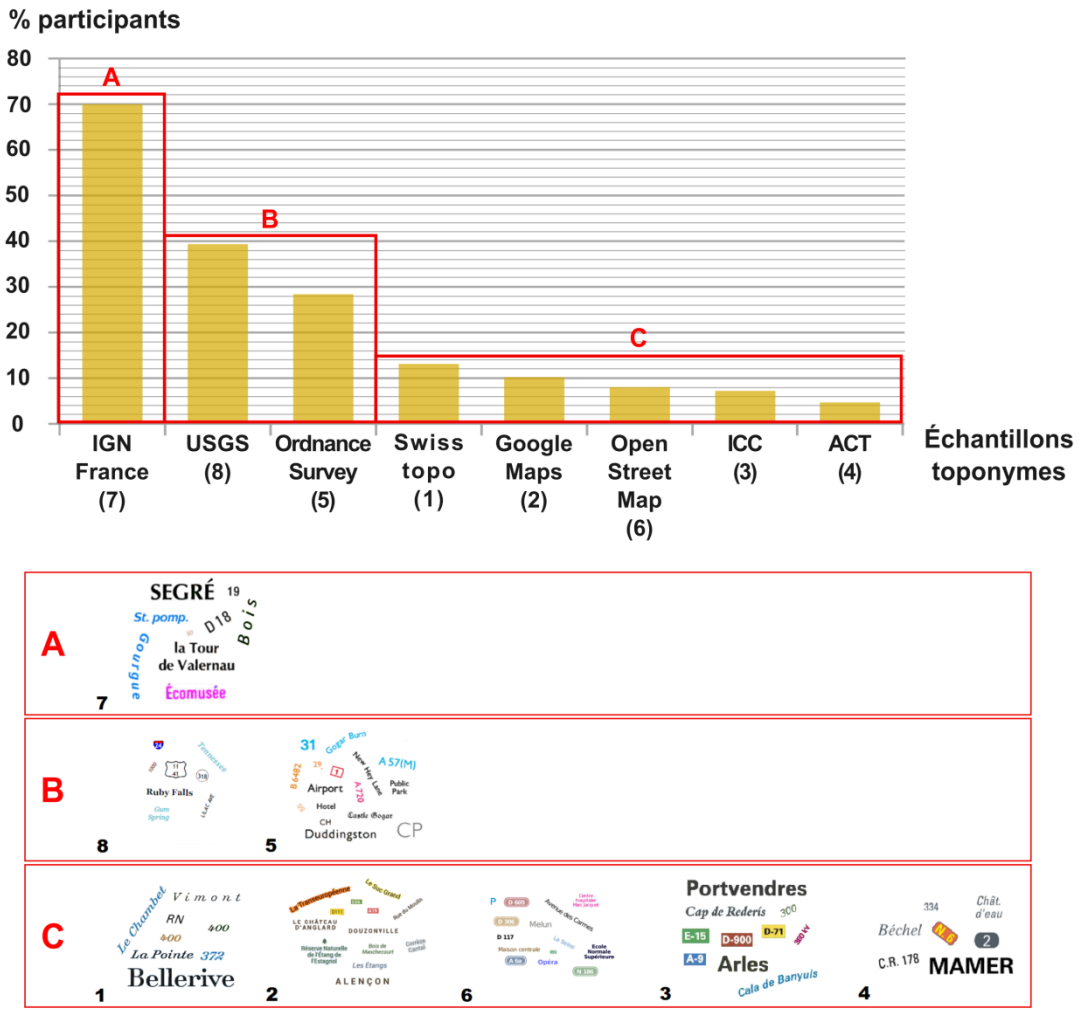



Figure 4.17 Diagramme en bâtons illustrant le taux de reconnaissance des familles cartographiques pour les huit échantillons de toponymes extraits.

Dans la suite de l'expérimentation, nous souhaitons vérifier les résultats obtenus par ce premier jeu de question à travers l'identification des signes graphiques perçus et mémorisés pour la famille cartographique IGN.

### 4.3.5 Identification des signes graphiques perçus et mémorisés pour la famille cartographique IGN

Dans cette sous-section nous proposons les résultats pour les questions Q5.1 et Q7.1. Dans la réalité, les signes graphiques sont d'abord perçus puis mémorisés, cependant afin de ne pas influencer la réponse des participants les questions ont été posées dans l'ordre inverse au sein de l'expérimentation. Pour bien comprendre la contribution des résultats obtenus à la résolution de notre problème, nous traitons d'abord la question Q7.1, i.e. les signes graphiques perçus, puis la question Q5.1, i.e. les signes graphiques mémorisés.

### Tâche de perception visuelle

**Q7.1** : Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN.

La Figure 4.18 illustre les signes graphiques candidats sélectionnés par les participants à la question Q7.1 en visualisant quatre cartes topographiques IGN : tâche de perception visuelle. La série statistique est ordonnée et classée en quatre groupes distincts[122].

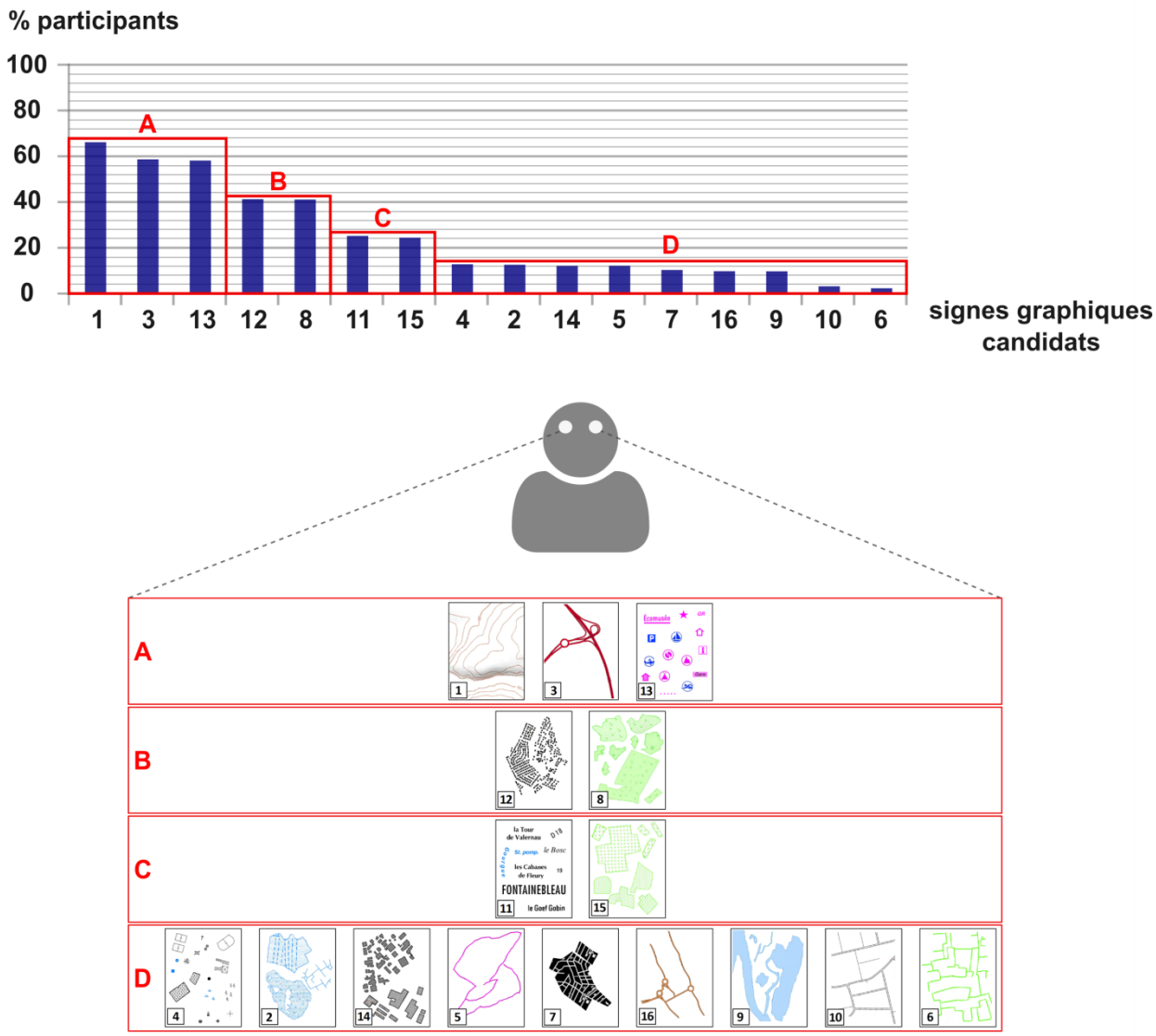



Figure 4.18 Diagramme en bâtons des signes graphiques candidats sélectionnées par les participants en visualisant quatre cartes topographiques IGN : perception visuelle.

Le **groupe A** représente les trois signes graphiques candidats, ayant été les plus sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme les plus représentatifs par les participants.

[122] Le nombre de classes a été determiné avec la méthode de Sturges [log(N+1,base=2)] et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

Par ordre d'importance : l'ombrage et les courbes de niveau (1), le réseau routier principal (3), les points d'intérêt touristique (13).

Le **groupe B** comprend deux signes graphiques candidats, ayant été très sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme hautement représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : les bâtiments individuels (12), les forêts (8).

Le **groupe C** comprend deux signes graphiques candidats, ayant été moyennement sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme modérément représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : la toponymie et la typographie (11), les vergers (15).

Le **groupe D** comprend neuf signes graphiques candidats, ayant été les moins sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme peu représentatifs 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).

Ces résultats valident notre hypothèse H4 et nous permettent de proposer une classification des signes graphiques candidats perçus par un utilisateur.

### Tâche de mémorisation visuelle

**Q5.1** : Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN.

La Figure 4.19 illustre les signes graphiques candidats sélectionnées par les participants à la question 5.1 sans visualiser de carte : tâche de mémorisation visuelle. La série statistique est ordonnée et classée en quatre groupes distincts[123].

Le **groupe A** représente le signe graphique candidat ayant été le plus sélectionné, c'est-à-dire celui considéré comme le plus représentatif par les participants : le relief (1).

Le **groupe B** comprend deux signes graphiques candidats, ayant été très sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme hautement représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : les points d'intérêt touristique (13), la toponymie et la typographie (11).

Le **groupe C** comprend six signes graphiques candidats, ayant été moyennement sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme modérément représentatifs 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 **groupe D** comprend six signes graphiques candidats, ayant été les moins sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme peu représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : les bâtiments industriels (14), le réseau routier secondaire (16), les

[123] Le nombre de classes a été determiné avec la méthode de Sturges [log(N+1,base=2)] et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

surfaces hydrographiques (9), les itinéraires touristiques (5), le centre urbain dense (7), le réseau routier local (10), les haies (6).

Ces résultats valident notre hypothèse H3 et nous permettent de proposer une classification des signes graphiques candidats mémorisés par un utilisateur.

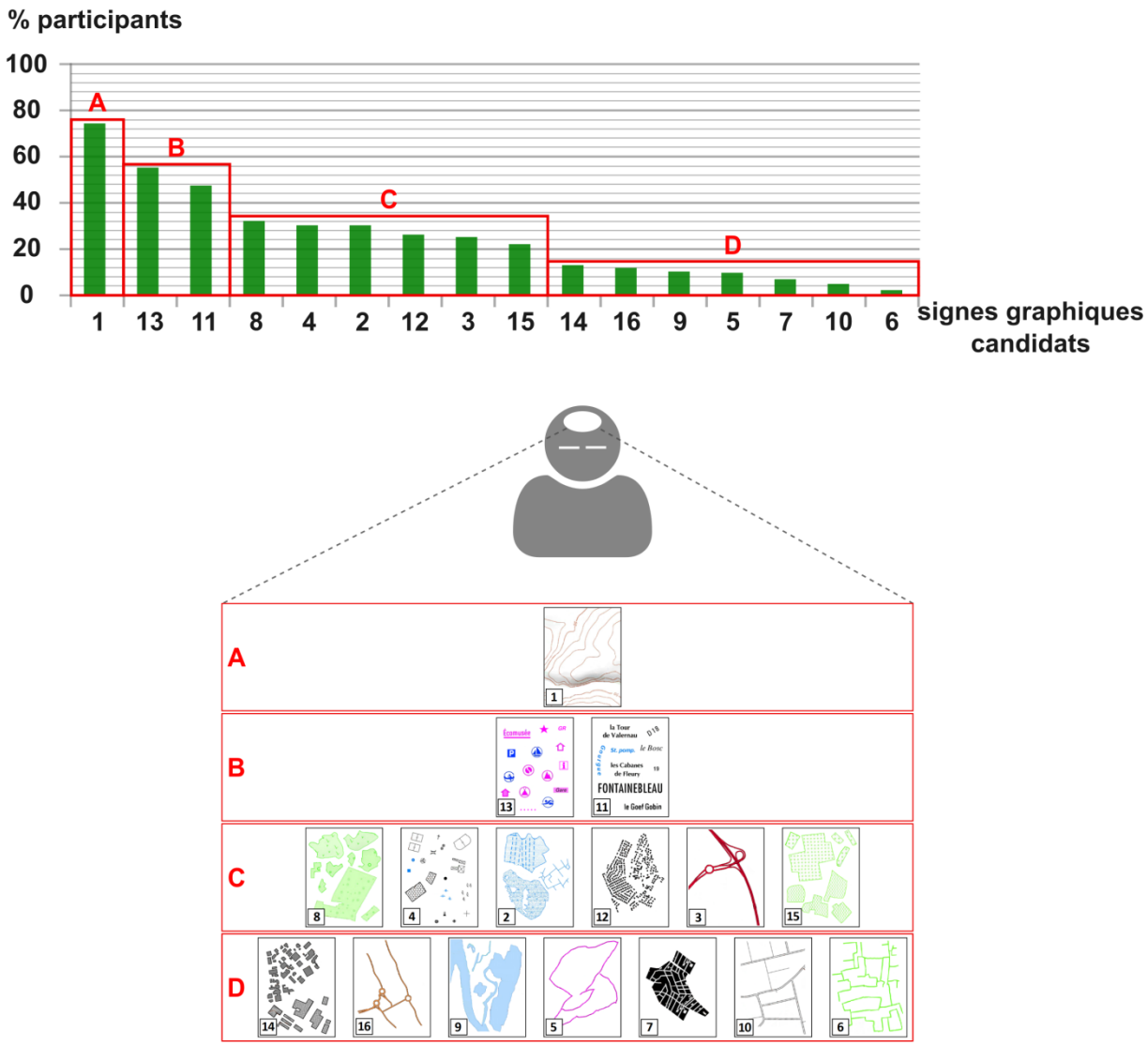



Figure 4.19 Diagramme en bâtons, illustrant les signes graphiques sélectionnés par les participants sans visualiser de cartes topographiques IGN : mémorisation visuelle.

Nous observons que certains signes graphiques candidats obtiennent un bon score au sein des deux tâches de perception et mémorisation : le relief et les points d'intérêt touristique. Par conséquent, nous pensons que ces signes graphiques sont très représentatifs de la famille cartographique IGN et constituent le cœur de sa signature visuelle.

Dans cette section, nous avons présenté l'ensemble des résultats obtenus par la mise en œuvre de l'expérimentation utilisateur IGN. Nous effectuons ici une synthèse des résultats obtenus.
1. Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique IGN parmi d'autres :
=> La carte topographique IGN au 1 :25 000ème a été mieux reconnue que la carte topographique IGN au 1 :50 000ème.
=> La carte topographique IGN au 1 :25 000ème a été assez bien reconnue par les participants (93%).
=> Les participants ont fait des nombreuses confusions en sélectionnant des cartes topographiques appartenant à d'autres familles cartographiques.
2. Identification des ingrédients favorisant cette reconnaissance :
=> La symbolisation et le niveau de généralisation des objets cartographiques sont considérés par les participants comme les critères plus importants pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique IGN.
=> la représentation du relief est un critère important qui permet aux utilisateurs de reconnaître une carte topographique de la famille cartographique IGN.
3. Classification de signes graphiques candidats :
L'ombrage et les courbes de niveau, et les points d'intérêt touristique sont considérés comme des signes graphiques très représentatifs d'une carte topographique appartenant à la famille cartographique IGN. De plus, l'ombrage et les courbes de niveau sont considérés par les participants comme des signes graphiques majeurs au sein des deux tâches utilisateurs : perception et mémorisation.

## 4.4 Analyse des résultats pour la famille cartographique Swisstopo

Pour chaque groupe de questions, nous analysons statistiquement les réponses récoltées. Nous donnons dans un premier temps un profil détaillé des participants (4.4.1). Nous évaluons ensuite la reconnaissance d'une carte topographique Swisstopo parmi d'autres (4.4.2), puis nous identifions les propriétés de la carte ayant permis la reconnaissance de la famille à laquelle elle appartient (4.4.3). Enfin, nous évaluons le rôle de la toponymie dans la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique Swisstopo (4.4.4) et nous identifions les signes graphiques candidats perçus et reconnus par les utilisateurs pour cette famille cartographique (4.4.5).

### 4.4.1 Profil des participants

Dans cette sous-section, nous détaillons le profil des participants. Les questions Q1.1, Q2.1 et Q3.1 ont pour objectif d'identifier des participants non-experts, i.e. qui n'ont jamais utilisé de cartes topographiques (Q1.1), qui ne connaissent pas les cartes topographiques de la famille cartographique Swisstopo (Q2.1 et Q3.1). Les filtres opérés sur ces questions ont permis de repérer 36 participants non-experts. Leurs réponses ont été exclues du traitement afin d'obtenir des résultats intégrant uniquement des participants experts.

Dans la suite de cette section, pour chaque question nous détaillons les résultats obtenus.

**Q1.1** : Combien de fois utilisez-vous les cartes topographiques dans votre vie quotidienne ?

⇨ Réponses possibles : Jamais / Rarement (une fois par an) / Occasionnellement (une fois par mois) / Régulièrement (une fois par semaine) / Autres, précisez

Le diagramme en bâtons de la Figure 4.20 illustre la fréquence d'utilisation de cartes topographiques par les participants. 67% des participants utilisent régulièrement une carte topographique, 27% occasionnellement et 6% rarement.

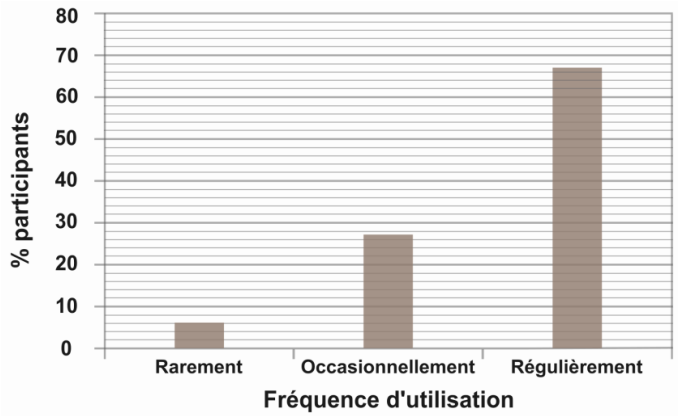



Figure 4.20 Diagramme en bâtons illustrant la fréquence d'utilisation de cartes topographiques par les participants.

**Q2.1** : Avez-vous déjà vu ce type de cartes topographiques auparavant ?

⇨ Réponses possibles : Oui / Non

Si oui, par quelle agence de cartographie a été produite cette carte ?

Le diagramme en bâtons de la Figure 4.21 illustre la relation des participants aux cartes topographiques IGN, Ordnance Survey et Swisstopo.

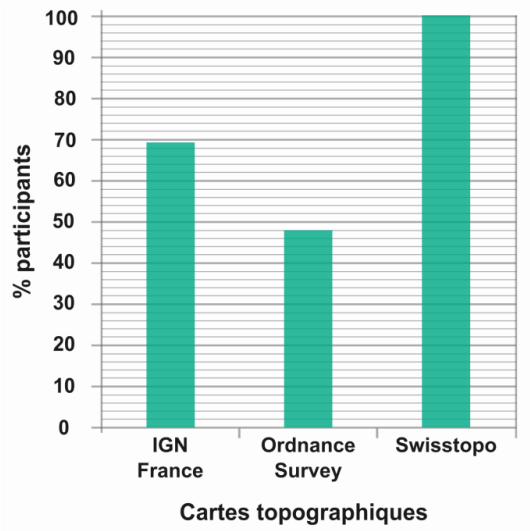



Figure 4.21 Diagramme en bâtons illustrant la relation des participants aux cartes topographiques IGN, Ordnance Survey et Swisstopo.

69% des participants ont spécifié déjà avoir vu une carte topographique de la famille cartographique IGN. Parmi ces participants, 79% des participants ont su nommer la famille cartographique à laquelle appartenait la carte topographique IGN présentée. 49% des participants ont spécifié déjà avoir vu une carte topographique de la famille cartographique Ordnance Survey. Parmi ces participants, 88% des participants ont su nommer la famille cartographique à laquelle appartenait la carte topographique Ordnance Survey présentée. 100% des participants ont spécifié déjà avoir vu une carte topographique de la famille cartographique Swisstopo. Parmi ces participants, 91% des participants ont su nommer la famille cartographique à laquelle appartenait la carte topographique Swisstopo présentée.

**Q2.2** : Pensez-vous qu'il est possible d'identifier le producteur d'une carte à partir de son apparence visuelle ?

⇨ Réponses possibles : Oui / Ça dépend / Non / Je ne sais pas.

78% des participants pensent que le producteur est identifiable à partir de l'apparence visuelle de la carte. 21% spécifient « ça dépend » et 1% ne savent pas. Aucun participant ne pense que le producteur de la carte est identifiable à partir de l'apparence visuelle de la carte topographique. Le Tableau 4.22 croise la fréquence d'utilisation d'une carte topographique et la possibilité d'identifier le producteur de la carte à partir de son apparence visuelle. Nous observons que la fréquence d'utilisation des cartes topographiques par les participants n'influe pas sur le fait qu'ils pensent pouvoir identifier le producteur d'une carte topographique à partir de son apparence visuelle. La croyance de pouvoir identifier le producteur de la carte est haute pour l'ensemble des participants : 75% pour ceux qui utilisent rarement des cartes topographiques, 76% pour ceux qui utilisent occasionnellement des cartes topographiques et 79% pour ceux qui utilisent régulièrement des cartes topographiques.

| | Rarement | Occasionnellement | Régulièrement |
|---|---|---|---|
| Oui | 75 | 76 | 79 |
| Ça dépend | 25 | 21 | 21 |
| Non | 0 | 0 | 0 |
| Je ne sais pas | 0 | 3 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Tableau 4.22 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte topographique par son apparence visuelle.

**Q3.2** : Pensez-vous pouvoir reconnaître une carte topographique produite par l'agence de cartographie Swisstopo?

⇨ Réponses possibles : Oui, avec certitude / Oui, probablement / Peut-être / Non, probablement pas / Non, pas du tout

53% des participants ont spécifié pourvoir reconnaître une carte produite par l'agence de cartographie Swisstopo avec certitude, 30% oui, probablement, 15% peut-être, 1% non, probablement pas, 1% non, pas du tout. Le Tableau 4.23 croise la fréquence d'utilisation d'une carte topographique et la possibilité de reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo. Nous observons que la fréquence d'utilisation des cartes topographiques par les participants n'influe pas sur le fait qu'ils pensent pouvoir reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo. La croyance de pouvoir reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo avec certitude est assez haute pour l'ensemble des participants : 50% pour ceux qui utilisent rarement des cartes topographiques, 46% pour ceux qui utilisent occasionnellement des cartes topographiques et 58% pour ceux qui utilisent régulièrement des cartes topographiques.

| | Rarement | Occasionnellement | Régulièrement |
|---|---|---|---|
| Oui, avec certitude | 50 | 46 | 58 |
| Oui, probablement | 38 | 30 | 29 |
| Peut-être | 12 | 24 | 12 |
| Non, probablement pas | 0 | 0 | 0 |
| Non, pas du tout | 0 | 0 | 1 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Tableau 4.23 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo.

Au regard de ces premiers résultats, il est nécessaire d'évaluer la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique Swisstopo par des participants experts et d'investiguer sur les principes en jeu dans cette reconnaissance.

### 4.4.2 Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique Swisstopo parmi d'autres

Dans cette sous-section nous proposons les résultats pour la question 4.1 :

**Q4.1** : Quelle(s) carte(s) est produite(s) par l'agence de cartographie Swisstopo ?

Le diagramme en bâtons de la Figure 4.24 illustre les réponses spécifiées par les participants pour cette question.

15% des participants ont sélectionné uniquement la carte Swisstopo au 1:25 000$^{ème}$. Ainsi, peu de participants ont uniquement spécifié la bonne réponse, sélectionnant très souvent une carte topographique d'un autre producteur en même temps. 46% des participants ont sélectionné la carte Swisstopo sélectionnant dans le même temps la carte IGN, représentant un espace géographique Suisse. La carte Swisstopo est présente dans 89% des réponses. Ces résultats font état d'une bonne reconnaissance visuelle de la carte

Swisstopo, validant notre hypothèse H1, mais également d'un certain nombre de confusions de la part des participants. Il semblerait que le contexte géographique représenté ait une influence sur la reconnaissance visuelle d'une famille cartographique. En effet, nous rappelons que la carte topographique Swisstopo représentait un territoire français. De même, la carte topographique IGN représentant un territoire Suisse a été considérée très souvent comme une carte appartenant à la famille cartographique Swisstopo par les participants.

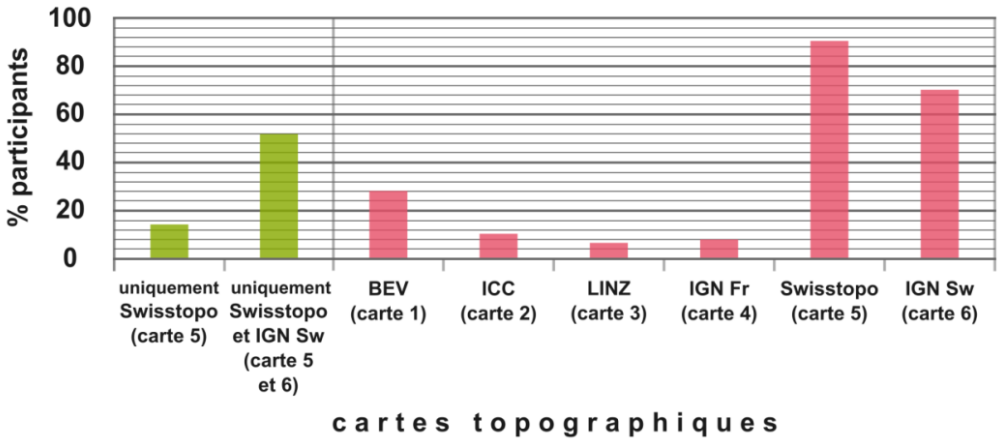



Figure 4.24 Diagramme en bâtons des cartes sélectionnées comme appartenant à la famille cartographique Swisstopo.

Au regard de ces résultats, il est nécessaire d'investiguer plus précisément les critères qui interviennent dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique appartenant à la famille cartographique Swisstopo.

### 4.4.3 Identification des ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle des cartes de la famille cartographique Swisstopo

Dans cette sous-section nous proposons les résultats pour la question 4.2 et 4.3.

**Q4.2** : Quels critères vous ont aidé à effectuer votre choix ?

⇨ Réponses possibles : le contenu géographique (les thèmes cartographiques représentés par la carte) / la symbolisation des objets cartographiques (i.e. couleur et texture) / le niveau de généralisation des objets cartographiques (i.e. la forme des objets) / la toponymie / l'espace géographique représenté par la carte

Le Tableau 4.25 illustre les résultats obtenus à cette question. La symbolisation et la toponymie sont considérées par les participants comme les critères plus importants pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo, respectivement 82% et 65% - cellules orange du Tableau 4.25. Par ailleurs, le niveau de généralisation des objets cartographiques et le contenu géographique sont considérés comme assez important par les participants respectivement 58% et 56% - cellules jaune du Tableau 4.25. Il semble que l'espace géographique représenté ne soit pas un critère important pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour les participants (32%) – cellule rouge du Tableau 4.25.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| Le contenu géographique | 21 | 56 | 23 | 100 |
| La symbolisation des objets cartographiques | 82 | 17 | 1 | 100 |
| Le niveau de généralisation des objets cartographiques | 14 | 58 | 28 | 100 |
| La toponymie | 65 | 28 | 7 | 100 |
| L'espace géographique représenté par la carte | 18 | 50 | 32 | 100 |

Tableau 4.25 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo pour l'ensemble des participants.

Si l'on considère uniquement les participants ayant spécifié la bonne réponse à la question Q4.1, i.e. ayant sélectionné uniquement la carte topographique appartenant à la famille cartographique Swisstopo, nous obtenons les résultats illustrés par le Tableau 4.26.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| Le contenu géographique | 16 | 58 | 26 | 100 |
| La symbolisation des objets cartographiques | 95 | 5 | 0 | 100 |
| Le niveau de généralisation des objets cartographiques | 5 | 58 | 37 | 100 |
| La toponymie | 58 | 16 | 26 | 100 |
| L'espace géographique représenté par la carte | 16 | 47 | 37 | 100 |

Tableau 4.26 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo pour les participants ayant sélectionnées uniquement la carte appartenant à la famille cartographique Swisstopo.

La symbolisation et la toponymie sont également considérées par les participants comme les critères plus importants pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique Swisstopo, respectivement 95% et 58% - cellules orange du Tableau 4.26. De même, le contenu géographique et le niveau de généralisation des objets cartographiques sont considérés comme assez important par les participants

respectivement 58% et 58% - cellules jaunes du Tableau 4.26. De même, l'espace géographique représenté par la carte est considéré par les participants comme le critère le moins important. Ces résultats confirment ceux obtenus pour l'ensemble des participants (37%). En revanche, nous observons que le niveau de généralisation des objets cartographiques est également considéré par les participants comme le critère le moins important (37%), ce résultat est plus important de 8 points que celui précédemment obtenu pour l'ensemble des participants.

En conclusion, la symbolisation des objets cartographiques représentés est le critère majeur pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo. De même, la toponymie apparaît être un critère significatif dans la reconnaissance d'une carte de la famille cartographique Swisstopo. Ces résultats ne valident que partiellement notre hypothèse H2.1. En effet, nous avions fait l'hypothèse que le niveau de généralisation cartographique était un critère important, or ce dernier a été classé comme le critère le moins important par les participants. Au regard de ces résultats, nous souhaitons évaluer le poids des symbolisations de différents thèmes cartographiques dans la reconnaissance visuelle d'une carte topographique appartenant à la famille cartographique Swisstopo.

**Q4.3** : Comment la symbolisation des différents thèmes cartographiques vous a aidé à effectuer votre choix ?

⇨ Réponses possibles : la symbolisation du réseau routier / la symbolisation de l'hydrographie / la symbolisation de l'occupation du sol / la symbolisation des zones bâties / la représentation de la toponymie (typographie) / la représentation du relief

Les résultats obtenus à cette question sont très serrés tel que l'illustre le Tableau 4.27.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| La symbolisation du réseau routier | 33 | 57 | 10 | 100 |
| La symbolisation de l'hydrographie | 24 | 56 | 20 | 100 |
| La symbolisation de l'occupation du sol | 38 | 47 | 15 | 100 |
| La symbolisation des zones bâties | 48 | 42 | 10 | 100 |
| La représentation de la toponymie (typographie) | 52 | 38 | 10 | 100 |
| La représentation du relief | 55 | 35 | 10 | 100 |

Tableau 4.27 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo pour l'ensemble des participants.

55% des participants considèrent la représentation du relief comme le critère le plus important pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique Swisstopo, devant la représentation de la toponymie (52%) et la symbolisation des zones bâties (48%). Suivent derrière la symbolisation de l'occupation du sol (46%) - cellules orange du Tableau 4.27. De même, 57% des participants considèrent la symbolisation du réseau routier comme un critère assez important devant la symbolisation de l'hydrographie (56%) et la symbolisation de l'occupation du sol (47%) - cellules jaunes du Tableau 4.27.

Si l'on considère uniquement les participants ayant spécifié la bonne réponse à la question Q4.1, i.e. ayant sélectionné uniquement la carte topographique appartenant à la famille cartographique Swisstopo, nous obtenons les résultats illustrés par le Tableau 4.28. Les résultats obtenus sont également assez serrés et confirment ceux obtenus pour l'ensemble des participants. 58% des participants considèrent la représentation du relief comme le critère le plus important pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique Swisstopo, devant la représentation de la toponymie (59%) et la symbolisation des zones bâties (47%) - cellules orange du Tableau 4.28. Suivent derrière la symbolisation de l'hydrographie (58%) et la symbolisation du réseau routier (47%) - cellules jaunes du Tableau 4.28. Nous notons que la symbolisation est considérée comme le critère le moins important par 32% des participants - cellule rouge du Tableau 4.28.

| | Très important | Assez important | Non important | Total |
|---|---|---|---|---|
| La symbolisation du réseau routier | 37 | 47 | 16 | 100 |
| La symbolisation de l'hydrographie | 26 | 58 | 16 | 100 |
| La symbolisation de l'occupation du sol | 37 | 32 | 32 | 100 |
| La symbolisation des zones bâties | 47 | 37 | 16 | 100 |
| La représentation de la toponymie (typographie) | 47 | 37 | 16 | 100 |
| La représentation du relief | 58 | 26 | 16 | 100 |

Tableau 4.28 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo pour les participants ayant sélectionné uniquement la carte appartenant à la famille cartographique Swisstopo.

Au regard de ces résultats, la représentation du relief, la représentation de la toponymie et la symbolisation des zones bâties permettent aux utilisateurs de reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo. Les symbolisations de ces trois thèmes

cartographiques apparaissent être des critères de définition majeurs du style topographique Swisstopo : représentation du relief + représentation de la toponymie + symbolisation des zones bâties. Ces résultats valident notre hypothèse H2.2, i.e. que la représentation de certains thèmes cartographiques sont plus significatifs que d'autres dans la reconnaissance visuelle d'une famille cartographique. Par ailleurs, nous notons que près de 52% des participants considèrent la typographie comme un critère important. Si nous interprétons ce résultat au regard des résultats obtenus à la question précédente, où la toponymie était considérée comme un critère important par 65% des participants, nous remarquons que la langue exprimée par la toponymie (Q4.2) semble être plus importante que la manière de la représenter (Q4.3). Les résultats de la question Q6.1 confirmeront ou invalideront ces résultats.

### 4.4.4 Évaluation du rôle de la toponymie et de la typographie

Dans cette sous-section nous proposons les résultats pour la question Q6.1.

**Q6.1** : Plusieurs échantillons de toponymes ont été extraits de différentes cartes topographiques représentant diverses régions du monde et produits par différents producteurs de cartes. Pour chaque échantillon spécifiez le nom du producteur de cartes associé (agence de cartographie, société productrice, etc.)

Pour cette question, nous faisons l'hypothèse que la toponymie et la typographie jouent un rôle prépondérant dans la reconnaissance visuelle d'une carte et son appartenance à une famille cartographique (H2.3). La Figure 4.29 illustre le taux de reconnaissance pour les huit échantillons de toponymes extraits. La série statistique est ordonnée et classée en trois groupes distincts[124]. D'après les résultats obtenus à cette question, il semble que notre hypothèse H2.3 soit validée. En effet, les toponymes extraits des cartes topographiques Swisstopo ont majoritairement été reconnus par 80% des participants. De même, les échantillons de toponymes extraits des cartes de l'USGS et de l'Ordnance Survey ont été assez bien reconnus, respectivement 71% et 62%. Ce résultat forme le groupe A de la Figure 4.29. Le groupe B est constitué des échantillons de toponymes qui ont été moyennent reconnus, i.e., IGN France (28%) et OSM (18%).Le groupe C est constitué des échantillons de toponymes qui ont été très faiblement reconnus : Google Maps (9%), ICC (7%) et ACT (3%).

[124] Le nombre de classes a été determiné avec la méthode de Sturges [log(N+1,base=2)] et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

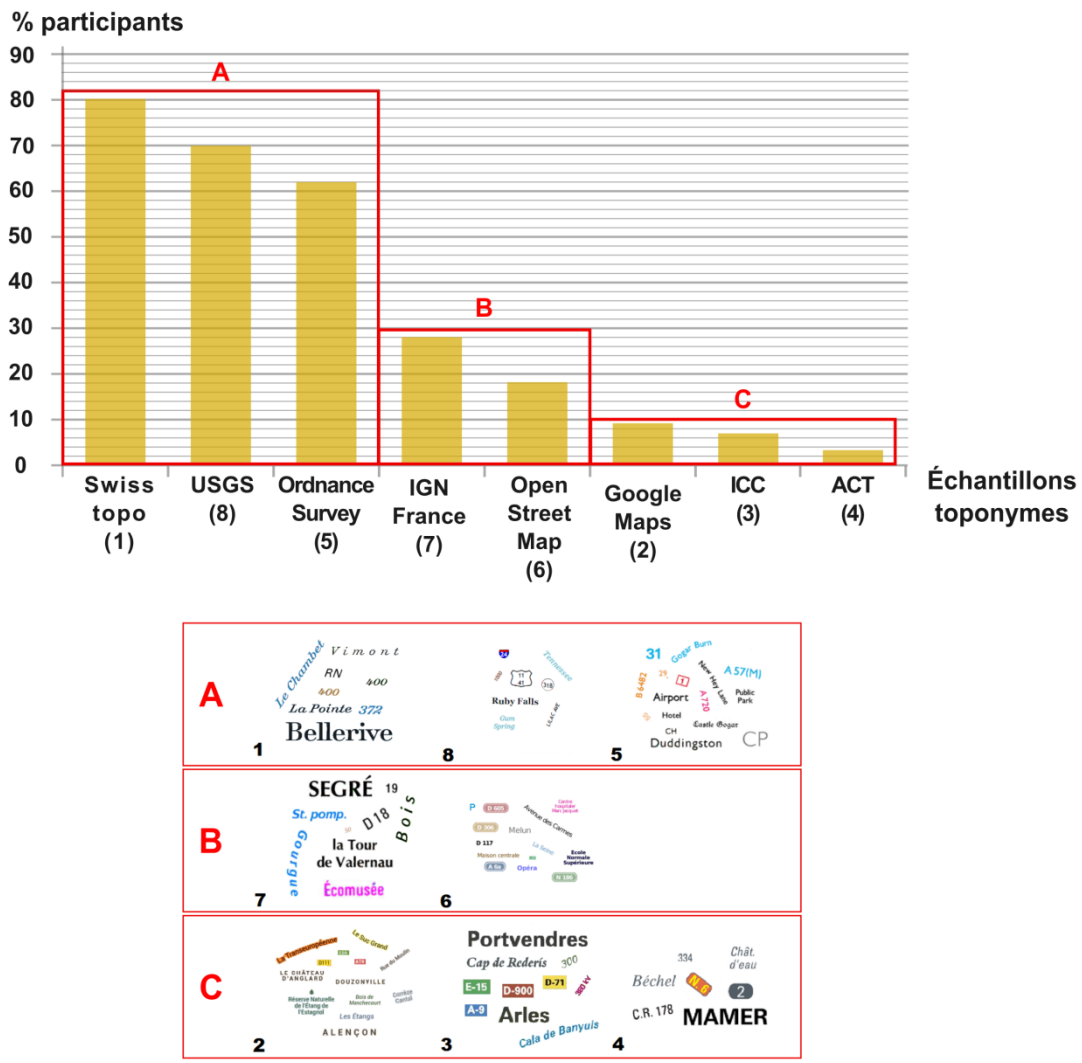



Figure 4.29 Diagramme en bâtons illustrant le taux de reconnaissance des familles cartographiques pour les huit échantillons de toponymes extraits.

Face à ces résultats, nous effectuons la même conclusion que pour l'expérimentation IGN. Ces résultats montrent que lorsque le participant est familier de la structure verbale et de la typographie des toponymes, il est en mesure de reconnaître la famille cartographique dont ils sont extraits. Par ailleurs, ces résultats montrent également que l'impression phonétique des toponymes a une influence considérable sur la reconnaissance de la famille cartographique à laquelle ils appartiennent. En effet, les échantillons de toponymes à consonance anglaise ont été assez bien reconnus or les échantillons de toponymes dont la consonance est française ont été assez mal reconnus. Il apparaît que cette discrimination ne s'est pas faite sur la typographie mais sur l'impression phonétique du toponyme.

Dans la suite de cette section, nous évaluons l'importance des différents signes graphiques candidats pour la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo, à travers deux fonctions perceptives et cognitives : perception visuelle et mémorisation visuelle.

### 4.4.5 Identification des signes graphiques perçus et mémorisés pour la famille cartographique Swisstopo

Dans cette sous-section , nous proposons les résultats pour les questions Q5.1 et Q7.1. Pour une meilleure compréhension de notre problème, nous traitons d'abord la question Q7.1, i.e. les signes graphiques perçus, puis la question Q5.1, i.e. les signes graphiques mémorisés, tel que nous l'avons précédemment fait dans l'expérimentation utilisateur IGN (cf. sous-section 4.3.5).

#### Tâche de perception visuelle

**Q7.1** : Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une carte topographique produite par l'agence de cartographie Swisstopo.

La Figure 4.30 illustre les signes graphiques candidats sélectionnés par les participants à la question Q7.1 en visualisant quatre cartes topographiques IGN : tâche de perception visuelle. La série statistique est ordonnée et classée en quatre groupes distincts[125].

Le **groupe A** représente les trois signes graphiques candidats, ayant été les plus sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme les plus représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : le dessin du rocher (15), la toponymie et la typographie (6) et l'ombrage et les courbes de niveau (9).

Le **groupe B** comprend quatre signes graphiques candidats, ayant été très sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme hautement représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : les bâtiments individuels (8), les forêts (16) et le réseau routier local (14).

Le **groupe C** comprend six signes graphiques candidats, ayant été moyennement sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme modérément représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : le réseau hydrographique surfacique (4), les surfaces hydrographiques et les isobathes (7), les vergers (2), gravière et talus (13), les haies et forêts clairsemées (5) et les îlots urbains et bâtiments industriels (11).

Le **groupe D** comprend quatre signes graphiques candidats, ayant été les moins sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme peu représentatifs par les participants : les chemins carrossables (3), les marais (1), diverses infrastructures humaines (12) et le réseau hydrographique linaire (10).

Ces résultats valident notre hypothèse H4 et nous permettent de proposer une classification des signes graphiques candidats perçus par un utilisateur.

[125] Le nombre de classes a été determiné avec la méthode de Sturges [log(N+1,base=2)] et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

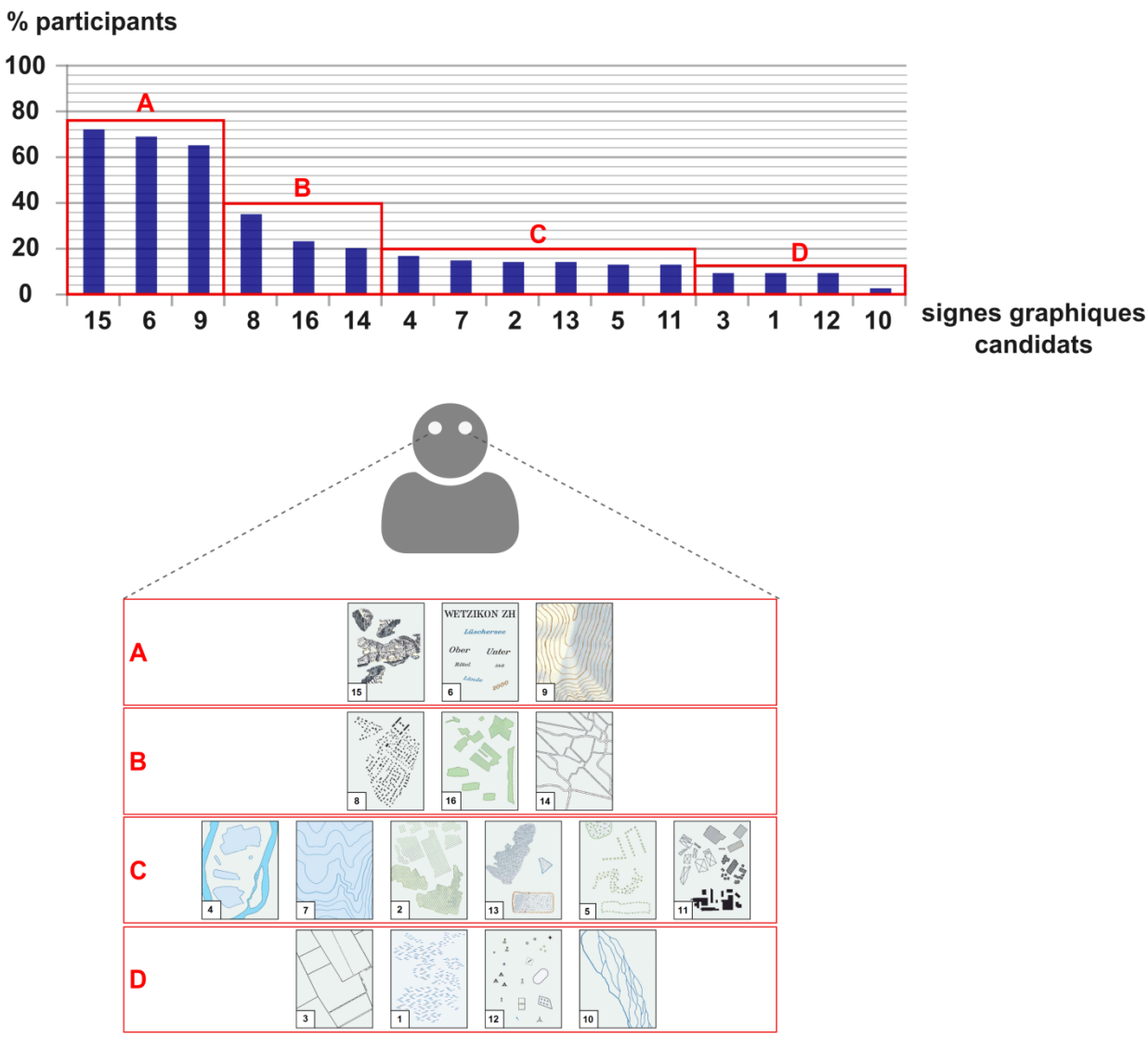



Figure 4.30 Diagramme en bâtons des signes graphiques candidats sélectionnés par les participants en visualisant quatre cartes topographiques Swisstopo : perception visuelle.

### Tâche de mémorisation visuelle

**Q5.1** : Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une carte topographique produite par l'agence de cartographie Swisstopo.

La Figure 4.31 illustre les signes graphiques candidats sélectionnés par les participants à la question 5.1 sans visualiser de carte : tâche de mémorisation visuelle. La série statistique est ordonnée et classée en quatre groupes distincts[126].

Le **groupe A** représente les trois signes graphiques candidats, ayant été les plus sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme les plus représentatifs par les participants.

[126] Le nombre de classes a été determiné avec la méthode de Sturges [log(N+1,base=2)] et la série statistique est discrétisée selon les seuils naturels de Jenks.

Par ordre d'importance : la toponymie et la typographie (6), le dessin du rocher (15) et l'ombrage et les courbes de niveau (9).

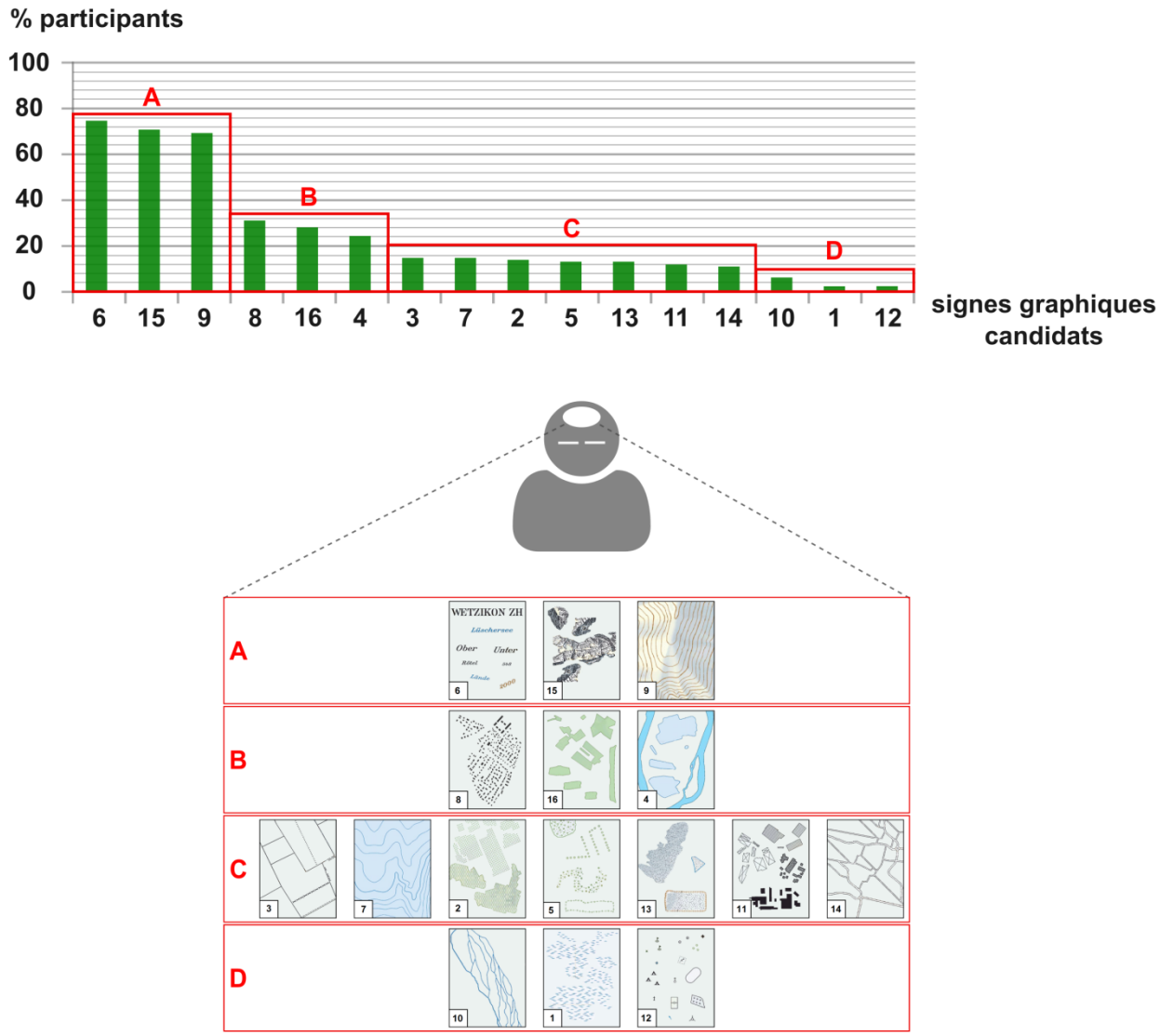



Figure 4.31 Diagramme en bâtons des signes graphiques candidats sélectionnés par les participants sans visualiser de cartes topographiques IGN : mémorisation visuelle.

Le **groupe B** comprend trois signes graphiques candidats, ayant été très sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme hautement représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : les bâtiments individuels (8), les forêts (16) et le réseau hydrographique surfacique (4).

Le **groupe C** comprend sept signes graphiques candidats, ayant été moyennement sélectionnés, c'est-à-dire considérés comme modérément représentatifs par les participants. Par ordre d'importance : les chemins carrossables (3), les surfaces hydrographiques et les isobathes (7), les vergers (2), les haies et forêts clairsemées (5), les gravières et talus (13), les îlots urbains et bâtiments industriels (11) et le réseau routier local (14).

Le **groupe D** comprend trois signes graphiques candidats, ayant été les moins sélectionnés, c'est-à-dire ceux considérés comme peu représentatifs par les participants :

le réseau hydrographique linaire (10), les marais (1) et diverses infrastructures humaines (12).

Ces résultats valident notre hypothèse H3 et nous permettent de proposer une classification des signes graphiques candidats mémorisés par un utilisateur.

Nous observons que certains signes graphiques candidats obtiennent un bon score au sein des deux tâches de perception et mémorisation : la toponymie et la typographie (6), le dessin du rocher (15) et l'ombrage et les courbes de niveau (9). Par conséquent, nous pensons que ces signes graphiques sont très représentatifs de la famille cartographiques Swisstopo et constituent le cœur de sa signature visuelle.

Dans cette section, nous avons présenté l'ensemble des résultats obtenus par la mise en œuvre de l'expérimentation utilisateur Swisstopo. Nous effectuons ici une synthèse des résultats obtenus.
1. Évaluation de la reconnaissance visuelle d'une carte topographique Swisstopo parmi d'autres :
=> La carte topographique Swisstopo au 1 :25 000ème représentant un territoire français a été assez bien reconnue par les participants (89%).
=> Les participants ont fait des nombreuses confusions en sélectionnant des cartes topographiques appartenant à d'autres familles cartographiques, notamment la carte topographique IGN représentant un territoire Suisse.
2. Identification des ingrédients favorisant cette reconnaissance :
=> La symbolisation des objets cartographiques et la toponymie sont considérées par les participants comme les critères plus importants pour reconnaître une carte topographique de la famille cartographique Swisstopo.
=> La représentation du relief et de la typographie sont les critères les plus importants qui permettent aux utilisateurs de reconnaître une carte topographique de la famille cartographique Swisstopo.
3. Classification des signes graphiques candidats :
La toponymie et la typographie, le dessin du rocher et l'ombrage et les courbes de niveau sont considérées comme les signes graphiques les plus représentatifs d'une carte topographique appartenant à la famille cartographique Swisstopo.

Dans la section suivante, nous discutons des résultats majeurs obtenus par la mise en œuvre de ces deux expérimentations utilisateur et des forces et limites de notre protocole d'expérimentation.

## 4.5 Résultats majeurs et discussion sur le protocole d'expérimentation

Dans cette section, nous présentons en premier lieu les résultats majeurs obtenus au sein des deux expérimentations utilisateur (4.5.1) et nous discutons ensuite des forces et limites de notre protocole d'expérimentation (4.5.2).

### 4.5.1 Résultats majeurs

Dans cette sous-section, nous présentons les résultats majeurs obtenus par la mise en œuvre de nos expérimentations. Nous confrontons également ces résultats à ceux de l'état de l'art.

Le premier résultat majeur se situe au niveau d'une bonne **reconnaissance visuelle de la famille cartographique à laquelle appartient une carte topographique**. Aussi bien dans l'expérimentation IGN que dans l'expérimentation Swisstopo, les cartes topographiques appartenant à chacune de ces familles cartographiques ont été bien identifiées par les participants. Ce résultat valide l'intégration du concept de famille cartographique que nous proposons au sein de notre modèle de style topographique. De même, ce résultat confirme le concept de famille cartographique proposé dans la littérature par Kent et Vujakovic, (2009), Beconyte (2011) et Christophe (2012) (cf. sous-section 2.4.2). Nous notons toutefois une forte confusion de la part des participants. Ces derniers ont souvent identifié des cartes comme appartenant à une famille cartographique alors que ce n'était pas le cas. Il semble que l'espace géographique représenté, les spécifications de légende et la toponymie sont des ingrédients déterminants pour réaliser la tâche de reconnaissance visuelle. Certaines modifications de ces ingrédients peuvent induire le participant en erreur et le conduire à échouer dans la réalisation de la tâche, i.e. à sélectionner des cartes n'appartenant pas à la famille cartographique demandée.

Le second résultat majeur se situe au niveau de **l'identification et de la classification des signes graphiques candidats perçus et reconnus par les utilisateurs pour chacune des familles cartographiques étudiées**. Ces résultats valident d'une part le concept de signature visuelle que nous proposons, et d'autre part nous permettent de caractériser assez précisément les signatures visuelles de chacune de ces familles cartographiques (cf. section 4.6). Par ailleurs, ces résultats viennent compléter les connaissances existantes sur la formalisation du style en tant que famille cartographique. Kent et Vujakovic (2009) ont caractérisé les styles de cartes européennes au 1 :50 000$^{ème}$ à travers une analyse quantitative des thèmes et sous-thèmes cartographiques présents en légende et la manière de les représenter (cf. sous-section 2.3.2). Leur approche a permis de caractériser les styles de différentes cartes européennes au 1 :50 000$^{ème}$ à partir des spécifications de légende étudiées statistiquement. Notre approche vient enrichir ces connaissances en caractérisant certaines de ces familles cartographiques : IGN et Swisstopo, à partir de spécifications de légende étudiées du point de vue de l'utilisateur.

Une des principales difficultés de l'analyse des résultats est de faire la part des choses entre ce qui relève du caractère expérimental et ce qui relève du dispositif en lui-même. Pour bien interpréter les résultats obtenus lors des différentes phases de l'expérimentation, une discussion sur le protocole d'expérimentation s'impose.

### 4.5.2 Forces et limites de notre protocole d'expérimentation

Çöltekin (2015) rappelle qu'aucun protocole d'expérimentation n'est parfait mais tous sont bons. Chaque approche a ses faiblesses et ses points forts. Dans cette sous-section,

nous discutons tout d'abord des forces et limites de notre protocole d'expérimentation puis de notre méthode de sélection des participants.

### Forces du protocole d'expérimentation

Dans notre protocole d'expérimentation, les participants évaluent le matériel à travers un choix binaire : un matériel appartient ou non à une famille cartographique. Cette approche a l'avantage de simplifier de nombreuses étapes de la mise en œuvre de notre protocole d'expérimentation :

1. Il n'est pas nécessaire au préalable de calibrer un ensemble d'indicateurs pour permettre aux participants de caractériser le matériel durant l'expérimentation.
2. Les données récoltées sont de nature qualitative non ordonnées, i.e. que les modalités sont exprimables par des noms : carte IGN, caractéristique visuelle 1, carte Swisstopo. Ces variables ne se mesurent pas mais permettent aisément de définir des catégories ou classes correspondant aux différentes modalités du caractère observé : la famille cartographique.

Cette approche nous a permis de tester la validité de l'ensemble de nos hypothèses et d'atteindre les trois objectifs initiaux que nous nous étions fixés :

**1**. Évaluer si les utilisateurs sont capables de reconnaître visuellement une carte topographique appartenant aux familles cartographiques IGN et Swisstopo ;

**2**. Identifier les ingrédients favorisant la reconnaissance visuelle des cartes appartenant aux familles cartographiques IGN et Swisstopo ;

**3**. Caractériser la signature visuelle des familles cartographiques IGN et Swisstopo par les utilisateurs.

### Limites du protocole d'expérimentation

La limite majeure de notre protocole d'expérimentation se situe au niveau de la sélection du matériel d'étude. En effet, nous devons souligner que les résultats obtenus sont dépendants des cartes topographiques et des signes graphiques candidats extraits. Même si la sélection du matériel a été effectuée par un expert, elle peut apporter un biais aux résultats de notre étude. En ce sens, il serait intéressant de tester une autre méthode de sélection du matériel, telle qu'une méthode impliquant les utilisateurs. Il s'agirait par exemple de consulter un vaste groupe d'utilisateurs de cartes topographiques sur le web, à la manière « crowdsourcing » [127] et de leur demander de sélectionner les cartes topographiques et les signes graphiques qu'ils pensent les plus représentatifs des familles cartographiques IGN et Swisstopo. La représentativité d'une carte topographique ou d'un signe graphique candidat est dépendante du nombre d'utilisateurs les ayant sélectionnés. Cette méthode a fait ses preuves au sein de nombreux domaines d'application

[127] « l'utilisation de la créativité, de l'intelligence et du savoir-faire d'un grand nombre de personnes, en sous-traitance, pour réaliser certaines tâches traditionnellement effectuées par un employé ou un entrepreneur. » - https://fr.wikipedia.org/wiki/Crowdsourcing

notamment pour valider des géométries de bâti sur des cartes anciennes (Perret et al., 2015).

Par ailleurs, nous avons fait l'hypothèse que les signes graphiques candidats possèdent des propriétés visuelles les rendant saillants. Il serait donc intéressant d'intégrer une méthode de détection automatique de saillance à notre approche afin de valider la sélection du matériel.

### Méthode de sélection des participants

En dernier lieu, nous devons discuter de la sélection des participants. Nous avons fait le choix de sélectionner des participants experts. Comme nous l'avons expliqué tout au long de ce mémoire, la notion de style est dépendante du concept de reconnaissance, qui lui-même est dépendant des connaissances de l'utilisateur. Dans ce contexte, il était indispensable pour nous de consulter des participants ayant une bonne connaissance des cartes topographiques étudiées et des territoires représentés.

Il n'est cependant pas évident d'identifier des critères de représentativité pour construire un échantillon d'utilisateurs experts de cartes topographiques IGN et Swisstopo. Les contours de la population « utilisateurs experts » sont assez flous. En ce sens, nous avons opté pour la construction d'un échantillon sans considérer de critère de représentativité permettant de caractériser cette population, mais un échantillon dont le nombre d'individus est conséquent permettant ainsi d'avoir une diversité d'utilisateurs experts de cartes topographiques similaires et d'approcher statistiquement de la réalité. Martin (2012) qualifie ce type d'échantillon de « prisme ».

Par ailleurs, la sélection de participants experts en cartographie a un impact sur les résultats obtenus. En effet, dans le chapitre 1, nous avons rappelé qu'il existe une distance entre le modèle de la carte et le modèle de l'utilisateur (cf. sous-section 1.3.3). Or, des participants experts en cartographie ont à la fois leur propre modèle utilisateur – lié à leur utilisation des cartes - et une bonne connaissance du modèle de la carte – lié à leur activité professionnelle. Dans ce contexte, il serait intéressant de reproduire l'expérimentation auprès d'utilisateurs non-experts et de comparer les résultats obtenus. Par exemple, nous notons que le signe graphique candidat « relief » apparaît être très représentatif à la fois pour la famille cartographique IGN et Swisstopo. Or, la bonne interprétation de cette information cartographique exige des utilisateurs qu'ils possèdent une grande expérience de lecture de cartes topographiques. Cette information n'est pas facilement compréhensible pour des utilisateurs novices. Son interprétation nécessite de faire le lien entre plusieurs propriétés visuelles : épaisseur de la courbe de niveau, orientation du toponyme spécifiant l'altitude, écartement de courbes de niveau, teinte de l'ombrage associé. Un encart spécial a d'ailleurs été ajouté sur les nouvelles séries topographiques IGN pour permettre aux utilisateurs novices d'interpréter correctement cette information.

Dans la sous-section suivante, nous repartons des résultats obtenus au sein des deux expérimentations pour caractériser les signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo.

## 4.6 Qualification et caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo

Dans cette section, nous proposons de revenir sur ces résultats pour d'une part qualifier (4.6.1) et d'autre part caractériser (4.6.2) les signatures visuelles des deux familles cartographiques.

### 4.6.1 Qualification d'une signature visuelle

Dans cette sous-section, à partir de la catégorisation des signes graphiques candidats perçus et mémorisés, nous identifions et qualifions différents niveaux d'importance d'une signature visuelle.

#### Catégorisation des signes graphique perçus et mémorisés

Nous identifions deux niveaux hiérarchiques pour les signes graphiques candidats perçus et deux niveaux hiérarchiques pour les signes graphiques candidats mémorisés. La Figure 4.32 illustre ces deux niveaux hiérarchiques pour les deux familles cartographiques IGN et Swisstopo :

**P1 : signes graphiques candidats les mieux perçus**, ils correspondent aux groupes A et B identifiés à la question Q7.1 pour chacune des expérimentations utilisateur (cf. section 4.3.5 et section 4.4.5).

**P2 : signes graphiques candidats les moins bien perçus,** ils correspondent aux groupes C et D identifiés à la question Q7.1 pour chacune des expérimentations utilisateur (cf. section 4.3.5 et section 4.4.5).

**M1 : signes graphiques candidats les plus mémorisés**, ils correspondent aux groupes A et B identifiés à la question Q5.1 pour chacune des expérimentations utilisateur (cf. section 4.3.5 et section 4.4.5).

**M2 : signes graphiques candidats les moins bien mémorisées,** ils correspondent aux groupes C et D identifiés à la question Q5.1 pour chacune des expérimentations utilisateur (cf. section 4.3.5 et section 4.4.5).

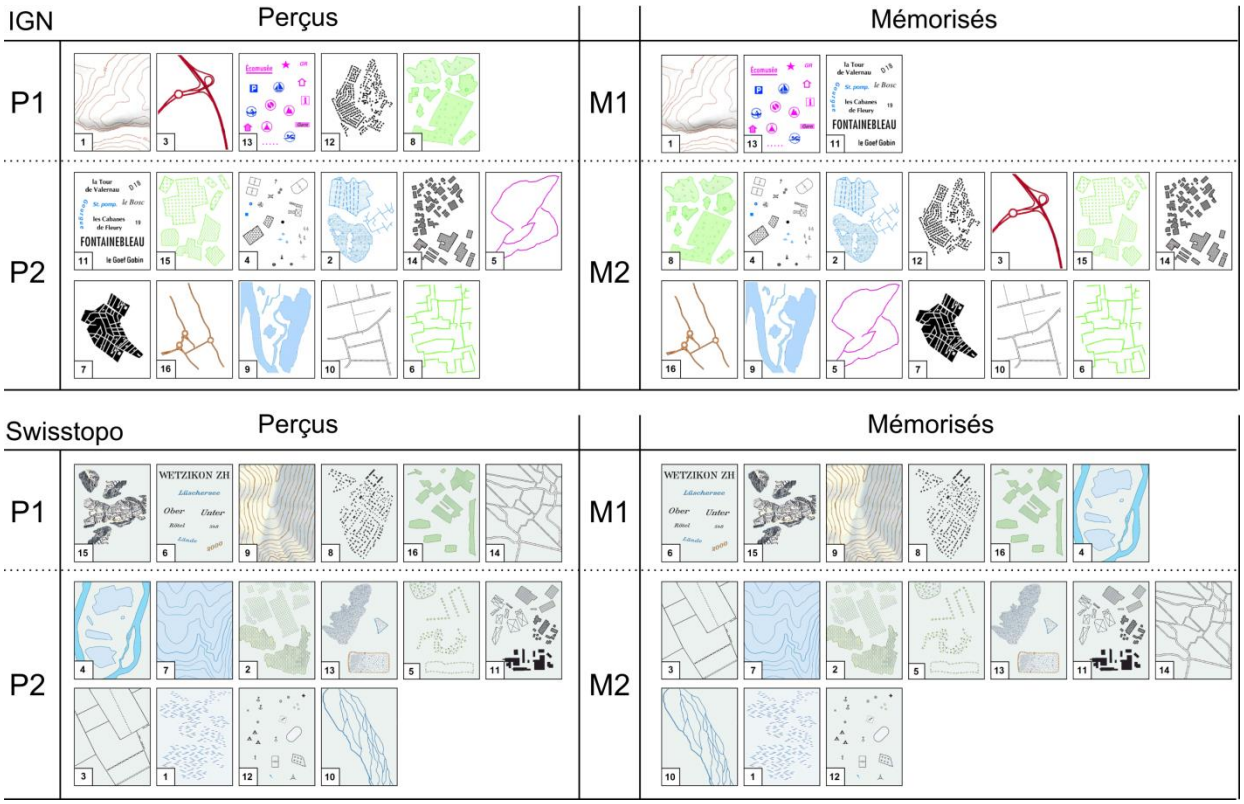



Figure 4.32 Catégorisation des signes graphiques candidats perçus et mémorisés pour les deux familles cartographiques IGN et Swisstopo.

Il semble que les utilisateurs aient une meilleure perception et mémorisation de certains signes graphiques candidats compte tenu de leurs propriétés visuelles. Nous proposons ci-dessous une description des propriétés visuelles des signes graphiques candidats appartenant aux groupes P1 et M1.

**Les signes graphiques candidats les mieux perçus (P1)** semblent visuellement saillants de par leurs **propriétés visuelles : couleurs, formes, distributions spatiales.** Il est possible de décrire ces propriétés visuelles en se référant aux détecteurs de bas niveau proposés par Ware (2008). Par exemple, les couleurs utilisées pour symboliser certains objets cartographiques, telles que le magenta des points d'intérêt touristique ou le vert des zones de forêt dans les cartes topographiques IGN. Il s'agit de couleurs vives, qui sont visuellement contrastées par rapport au fond blanc de la carte. De même, 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. Par 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 qui rend le signe graphique visuellement saillant, par exemple la représentation du réseau routier principal.

**Les signes graphiques candidats les plus mémorisés (M1)** semblent visuellement saillantes au même titre que les signes graphiques candidats les mieux perçus. Cependant, nous observons que la saillance de ces signes grahiques est due à **la nature des objets cartographiques** représentés. Par exemple, la surcouche thématique « information touristique » constitue une information saillante en distinguant du reste

des autres informations cartographiques par sa nature. Nous supposons que l'utilisateur mémorise ce type d'informations car elles répondent aux usages qu'il a des cartes topographiques. De même, la toponymie est saillante de par sa nature, elle permet aux utilisateurs de localiser rapidement l'espace géographique représenté par la carte. La langue exprimée par la toponymie contribue à cette saillance car elle permet a priori d'identifier la nationalité du producteur de la carte. En analysant, la catégorisation des signes graphiques candidats faites ci-dessus, on observe qu'un filtrage est effectué par les utilisateurs entre les signes graphiques candidats perçus et ceux qui sont mémorisés. Par exemple, pour la famille cartographique IGN, six signes graphiques candidats appartiennent au groupe mieux perçus, en revanche seulement deux de ces signes graphiques candidats sont mémorisés par les utilisateurs.

Ces différences entre les signes graphiques candidats perçus et les signes graphiques candidats mémorisés nous conduit à la qualification de différents niveaux d'importance d'une signature visuelle.

### Niveaux d'importance d'une signature visuelle

Nous identifions trois niveaux d'importance d'une signature visuelle pour lesquels la capacité de reconnaissance semble différente pour les utilisateurs :

**1. Signature visuelle de 1$^{er}$ niveau** : Elle comprend les signes graphiques candidats qui appartiennent à la fois aux catégories des plus perçus et des mieux mémorisés, constituant ainsi des pivots de reconnaissance. Ces signes graphiques candidats sont très représentatifs de la famille cartographique étudiée. Le fait que ces signes graphiques candidats appartiennent aux deux catégories nous laisse penser que ce 1$^{er}$ niveau de signature visuelle est essentiel pour déterminer la fonction d'appartenance d'une carte topographique à une famille cartographique. De même, ce 1$^{er}$ niveau de signature visuelle permet aux utilisateurs de rentrer facilement en contact avec le langage cartographique utilisé par le producteur de la carte.

**2. Signature visuelle de 2$^{ème}$ niveau** : Elle comprend les signes graphiques candidats qui appartiennent soit à la catégorie des plus perçus, soit à la catégorie des mieux mémorisés. Ces signes graphiques candidats sont également très représentatifs de la famille cartographique étudiée. Le fait que ces signes graphiques candidats n'appartiennent pas aux deux catégories, mais seulement à l'une des deux, indique que leur poids est moindre dans la fonction d'appartenance d'une carte topographique à une famille cartographique bien qu'il reste déterminant.

**3. Signature visuelle de 3$^{ème}$ niveau** : Elle comprend l'ensemble des signes graphiques candidats qui appartiennent à la fois aux catégories des moins bien perçus et des moins bien mémorisés. Le degré de représentativité de ces signes graphiques candidats à une famille cartographique est moindre. Leur poids est moins déterminant dans la fonction d'appartenance d'une carte topographique à une famille cartographique.

Dans la sous-section suivante, nous caractérisons ces différents niveaux d'importance d'une signature visuelle pour les familles IGN et Swisstopo.

### 4.6.2 Caractérisation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo

Nous procédons tout d'abord à une caractérisation des signatures visuelles de la famille cartographique IGN, puis celles de Swisstopo, et enfin nous effectuons une synthèse des résultats obtenus.

#### Caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique IGN

La Figure 4.33 représente les trois niveaux hiérarchiques de la signature visuelle de la famille cartographique IGN :

**1. Signature visuelle de 1$^{er}$ niveau, composée de deux signes graphiques candidats :**

- l'ombrage et les courbes de niveau (1) ;
- les points d'intérêt touristique (13).

**2. Signature visuelle de 2$^{ème}$ niveau, composée de quatre signes graphiques candidats :**

- la toponymie et la typographique (11).
- les bâtiments individuels (12) ;
- le réseau routier principal (3) ;
- les forêts (8).

**3. Signature visuelle de 3$^{ème}$ niveau, composée des dix signes graphiques candidats restants :**

- le centre urbain dense (7) ;
- le réseau routier secondaire (16) ;
- les bâtiments industriels (14) ;
- les itinéraires touristiques (5) ;
- les surfaces hydrographiques (9) ;
- les vergers (15) ;
- les canaux et marais (2) ;
- diverses infrastructures humaines (4) ;
- le réseau routier local (10) ;
- les haies (6).

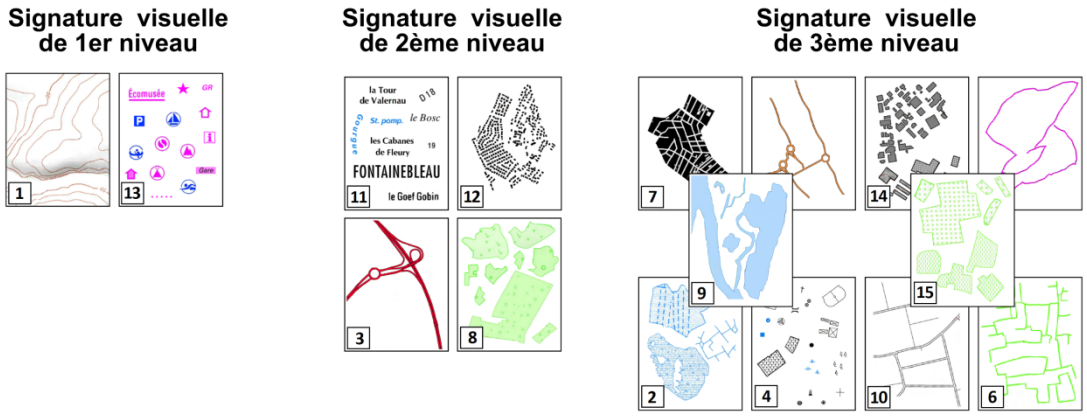



Figure 4.33 Signature visuelle du style topographique IGN (IGN® copyright).

Pour illustrer plus concrètement cette caractérisation des différents niveaux de signature visuelle du style topographique IGN, nous nous appuyons sur la carte topographique IGN Scan Express 25® Classique illustrée par la partie A de la Figure 4.34. Cette carte a été construite à partir de la symbolisation du jeu de données cartographiques vecteur de la région de St Jean-de-Luz dans la plateforme GeOxygene (cf. section 4.8). Elle contient l'ensemble des thèmes cartographiques présents traditionnellement dans une carte topographique IGN au 1 :25 000$^{ème}$.

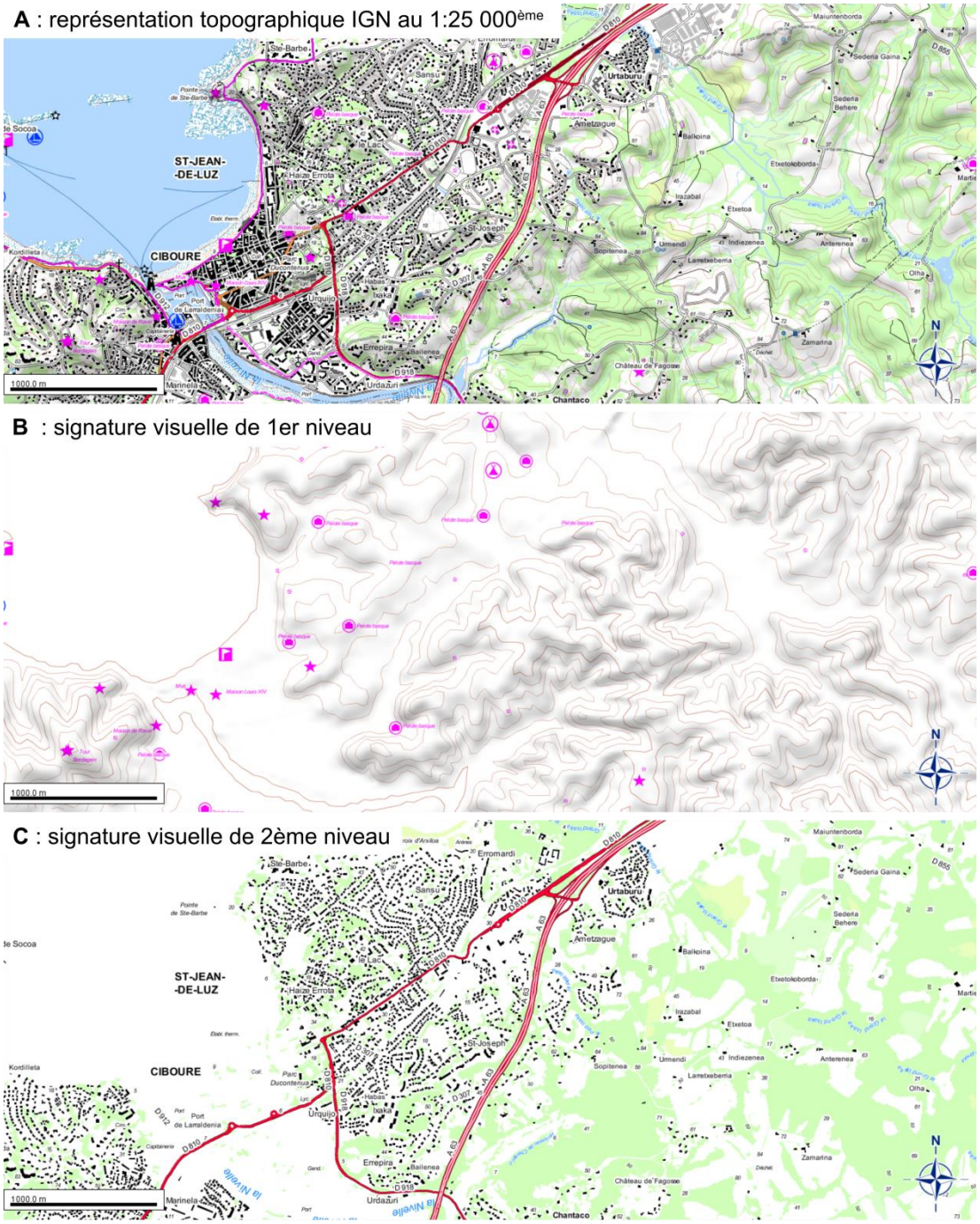



Figure 4.34 Extraction de la signature visuelle de la famille cartographique IGN à travers l'exemple de la représentation topographique de la région de St Jean-de-Luz (IGN® copyright).

En manipulant les fichiers SLD sources ayant servi à la construction de la carte topographique (A), nous avons pu isoler les thèmes cartographiques correspondant aux signatures visuelles de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau. Les autres thèmes cartographiques, i.e. ceux n'appartenant pas à ces deux signatures visuelles ont été retirés, afin de visualiser uniquement le résultat graphique de ces deux signatures visuelles.

La partie B de la Figure 4.34 illustre la signature visuelle de 1$^{er}$ niveau : seuls les thèmes cartographiques correspondant aux deux signes graphiques caractérisant la signature visuelle de 1$^{er}$ niveau sont symbolisés. De même, la partie C de la Figure 4.34 illustre la signature visuelle de 2$^{ème}$ niveau : seuls les thèmes cartographiques correspondant aux quatre signes graphiques caractérisant la signature visuelle de 2$^{ème}$ niveau sont symbolisés.

### Caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo

La Figure 4.35 représente les trois niveaux hiérarchiques de la signature visuelle du style topographique Swisstopo.

**1. Signature visuelle de 1$^{er}$ niveau, composée de cinq signes graphiques candidats :**

- la toponymie et la typographique (6) ;
- le dessin du rocher (15) ;
- l'ombrage et les courbes de niveau (9) ;
- les bâtiments individuels (8) ;
- les forêts (16).

**2. Signature visuelle de 2$^{ème}$ niveau, composée de deux signes graphiques candidats :**

- le réseau hydrographique surfacique (4) ;
- le réseau routier local (14).

**3. Signature visuelle de 3$^{ème}$ niveau, composée de neuf signes graphiques candidats restants :**

- Les ensembles urbains et bâtiments industriels (11) ;
- Les vergers (2) ;
- les gravières et talus (13) ;
- les chemins carrossables (3) ;
- les surfaces hydrographiques et les isobathes (7) ;
- les haies et forêts clairsemées (5) ;
- le réseau hydrographique linéaire (10) ;
- diverses infrastructures humaines (12) ;
- les marais (1).

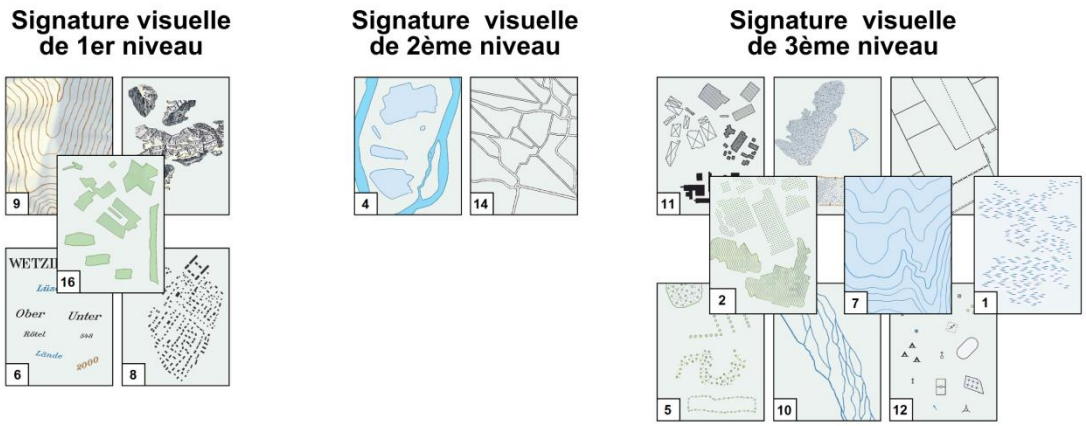



Figure 4.35 Signature visuelle du style topographique Swisstopo (Swisstopo® copyright).

Pour illustrer plus concrètement cette caractérisation des différents niveaux de signature visuelle du style topographique Swisstopo, nous nous appuyons sur la carte topographique Swisstopo au 1 :25 000ème illustrée par la partie A de la Figure 4.36. Cette carte a été construite à partir de la symbolisation du jeu de données cartographiques vecteur de la région de Sursee dans la plateforme GeOxygene (cf. section 4.7.1).Elle contient l'ensemble des thèmes cartographiques présents traditionnellement dans une carte topographique Swisstopo au 1 :25 000ème.

En manipulant les fichiers SLD sources ayant servi à la construction de la carte topographique Swisstopo (A), nous avons pu isoler les thèmes cartographiques correspondant aux signatures visuelles de 1er et 2ème niveau. Les autres thèmes cartographiques, i.e. ceux n'appartenant pas à ces deux signatures visuelles ont été retirés, afin de visualiser uniquement le résultat graphique de ces deux signatures visuelles.

La partie B de la Figure 4.36 illustre la signature visuelle de 1er niveau : seuls les thèmes cartographiques correspondant aux quatre signes graphiques caractérisant la signature visuelle de 1er niveau sont symbolisés. Nous regrettons la non présence de zones rocheuses sur la zone d'étude, ne nous permetant pas de mettre en valeur le signe graphique candidat associé (15). Aucune zone géographique où cohabitait l'ensemble des signes graphiques candidats n'a été trouvée. Nous avons donc fait le choix d'une zone géographique valorisant un maximum de thèmes caractérisant la signature visuelle Swisstopo.

De même, la partie C de la Figure 4.36 illustre la signature visuelle de 2ème niveau : seuls les thèmes cartographiques correspondant aux deux signes graphiques caractérisant la signature visuelle de 2ème niveau sont symbolisés.

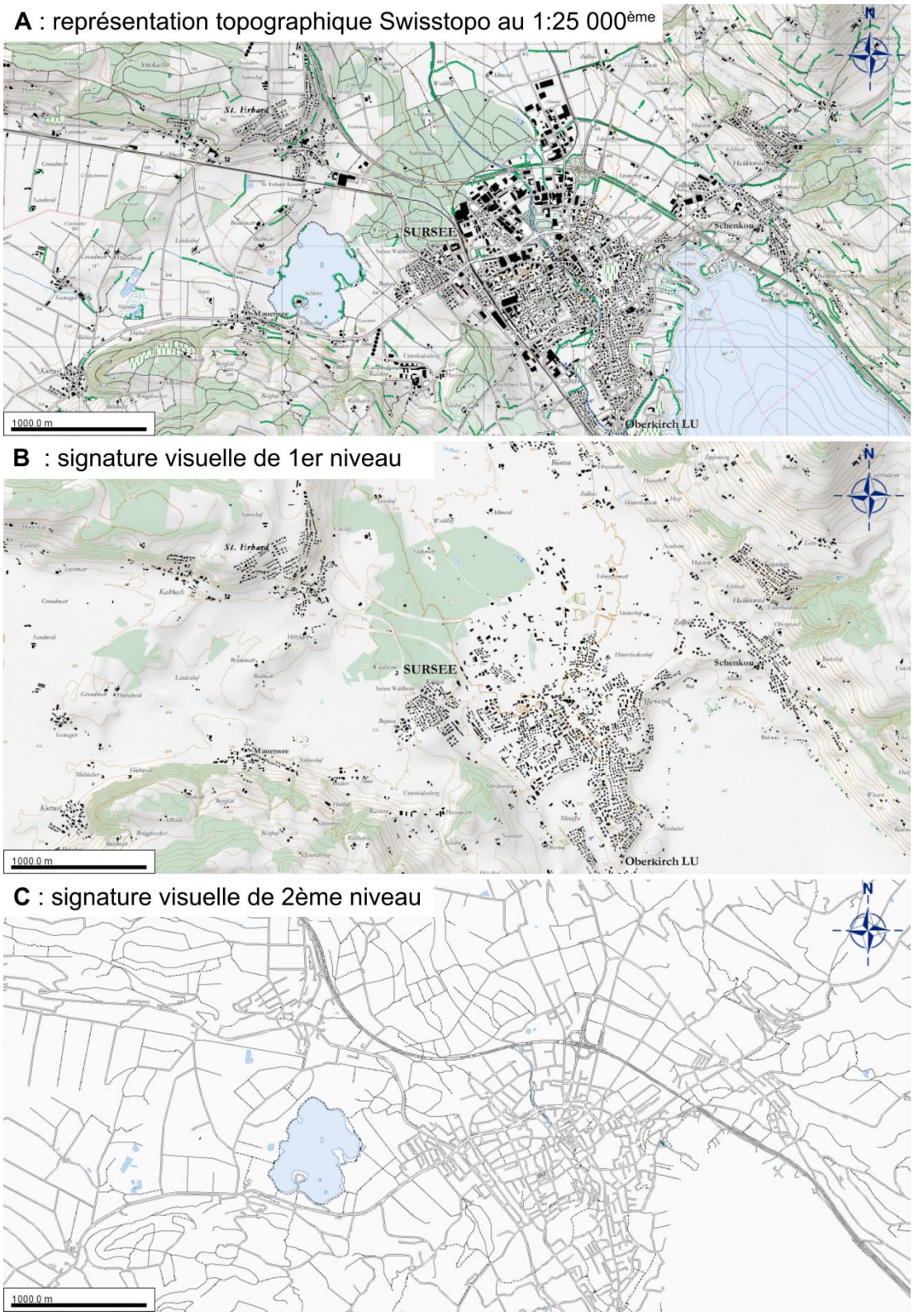



Figure 4.36 Extraction de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo à travers l'exemple d'une représentation topographique de la région de Sursee (Swisstopo® copyright).

### Synthèse des signatures visuelles caractérisées

Pour les deux familles cartographiques IGN et Swisstopo, les signatures visuelles de 1$^{er}$ niveau et de 2$^{ème}$ niveau constituent des représentations cartographiques partielles, i.e. qu'elles sont dépourvues de nombreux thèmes cartographiques ne permettant pas de les

présentées aux utilisateurs en tant que représentations cartographiques autosuffisantes. Cependant, ces deux signatures visuelles constituent un socle cartographique pertinent pour la construction de cartes appartenant à la famille cartographique dont elles sont issues. En effet, nous pensons qu'en préservant les propriétés de ces deux niveaux de signature visuelle, nous assurons leur reconnaissance et par conséquent l'appartenance de la future carte produite à la famille cartographique dont elle est issue. Il reste cependant à identifier les thèmes cartographiques qui doivent être ajoutés, afin de constituer une carte complète, ainsi que la manière avec laquelle ces thèmes doivent être représentés.

Dans cette section, nous avons qualifié et caractérisé les signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo en trois niveaux hiérarchiques.

Nous souhaitons exploiter les signatures visuelles de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau des familles cartographiques IGN et Swisstopo comme outil cartographique pour produire de nouvelles représentations cartographiques. En ce sens, il est nécessaire de proposer un guide de rédaction cartographique.

## 4.7 Description des cas d'application : besoins, problématique et proposition d'un guide de rédaction

Le modèle de style topographique que nous proposons met en évidence l'intérêt de prendre en compte les concepts de famille cartographique et de signature visuelle pour formaliser la notion de style topographique. Nous rappelons qu'un style topographique est constitué et défini à travers quatre ingrédients majeurs illustrés en vert au sein de la Figure 4.37 : l'espace géographique, les données cartographiques, la légende et la reconnaissance utilisateur.

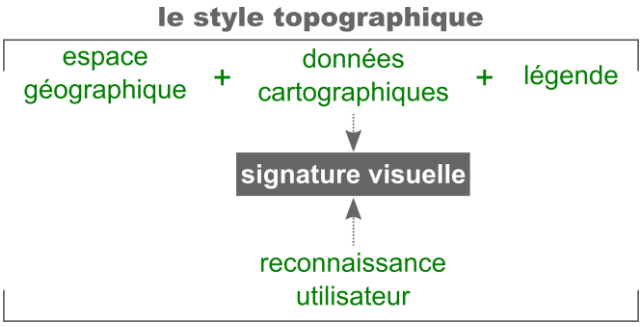



Figure 4.37 Rappel des ingrédients constitutifs du style topographique.

La signature visuelle reconnaissable fait le lien entre ces quatre ingrédients et permet à un utilisateur de reconnaître le style topographique et d'associer la carte à une famille cartographique. L'enjeu est de comprendre comment les ingrédients constitutifs d'un style peuvent être manipulés pour aider à concevoir des cartes topographiques différentes de celles existantes mais appartenant toujours à une même famille cartographique.

Nous identifions deux cas d'application pour lesquels il est nécessaire de manipuler les ingrédients constitutifs d'un style, permettant ainsi de questionner la notion de style topographique :

1. produire de nouvelles cartes topographiques appartenant à une famille cartographique en modifiant certaines spécifications de légende (4.7.1)

2. produire de nouvelles cartes topographiques à partir d'un jeu de données cartographiques d'une autre agence nationale de cartographie (4.7.2).

### 4.7.1 Cas d'application 1 : produire de nouvelles cartes topographiques appartenant à une famille cartographique en modifiant certaines spécifications de légende

#### Contexte et besoins

Au début de ce mémoire, nous avons décrit le contexte actuel des services de conception basés sur des architectures distribuées, au sein desquelles l'utilisateur a une place et une implication de plus en plus importante. Ces utilisateurs ont besoin de cartes topographiques de référence pour lesquelles ils peuvent modifier la légende, tout en préservant la signature visuelle de la famille cartographique à laquelle elles appartiennent, afin de préserver la contrainte de qualité. Tel que nous l'avons présenté dans la sous-section 2.2.2, modifier la légende signifie pouvoir modifier :

1. son contenu cartographique, i.e. les thèmes et sous-thèmes cartographiques qui la composent ;

2. l'ordre d'affichage des thèmes et sous-thèmes cartographiques ;

3. leurs relations ;

4. leurs symbolisations.

#### Objectif et description du problème

Notre objectif est de produire de nouvelles cartes topographiques, à partir de la caractérisation des signatures visuelles de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau. Nous faisons l'hypothèse qu'en préservant les spécifications de légende des thèmes et sous-thèmes cartographiques composant ces signatures visuelles, nous assurons l'appartenance des cartes produites à la famille cartographique référente. Parallèlement, nous souhaitons manipuler les autres thèmes de la carte, i.e. ceux n'appartenant pas aux signatures visuelles de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau, et tout particulièrement leur symbolisation. Notre problème est de comprendre l'impact de ces modifications apportées à la légende sur la reconnaissance du style topographique.

Est-ce que la reconnaissance du style de la carte est préservée en modifiant la symbolisation des thèmes cartographiques n'appartenant pas à la signature visuelle ?

#### Proposition d'un guide de rédaction cartographique

Dans ce paragraphe, nous proposons une démarche pour concevoir une carte topographique avec un style défini, à partir des thèmes cartographiques appartenant à la signature visuelle, et en s'autorisant à modifier la symbolisation des autres thèmes cartographiques de la carte.

Nous illustrons notre guide de conception à travers l'exemple de production de nouvelles cartes topographiques appartenant à la famille IGN. Nous utilisons les données cartographiques SCAN Express 25® décrivant la région de Thonon-les-Bains (cf. sous-section 4.8.1) et la caractérisation des signatures visuelles de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau de la famille cartographique IGN (cf. sous-section 4.6.2). La Figure 4.38 représente la carte topographique originelle de la région de Thonon-les-Bains.

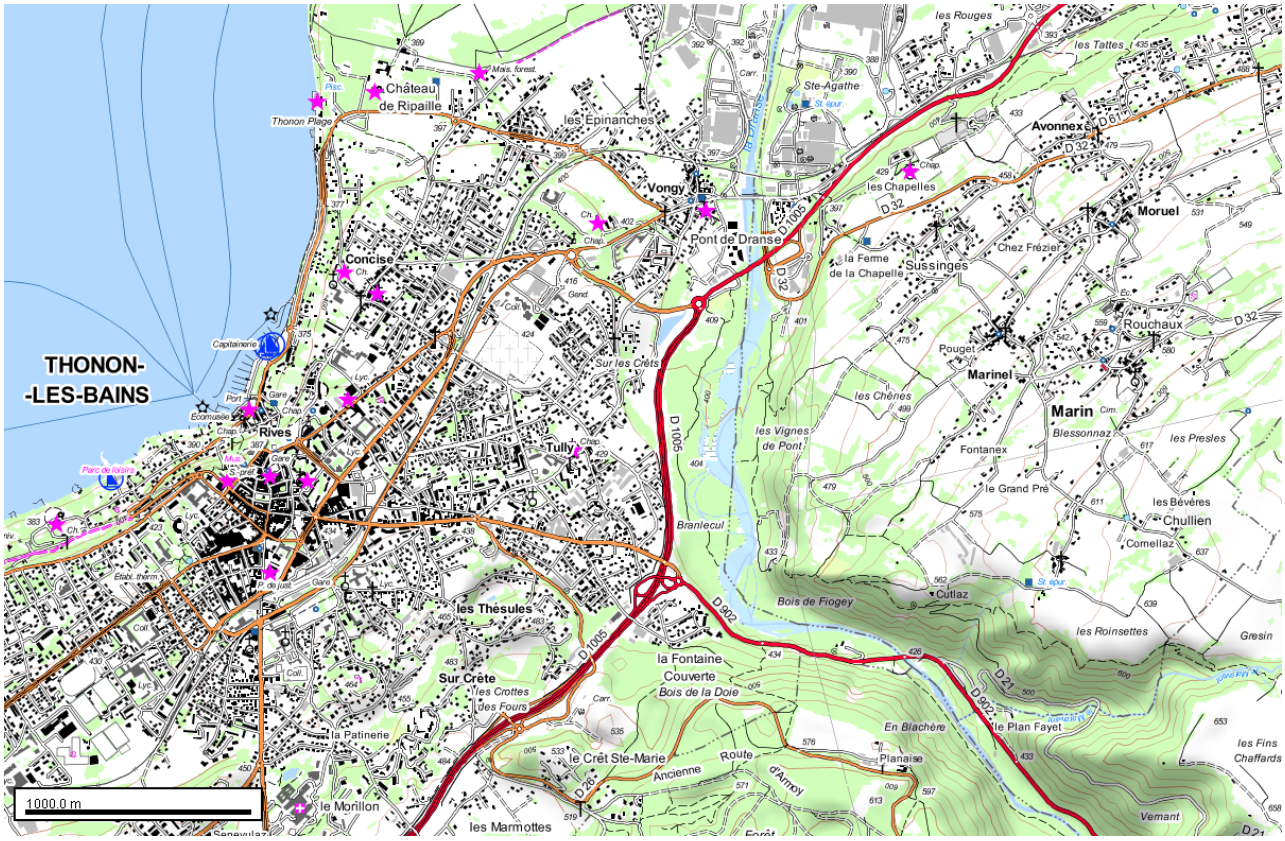



Figure 4.38 Carte topographique IGN originale représentant la region de Thonon-les-Bains.

**1. Déterminer** les thèmes et sous-thèmes cartographiques qui portent la signature visuelle de la carte topographique à produire : **le socle topographique** ;

Nous utilisons les signatures visuelles de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau, que nous nommons socle topographique, pour concevoir de nouvelles cartes topographiques. Il convient donc de sélectionner les thèmes et sous-thèmes cartographiques qui constituent le socle topographique en fonction de la famille cartographique à laquelle doit appartenir la carte topographique produite. Nous ne modifions pas la représentation de ces thèmes cartographiques et sous thèmes cartographiques, ils sont représentés selon leurs spécifications de légende originelles.

Appliqué à notre exemple de production de cartes appartenant à la famille cartographique IGN, il s'agit de sélectionner les thèmes et sous-cartographiques ci-dessous, correspondant aux signatures visuelle de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau illustrées par la Figure 4.39.

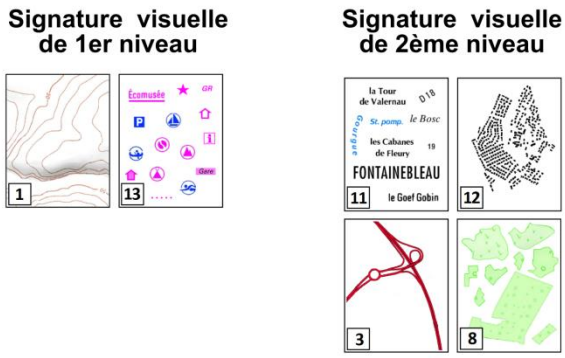



Figure 4.39 Signature visuelle IGN de 1er et 2ème niveau.

Il s'agit des thèmes et sous-thèmes cartographiques suivants :

- l'ombrage et les courbes de niveau (1) ;
- les points d'intérêt touristique (13).
- la toponymie et la typographique (11).
- les bâtiments individuels (12) ;
- le réseau routier principal (3) ;
- les forêts (8).

Nous ne modifions pas les spécifications de légende des thèmes et des sous-thèmes cartographiques sélectionnés. L'application de cette signature visuelle sur les données cartographiques de la région de Thonon-les-Bains conduit au résultat cartographique illustré par la Figure 4.40.

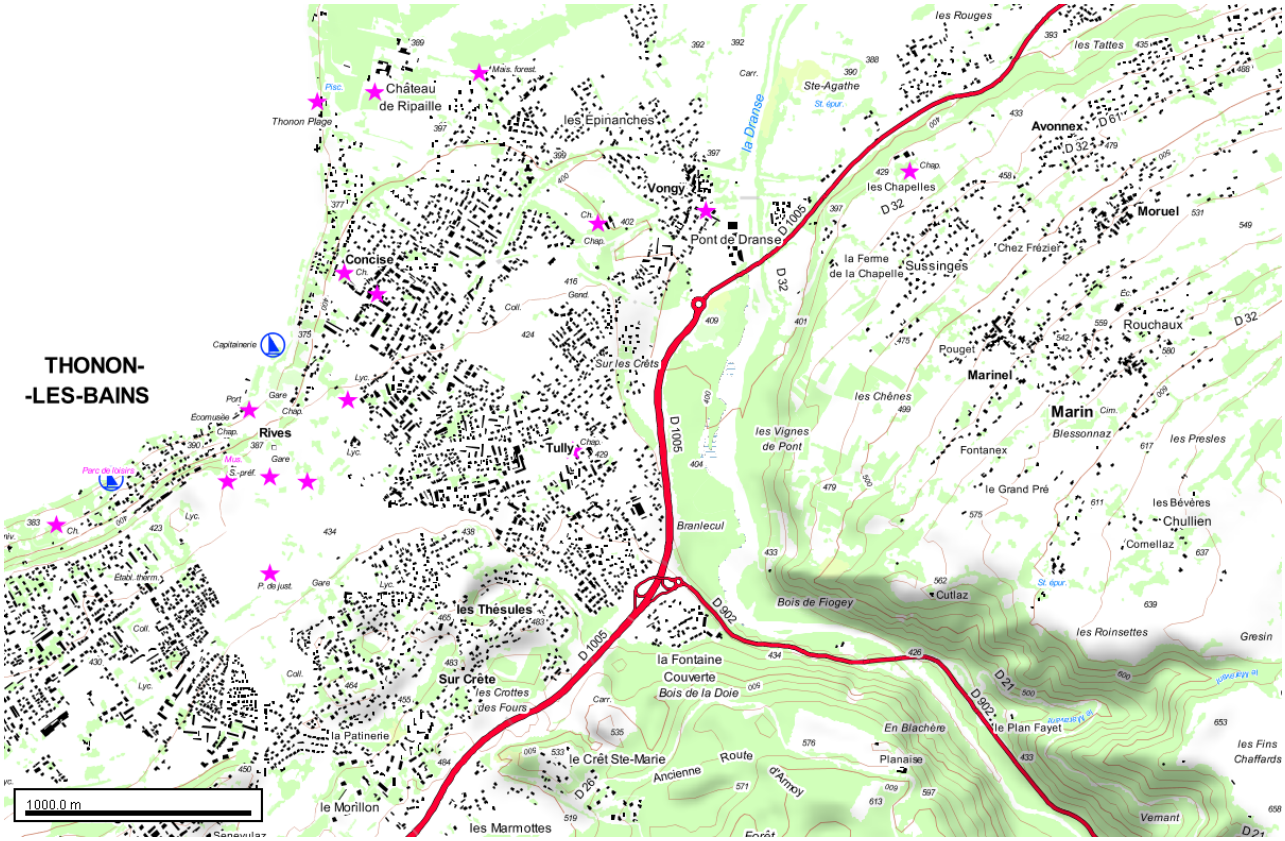



Figure 4.40 Illustration de la signature visuelle IGN de 1er et 2ème niveau sur les données cartographiques de la région de Thonon-les-Bains.

Les informations cartographiques portées par ce socle topographique nécessitent d'être enrichies pour constituer une carte topographique à part entière.

**2. Déterminer les thèmes cartographiques complémentaires** qui seront contenus dans la carte topographique à produire ainsi que leur symbolisation ;

Il s'agit de compléter le contenu cartographique du socle topographique déterminé à l'étape précédente (1), afin que la carte topographique produite contienne l'ensemble des informations attendues par un utilisateur pour une carte topographique de cette famille. Il s'agit donc d'ajouter les thèmes cartographiques correspondent à la signature visuelle de 3$^{ème}$ niveau, plus les thèmes qui n'ont pas été pris en compte dans l'évaluation du style car considérés comme non significatifs à l'étape de l'étude de cartes (cf. section 3.3). Nous nous autorisons à modifier les spécifications de légende de ces thèmes et sous-thèmes cartographiques. L'objectif est de s'éloigner de la carte topographique originelle pour créer des cartes topographiques différentes mais du même style topographique. Toutefois, nous souhaitons utiliser uniquement des couleurs conventionnelles pour représenter les différents thèmes et sous thèmes, i.e. du vert pour la végétation, du bleu pour l'hydrographie, etc. De même, nous ne modifions pas les relations originelles de la légende.

Appliqué à notre exemple de production de cartes appartenant à la famille cartographique IGN, nous avons ajouté les thèmes et sous-thèmes cartographiques suivant :

- le bâti urbain dense ;
- les bâtiments industriels ;
- le réseau routier secondaire ;
- le réseau routier local ;
- les vergers ;
- les haies ;
- les surfaces hydrographiques ;
- les canaux et marais ;
- diverses infrastructures humaines ;
- les itinéraires touristiques ;

Les Figure 4.41, Figure 4.42, Figure 4.43 et Figure 4.44 illustrent quatre cartes topographiques obtenues à partir de la signature visuelle IGN comme socle de conception cartographique et en s'autorisant à modifier certaines spécifications de légende pour les thèmes et sous-thèmes cartographiques n'appartenant pas à la signature visuelle.

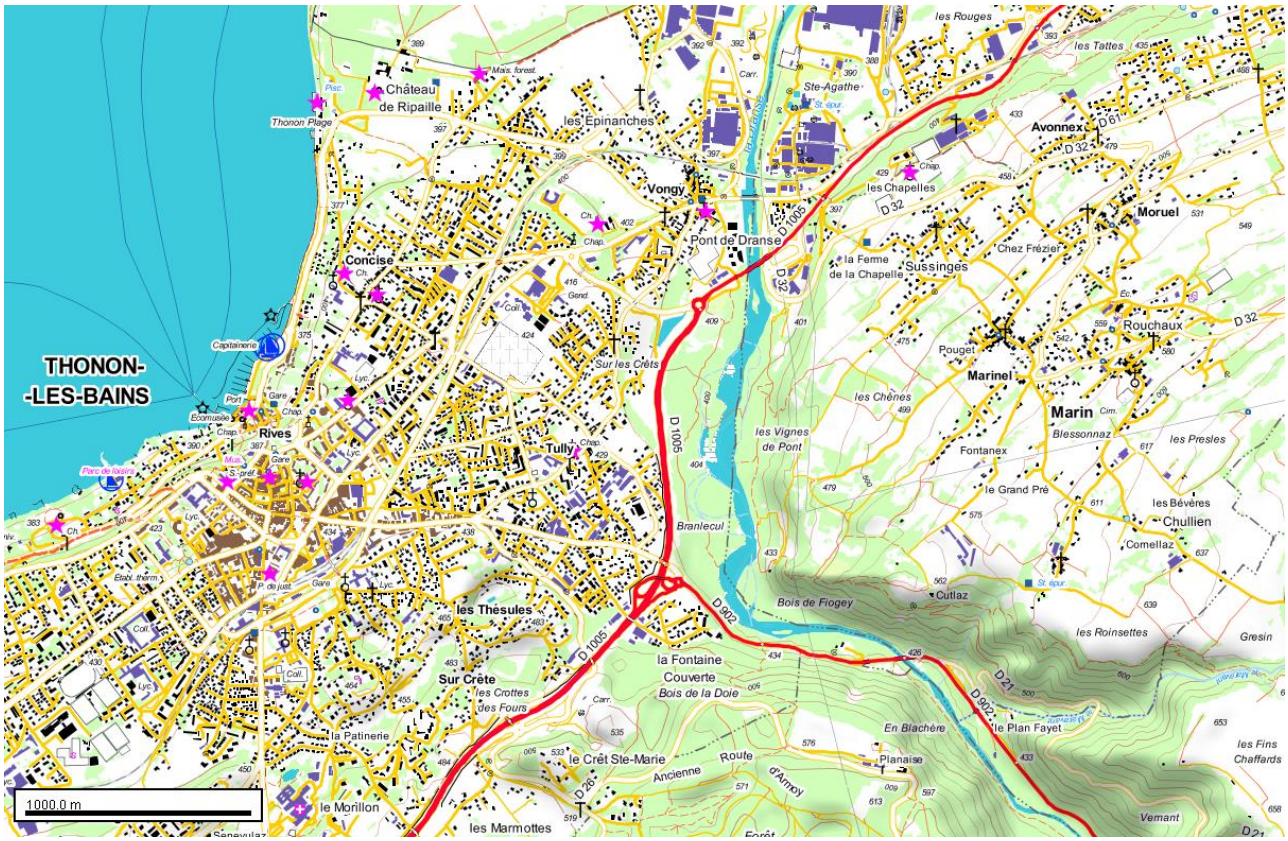



Figure 4.41 Résultat cartographique n° 1 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN.

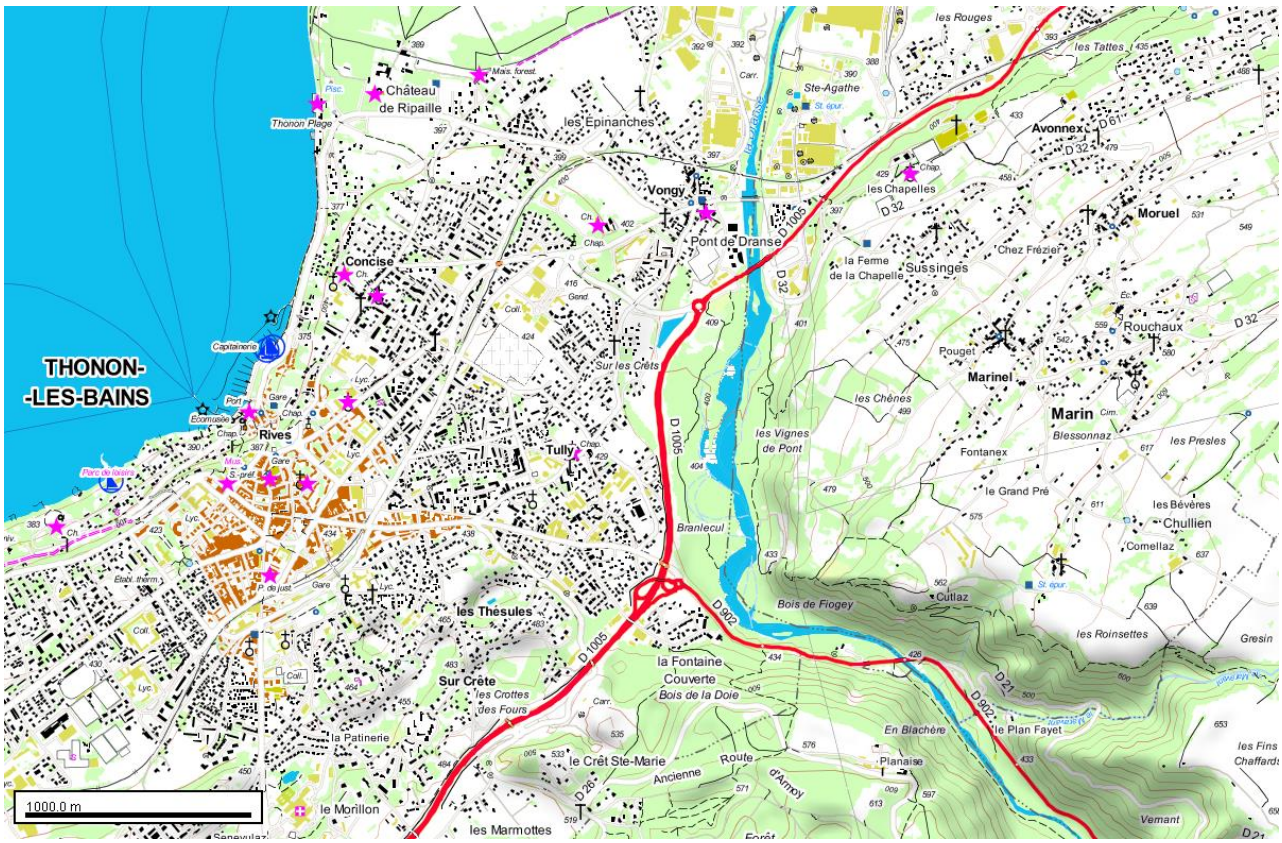



Figure 4.42 Résultat cartographique n° 2 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN.

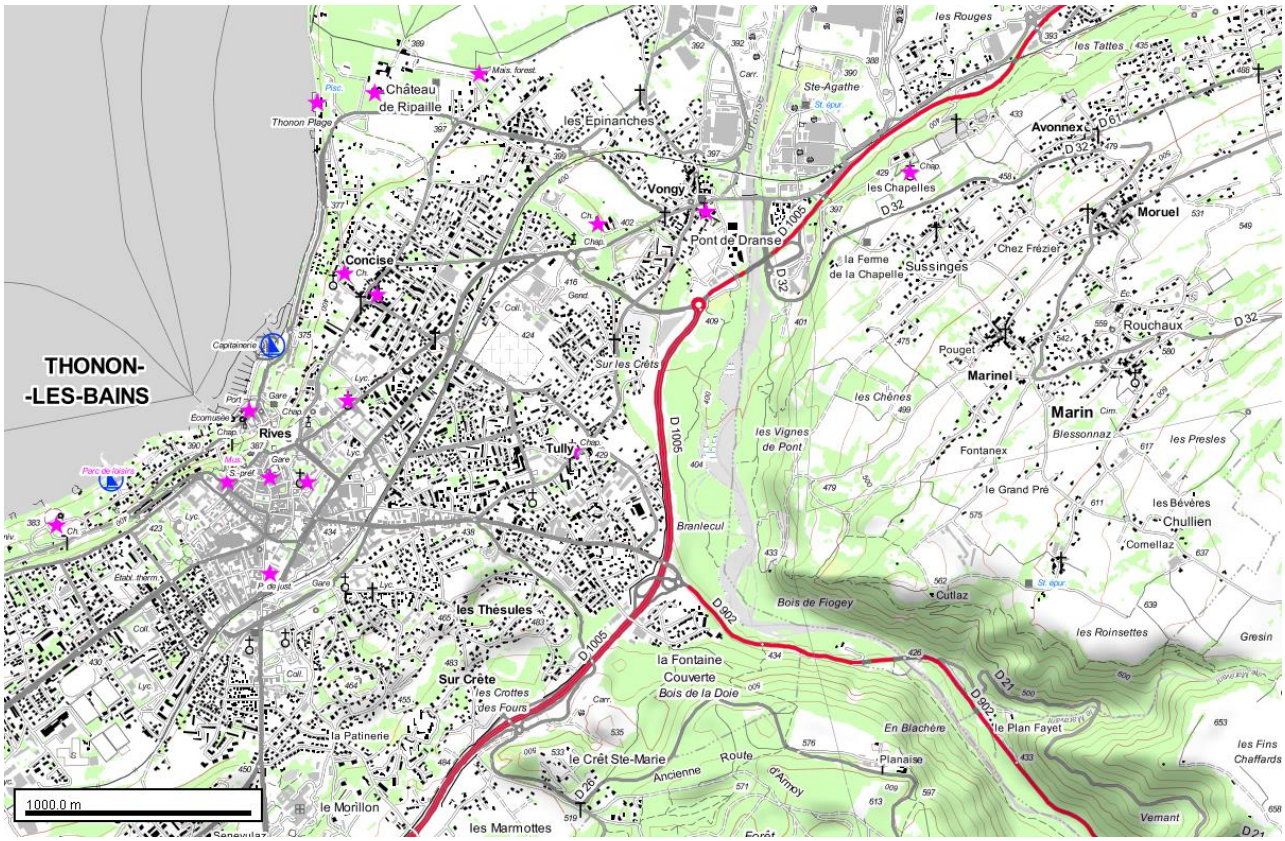



Figure 4.43 Résultat cartographique n° 3 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN.

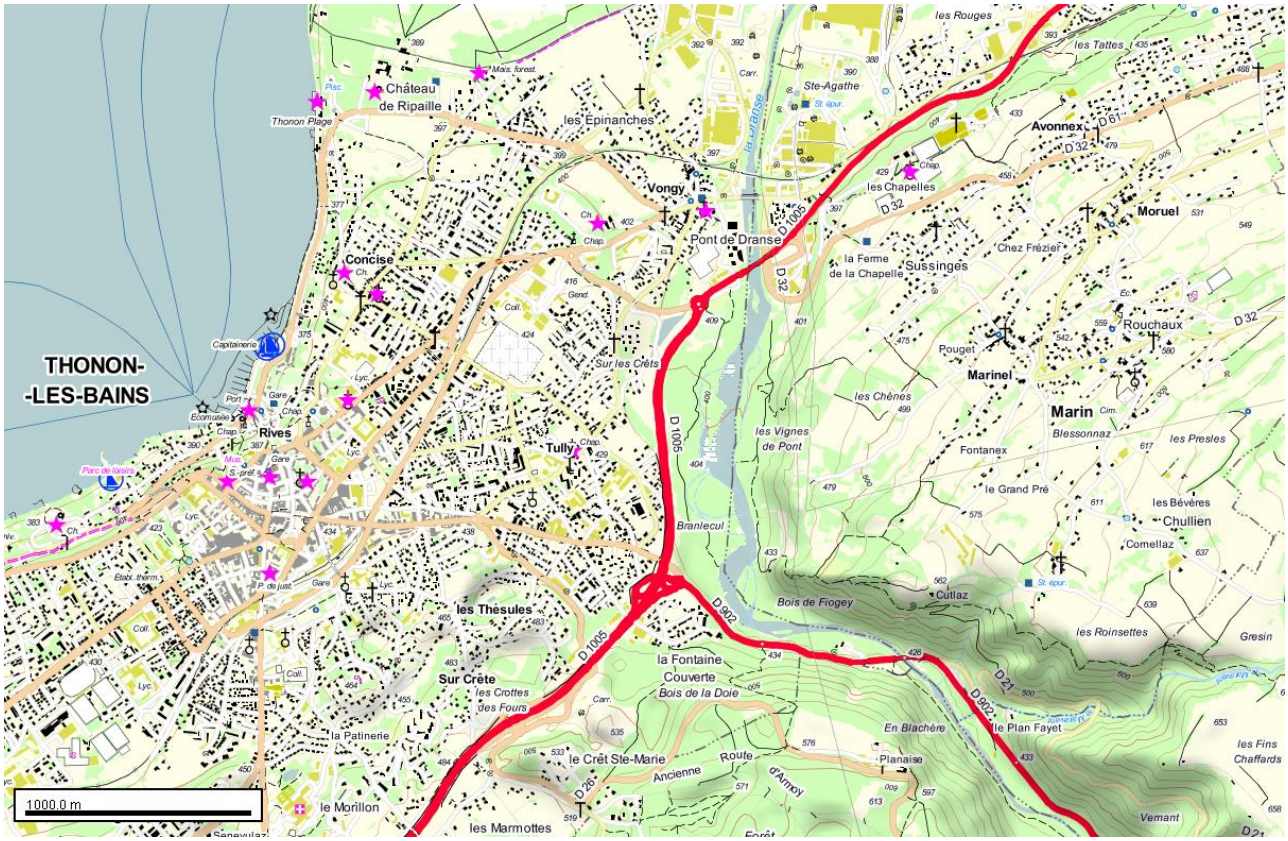



Figure 4.44 Résultat cartographique n° 4 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN.

#### Discussion sur les résultats cartographiques obtenus

Nous avons produit de nouvelles cartes topographiques en modifiant l'ingrédient légende du style. L'objectif était de s'éloigner de la représentation cartographique originelle tout en restant dans la famille cartographique IGN. Nous avons donc proposé un guide de rédaction cartographique s'appuyant sur les signatures visuelles IGN de 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ niveau et permettant de modifier certaines spécifications de légende des autres thèmes cartographiques, avec comme contrainte d'utiliser des couleurs conventionnelles et de ne pas modifier les relations de la légende. Les premiers résultats cartographiques obtenus nous semblent satisfaisants. L'utilisation de la signature visuelle comme socle de conception semble assurée l'appartenance des cartes produites à la famille cartographique IGN. Il est évident que ces résultats nécessitent d'être évalués auprès d'utilisateurs afin de recueillir leurs points de vue, et de valider l'appartenance ou non de ces cartes à la famille cartographique IGN.

Par ailleurs, les modifications apportées aux spécifications de légende pour les thèmes et sous-thèmes cartographiques n'appartenant pas à la signature visuelle sont déterminantes pour assurer l'appartenance de la carte produite à la famille cartographique. Nous observons par exemple qu'une modification trop importante de certaines couleurs peut perturber l'ensemble des relations de contrastes de la carte et ne plus rendre son style reconnaissable. C'est le cas par exemple pour :

1. la **modification de la couleur du fond de carte** ; le fond de carte ne constitue pas un thème cartographique, cependant, sa couleur est importante car elle permet de préserver des relations de contraste avec les différents thèmes de la carte. Il semble que lorsqu'il est symbolisé de manière trop éloigné à la représentation originelle, la reconnaissance du style est moins évidente telle que l'illustre la Figure 4.44.

2. Les **couleurs et l'épaisseur spécifiées en légende** pour représenter les objets linéaires ou les bordures des objets surfaciques semblent également avoir un impact sur la reconnaissance du style de la carte. Un choix de couleur et d'épaisseur trop éloigné de la couleur et des épaisseurs originelles spécifiées peut nuire à la reconnaissance du style telle que l'illustre les Figure 4.41 et Figure 4.44.

Ces différentes observations nous invitent à penser qu'il est nécessaire de proposer des contraintes sur la modification des spécifications de légende des thèmes n'appartenant pas à la signature visuelle. Nous discutons de ce point dans la section consacrée aux perspectives de ce travail de thèse.

Dans la sous-section suivante, nous traitons le cas d'application n°2.

### 4.7.2 Cas d'application 2 : produire de nouvelles cartes topographiques à partir d'un jeu de données cartographiques d'une autre agence nationale de cartographie

#### Contexte et besoins

La notion de frontières en tant que forme spatiale a profondément évolué au cours des dernières décennies. Par exemple, au sein de l'espace européen de Schengen, la fonction « classique » de la frontière en tant que limite territoriale est devenue de plus en plus

poreuse (Coupleux et al., 2005). Il existe désormais de nombreux projets d'aménagement dans des espaces géographiques transfrontaliers. Or, aujourd'hui, les représentations cartographiques de référence du type cartes topographiques s'arrêtent le plus souvent aux frontières des états (cf. Figure 1.8 de la section 1.1). Il est nécessaire de disposer de représentations cartographiques continues à la frontière avec un même style topographique. Cela implique de pouvoir obtenir un style topographique continu à partir de jeux de données cartographiques aux schémas de données différents.

### Objectif et description du problème

Notre objectif est de produire de nouvelles représentations cartographiques, à partir de la caractérisation d'une signature visuelle, en modifiant l'ingrédient données cartographiques. Un jeu de données cartographiques est défini par deux principales propriétés, telles que nous les avons présentées dans la sous-section 2.2.2 :

1. un schéma de données ;

2. un niveau d'abstraction géométrique défini par les paramètres de généralisation utilisés.

Notre problème est de comprendre l'impact de la modification de l'ingrédient - données cartographiques - sur la reconnaissance d'une signature visuelle.

Est-ce que une signature visuelle est toujours reconnue si elle est appliquée sur un jeu de données cartographiques possédant un schéma de données et un niveau d'abstraction géométrique différent du jeu de données source ?

Notre souhaitons concevoir des cartes topographiques continues à la frontière franco-suisse, i.e. faire émerger la signature visuelle Swissopo sur le jeu de données cartographiques IGN et faire émerger la signature visuelle IGN sur le jeu de données cartographiques Swisstopo. Nous identifions deux exemples d'application pour tester notre objectif :

1. proposer d'utiliser le « point de vue » de l'utilisateur suisse qui regarde le territoire français, i.e. utiliser le style topographique suisse sur des données cartographiques IGN et inversement, proposer d'utiliser le « point de vue » de l'utilisateur français qui regarde le territoire suisse, i.e. utiliser le style topographique IGN sur des données cartographiques Swisstopo.
2. proposer une légende partagée et continue avec des éléments de légendes de chaque agence nationale de cartographie.

Nous utilisons les données cartographiques SCAN Express 25® décrivant la région de Thonon-les-Bains et les données Swisstopo de la région de Sursee pour ce cas d'application.

### Proposition d'un guide de rédaction cartographique

Dans ce paragraphe, nous proposons une démarche pour concevoir une représentation cartographique avec une signature visuelle reconnaissable sur un jeu de données cartographiques avec un schéma différent :

**1. Déterminer** les thèmes et sous-thèmes cartographiques qui portent la signature visuelle de la représentation cartographique à produire : **le socle topographique** ;

Nous utilisons les signatures visuelles de 1er et 2ème niveau, que nous nommons socle topographique, pour concevoir de nouvelles cartes topographiques. Il convient donc de sélectionner les thèmes et sous-thèmes cartographiques qui constituent le socle topographique en fonction de la famille cartographique à laquelle doit appartenir la carte topographique produite. Ces thèmes et sous thèmes cartographiques sont représentés selon leurs spécifications de légende originelles. Nous ne modifions pas la représentation de ces thèmes cartographiques.

Si les thèmes et les sous-thèmes correspondant aux signatures visuelles de 1er et 2ème niveau ne sont pas présents dans le schéma de données cible, il est nécessaire d'identifier d'autres thèmes qui porteront la signature visuelle. Un appariement des deux schémas de données peut être effectué pour appliquer correctement la signature visuelle source sur le jeu de données cartographiques cible. Si la distance entre les schémas des deux jeux de données cartographiques est trop importante, l'application de la signature visuelle sera vraisemblablement impossible et remet en cause l'ensemble du processus de conception car la reconnaissance de la signature visuelle ne peut pas être préservée.

Appliqué à notre premier exemple de production de cartes appartenant à la famille cartographique IGN, il s'agit de sélectionner les thèmes et sous-cartographiques ci-dessous, correspondant aux signatures visuelles de 1er et 2ème niveau illustrées par la Figure 4.45.

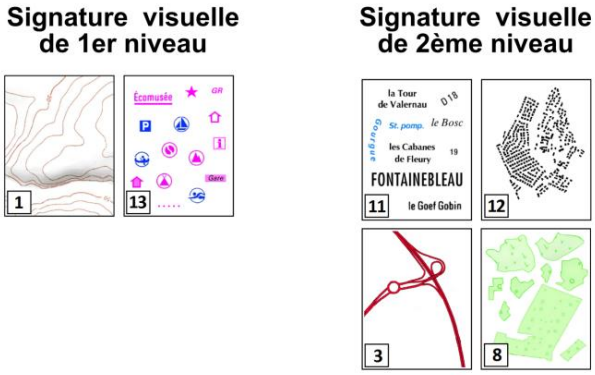



Figure 4.45 Signature visuelle IGN de 1er et 2ème niveau.

Les points d'intérêt touristique ne sont pas présents dans le schéma de données Swisstopo. Nous avons donc retiré ce thème de la signature visuelle IGN à appliquer sur les données cartographiques Swisstopo. Les autres thèmes cartographiques de la signature visuelle IGN sont bien présents dans le schéma de données Swisstopo. Il s'agit des thèmes et sous-thèmes cartographiques suivants :

- l'ombrage et les courbes de niveau (1) ;
- la toponymie et la typographique (11).
- les bâtiments individuels (12) ;
- le réseau routier principal (3) ;
- les forêts (8).

Nous ne modifions pas les spécifications de légende des thèmes et des sous-thèmes cartographiques sélectionnés. L'application de cette signature visuelle IGN sur les données cartographiques Swisstopo de la région de Sursee conduit au résultat cartographique illustré par la Figure 4.46.

Figure 4.46 Carte topographique obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau IGN sur des données cartographiques Swisstopo.

Appliqué à notre second exemple de production de cartes appartenant à la famille cartographique Swisstopo, il s'agit de sélectionner les thèmes et sous-cartographiques ci-dessous, correspondant aux signatures visuelles de 1er et 2ème niveau illustrées par la Figure 4.47.

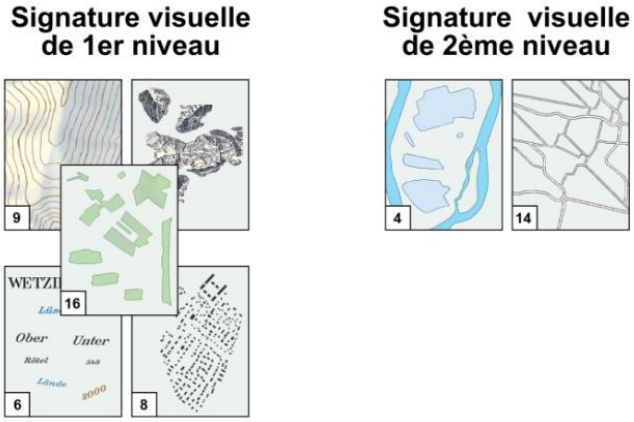



Figure 4.47 Signature visuelle Swisstopo de 1er et 2ème niveau.

Les rochers de montagne ne sont pas présents dans le schéma de données IGN. Nous avons donc retiré ce thème de la signature visuelle Swisstopo à appliquer sur les données cartographiques IGN. Les autres thèmes cartographiques de la signature visuelle Swisstopo sont bien présents dans le schéma de données IGN. Il s'agit des thèmes et sous-thèmes cartographiques suivants :

- la toponymie et la typographique (6) ;
- l'ombrage et les courbes de niveau (9) ;

- les bâtiments individuels (8) ;
- les forêts (16).
- le réseau hydrographique surfacique (4) ;
- le réseau routier local (14).

Nous ne modifions pas les spécifications de légende des thèmes et des sous-thèmes cartographiques sélectionnés. L'application de cette signature visuelle Swisstopo sur les données cartographiques IGN de la région de Thonon-les-Bains conduit au résultat cartographique illustré par la Figure 4.48.

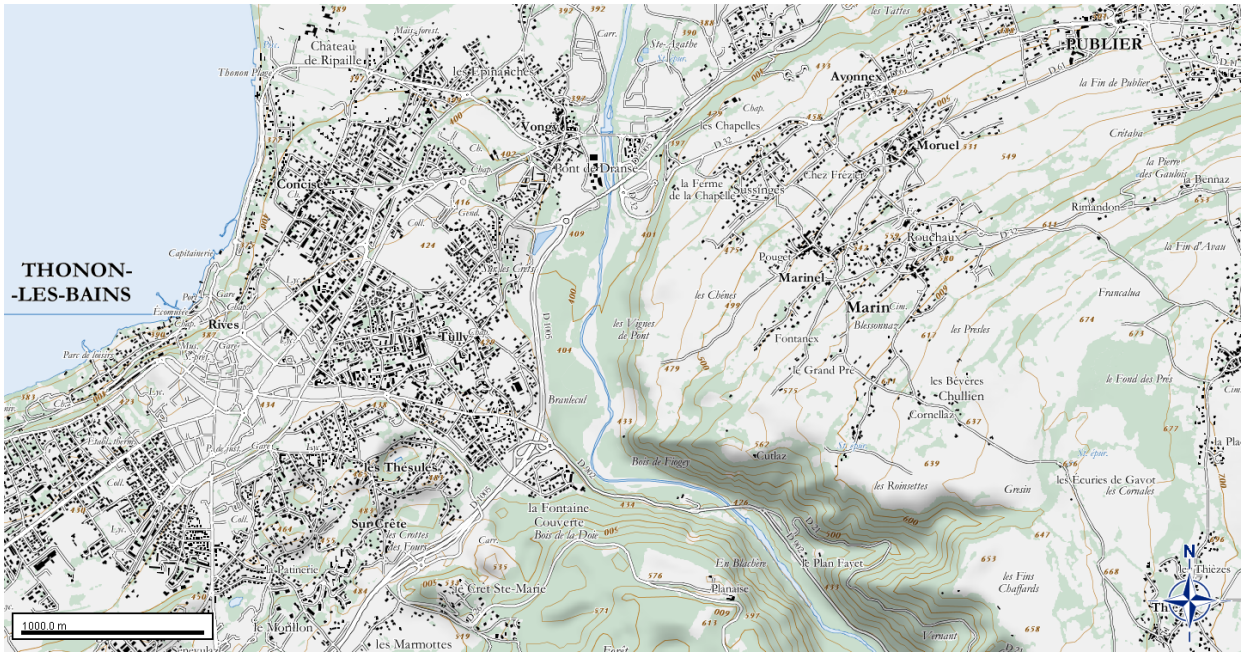



Figure 4.48 Carte topographique obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau Swisstopo sur des données cartographiques IGN.

**2. Déterminer les thèmes cartographiques complémentaires** qui seront contenus dans la carte topographique à produire ainsi que leur symbolisation ;

Il s'agit de compléter le contenu cartographique du socle topographique déterminé à l'étape précédente (1), afin que les cartes topographiques produites contiennent l'ensemble des informations attendues par un utilisateur pour une carte topographique de cette famille. Il s'agit donc d'ajouter les thèmes cartographiques correspondent à la signature visuelle de 3ème niveau, plus les thèmes qui n'ont pas été pris en compte dans l'évaluation du style car considérés comme non significatifs à l'étape de l'étude de cartes (cf. section 3.3). Notre objectif est de concevoir des cartes topographiques hétérogènes mixant les spécifications de légende de deux familles cartographiques et d'observer la cohabitation de ces spécifications de légende.

Appliqué à notre premier exemple de production de cartes appartenant à la famille cartographique IGN, nous avons complété le socle topographique avec les autres thèmes cartographiques du schéma de données Swisstopo afin de constituer une carte topographique complète. Les thèmes cartographiques ajoutés sont les suivants :

- le bâti urbain dense ;
- les bâtiments industriels ;
- les chemins carrossables ;

- les surfaces hydrographiques et les isobathes ;
- le réseau hydrographique linéaire ;
- les marais ;
- les vergers ;
- les haies et forêts clairsemées ;
- les gravières et talus ;
- diverses infrastructures humaines ;

Les thèmes cartographiques ajoutés sont symbolisés à la manière Swisstopo. La Figure 4.49 illustre le résultat cartographique obtenu.

Appliqué à notre second exemple de production de cartes appartenant à la famille cartographique Swisstopo, nous avons complété le socle topographique avec les autres thèmes cartographiques du schéma de données IGN afin de constituer une carte topographique complète. Les thèmes cartographiques ajoutés sont les suivants :

- le bâti urbain dense ;
- les bâtiments industriels ;
- le réseau routier secondaire ;
- le réseau routier local ;
- les vergers ;
- les haies ;
- les surfaces hydrographiques ;
- les canaux et marais ;
- diverses infrastructures humaines ;
- les itinéraires touristiques ;

Les thèmes cartographiques ajoutés sont symbolisés à la manière IGN. La Figure 4.50 illustre le résultat cartographique obtenu.

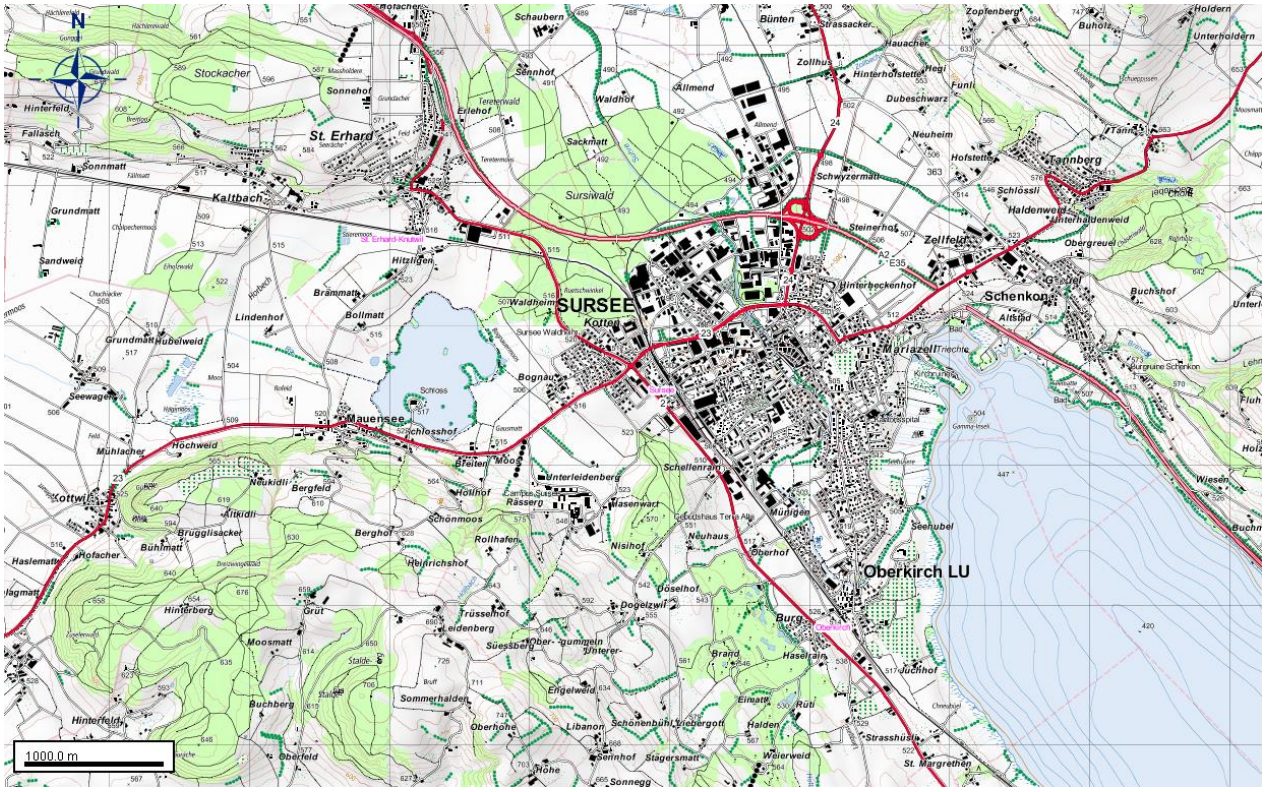



Figure 4.49 Carte topographique hétérogène obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau IGN et complétée par des données cartographiques Swisstopo avec des spécifications de légende Swisstopo.

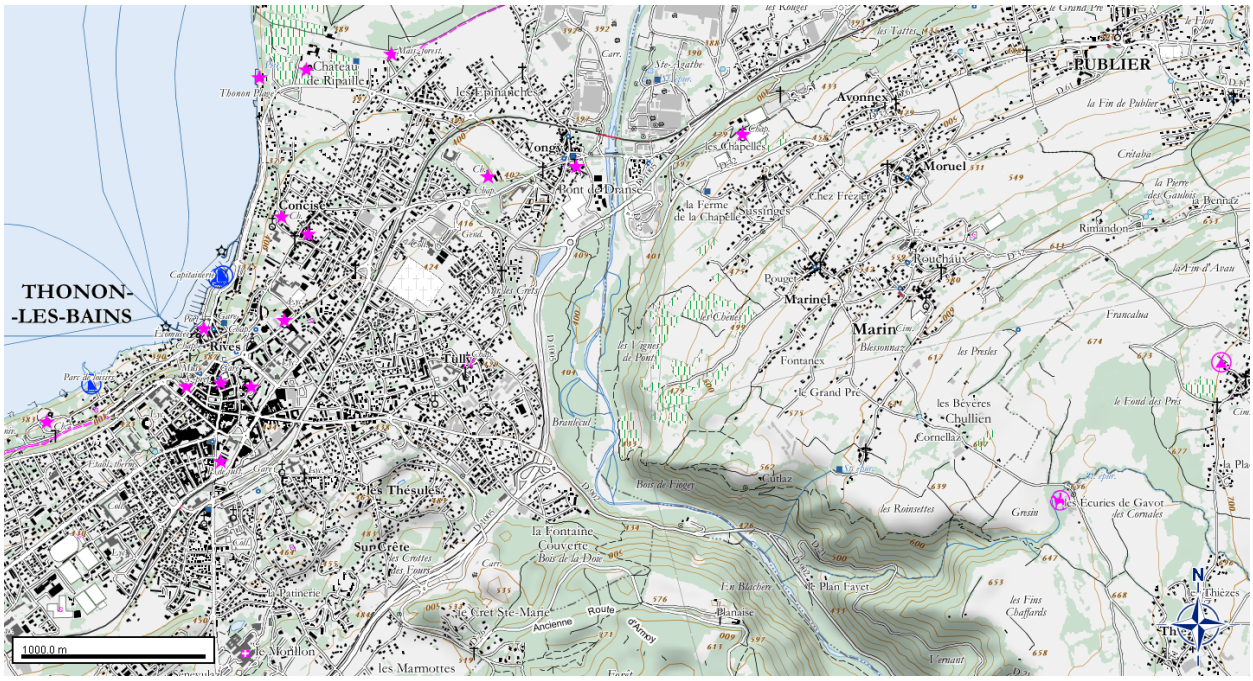



Figure 4.50 Carte topographique hétérogène obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau Swisstopo et complétée par des données cartographiques IGN avec des spécifications de légende IGN.

### Discussion sur les résultats cartographiques obtenus

Nous avons produit de nouvelles cartes topographiques en modifiant l'ingrédient données cartographiques. L'objectif était de produire des cartes appartenant aux familles cartographiques IGN et Swisstopo à partir d'un jeu de données cartographiques possédant des schémas différents. Nous avons donc proposé un guide de rédaction cartographique s'appuyant sur les signatures visuelles IGN et Swisstopo de 1er et 2ème niveau. Les premiers résultats cartographiques obtenus nous semblent satisfaisants. Bien que les schémas de données utilisés soient différents de la famille cartographique source, l'utilisation de la signature visuelle comme socle de conception semble assurée l'appartenance des cartes produites aux familles cartographiques IGN et Swisstopo. Il est ainsi possible d'obtenir des représentations cartographiques continues à la frontière. Il est évident que ces premiers résultats cartographiques nécessitent d'être évalués auprès d'utilisateurs afin de valider l'appartenance ou non de ces cartes aux familles cartographiques IGN et Swisstopo.

Par ailleurs, la conception de représentations cartographiques hétérogènes, en mixant les spécifications de légende de deux producteurs de cartes, semble également être possible. Les objets cartographiques symbolisés cohabitent bien ensemble au sein d'une même carte topographique. Le guide de rédaction cartographique permettant de mixer ces spécifications de légende entre eux doit cependant être précisé et complété pour proposer des recettes différentes selon les usages recherchés par l'utilisateur.

Enfin, pour conclure nous notons que nous n'avons pas rencontré de difficultés particulières pour appliquer la signature visuelle d'une famille cartographique sur l'autre famille. Cependant, nous devons préciser que les schémas de données IGN et Swisstopo sont assez proches. L'approche et la méthode doivent être à nouveau testées sur des

données cartographiques ayant des schémas de données possédant une plus grande distance afin d'évaluer les difficultés rencontrées et la généricité de notre approche.

Dans cette section, nous avons présenté les cas d'application sur lesquels nous souhaitions tester les concepts de style topographique, famille cartographique et signature visuelle reconnaissable. Nous avons traité ces cas en utilisant les signatures visuelles IGN et Swisstopo caractérisées par la mise en œuvre de nos expérimentations utilisateur.

Dans la section-suivante, nous présentons les données cartographiques utilisées pour traiter ces différents cas d'application ainsi que l'architecture logicielle sur laquelle nous nous sommes appuyés.

## 4.8 Principes de mise en œuvre pour l'exploitation des signatures visuelles des familles cartographiques IGN et Swisstopo

Dans cette sous-section, nous rappelons l'ensemble des étapes de la mise en œuvre. Le *pipeline* général illustré par la Figure 4.51 décrit les deux étapes principales de mise en œuvre :

1. Démarche méthodologique pour caractériser une signature visuelle ;

2. Exploitation et mise en œuvre du modèle de style pour produire de nouvelles cartes topographiques.

L'étape 1 correspond à notre approche s'articulant autour de l'étude de cartes et de l'étude utilisateurs permettant de caractériser la signature visuelle d'une famille cartographique.

L'étape 2 consiste à exploiter les résultats obtenus au sein de l'étape 1, i.e. exploiter la caractérisation des signatures visuelles, pour produire de nouvelles représentations cartographique. Cette étape s'appuie sur les guides de rédaction cartographique proposés dans la section précédente.

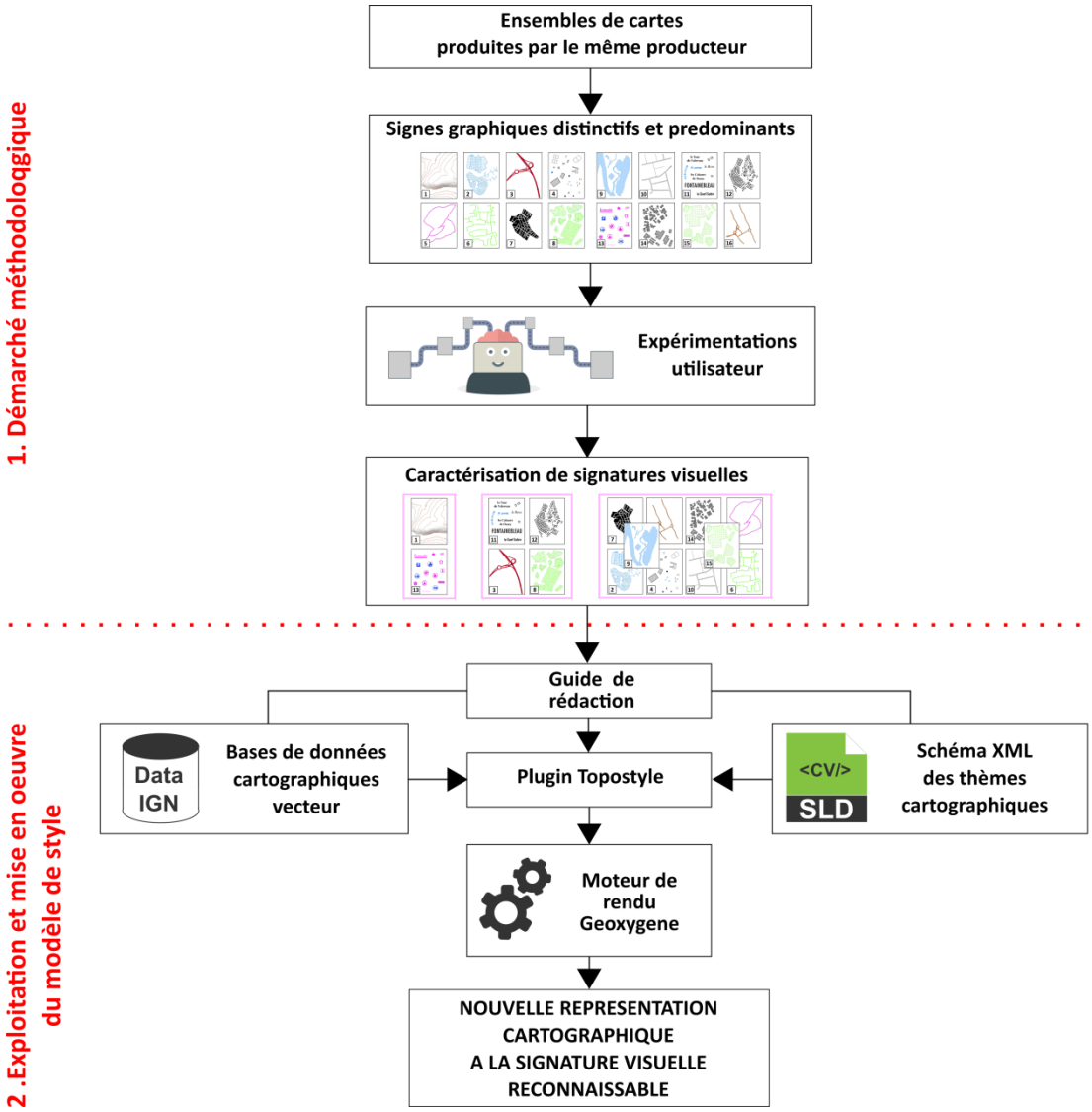



Figure 4.51 *Pipeline* de la caractérisation d'une signature visuelle à la conception de nouvelles représentations cartographiques.

Dans cette section, nous présentons le matériel sur lequel nous nous appuyons : les jeux de données cartographiques IGN et Swisstopo qui seront utilisés (4.8.1) et la plateforme informatique GeOxygene (4.8.2).

### 4.8.1 Choix des données cartographiques

Pour traiter les deux cas d'application exposés dans la section précédente, nous devons disposer de données cartographiques vectorielles pour les deux familles cartographiques.

Pour la famille cartographique IGN, nous nous appuyons sur la base de données cartographiques vectorielles destinées à la conception du SCAN Express 25®[128] de l'IGN. Il s'agit d'une base de données cartographiques disponible sur l'ensemble du territoire français. Pour la famille cartographique Swisstopo, nous nous appuyons sur la base de

[128] http://professionnels.ign.fr/scanexpress25

données cartographiques vectorielles swissTLM [129]. Il s'agit d'un modèle topographique à grande échelle disponible sur l'ensemble du territoire Suisse.

Ces deux bases de données sont constituées de données cartographiques prêtes à être symbolisées, i.e. qu'un ensemble de prétraitement ont été appliquées sur ces données : généralisation, placement des toponymes, etc. Les différents thèmes cartographiques nécessaires à la conception d'une carte topographique à l'échelle du 1 :25 000ème sont décrit par ces bases de données : réseau routier, bâti, occupation du sol, hydrographie, relief, toponymie, fond de carte, etc. Pour la mise en œuvre de notre modèle, nous sélectionnons l'ensemble des thèmes cartographiques des deux bases de données. La sélection des thèmes cartographiques à symboliser sera spécifiée par nos recommandations de mise en œuvre spécifiques à chacun des cas d'application.

Pour chaque jeu de données cartographiques, nous avons sélectionné une zone d'étude. Côté français, nous avons choisi la région de St Jean-de-Luz située dans le département des Pyrénées-Atlantiques et Thonon-les-Bains dans le département de la Haute-Savoie. Côté Suisse, nous avons choisi la région de Sursee située dans le canton de Lucerne. Ces zones géographiques ont été sélectionnées car elles présentent simultanément une variété de thèmes cartographiques. En effet, sur ces zones cohabitent :

1. des **milieux urbains** caractérisés par la présence de zones bâties (bâtis individuels, bâtis denses et de réseaux routiers ;

2. des **milieux ruraux** caractérisés par la présence de cultures et de forêts ;

3. des **zones de relief** caractérisées par une présence de changements d'altimétrie brute (talus) ;

4. des **zones hydrographiques** caractérisées par une présence de vastes surfaces en eau ;

5. etc.

Nous utilisons ces trois zones géographiques et les données cartographiques qui les caractérisent pour instancier notre modèle de style. Dans la sous-section suivante, nous présentons l'architecture logicielle exploitant notre modèle de style.

### 4.8.2 Architecture logicielle et développement d'un plugin

Pour exploiter la caractérisation des signatures visuelles, nous utilisons la plateforme informatique opensource GeOxygene[130] développée dans le langage de programmation Java[131]. Cette dernière fournit un cadre ouvert de développement compatible avec les spécifications dictées par l'Open Geospatial Consortium (OGC) sur lesquelles s'appuie notre modèle de style.

La Figure 4.51 introduite et présentée au début de cette section montre que l'exploitation d'une signature visuelle implique de pouvoir faire facilement le lien entre les différentes

[129] https://shop.swisstopo.admin.ch/fr/products/landscape/tlm3D
[130] GeOxygene est diffusée selon les termes de la licence LGPL - GNU Lesser General Public License : http://ignf.github.io/geoxygene/
[131] https://fr.wikipedia.org/wiki/Java_(langage)

couches composant un jeu de données cartographiques et les fichiers de symbolisation appartenant à une famille donnée. Nous avons donc créé un plugin au sein de la plateforme GeOxygene nommé `Topostyle`, dont les principes de fonctionnement sont illustrés par la Figure 4.52.

Ce plugin constitue le guide de rédaction cartographique, au sein duquel il est possible de spécifier les paramètres de conception (cf. Figure 3.6 de la section 3.1.4). Il permet de :

**1. Déterminer le contenu cartographique de la carte à produire :**

1.1 les thèmes et les sous-thèmes cartographiques sélectionnés ;

1.2 l'ordre d'affichage des différents thèmes et les sous-thèmes cartographiques dans la carte ;

**2. Spécifier les relations entre :**

2.1 les thèmes et les sous-thèmes cartographiques et la base de données qui va les représenter ;

2.2 les thèmes et les sous-thèmes cartographiques et les spécifications de légende au format SE.

Ces fonctions sont illustrées par la Figure 4.53 et permettent de facilement spécifier à la plateforme GeoXygene les paramètres de construction d'une signature visuelle, i.e. quels thèmes et sous-thèmes cartographiques, représentés par quelle base de données et avec quelles spécifications de légende. De la même façon, ces fonctions sont utilisées pour spécifier les paramètres de conception des thèmes complémentaires composant la représentation cartographique à produire.

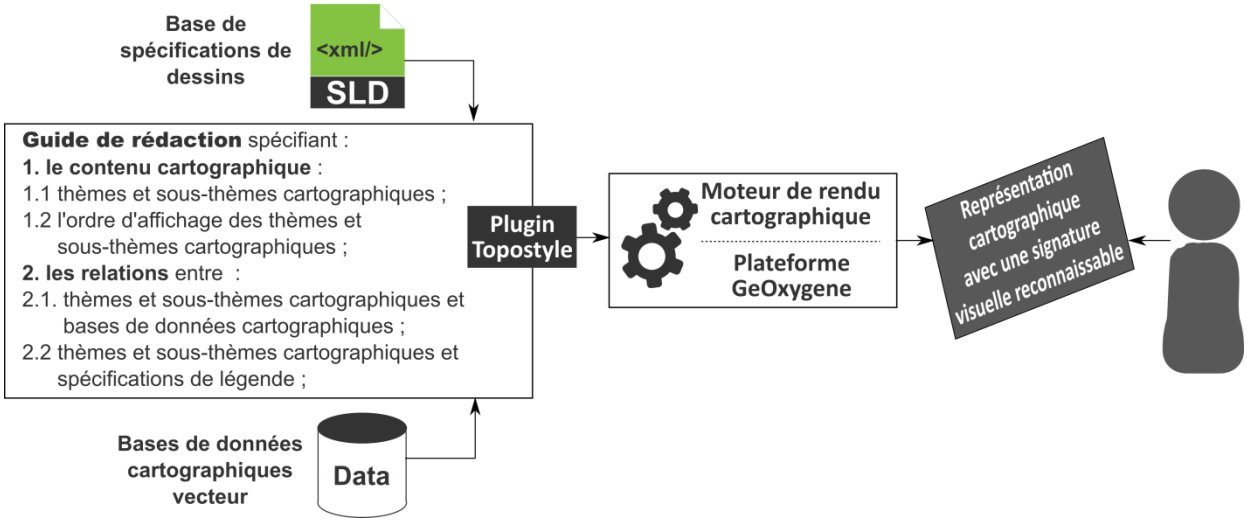



Figure 4.52 Principes de fonctionnement du plugin Topostyle au sein de la plateforme GeOxygene.

Figure 4.53 Guide de rédaction cartographique pour le plugin Topostyle.

La Figure 4.54 représente une copie d'écran d'une représentation cartographique obtenue grâce au plugin Topostyle : légende IGN classique (spécifications de légende avec des couleurs pastelles) sur un jeu de données cartographiques SCAN Express 25®.

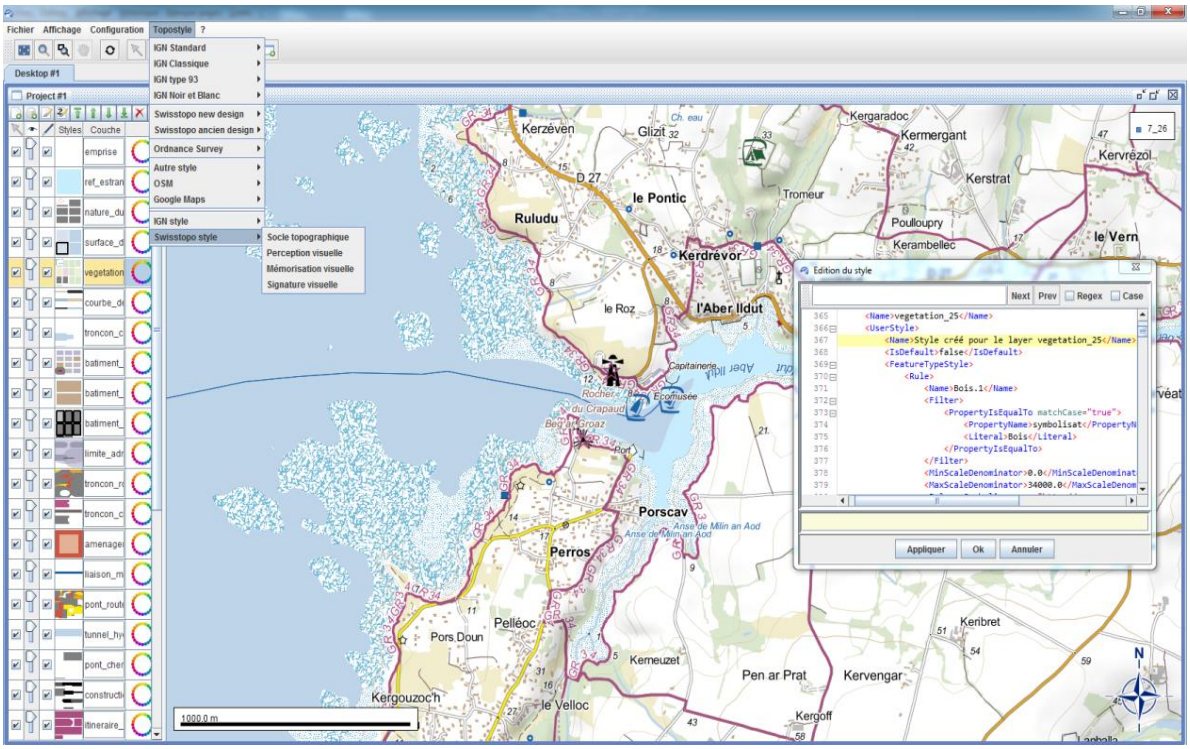



Figure 4.54 Interface de visualisation de la plateforme GeOxygene + plugin Topostyle.

Dans ce chapitre, nous avons présenté deux expérimentations utilisateur, qui nous ont permis de valider les concepts clés de notre modèle de style topographique : signature visuelle et famille cartographique, et de caractériser différents niveaux de signatures visuelles pour les deux familles cartographiques IGN et Swisstopo. À partir de ces connaissances, nous avons proposé deux guides de rédaction cartographique s'appuyant sur ces signatures visuelles pour la conception de cartes dans deux cas d'application précis : (1) produire de nouvelles représentations cartographiques appartenant à une famille cartographique en modifiant la légende, (2) produire une représentation cartographique continue à la frontière entre deux pays / agences de cartographie.

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

**Rappel des objectifs et des contributions de notre thèse ..... 244**
**Perspectives de recherche ..... 246**
Vers une évaluation du niveau de reconnaissance d'une signature visuelle ..... 248
Vers une instanciation du concept d'espace géographique ..... 247
**Perspectives applicatives : vers la production de nouveaux référentiels cartographiques ..... 249**
Les représentations cartographiques mixtes / hétérogènes ..... 249
Une pyramide d'échelle avec une signature visuelle reconnaissable ..... 254
Les rendus 3D stylisés ..... 255

Nous concluons tout d'abord sur les apports de notre travail de recherche. Ensuite, nous dessinons quelques perspectives. Nous commençons par des perspectives de recherche permettant une meilleure prise en compte de la reconnaissance d'une signature visuelle à travers son évaluation et l'instanciation du concept d'espace géographique. Enfin, nous ouvrons sur des perspectives applicatives sur la production de nouveaux référentiels cartographiques.

## Rappel des objectifs et des contributions de notre thèse

De nombreuses connaissances ont été formalisées pour améliorer la construction des cartes topographiques, faciliter leur interprétation et les rendre plus efficaces. Par ce travail de thèse, nous avons souhaité enrichir ces connaissances. Nous avons fait l'hypothèse que le style topographique facilite la lisibilité et la compréhension d'une carte grâce aux codes et repères visuels qui sont connus des utilisateurs. Afin d'utiliser le style topographique comme ingrédient de conception permettant de produire de nouvelles représentations cartographiques, nous nous sommes fixés comme objectif de le **formaliser en tant que famille cartographique regroupant des signes graphiques reconnus des utilisateurs**. Cela a nécessité de répondre à deux grandes questions de recherche :

1. Que signifie concevoir des cartes à la manière d'un producteur de cartes de référence ?
2. Comment concevoir une représentation cartographique pour que l'utilisateur reconnaisse la famille cartographique à laquelle elle appartient ?

Pour atteindre notre objectif et répondre à ces questions, il était nécessaire d'unifier les connaissances de l'état de l'art.

Notre première contribution constitue la proposition d'un cadre conceptuel unifiant les connaissances sur les processus de construction d'une carte topographique et les connaissances sur les principes perceptifs et cognitifs en jeu dans la lecture d'une carte topographique. À travers ce cadre unificateur nous proposons deux concepts clés : la famille cartographique et la signature visuelle.

Une famille cartographique correspond à un ensemble de cartes (1) produites par un même producteur et (2) caractérisées par une signature visuelle reconnaissable, i.e. un ensemble de signes graphiques reconnus des utilisateurs. Nous avons proposé un modèle de style topographique intégrant les concepts de famille cartographique et signature visuelle en s'appuyant sur le modèle de légende de l'équipe COGIT et le modèle de symbolisation SLD/SE. Une seconde étape de notre travail de thèse a consisté à valider et instancier les concepts proposés au sein de notre modèle de style

Notre seconde contribution constitue la proposition d'une approche expérimentale en deux étapes :

1. une première étape, basée sur la mise en œuvre d'entretiens et d'analyses de cartes permettant d'extraire les signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle ;

2. une deuxième étape, basée sur la proposition d'un protocole d'expérimentation permettant d'identifier les signes graphiques reconnus des utilisateurs comme appartenant à une famille cartographique donnée.

Notre approche expérimentale a été déployée pour étudier deux familles cartographiques en particulier : IGN et Swisstopo.

Notre troisième contribution constitue la caractérisation de différents niveaux de signature visuelle reconnaissable pour chacune de ces deux familles cartographiques.

Une troisième étape de notre travail de thèse a consisté à proposer des guides de rédaction cartographique s'appuyant sur la caractérisation des signatures visuelles pour produire de nouvelles cartes topographiques.

Notre quatrième contribution constitue donc la proposition de guides de rédaction cartographique pour deux cas d'application : (1) produire de nouvelles cartes topographiques appartenant à une famille cartographique en modifiant la légende, (2) produire une représentation cartographique continue à la frontière entre deux pays, i.e. produire carte topographique à partir d'un jeu de données cartographiques d'une autre agence nationale de cartographie.

Ces guides de rédaction cartographique ont vocation à aider les cartographes dans la conception de nouvelles cartes topographiques en adéquation avec la famille cartographique à laquelle doit appartenir la carte produite. Dans le premier cas, l'objectif est de produire une carte appartenant à la même famille cartographique en modifiant des éléments de légende, dans le second cas à partir d'un schéma de données cartographiques différent.

Pour synthétiser, la partie verte de la Figure C.1 reprend les différentes contributions de ce travail de thèse. Nous avons dégagé les concepts essentiels à la modélisation du style topographique (2.1), proposé une approche expérimentale (2.2) nous permettant de caractériser les signatures visuelles de deux familles cartographiques : IGN et Swisstopo (2.3) et proposé quelques guides de rédaction cartographique (3.1). Les connaissances apportées par ce travail de thèse enrichissent les connaissances existantes en Sciences de l'Information Géographique et en particulier en cartographie. Elles offrent aux concepteurs de cartes de nouveaux leviers de conception cartographique. Elles permettent également de s'adapter au contexte actuel de services de conception cartographique dans des architectures distribuées et aux nouveaux usages des cartes topographiques.

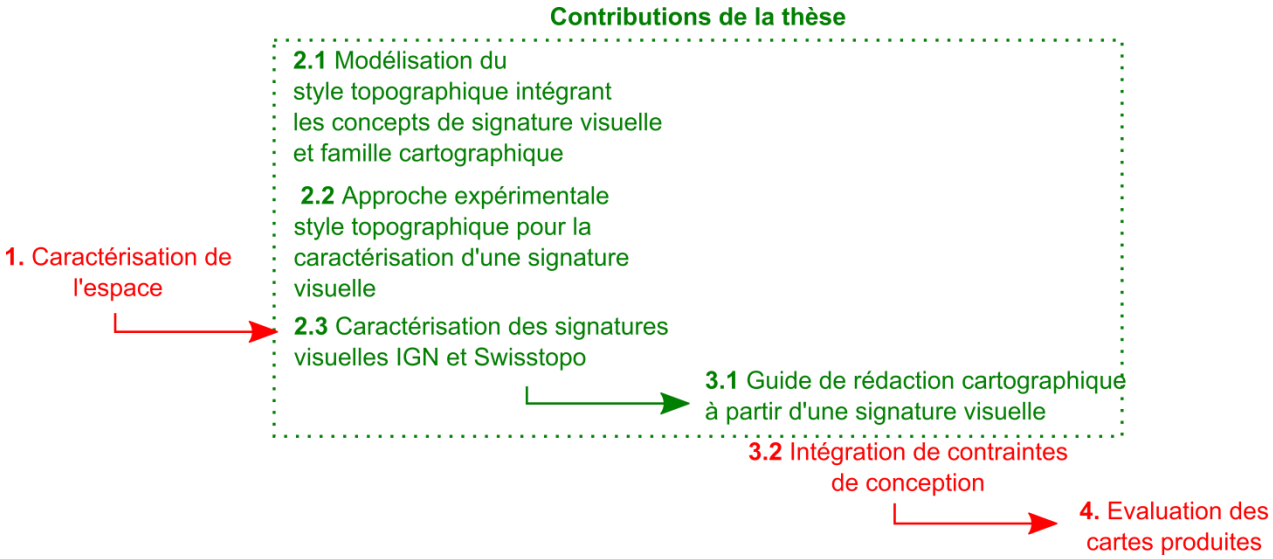



Figure C.1 Synthèse des contributions de ce travail de thèse (en vert) et proposition de perspectives de recherche (en rouge).

Les résultats obtenus par ce travail de thèse montrent l'intérêt d'une approche de conception cartographique basée sur une signature visuelle reconnaissable pour produire des cartes appartenant à la même famille cartographique. Nous notons cependant que ce travail de thèse possède certaines limites, et que des perspectives de recherches sont nécessaires pour enrichir ces connaissances. La partie rouge de la Figure C.1 dessine ces différentes perspectives. Une première perspective importante à ce travail de recherche se situe au niveau d'une caractérisation plus fine des signatures visuelles à travers une caractérisation de l'espace géographique (1) ; une seconde se situe au niveau de la proposition de guide de rédaction cartographique plus complet, intégrant notamment des contraintes de conception pour préserver la reconnaissance d'une signature visuelle (3.2); une troisième se situe au niveau de l'évaluation des cartes produites à travers la mise en place de nouvelles expérimentations utilisateurs (3.3). L'enjeu principal de ces perspectives de recherche est d'améliorer encore plus la communication cartographique entre le concepteur de cartes et l'utilisateur.

## Perspectives de recherche

Dans cette section, nous dessinons les perspectives de recherche présentées ci-dessus.

### Vers une caractérisation plus fine des signatures visuelles

Dans ce travail de thèse, nous avons caractérisé la signature visuelle d'une famille cartographique à travers l'étude de cartes où cohabitent différents types de milieu : des milieux urbains et ruraux, des zones hydrographiques et des zones de relief, etc. Il s'agit de configurations spatiales représentatives du territoire français. Cependant, aujourd'hui, nous ne maitrisons pas le résultat graphique obtenu à travers l'utilisation d'une signature visuelle pour concevoir une carte topographique représentant un espace avec des caractéristiques spatiales différentes. En ce sens, il semble nécessaire d'affiner la caractérisation de la signature visuelle d'une famille cartographique en considérant plus précisément l'influence de l'ingrédient espace géographique sur celle-ci. Une des pistes de recherche consiste à caractériser différents types d'espaces géographiques en entrée de notre approche expérimentale afin de pouvoir caractériser une signature visuelle pour chacun de ces espaces géographiques. Il existe différents modèles et différentes méthodes utilisées par les géographes et les informaticiens pour décrire l'espace géographique (Brunet, 1997 ; Pumain et Saint-Julien, 1997 ; Boffet, 2001 ; entres autres). Une première perspective consisterait donc à s'appuyer sur ces différents travaux pour décrire et caractériser différents types d'espace géographique, pour lesquels une signature visuelle serait caractérisée. L'apport de ces nouvelles connaissances permettrait de mieux spécifier aux systèmes de conception cartographique la signature visuelle à considérer en fonction de la nature de la zone géographique à représenter et de compléter ainsi les guides de rédaction cartographique que nous proposons. Cette perspective s'inscrit également dans une perspective de modélisation, qui vise à étendre notre modèle de style pour préciser les relations existantes entre la classe « `espace géographique` » et la classe « `signature visuelle` ».

### Vers des guides de rédaction intégrant des contraintes cartographiques

Dans la section 4.7 du chapitre 4, nous proposons des guides de rédaction cartographique pour deux cas d'application où la conception de nouvelles cartes topographiques appartenant à une famille cartographique apparait être intéressant. Les premiers résultats cartographiques obtenus à partir de ces guides de rédaction cartographique ont soulevé de nombreuses questions notamment sur la manière dont il faut symboliser les thèmes cartographiques n'appartenant pas à la signature visuelle. Nous identifions deux pistes de recherche sur la spécification de contraintes de conception cartographique pour ces thèmes et sous-thèmes cartographiques afin que le style de la carte reste reconnaissable :

1. un ensemble de contraintes permettant de préserver des relations de contrastes dans les nouvelles cartes topographiques produites ;

2. un ensemble de contraintes permettant de préserver des harmonies dans les nouvelles cartes topographiques produites ;

Plusieurs travaux de recherche se sont déjà intéressés à ces problématiques de recherche (Chesneau, 2006 ; Buard et Ruas, 2007 et 2009 ; Christophe, 2009a ; Christophe et al., 2011 ; Christophe et al., 2013 ; Jégou, 2014 ; entre autres). Il semble intéressant de repartir des travaux pour proposer des contraintes sur le choix des couleurs permettant d'assurer la reconnaissance du style. Nous imaginons notamment des contraintes sur la relation entre la couleur du thème ou du sous-thème cartographique originel, i.e. tel qu'il est représenté théoriquement, et la nouvelle couleur du thème ou du sous-thème cartographique représenté, i.e. tel qu'il est représenté dans la nouvelle carte topographique. La Figure C.2 présente les six relations chromatiques sur lesquelles il serait intéressant de s'appuyer pour fixer ces contraintes.

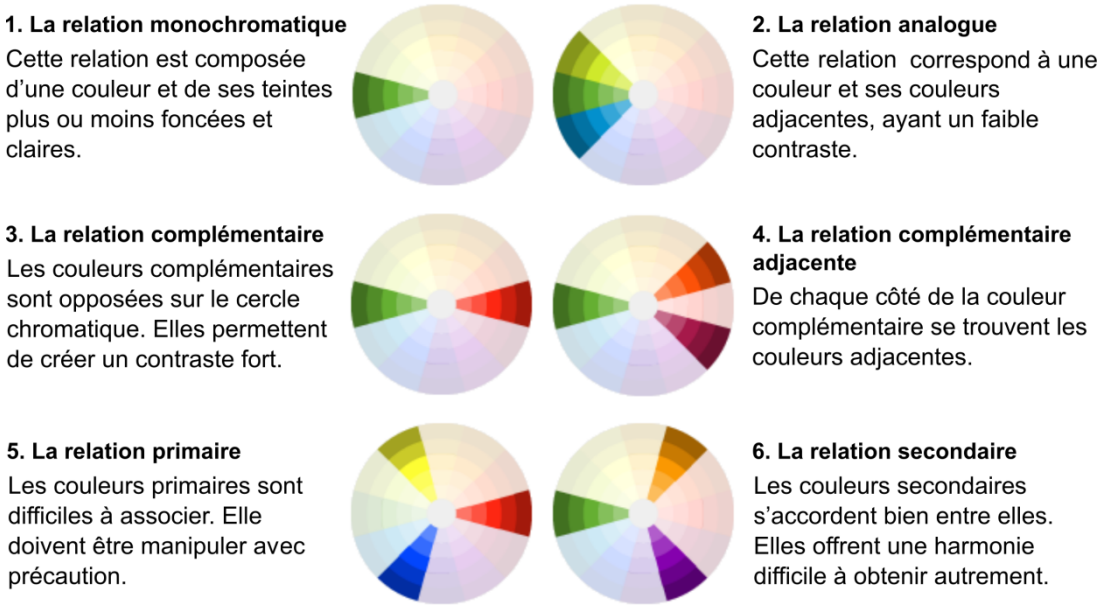



Figure C.2 Exemples de relations colorimétriques à considérer pour émettre des contraintes.

Pour déterminer comment utiliser les relations chromatiques de la Figure C.2 en tant que contraintes, il nous semble nécessaire de produire des cartes dont les spécifications sont

maitrisées et de faire évaluer les résultats auprès d'utilisateurs afin de valider ou non la contrainte préconisée. La nature de l'implantation des objets cartographiques (ponctuel, linéaire, surfacique) devra être considérée en tant que paramètres influençant les contraintes à préconiser. De même, les contraintes coloriques seront différentes selon qu'il s'agit de spécifications de couleurs pour représenter le fond (`fill`) ou les bordures (`stroke`) des objets cartographiques.

### Vers une évaluation des cartes produites à partir d'une signature visuelle reconnaissable

Les cartes produites, à partir des guides de rédaction cartographique préconisés, nécessitent d'être évaluées afin de vérifier qu'elles appartiennent bien à la famille cartographique destinée. Nous proposons donc une évaluation sous la forme d'une expérimentation utilisateur, au sein de laquelle les participants auraient la tâche de classifier les cartes produites par famille cartographique. Les résultats obtenus permettraient de valider ou non l'appartenance des cartes topographiques produites à la famille cartographique à laquelle elles doivent appartenir.

Par ailleurs, nous proposons de vérifier notre hypothèse selon laquelle si nous préservons la reconnaissance d'un style topographique nous assurons une bonne communication cartographique entre le concepteur de cartes et l'utilisateur. La Figure C.3 décrit notre hypothèse sur la corrélation entre un niveau de reconnaissance d'un style topographique et la charge cognitive associée.

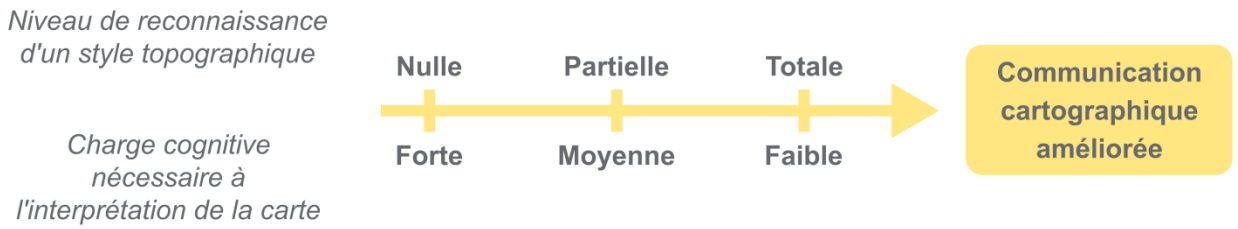



Figure C.3 Corrélation entre différents niveaux de reconnaissance d'une signature visuelle et la charge cognitive nécessaire à l'interprétation de la carte.

Afin de vérifier cette hypothèse, nous proposons de mettre en place des expérimentations utilisateur, au sein desquelles il serait demandé aux participants d'effectuer différents types de tâches : recherche d'objets cartographiques, d'itinéraires, etc. et de vérifier la réussite à la tâche en fonction de la signature visuelle utilisée pour concevoir la carte. Nous conseillons d'appuyer cette évaluation avec des techniques d'occulométrie afin de mesurer l'attention visuelle suscitée par les signes graphiques composant les cartes topographiques proposées.

Après avoir détaillé quelques perspectives de recherche, nous proposons dans la section suivante des perspectives applicatives de notre modèle de style.

## Perspectives applicatives : vers la production de nouveaux référentiels cartographiques

Grâce aux applications de géovisualisation comme le Géoportail, les utilisateurs ont facilement accès à de nombreuses données géographiques. Cependant, la recherche d'information et la navigation sur ces portails cartographiques peuvent s'avérer encore difficiles pour certains utilisateurs ou ne sont pas adaptées à certains usages. Par exemple, la navigation entre des représentations de différentes natures : abstraction cartographique et image réaliste, peut s'avérer difficile pour certains utilisateur, brouillant ainsi la transmission d'informations. De même, la visualisation de représentations cartographiques à travers des écrans de petites tailles, tels que les téléphones portables, changent les modalités de consultation et demandent aux utilisateurs de s'adapter à travers de nouvelles pratiques. En effet, les téléphones portables convergent vers une taille physique de l'écran de 3,5 pouces, correspondant à la taille d'un objet que peut saisir la main d'un adulte. La taille de l'écran est donc bien plus réduite que celle d'un écran d'ordinateur, la résolution est souvent inférieure, et les proportions de l'écran sont de celles d'un ordinateur de bureau, impactant la place disponible à l'écran et par conséquent l'organisation visuelle du contenu cartographique. Dans ce contexte, les chercheurs en Sciences de l'Information souhaitent proposer de nouvelles représentations cartographiques de référence afin d'améliorer la qualité de la diffusion de l'information géographique et de faciliter son interprétation. L'enjeu est de produire des représentations cartographiques efficaces. Une troisième perspective importante à ce travail de recherche se situe au niveau de l'application de notre modèle de style pour permettre la conception de ces nouveaux référentiels cartographiques possédant des signes graphiques reconnus des utilisateurs. Dans cette section, nous dessinons deux perspectives d'application de notre modèle : une première proposition consiste à concevoir des représentations cartographiques mixtes et hétérogènes ; une seconde consiste à concevoir des rendus 3D stylisés. L'objectif est de pouvoir spécifier une signature visuelle reconnaissable à ces nouvelles représentations cartographiques. Dans cette sous-section, nous décrivons la manière dont nous envisageons l'intégration de nos résultats de thèse dans ces deux axes de recherche.

### Les représentations cartographiques mixtes / hétérogènes

Il existe des recherches en cours sur l'élaboration de méthodes permettant de combiner différents types de représentations graphiques entre elles. Dans cette sous-section, nous nous intéressons tout d'abord aux représentations mixant des abstractions cartographiques et des orthophographies puis aux représentations cartographiques hétérogènes.

#### Représentations mixant abstraction cartographique et orthophographie

Dans la sous-section 2.2.3 de ce mémoire, nous avons présenté les travaux de Hoarau (2015), qui propose une méthode permettant de combiner efficacement une représentation photoréaliste (ortho) et une abstraction cartographique (données

cartographiques vectorielles). Ce travail a notamment pour objectif de créer des représentations intermédiaires continues pour faciliter la navigation entre des cartes topographiques et des représentations réalistes. La Figure C.4 illustre différentes représentations intermédiaires continues au sein d'un portail cartographique. La méthode proposée par Hoarau (2015) s'appuie sur un ensemble de paramétrages permettant d'adapter localement la symbologie des données cartographiques afin d'interpoler les deux types de représentation et de les covisualiser efficacement.

Figure C.4 Continuums cartographiques permettant de naviguer efficacement entre une abstraction cartographique – carte topographique - et une représentation réaliste – orthophotographie (Hoarau et Christophe, 2015).

Les résultats obtenus par notre travail de thèse peuvent constituer des indicateurs pour le paramétrage du modèle de Hoarau (2015) en préservant une signature visuelle reconnaissable. Il semble donc intéressant d'aligner notre modèle sur celui proposé par Hoarau (2015) pour permettre la création de représentations cartographiques hybrides dont la signature visuelle est reconnaissable par l'utilisateur et ainsi assurer la fonction d'appartenance de ces représentations cartographiques hybrides à la famille cartographique IGN. Notre modèle aurait la tâche de proposer les fonctions de dessins permettant de rendre une signature visuelle reconnaissable sur un jeu de données cartographiques ; le modèle de Hoarau (2015) aurait la tâche d'interpoler cette signature visuelle avec une représentation photoréaliste. Cet alignement de modèle semble facilement réalisable étant donné que les deux modèles se reposent sur les mêmes briques : à savoir le modèle de légende de l'équipe COGIT et le modèle de symbologie SLD/SE.

### Représentations hétérogènes mixant deux abstractions issues de différentes familles cartographiques

Dans ce paragraphe, nous décrivons deux cas d'application pour la production de représentations cartographiques hétérogènes.

#### Représentations hétérogènes sur une frontière administrative

Dans la section 4.7.2, nous avons identifié le besoin de produire des cartes topographiques en cohérence avec les styles topographiques de part et d'autre d'une frontière administrative. Nous souhaitons poursuivre cette recherche à travers la conception de représentations cartographiques intermédiaires permettant de naviguer entre deux abstractions cartographiques avec des styles différents au sein d'un portail cartographique. L'enjeu est de fluidifier la navigation entre les deux abstractions cartographiques. L'objectif est d'émettre des règles de conception pour mixer efficacement deux signatures visuelles pour produire des représentations intermédiaires qui forment un continuum cartographique. La Figure C.5 décrit la constitution d'un

continuum cartographique pour naviguer entre deux styles topographiques. La partie verte de la Figure C.5 illustre les principes de conception des représentations intermédiaires en s'appuyant sur les différents niveaux de signatures visuelles des styles topographiques A et B.

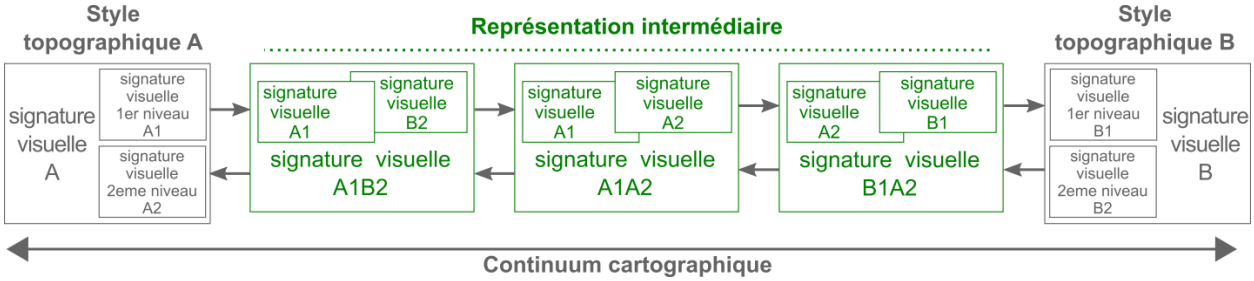



Figure C.5 Principes pour naviguer entre deux styles cartographiques à l'aide de représentations intermédiaires au sein d'une application de géovisualisation.

La Figure C.6 décrit le pipeline général de la formalisation de deux signatures visuelles à la conception de représentations cartographiques mixtes.

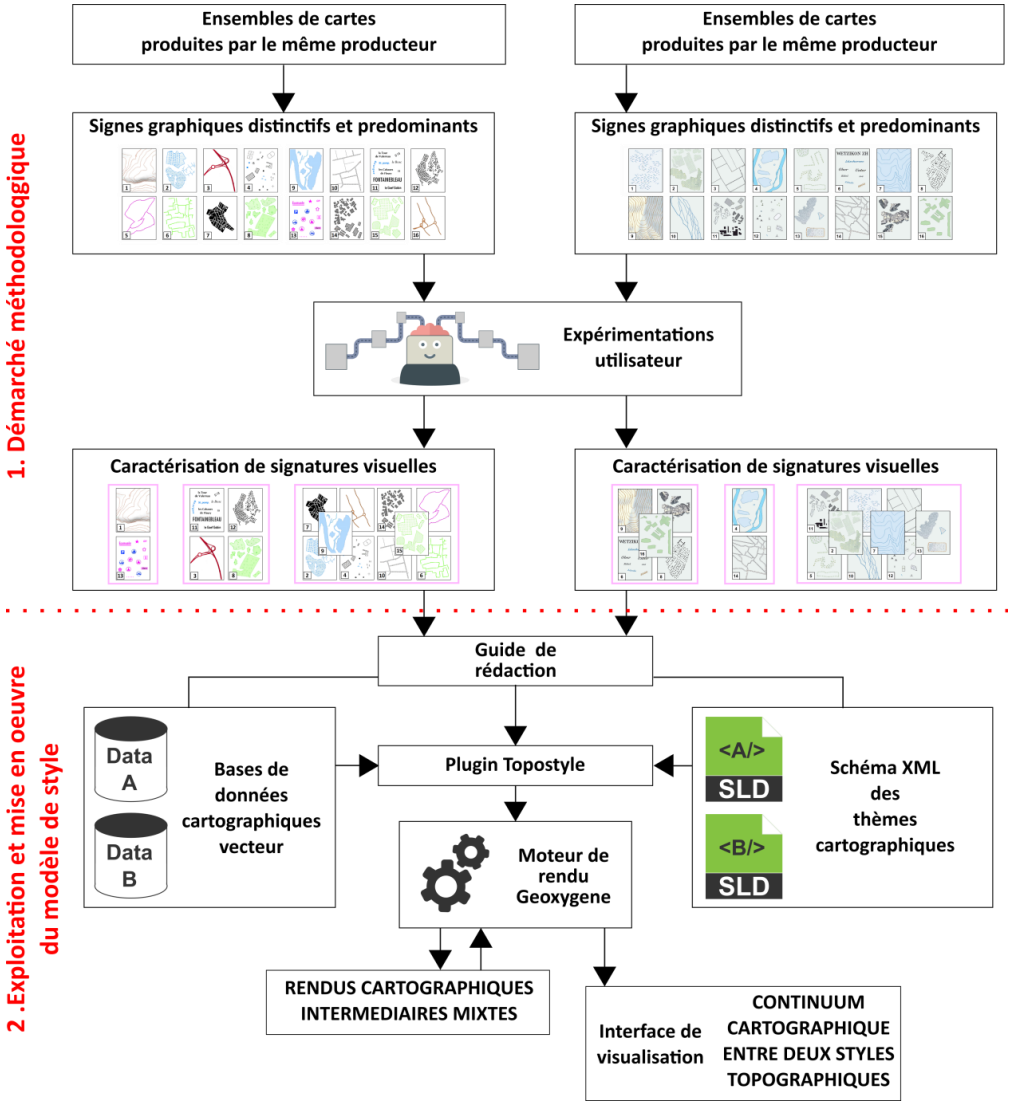



Figure C.6 *Pipeline* de la formalisation de deux signatures visuelles à la conception de représentations cartographiques mixtes.

Ces représentations mixtes sont produites à partir de jeux de données cartographiques hétérogènes nécessitant de spécifier les paramètres de généralisation. Au même titre que le standard SLD/SE permettant de spécifier les paramètres de construction de légende, nous imaginons l'utilisation d'un standard permettant de spécifier les contraintes et les paramètres de généralisation associés, tel que proposé par Touya et Girres (2013), afin de mixer efficacement deux jeux de données cartographiques hétérogènes.

### Représentations hétérogènes sur une frontière physique

Masse et Christophe (2015 et 2016) proposent des méthodes permettant d'améliorer les rendus cartographiques à l'interface terre/mer en introduisant plus de réalisme aux représentations cartographiques. Ils jouent sur la précision de l'information et les choix de représentation pour accentuer le réalisme perçu par l'utilisateur. Ils introduisent par exemple l'information des profondeurs d'eau à des abstractions cartographiques (SCAN Express 25®) ou à des orthophotos. Dans le premier cas, l'information de profondeur est symbolisée à partir de couleurs conventionnelles extraites des cartes marines du SHOM[132], dans le second cas il s'agit d'une combinaison de couleurs naturelles et réalistes extraites de l'ortho. Par ailleurs, ils proposent des vues animées et immersives exprimant ainsi la dynamique des marées et accentuant encore plus le réalisme perçu. La Figure C.7 illustre trois rendus cartographiques, extraits de la géovisualisation animée des états de marée dans l'estuaire de Lanildut, commune du département du Finistère. Les représentations cartographiques 1.a, 1.b et 1.c de la Figure C.7 sont extraites du rendu final animé de la geovisualisation du littoral à plusieurs états de marée (respectivement, basse, moyenne et haute) et illustrent la juxtaposition de styles cartographiques de deux familles cartographiques existantes : IGN (terre) et SHOM (mer). Les représentations 2.a, 2.b et 2.c de la Figure C.7 illustrent une juxtaposition d'une orthophoto (terre) et de l'information de profondeur d'eau stylisée à partir d'une palette de couleurs naturelles, ce qui permet une représentation réaliste et animée du littoral tout en conservant une cohérence visuelle. Ces nouvelles représentations cartographiques proposent un rendu animé et continu entre terre et mer à partir de données spatio-temporelles hétérogènes.

[132] Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, référence de la cartographie maritime française.

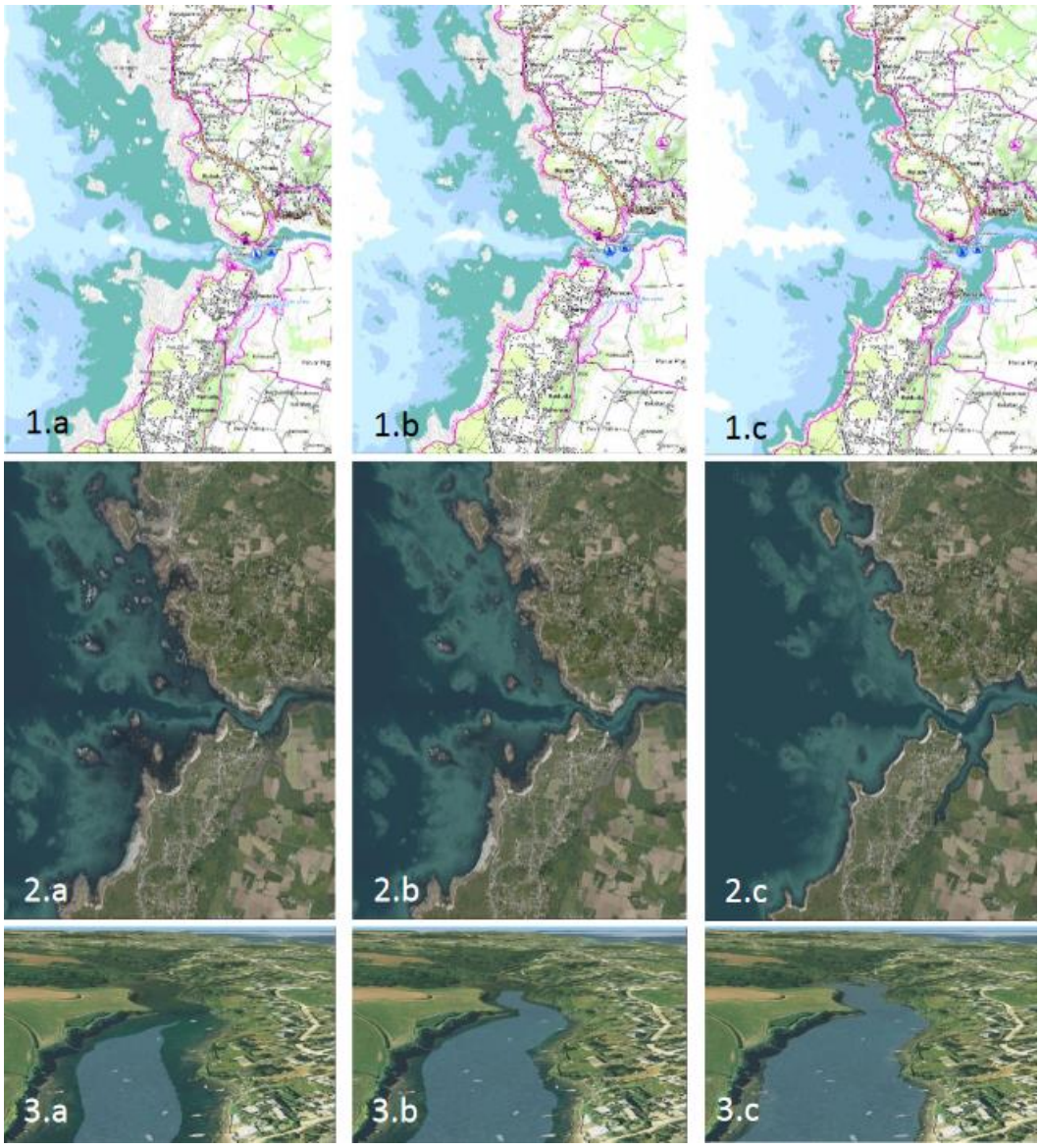



Figure C.7 Trois rendus cartographiques, extraits de la géovisualisation animée des états de marée dans l'estuaire de Lanildut, et s'inspirant des styles cartographiques maritimes et terrestres existants, avec notamment une utilisation des couleurs conventionnelles pour la profondeur d'eau (Masse et Christophe, 2016).

Pour les représentations sous forme d'abstraction cartographique - images 1.a, 1.b et 1.c de la Figure C.7 - il serait possible d'ajouter d'autres informations thématiques côté mer, par exemple la bathymétrie, les courants marins ou bien encore la météo. De la même façon, il serait possible d'alléger le rendu topographique côté terre pour l'adapter à des usages d'activités nautiques, i.e. représenter l'ensemble des informations thématiques qu'un marin souhaite disposer lorsqu'il s'arrête dans un port. Ces adaptations du contenu cartographiques nécessitent des propositions de symbolisation associées. Les résultats obtenus par notre travail de thèse peuvent constituer des indicateurs pour une bonne intégration visuelle des données ajoutées à la représentation tout en favorisant la reconnaissance de la signature visuelle de la famille cartographique IGN.

Enfin, nous réitérons la proposition faite dans le paragraphe précédent sur l'alignement de notre modèle avec celui de Hoarau (2015). Il serait envisageable d'utiliser cet

alignement de modèle pour créer des représentations intermédiaires continues avec une signature visuelle reconnaissable pour naviguer facilement entre les deux types de représentations plus réalistes proposées par Masse et Christophe (2016) au sein d'un portail de cartographique.

### Une pyramide d'échelle avec une signature visuelle reconnaissable

Nous observons que les différents rendus cartographiques proposés au sein de portails cartographiques des agences de cartographie, pour une échelle donnée, appartiennent à la même famille cartographique mais possèdent le plus souvent des signatures visuelles différentes. En effet, les spécifications de construction de légende de ces rendus cartographiques sont issues des cartes topographiques papier, dont la conception dépendait des usages associés à l'échelle de restitution. Les différentes échelles étaient produites par des équipes différentes qui ne se concertaient pas toujours. La Figure C.8 illustre différents rendus cartographiques appartenant à la famille cartographique IGN mais possédant des signatures visuelles peu cohérentes entre elles.

Figure C.8 Rendus cartographiques proposés extraits d'une pyramide cartographique du Géoportail (Dumont et al., 2015).

Pour bien comprendre le problème nous le positionnons par rapport à celui traité dans les travaux de Dumont et al. (2015). Ces travaux s'intéressent à la conception de représentations intermédiaires dans une pyramide d'échelles afin d'améliorer la fluidité lors de navigations. En effet, les données cartographiques utilisées au sein des rendus cartographiques de différentes échelles ne possèdent ni les mêmes schémas de données ni les mêmes niveaux d'abstraction. Par exemple, la structuration des données du thème réseau routier est différente entre les échelles 1 :25 000$^{ème}$, 1 :50 000$^{ème}$ et 1 :100 000$^{ème}$. Le niveau de détail et la nature des objets cartographiques du réseau routier, qui sont représentés à ces trois échelles cartographiques, sont adaptés à l'échelle de visualisation. Ainsi, en passant du 1 :25 000$^{ème}$ au 1 :100 000$^{ème}$, les objets cartographiques bâtiments individuels sont fusionnés entre eux pour former des unités urbaines. Dans ce contexte, l'identification d'un même objet cartographique peut s'avérer difficile à travers différentes échelles, la forme de ce dernier ayant fondamentalement changée. La méthode proposée par Dumont et al. (2015) utilise des techniques de cartographie

automatique, telle que la généralisation cartographique, permettant de créer des représentations cartographiques inter échelles. L'objectif est d'obtenir des niveaux plus cohérents entre eux, délivrant une impression de continuité lors de la navigation entre les différentes représentations de la pyramide.

De notre côté, nous nous intéressons non pas à un objet cartographique ou à un groupe d'objets en particulier mais plus particulièrement à l'impression visuelle générale des rendus cartographiques dans une pyramide d'échelles. À travers notre travail de thèse nous avons caractérisé différents niveaux de signatures visuelles d'une famille cartographique pour une échelle cartographique donnée : 1 :25 000ème. Cependant, à travers les échelles, les formes des objets cartographiques changent et les quantités relatives de couleur qu'ils portent également. Dans ce contexte, il est nécessaire d'identifier les thèmes et les sous-thèmes cartographiques qui porteront une signature visuelle reconnaissable à travers les échelles, ainsi que leurs propriétés visuelles (formes, couleurs, etc.). La Figure C.9 décrit notre problème de préservation de ces propriétés visuelles. Ces connaissances permettraient de faire des propositions de conception pour concevoir des cartes topographiques avec une signature visuelle cohérente et reconnaissable à travers les échelles.

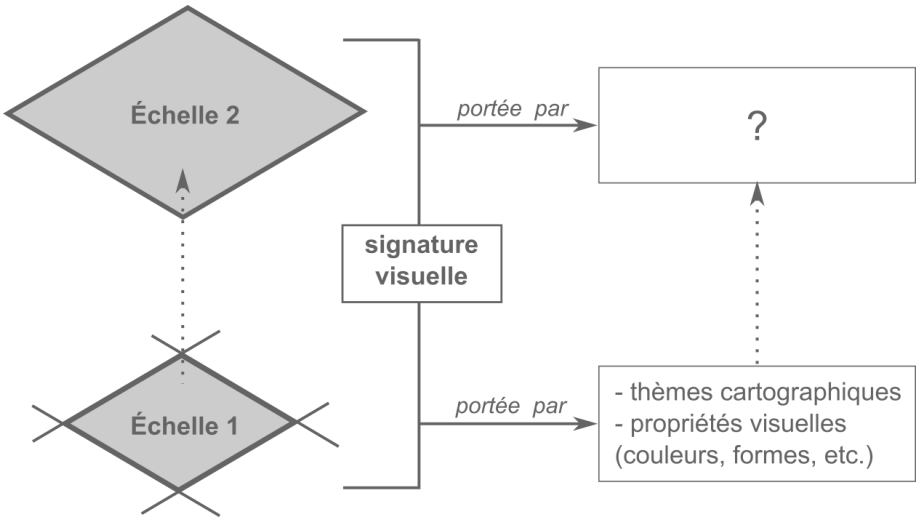



Figure C.9 Description du problème à résoudre pour avoir une signature visuelle reconnaissable à travers les échelles.

## Les rendus 3D stylisés

L'élargissement des usages et des domaines d'application en cartographie a permis aux représentations cartographiques 3D de trouver leur place au milieu des représentations cartographiques 2D. Elles sont plus réalistes et permettent dans certains cas de mieux retranscrire une information en comparaison des représentations cartographiques 2D. À titre d'exemple, les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) sont des documents d'urbanisme peu aisés à comprendre. La difficulté de compréhension de ces documents a poussé à la représentation 3D de leurs informations (Brasebin et al., 2011). Des recherches sont actuellement en cours pour étendre les méthodes et les règles de sémiologie 2D aux représentations 3D (Neubauer et Zipf, 2009; Brasebin et al., 2015; Semmo et al., 2015) et réutiliser les outils de stylisation avancés (Christophe et al., 2016). La Figure C.10 illustre

une prospective de construction de bâti à partir de deux exemples de rendus cartographiques : la partie A illustre un rendu non photoréaliste, la partie B un rendu photoréaliste. Ce dernier consiste à simuler de la manière la plus précise possible la future intégration de bâti dans son contexte, permettant ainsi à l'utilisateur une immersion visuelle. De son côté le rendu non photoréaliste permet de mettre en avant les caractéristiques de la future intégration de bâti – le focus – au sein du contexte. Brasebin et al. (2016) identifient deux styles non photoréalistes 3D : typique et discret. Le style typique caractérise le focus à partir de la formalisation d'une codification visuelle adaptée à la problématique traitée, alors que le style discret caractérise le contexte à partir de propriétés visuelles permettant de rendre saillant le focus. Nous notons qu'il n'existe à l'heure actuelle aucun code visuel permettant de délivrer aux utilisateurs un référentiel cartographique 3D dont la signature visuelle est reconnaissable. Dans ce contexte, il serait intéressant de s'appuyer sur notre modèle de style pour produire une légende 3D avec une signature visuelle reconnaissable permettant ainsi aux utilisateurs de classer le rendu cartographique 3D au sein d'une famille cartographique connue. L'application d'une signature visuelle adaptée aux rendus 2D sur des rendus 3D doit être évaluée car les relations de contrastes entre les objets dans une vue en perspective sont différentes de celles que l'on peut observer sur un rendu cartographique 2D. Pour répondre à cette problématique, il serait intéressant d'étendre notre modèle de style aux représentations cartographiques 3D afin de proposer des ajustements de la signature visuelle pour la construction de légende 3D.

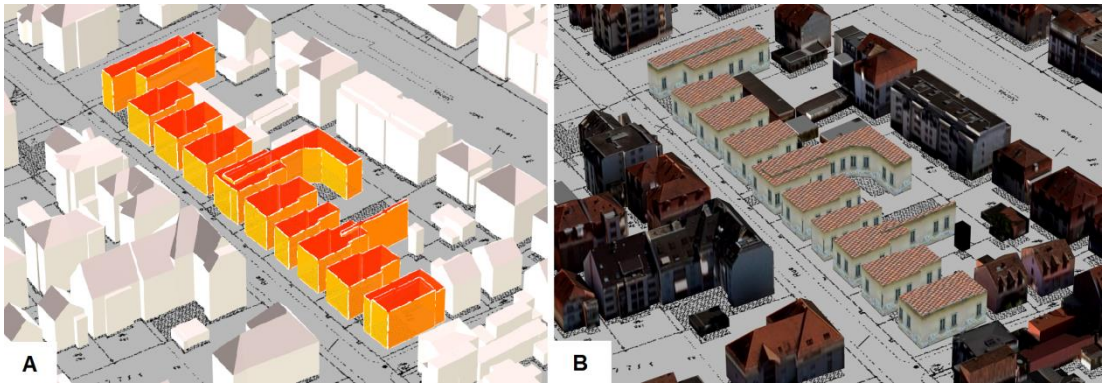
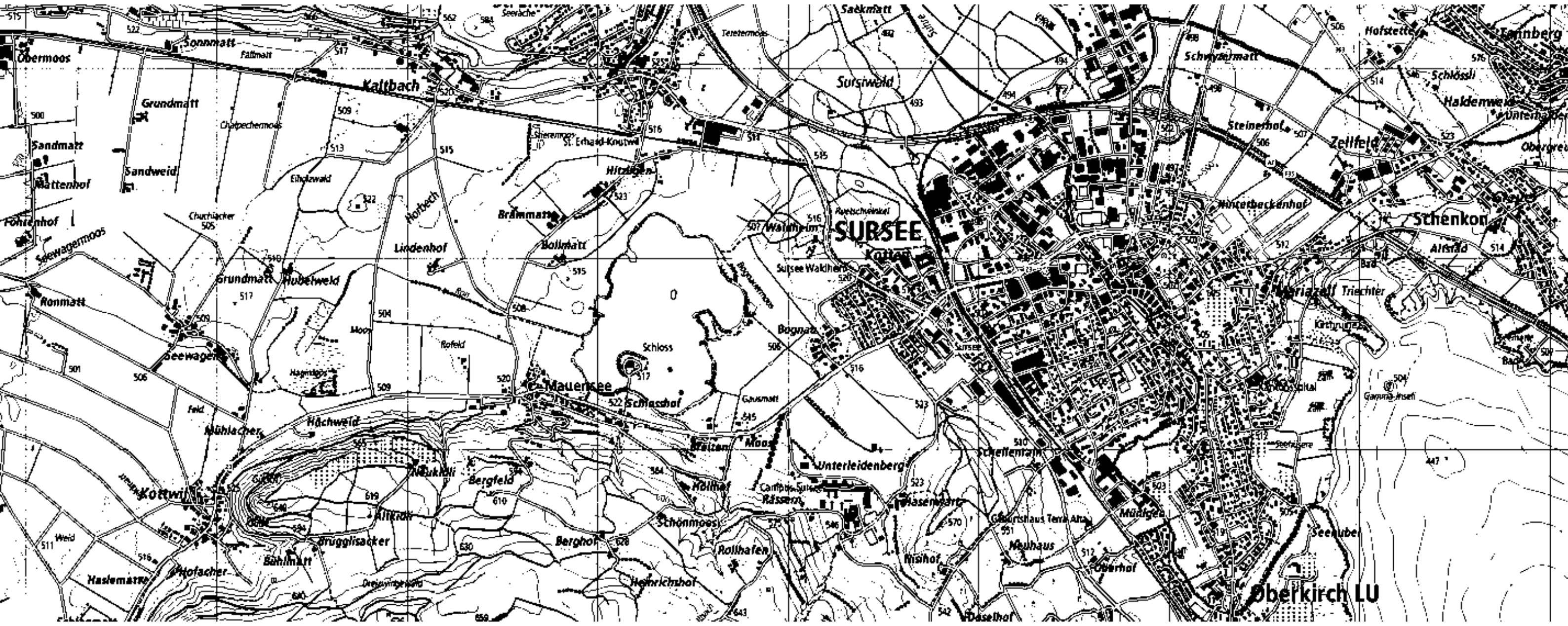



Figure C.10 Exemples de rendus cartographiques 3D stylisés : A rendu photo non réaliste, B rendu photo réaliste (Brasebin et al., 2016).

Pour conclure, grâce à ces perspectives applicatives, nous espérons affiner notre modèle pour prendre en compte des facteurs non mesurés pendant la phase expérimentale.

# ANNEXES


SURSEE
Oberkirch LU
Schenkon
Kaltbach
Mauensee
Kottwil
Obermoos
Sonnmatt
Grundmatt
Sandmatt
Sandweid
Mattenhof
Lindenhof
Hubelweid
Ronmatt
Seewagen
Schloss
Schlosshof
Hächweid
Bergfeld
Unterleidenberg
Schellenrain
Neuhaus
Oberhof
Zellfeld
Steinerhof
Schwyzermatt
Sursiwald
Sackmatt
Hofstetten
Haldenweid
Seehüsi
Schönmoos
Rollhafen
Heinrichshof
Berghof
Brüggliacker
Haslematt
Hofacher
Mühlacher
Bognau
Brämmatt
Bollmatt
Hitzligen
Mariazell
Triechter

# Annexe A : Entretiens avec des experts

Nous avons mené des entretiens avec des experts en cartographie pour chacune des deux agences nationales de cartographie IGN et Swisstopo afin d'acquérir des connaissances nous permettant de sélectionner les cartes topographiques les plus adaptées à la formalisation des deux styles topographiques respectifs. Les entretiens ont été préparés en considérant une hypothèse centrale :

**H1 :** les cartes topographiques au 1:25 000$^{ème}$, produites par les deux agences nationales de cartographie IGN et Swisstopo, constituent le matériel d'étude le plus approprié pour étudier les deux styles topographiques correspondants.

Les entretiens ont pour objectif de valider ou non notre hypothèse. Par ailleurs, ces entretiens permettront éventuellement d'identifier les critères influençant la notion de style et/ou de faire naître de nouvelles hypothèses, qui permettront d'affiner notre approche générale.

Nous avons effectué différentes séries d'entretiens avec des experts en cartographie au sein des deux agences de cartographie IGN et Swisstopo à différentes dates.

## A.1 Entretiens IGN

Au sein de l'agence de cartographie IGN à St Mandé, deux entretiens ont été menés séparément avec deux experts en cartographie : François Lecordix et Christophe Pécot. Les deux experts occupent des postes différents au sein de l'agence de cartographie IGN, nous permettant de recueillir des points de vue différents sur notre problématique.

### Protocoles

Ces deux entretiens se sont déroulés selon un mode opératoire semi-directif, i.e. qu'ils n'étaient ni complètement ouverts ni complètement fermés. Nous avions préparé quelques questions relativement ouvertes sur lesquelles nous souhaitions que les interviewés répondent. Autant que possible, nous avons laissé parler ouvertement les interviewés. Nous avons recentré l'entretien sur la problématique qui nous intéressait lorsque celui-ci s'en écartait trop.

## A.2 Entretiens Swisstopo

Au sein de l'agence de cartographie Swisstopo à Berne en Suisse, un seul entretien groupé a été mené, impliquant deux experts en cartographie internes à l'agence : Dominique Kaeuferle (responsable du département de la cartographie) et Pascal

Marguerat (cartographe au sein du département cartographie thématique) et deux experts en cartographie externes à l'agence : Sara Fabrikant et moi-même. Les deux experts internes occupent des postes différents au sein de l'agence de cartographie Swisstopo, nous permettant ainsi de recueillir des points de vue différents sur notre problématique.

### Protocoles

Cet entretien s'est déroulé selon un mode opératoire semi-directif en deux phases de quarante minutes. Une première phase pendant laquelle nous avons exposé différentes cartes topographiques IGN et Swisstopo afin de recueillir le point de vue et le ressenti des deux experts cartographes internes sur :

1. les processus d'abstraction cartographique ayant permis la conception des différentes cartes exposées ;

2. les différences visuelles résultant d'une mise en œuvre différente de ces processus d'abstraction cartographique.

Nous avons également demandé aux deux experts de qualifier oralement les deux styles topographiques IGN et Swisstopo.

Dans la seconde phase de l'entretien, nous avons échangé sur les usages des différentes cartes topographiques Swisstopo par les utilisateurs suisses. Enfin, nous avons également profité de ce moment pour échanger sur les dernières améliorations visuelles apportées à la carte topographique au 1:25 000ème Swisstopo telle que la surcharge colorique.

## A.3 Résultats : retranscription de l'entretien

Suite à ces entretiens, nous n'avons pas validé notre hypothèse de départ : la carte topographique au 1:25 000ème est la carte la plus représentative des pratiques cartographiques pour les deux agences de cartographie IGN et Swisstopo à la fois pour les utilisateurs et pour les experts. En effet, côté Swisstopo la notoriété de la carte au 1 :50 000ème est plus importante que la carte au 1 :25 000ème. Côté IGN France, la carte 1 :50 000ème étaient également très appréciée des utilisateurs, cependant celle-ci n'est actuellement plus produite.

Par ailleurs, grâce à ces entretiens, nous avons obtenu un ensemble d'informations précieuses sur l'origine de certains choix de conception cartographique ainsi que les différents usages des cartes topographiques pour chacune des deux agences. À l'issue de ces entretiens et de l'étude des diverses spécifications cartographiques, il ressort que **les utilisateurs** considèrent :

1. les deux agences de cartographie, IGN et Swisstopo, comme **des modèles et des références**. À priori, les autres éditeurs de cartes sont le plus souvent perçus comme des pâles copieurs de carte par les utilisateurs, hormis s'ils sont spécialistes d'une autre thématique cartographique, tel que l'éditeur Michelin, reconnu spécialiste des cartes routières en France.

**2. les cartes topographiques au 1:25 000ème sont les cartes topographiques très utilisées** par les utilisateurs des deux pays. Elles sont notamment considérées comme un outil

indispensable pour la randonnée. Elles sont utilisées à la fois en amont de la randonnée pour préparer un itinéraire et durant la randonnée pour s'orienter. Pour cet usage particulier, un certain nombre d'exigences est attendu des utilisateurs, sur le contenu géographique de la carte et la manière de le représenter ce contenu.

Grâce à ces entretiens, nous avons également obtenu des informations sur les experts des deux agences en cartographie :

1. les **experts de l'agence de cartographie Swisstopo** attachent une grande importance à la **représentation du relief** dans la carte topographique au 1:25 000ème, qu'ils considèrent comme un savoir-faire issu d'une longue tradition cartographique mondialement reconnu. Par ailleurs, les experts admettent que cet attachement à la représentation du relief est directement lié aux caractéristiques géographiques de leur pays. La Suisse comprend plusieurs chaînes montagneuses, Alpes et Jura notamment, qui couvrent une grande partie du territoire. Enfin, ils insistent sur le fait que l'apparence visuelle d'une carte topographique doit être proche de l'orthophoto, qui représente une image de la réalité vécue par les utilisateurs.

2. les experts de l'agence de cartographie IGN attachent une grande importance à pouvoir représenter des espaces géographiques aux caractéristiques spatiales hétérogènes à l'aide d'une même légende.

Pour conclure, les experts insistent sur le fait qu'une carte topographique doit être « visuellement parfaite ». Les experts suisses qualifient la carte topographique IGN au 1:25 000ème de carte colorée, inversement les experts français qualifient la carte topographique Swisstopo au 1:25 000ème de carte pâle et visuellement léchée. Par ailleurs, les experts des deux agences ont employé les mêmes termes pour qualifier respectivement la carte topographique au 1:25 000ème de leur voisin : précise, lisible, détaillée, à jour, donne une impression 3D grâce à l'ombrage.

# Annexe B : Questionnaires utilisateur

Au sein de cette annexe, nous exposons les deux questionnaires tels qu'ils ont été présentés aux participants pour chacune des expérimentations utilisateurs : IGN et Swisstopo.

## B.1 Expérimentation utilisateurs IGN

### N° 1 : EXPÉRIENCE AVEC LES CARTES TOPOGRAPHIQUES DE MANIÈRE GÉNÉRALE

**1.1 Combien de fois utilisez-vous les cartes topographiques dans votre vie quotidienne ?**

☐ Jamais

☐ Rarement (une fois par an)

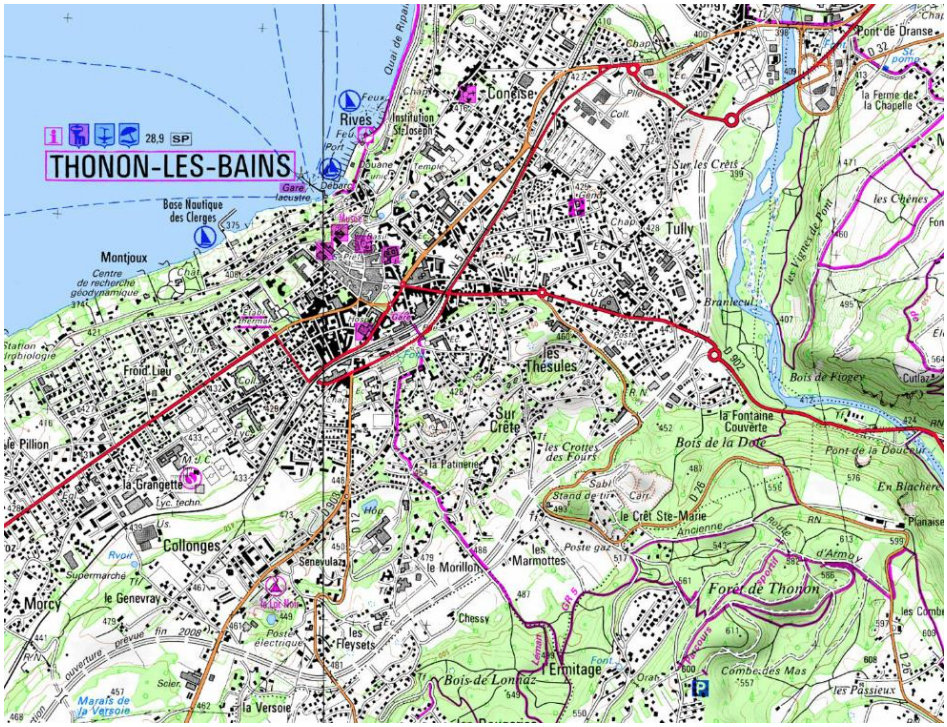
☐ Occasionnellement (une fois par mois)

☐ Régulièrement (une fois par semaine)

Autres, précisez ……

### N° 2 : L'APPARENCE VISUELLE DE CARTES TOPOGRAPHIQUES

2.1 Avez-vous déjà vu ce type de cartes topographiques auparavant ?

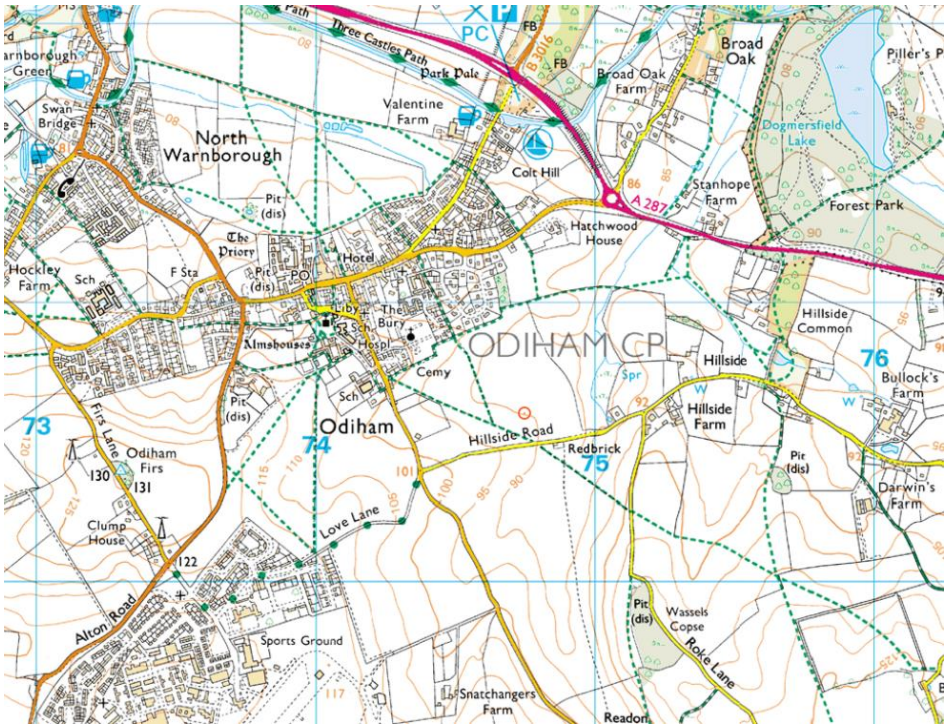



☐Oui

☐Non

**Si oui, par quelle agence de cartographie a été produite cette carte ?**

……

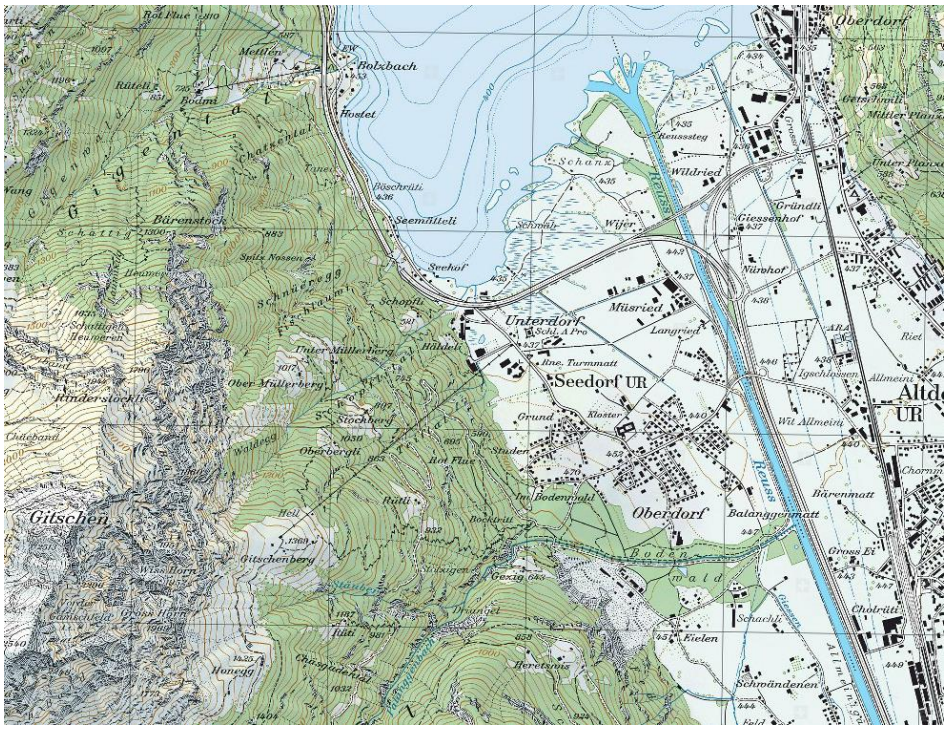



☐Oui

☐Non

**Si oui, par quelle agence de cartographie a été produite cette carte ?**

……




☐Oui

☐Non

**Si oui, par quelle agence de cartographie a été produite cette carte ?**

……

**2.2 Pensez-vous qu'il est possible de reconnaître le producteur d'une carte à partir de son apparence visuelle ?**

- ☐ Oui
- ☐ Ça dépend
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

## N° 3 : LA RELATION AVEC LES CARTES TOPOGRAPHIQUES IGN

**3.1 Avez-vous vu ou utilisé une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN ?**

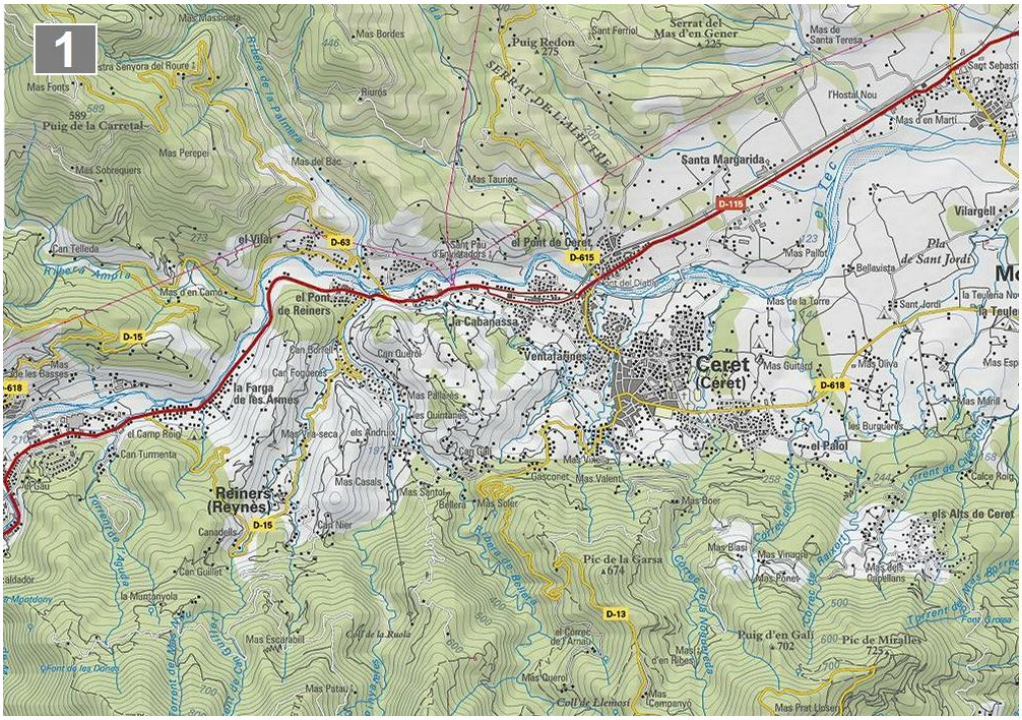
- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

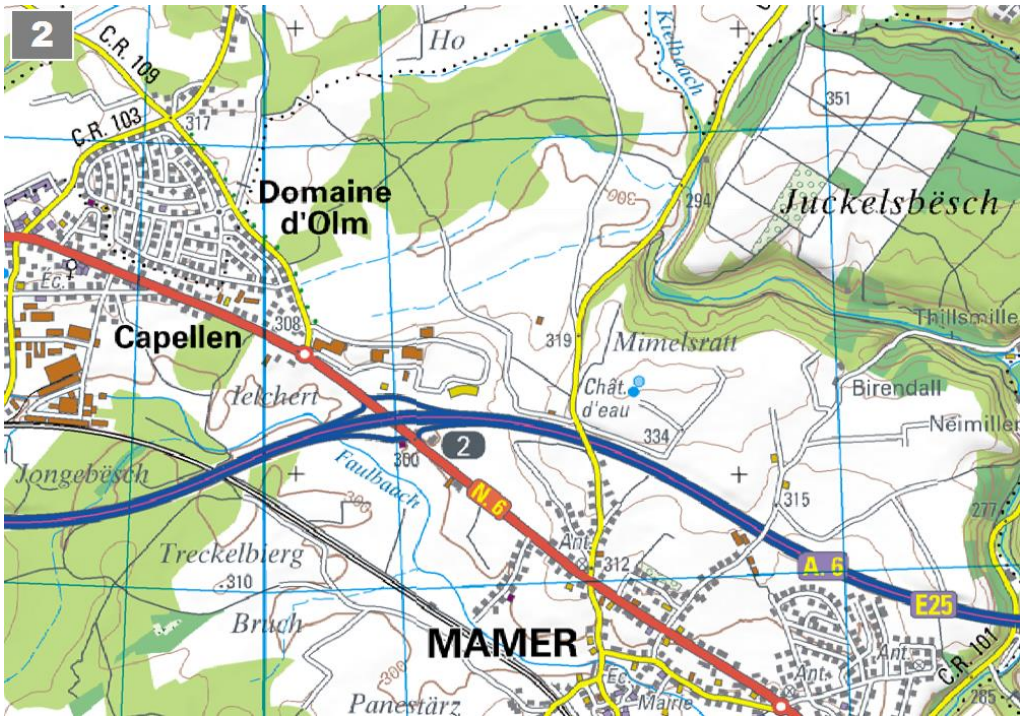
**3.2 Pensez-vous pouvoir reconnaître une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN ?**

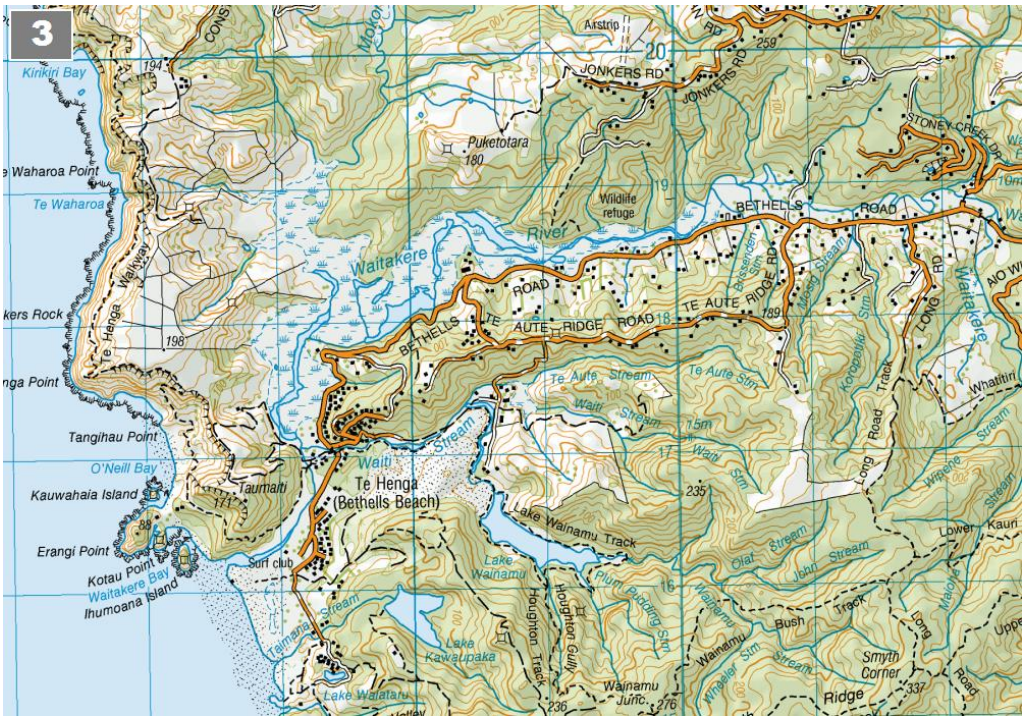
- ☐ Oui, avec certitude
- ☐ Oui, probablement
- ☐ Peut-être
- ☐ Non, probablement pas
- ☐ Non, pas du tout

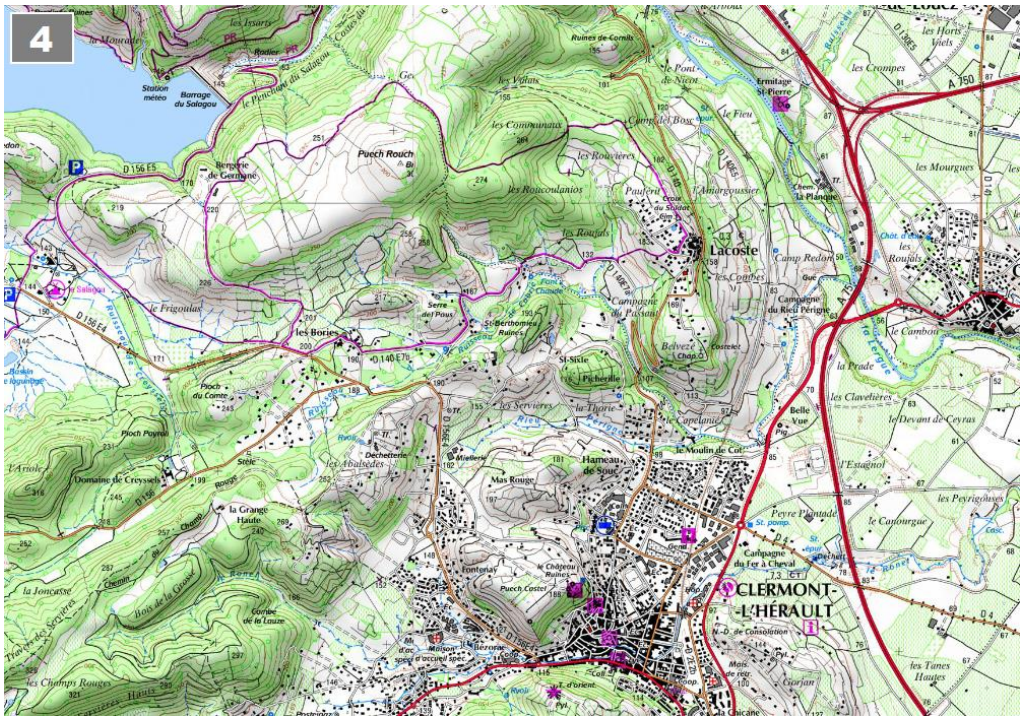
## N° 4 : STYLE TOPOGRAPHIQUE IGN ET CRITÈRES DE RECONNAISSANCE VISUELLE

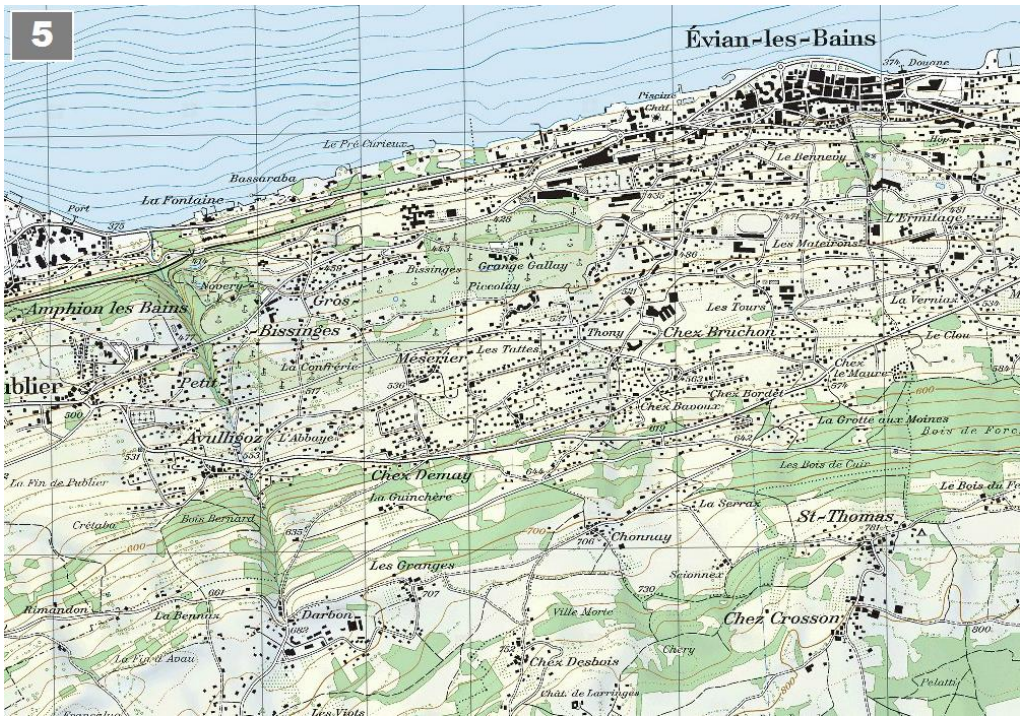
Observez les six cartes topographiques ci-dessous




2
C.R. 109
C.R. 103
Domaine d'Olm
Capellen
Juckelsbësch
Mimelsratt
Birendall
Jongebësch
Treckelbierg
Bruch
MAMER
Panestärz
N 6
A 6
E25
C.R. 101


3
Kirikiri Bay
Te Waharoa Point
Te Waharoa
Tangihau Point
O'Neill Bay
Kauwahaia Island
Erangi Point
Kotau Point
Waitakere Bay
Ihumoana Island
Puketotara
Wildlife refuge
JONKERS RD
BETHELLS ROAD
TE AUTE RIDGE ROAD
Waitakere River
Te Henga (Bethells Beach)
Surf club
Lake Waitakere
Lake Kawaupaka
Lake Wainamu Track
Smyth Corner
Ridge


4
Lacoste
CLERMONT-
-L'HÉRAULT
les Bories
Puech Rouch
Barrage
du Salagou
Station
météo
Bergerie
de Germain
Hermitage
St-Pierre
Ruines de Cornès
Le Pont
de Nizon
Le Fieu
les Crampes
les Mourgues
les Horts
Viels
les Rouïals
Camp Redon
Le Cambon
la Prade
les Clavelières
le Devant de Ceyras
le Cadourgue
les Peyrigoures
Belle
Vue
Feyre Plantade
Campagne
du Fer à Cheval
Campagne
du Rieu Périgne
Campagne
du Puisson
Belvezet
Chap.
Hameau
de Saint
Mas Rouge
le Moulin de Cot
Capelanie
la Thorie
Pucherille
St-Sixte
Domaine de Creyssels
la Grange
Haute
Pioch Poyrol
Pioch
du Comte
Stèle
Dechetterie
Fontanay
Puech Costel
Les Serviers
les Rouscoulanios
les Rouvières
les Communaux
les Vignes
Ruines
St-Berthomieu
Serre
des Pous
le Frigoulas
la Joncasse
les Champs Rouges
Bois de la Grasse
Cortine
de la Lauze
Maison
spec d'accueil spec
Bezerac
Mas
de vent
Gorjan
la Cascane
les Tunes
Hautes
Ruisseau
de Lodève
Ruisseau
de Salagou
Rivière
Lergue
Rivière
Hérault
Rivière
Rouge
Rivière
Verte
Rivière
Blanche
Rivière
Noire
D 156 ES
D 156 E4
D 156
D 148
D 140 ETR
A 750


5
Évian-les-Bains
Douane
Piscine
Chât.
Le Pré Curieux
Bassaraba
La Fontaine
Port
Le Benneuy
L'Ermitage
Les Matelrons
Bissinges
Grange Gallay
Piccolay
Novery
Gros
Amphion les Bains
Bissinges
Thony
Chez Bruchon
Les Tours
La Verniaz
Le Clou
Chez
le Maurin
Chez Bordet
Chez Buvoux
La Grotte aux Moines
Bois de Forc
Les Bots de Cur
Le Bois du Fo
Petit
La Confrérie
Mésenier
Les Tuttes
Avulligoz
L'Abbaye
Chez Demay
la Guinchère
La Fin de Publier
Crétabe
Bois Bernard
La Serraz
St-Thomas
Chonnay
Les Granges
Scionnex
Rimandon
La Bennux
Darbon
Ville Morte
Chez Crosson
Chery
Chez Desbois
Chât. de Larringes
La Pra d'Aveu
Les Viots
Pelatti

**4.1 Quelle(s) carte(s) est produite(s) par l'agence de cartographie IGN ?**

*Plusieurs réponses possibles*

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

**4.2 Quels critères vous ont aidé à effectuer votre choix ?**

| | Très important | Assez important | Pas important |
|---|---|---|---|
| Le contenu géographique de la carte | ☐ | ☐ | ☐ |
| L'apparence des objets cartographiques | ☐ | ☐ | ☐ |
| Le niveau d'abstraction de la carte | ☐ | ☐ | ☐ |
| La toponymie | ☐ | ☐ | ☐ |
| L'emprise géographique de la carte | ☐ | ☐ | ☐ |

**Avez-vous utilisé d'autres critères, non mentionnés dans la liste ci-dessus ?**

……

**4.3 Comment la symbolisation des différents thèmes cartographiques vous a aidé à effectuer votre choix ?**

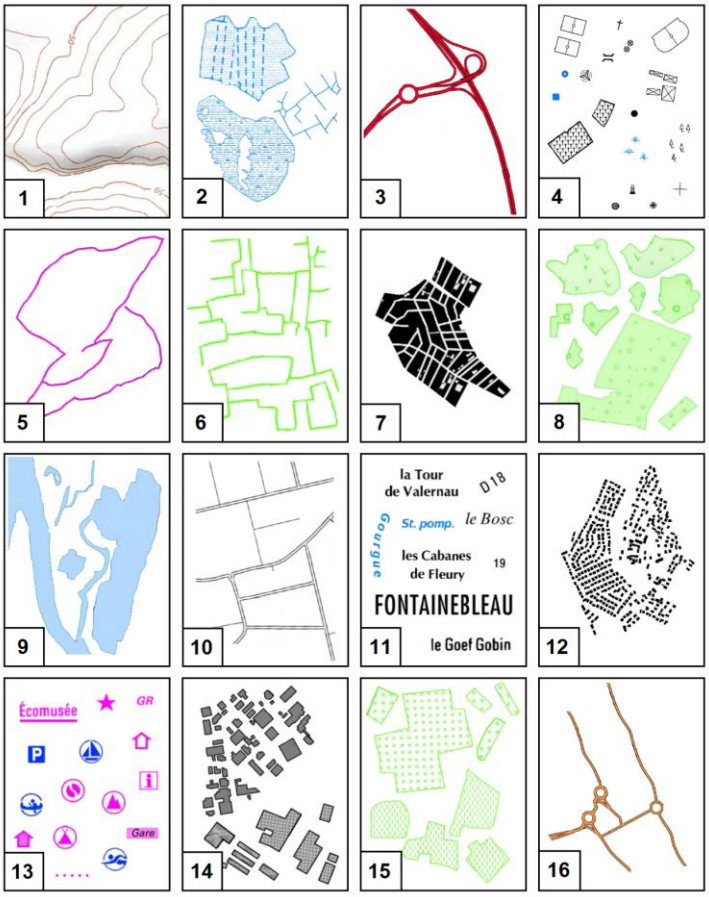
| | Très important | Assez important | Pas important |
|---|---|---|---|
| La symbolisation du réseau routier | ☐ | ☐ | ☐ |
| La symbolisation du réseau hydrographique | ☐ | ☐ | ☐ |
| La symbolisation du couvert végétal | ☐ | ☐ | ☐ |
| La représentation des toponymes (typographie) | ☐ | ☐ | ☐ |
| La représentation du relief | ☐ | ☐ | ☐ |

**Est-ce que la symbolisation d'autres thèmes cartographiques vous a aidé à effectuer votre choix ?**

……

## N° 5 : STYLE TOPOGRAPHIQUE IGN ET CARACTÉRISTIQUES VISUELLES

**5.1 Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une carte topographique produite par l'agence de cartographie IGN.**




*4 réponses obligatoires*

| | | | |
|---|---|---|---|
| ☐ 1 | ☐ 5 | ☐ 9 | ☐ 13 |
| ☐ 2 | ☐ 6 | ☐ 10 | ☐ 14 |
| ☐ 3 | ☐ 7 | ☐ 11 | ☐ 15 |
| ☐ 4 | ☐ 8 | ☐ 12 | ☐ 16 |

## N° 6 : LA REPRÉSENTATION DES TOPONYMES À TRAVERS LE MONDE

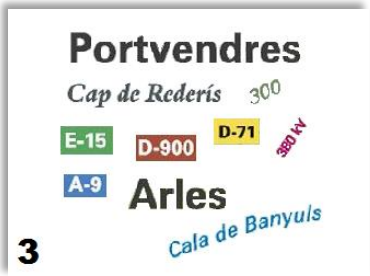
**6.1 Plusieurs échantillons de toponymes ont été extraits de différentes cartes topographiques représentant divers région du monde et produite par différents producteurs de cartes. Pour chaque échantillon spécifiez le nom du producteur de cartes associé (agence de cartographie, société productrice, etc.)**

Le Chambet
Vimont
RN
400
400
La Pointe
372
Bellerive

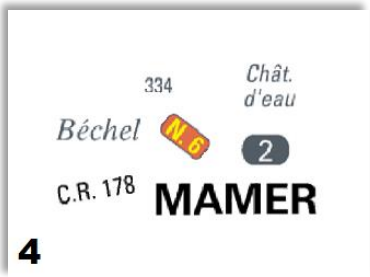
1 .....

La Transeuropéenne
Le Suc Grand
Rue du Moulin
D111
A19
LE CHÂTEAU D'ANGLARD
DOUZONVILLE
Réserve Naturelle de l'Étang de l'Estagnol
Bois de Manchecourt
Corrèze Cantal
Les Étangs
ALENÇON

2 .....


Portvendres
Cap de Rederís
300
E-15
D-900
D-71
380 kV
A-9
Arles
Cala de Banyuls

3 .....


334
Chât. d'eau
Béchel
N. 6
2
C.R. 178
MAMER

4 .....

31
Gogar Burn
New Hey Lane
A 57(M)
B 6482
29
1
Airport
A 720
Public Park
Hotel
Castle Gogar
CH
Duddingston
CP

5 .....

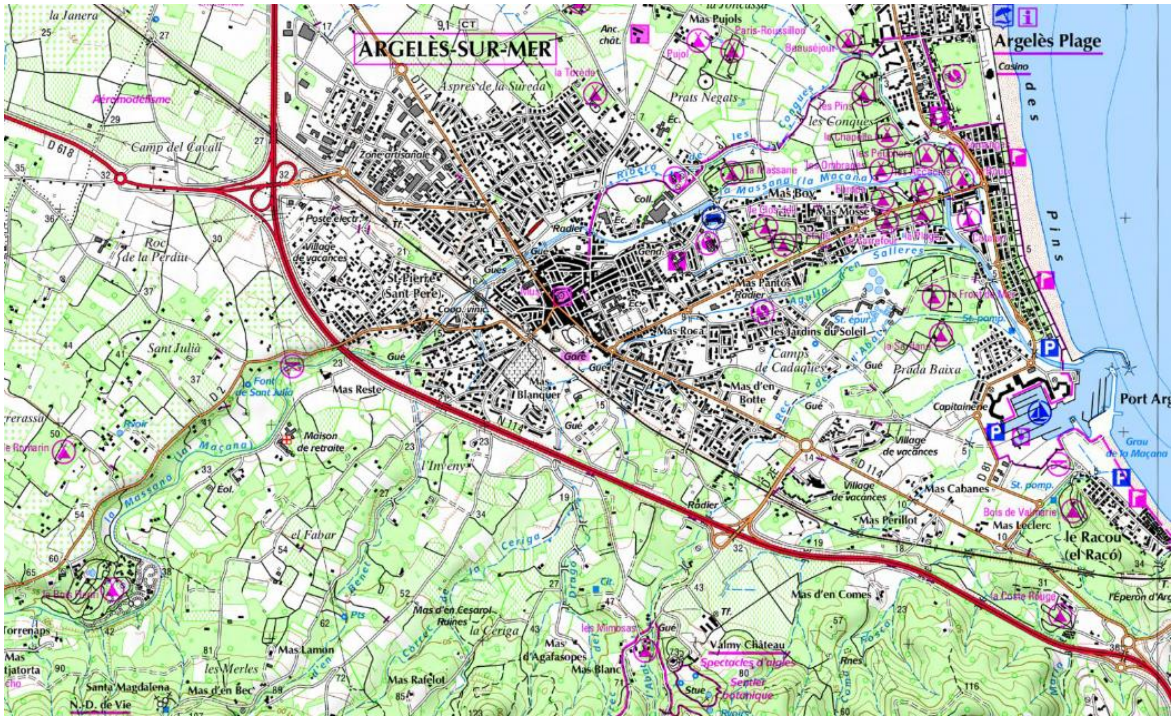
.....

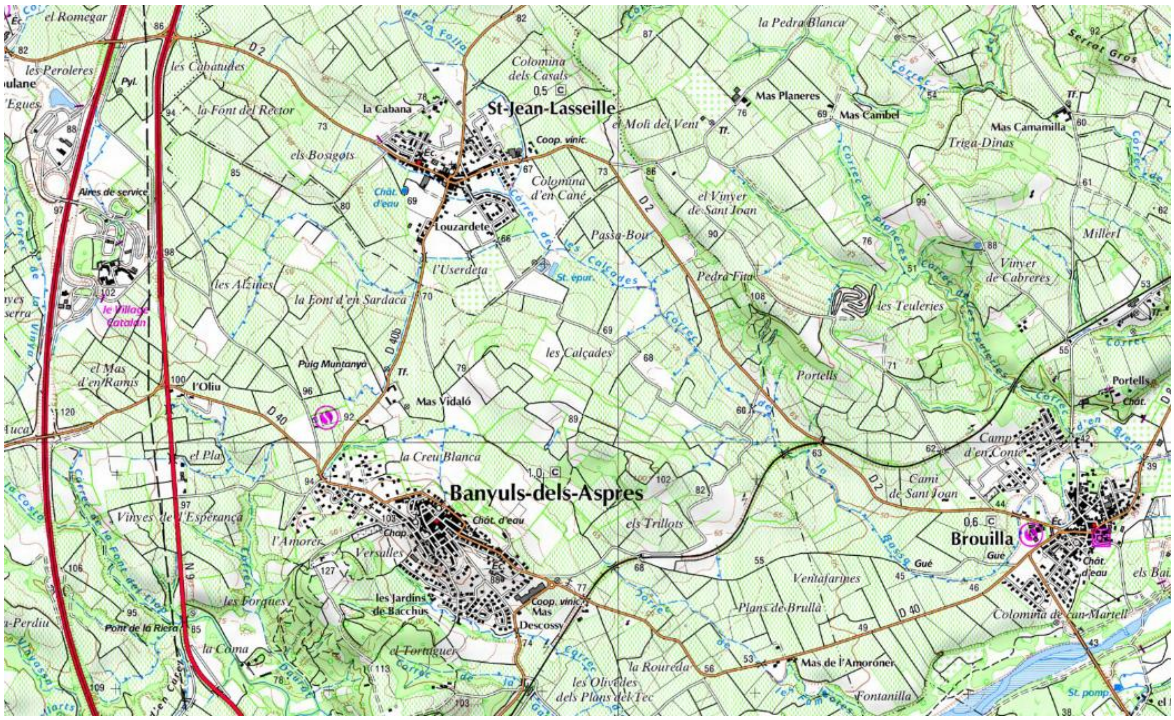
.....

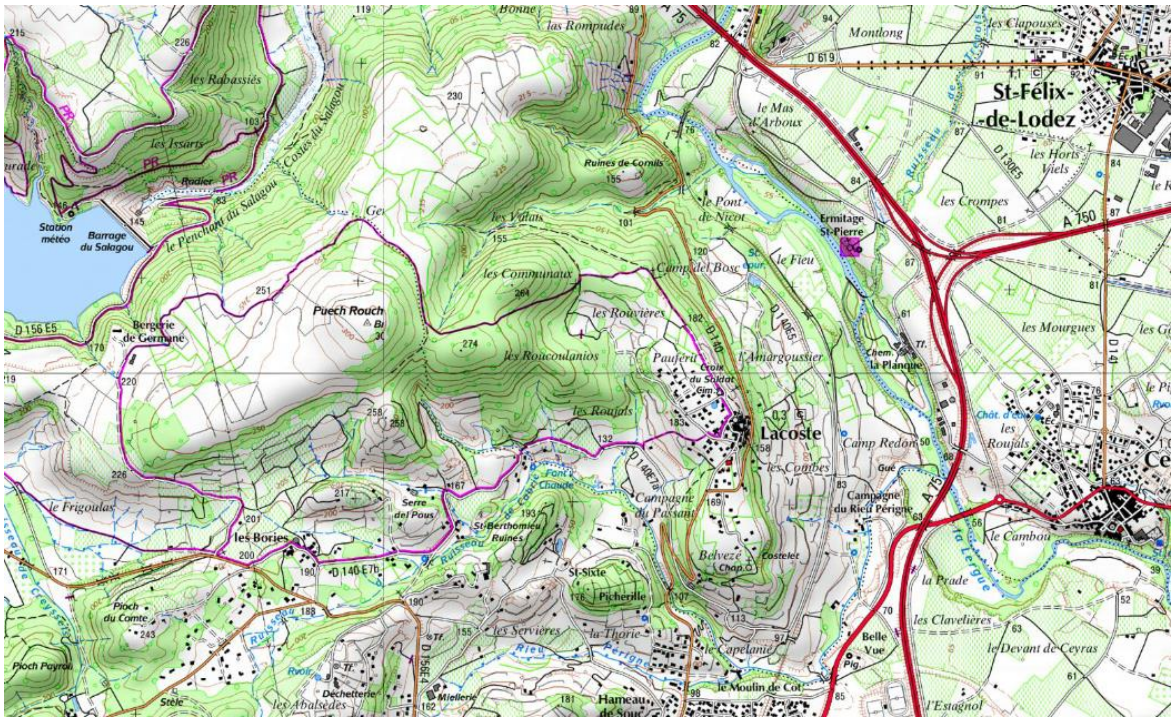
.....

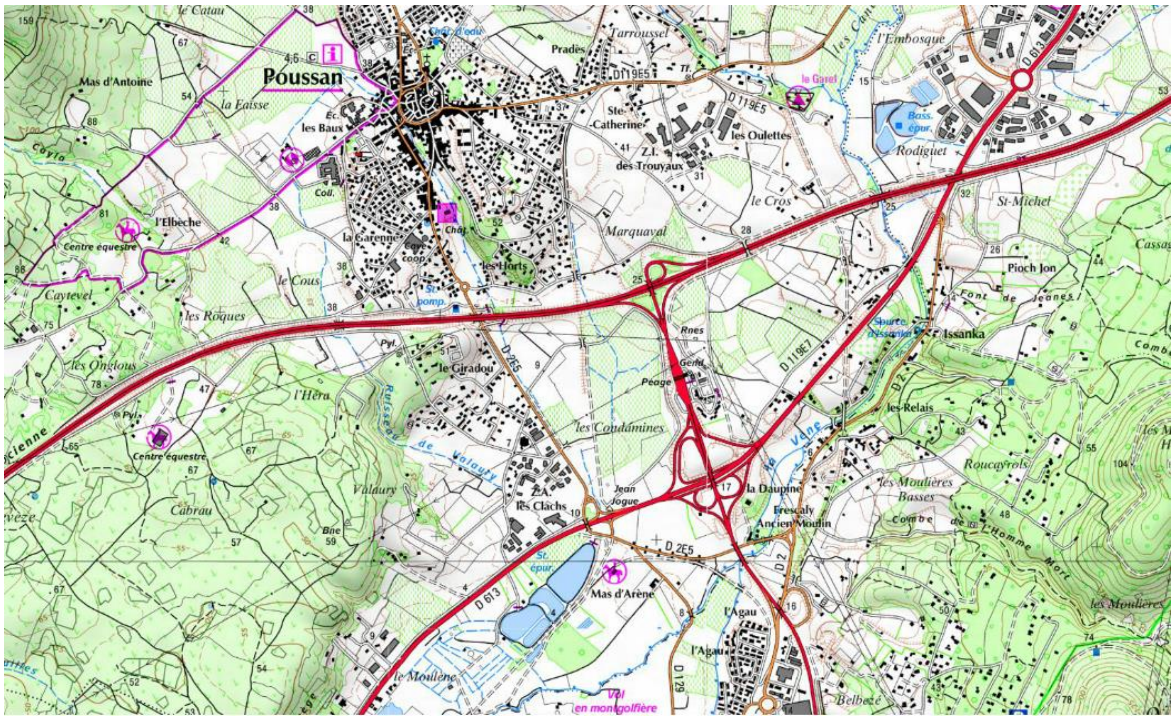
## N° 7 : STYLE TOPOGRAPHIQUE IGN ET CARACTÉRISTIQUES VISUELLES

**Visualisez attentivement les quatre cartes topographiques ci-dessous.**

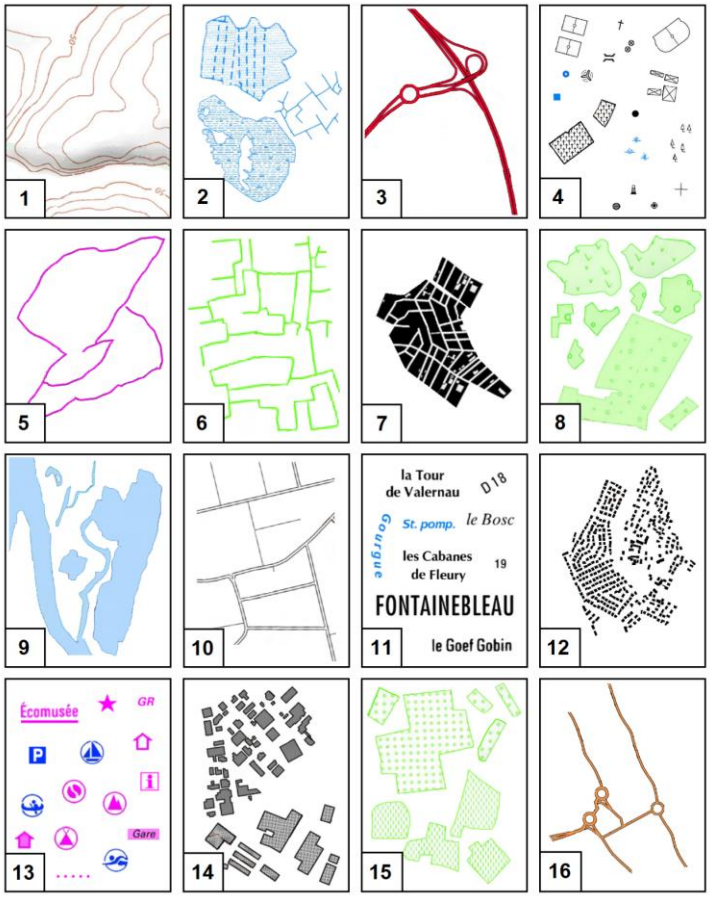



St-Jean-Lasseille
Banyuls-dels-Aspres
Brouilla
la Cabana
Mas Planeres
Mas Cambel
Mas Camamilla
Mas Vidaló
Coop. vinic.
Chât. d'eau
Aires de service
Pont de la Riera
Mas de l'Amoroner
Mas Descossy
Portells
Gué


St-Félix-de-Lodez
Lacoste
Puech Rouch
Barrage du Salagou
Station météo
Bergerie de Germane
Ermitage St-Pierre
Croix du Soldat
Ruines de Cornus
Ruines
Chât. d'eau
Gué




**7.1 Sélectionnez les quatre caractéristiques visuelles que vous considérez être visuellement les plus représentatives d'une quatre cartes topographique que vous venez de visualiser.**



*4 réponses obligatoires*

| | | | |
|---|---|---|---|
| ☐ 1 | ☐ 5 | ☐ 9 | ☐ 13 |
| ☐ 2 | ☐ 6 | ☐ 10 | ☐ 14 |
| ☐ 3 | ☐ 7 | ☐ 11 | ☐ 15 |
| ☐ *4* | ☐ *8* | ☐ *12* | ☐ *16* |

## N° 8 : INFORMATIONS PERSONNELLES

**8.1 Genre**

☐ Femme

☐ Homme

**8.2 Année de naissance**

……

**8.3 Nationalité**

……

**8.4 Effectuez-vous de la recherche en cartographie ou dans une discipline connexe ?**

☐ Oui

☐ Non

**8.5 Emploi : intitulé du poste occupé**

……

**8.6 Est-ce que vous vous considérez comme expert en cartographie ?**

☐ Oui

☐ Non

**8.7 Quel support électronique avez-vous utilisé pour répondre à ce questionnaire ?**

☐ Téléphone mobile

☐ Tablette

☐ Ordinateur portable ou ordinateur de bureau

## N° 9 : RETOUR SUR LE QUESTIONNAIRE

**9.1 N'hésitez pas à nous faire part de vos commentaires sur le questionnaire**

……

……

……

**9.2 Indiquez une adresse mail si vous êtes intéressé par les résultats de cette étude**

……

## FIN

## B.2 Expérimentation utilisateur Swisstopo

### N° 1: YOUR EXPERIENCE WITH TOPOGRAPHIC MAPS

**1.1 How often do you use topographic maps in your daily life ?**

☐Never

☐Rarely (once a year)

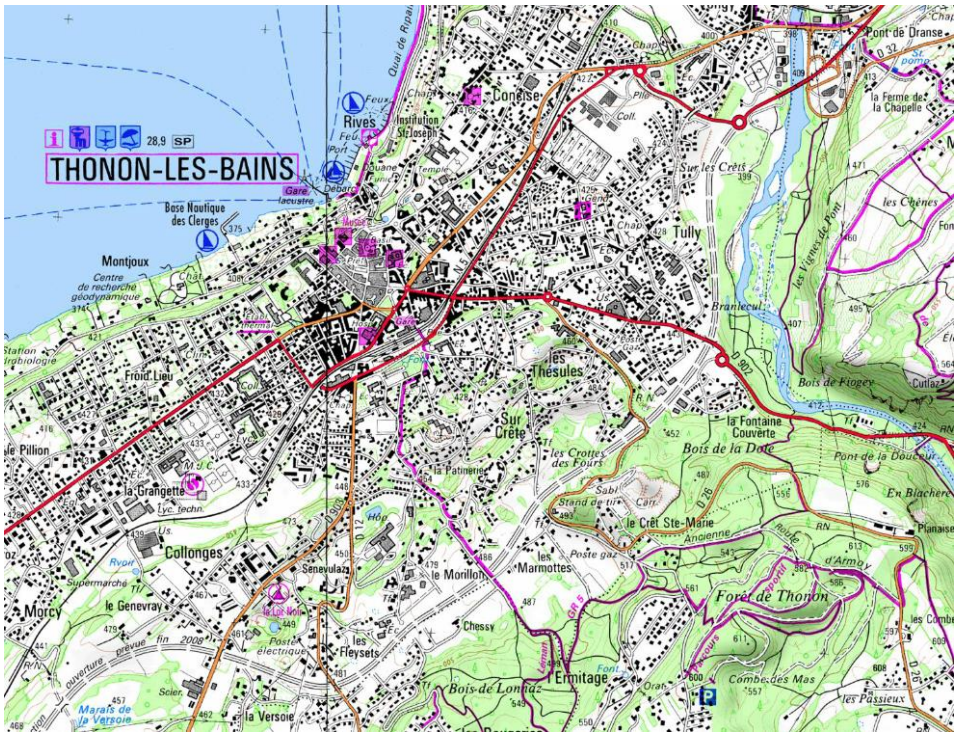
☐Occasionally (once a month)

☐Regularly (once a week)

Other ……

### N° 2: GRAPHICAL STYLE OF TOPOGRAPHIC MAPS

**2.1 Have you ever seen this topographic map style before ?**

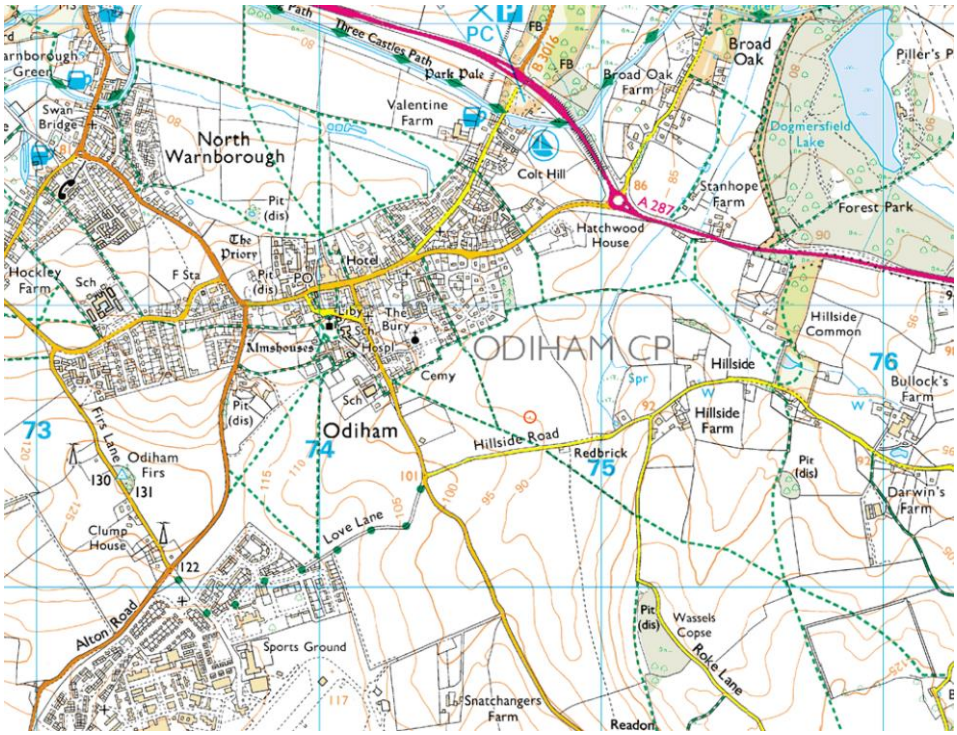



☐Yes

☐No

**If yes, which national mapping agency produced it?**

……

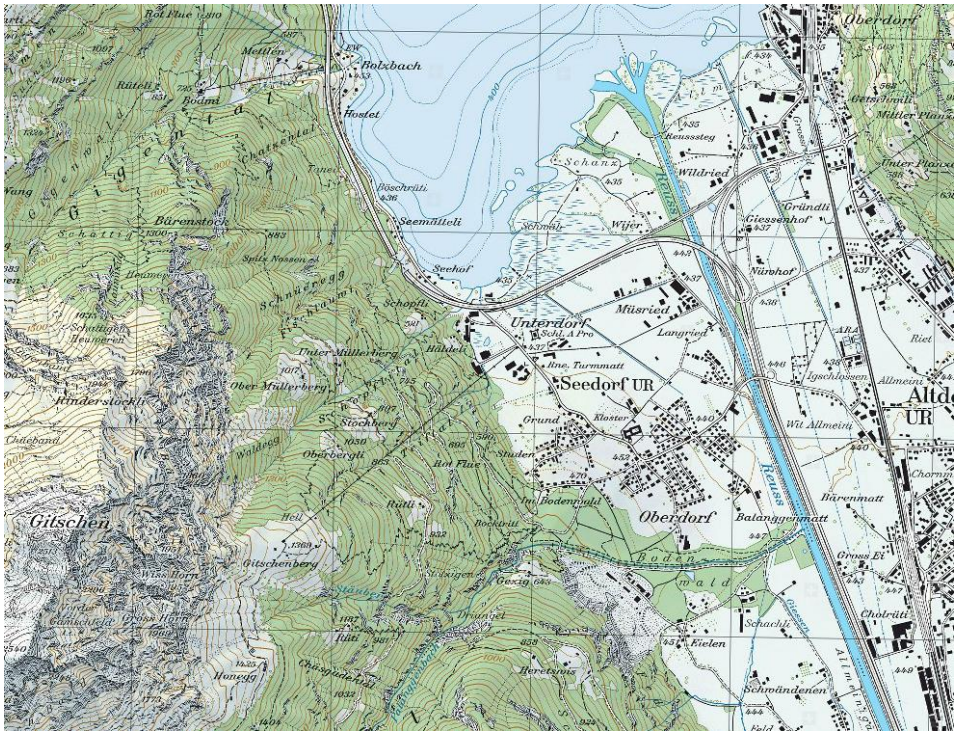



☐Yes

☐No

**If yes, which national mapping agency produced it?**

……




☐Yes

☐No

**If yes, which national mapping agency produced it?**

……

**2.2 Do you think that the producer of a topographic map is identifiable by its visual appearance ?**

- ☐ Yes
- ☐ It depends
- ☐ No
- ☐ I don't know

## N° 3: USERS RELATIONS WITH SWISS TOPOGRAPHIC MAPS (SWISSTOPO)

**3.1 Have you ever seen or used topographic maps from Swisstopo ?**

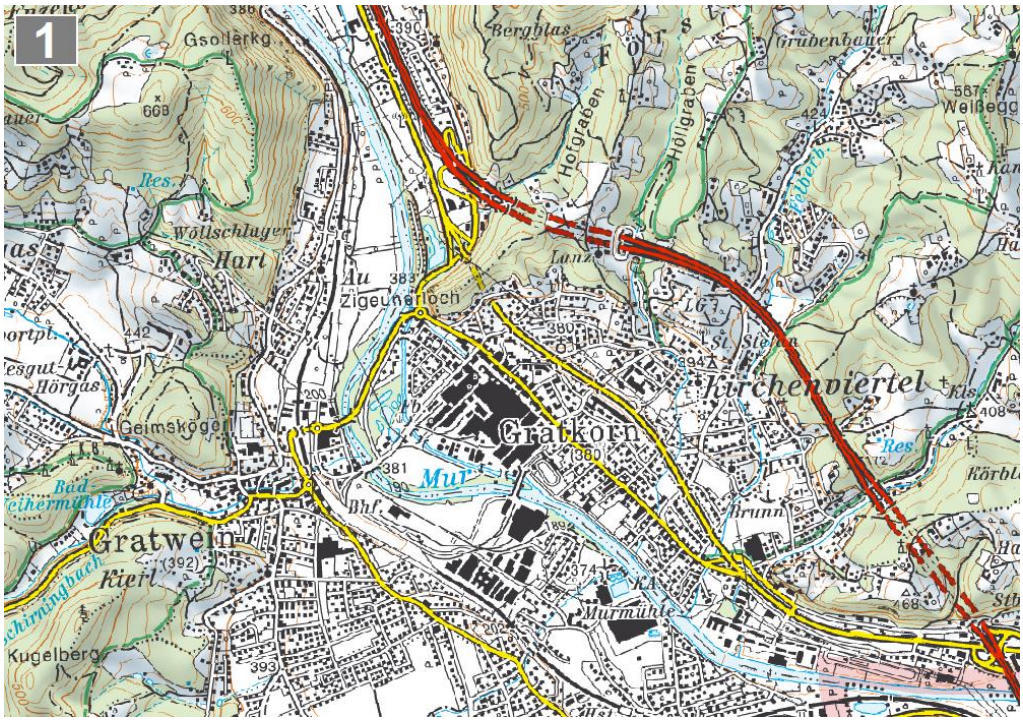
- ☐ Yes
- ☐ No
- ☐ I don't know

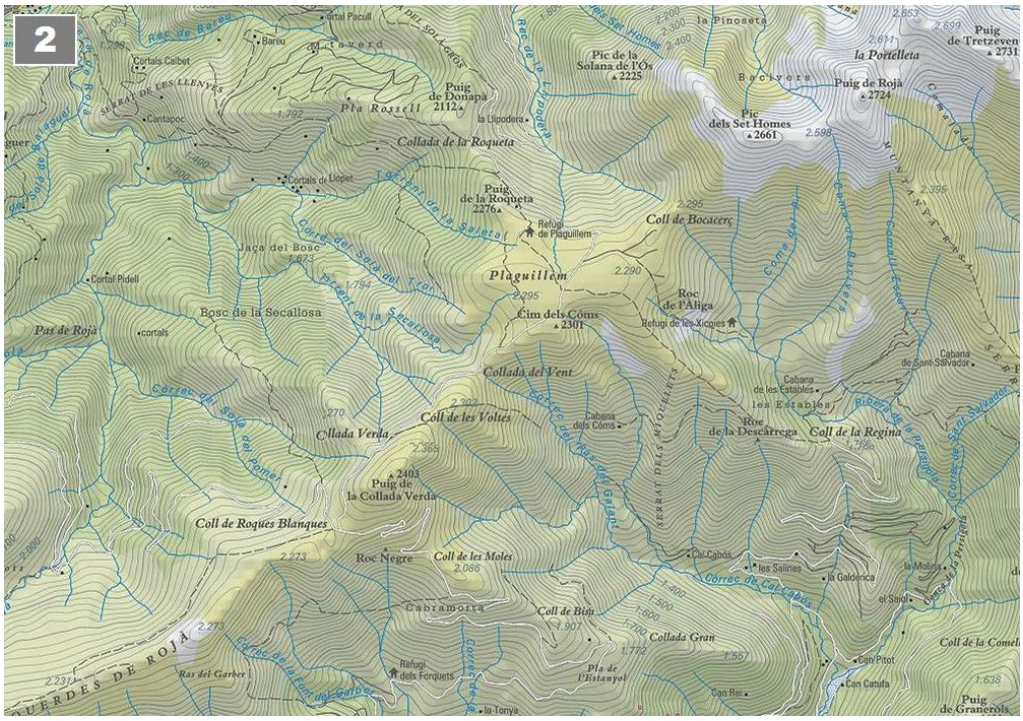
**3.2 Would you be able to recognize a topographic map from Swisstopo once you see it ? (if you need to add something, please comment)**

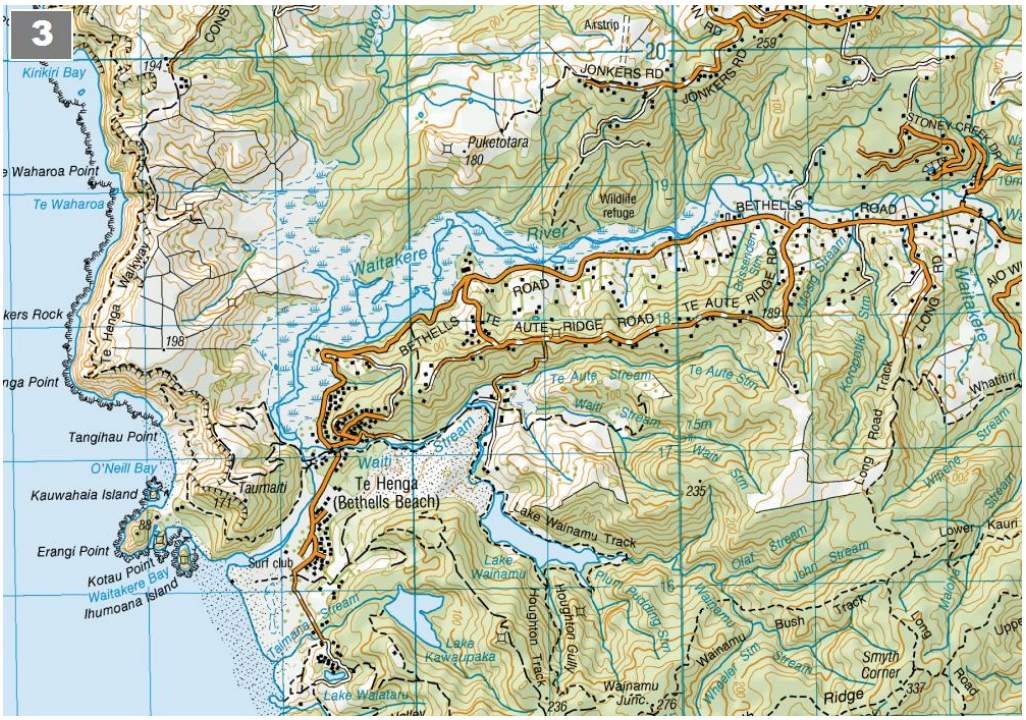
- ☐ Yes, for sure
- ☐ Yes, very likely
- ☐ Maybe
- ☐ No, probably not
- ☐ No, not at all

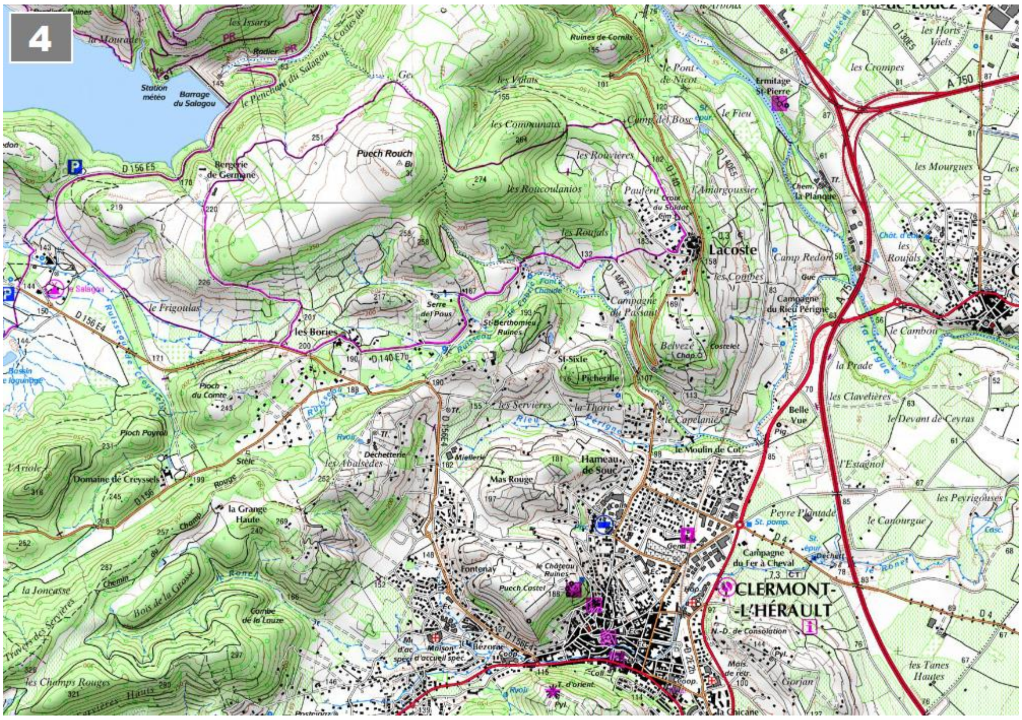
## N° 4: SWISS TOPOGRAPHIC MAPS AND CRITERIA FOR RECOGNITION

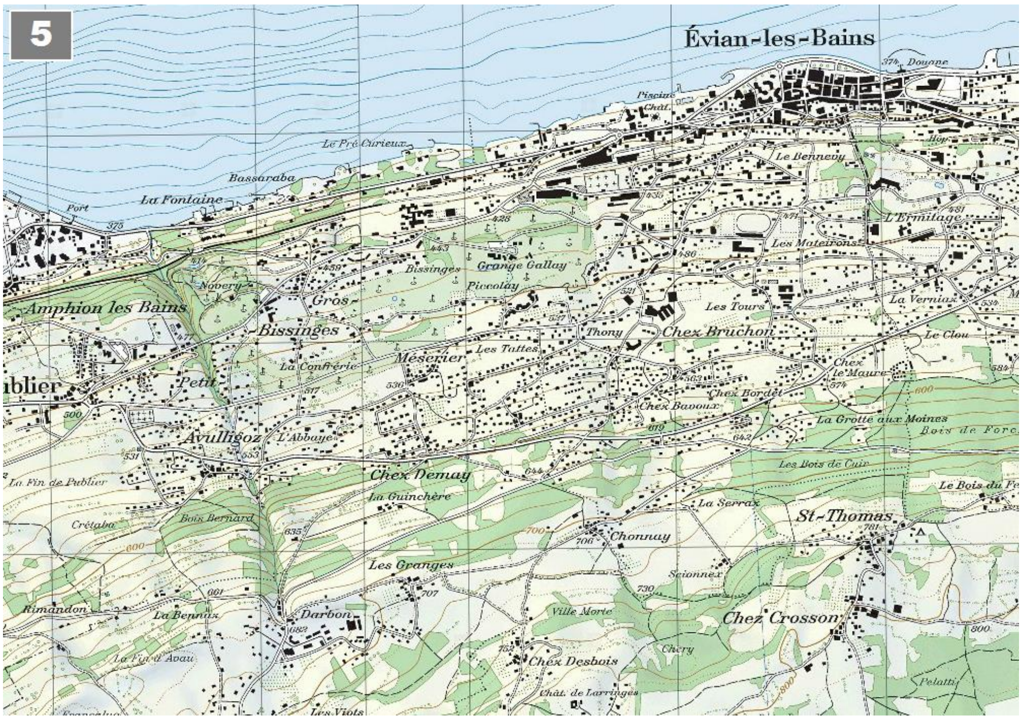
**Please study all six maps samples below.**

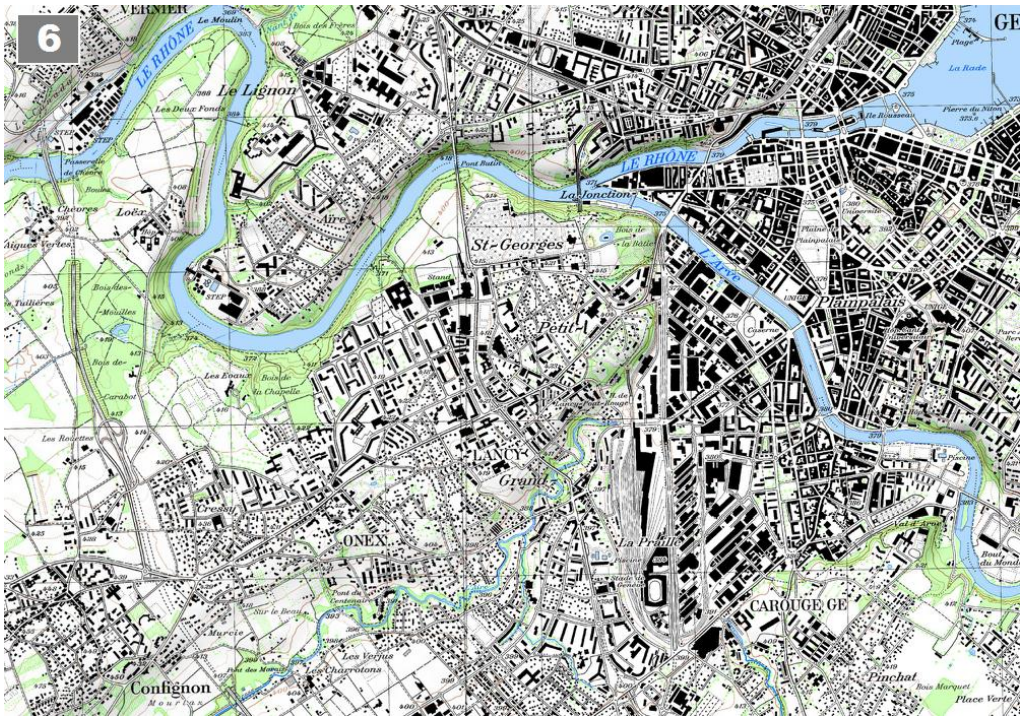



2
Pla Rossell
Puig de Donapà
Collada de la Roqueta
Puig de la Roqueta
Plàguillem
Coll de Bocacers
Bosc de la Secallosa
Pas de Rojà
Cim dels Còms
Roc de l'Aliga
Collada del Vent
Coll de les Voltes
Collada Verda
Puig de la Collada Verda
Coll de Rogues Blanques
Roc Negre
Coll de les Moles
Cabramorta
Coll de Bitu
Collada Gran
Coll de la Regina
Pic de la Solana de l'Os
Pic dels Set Homes
la Portelleta
Puig de Rojà
Puig de Tretzeven


3
Kirikiri Bay
Te Waharoa Point
Te Waharoa
Te Hanga Walkway
Tangihau Point
O'Neill Bay
Kauwahaia Island
Erangi Point
Kotau Point
Waitakere Bay
Ihumoana Island
Puketotara
Wildlife refuge
Waitakere River
BETHELLS ROAD
TE AUTE RIDGE ROAD
JONKERS RD
Te Henga (Bethells Beach)
Taumaitai
Surf club
Lake Wainamu Track
Lake Wainamu
Lake Kawaupaka
Lake Waitatari
Houghton Track
Houghton Gully
Wainamu Junc.
Smyth Corner
Ridge
Bush Track
Long Road
Te Aute Stream
Waiti Stream
Arstrip


4
Lacoste
CLERMONT-L'HÉRAULT
Puech Rouch
les Bories
Domaine de Creyssels
Hameau de Sour
Mas Rouge
Fontenay
le Moulin de Cot
les Roufols
Ermitage St-Pierre
les Mourgues
les Clavelières
le Devant de Ceyras
Barrage du Salagou
Station météo
la Grange Haute
Bois de la Grasse
la Joncasse
les Champs Rouges


5
Évian-les-Bains
Amphion les Bains
La Fontaine
Bassaraba
Le Pré Curieux
Port
Bissinges
Grange Gallay
Gros
Piccolay
Thony
Chez Bruchon
Les Tours
Les Tattes
Mésenier
La Confrérie
Petit
Avulligoz
L'Abbaye
Chez Demay
La Guinchère
Les Granges
Darbon
La Bennaz
Rimandon
Crétaba
Bois Bernard
La Fin de Publier
Chez Bavoux
Chez Bordet
La Grotte aux Moines
Les Bois de Cuir
La Serraz
St-Thomas
Chonnay
Seionnex
Ville Morte
Chez Crosson
Chez Desbois
Chez Maure
Le Clou
La Verniaz
Les Mateirons
L'Ermitage
Le Benneby
Le Bois du Fey




**4.1 Which map is from Swisstopo?**

*Multiple responses allowed*

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

**4.2 Which criteria did you employ to make above selection ?**

| | Most important | Somewhat important | Not important |
|---|---|---|---|
| The displayed geographic features | ☐ | ☐ | ☐ |
| The graphic appearance of the depicted features | ☐ | ☐ | ☐ |
| The cartographic generalization level of the map | ☐ | ☐ | ☐ |
| The toponymy | ☐ | ☐ | ☐ |
| The selected geographic footprint | ☐ | ☐ | ☐ |

**Any other criteria you used for decision making ?**

……

**4.3 How important were below listed map symbolization criteria to answer above question ?**

| | Most important | Somewhat important | Not important |
|---|---|---|---|
| Symbolization of roads | ☐ | ☐ | ☐ |
| Symbolization of hydrographic features | ☐ | ☐ | ☐ |
| Symbolization of land cover features | ☐ | ☐ | ☐ |
| Labelling style | ☐ | ☐ | ☐ |
| Relief depiction and the representation of land surface | ☐ | ☐ | ☐ |

**Any other map symbolization criteria you used for decision making ?**

……

## N° 5: SWISS TOPOGRAPHIC STYLE AND VISUAL CHARACTERISTICS

**5.1 Select four image samples from the list bemow that you consider to be visually most representative of a topographic map from Swisstopo.**

*Please select 4 answers*

| | | | |
|---|---|---|---|
| ☐ 1 | ☐ 5 | ☐ 9 | ☐ 13 |
| ☐ 2 | ☐ 6 | ☐ 10 | ☐ 14 |
| ☐ 3 | ☐ 7 | ☐ 11 | ☐ 15 |
| ☐ 4 | ☐ 8 | ☐ 12 | ☐ 16 |

## N° 6: MAP LABELING STYLE OF TOPOGRAPHIC AROUND THE WORLD

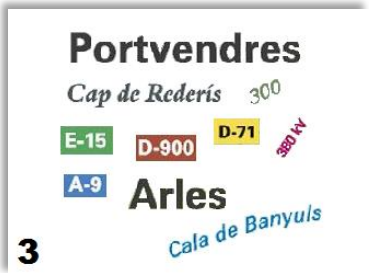
**6.1 Below map labeling samples have been extracted from various topographic maps around the world.**

**Please identify the respective national mapping agencies (or organizations, companies, etc.) that employ below labeling styles on their maps.**

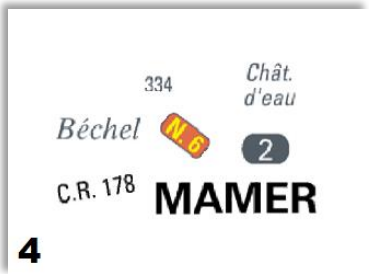
……

La Transeuropéenne
Le Suc Grand
E66
D111
A19
Rue du Moulin
LE CHÂTEAU D'ANGLARD
DOUZONVILLE
Réserve Naturelle de l'Étang de l'Estagnol
Bois de Manchecourt
Corrèze
Cantal
Les Étangs
ALENÇON
2

.....


Portvendres
Cap de Rederís
300
E-15
D-900
D-71
380 kV
A-9
Arles
Cala de Banyuls
3

.....


334
Chât. d'eau
Béchel
N. 6
2
C.R. 178
MAMER
4

.....

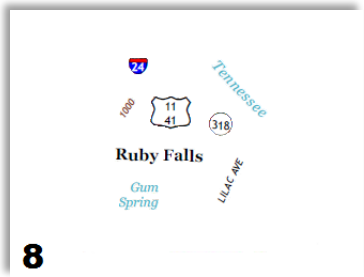
31
Gogar Burn
New Hey Lane
A 57(M)
29
1
B 6482
Airport
A 720
Public Park
Hotel
Castle Gogar
CH
Duddingston
CP
5

.....

P
D 605
Centre hospitalier Marc Jacquet
Avenue des Carmes
D 306
Melun
D 117
La Seine
Maison centrale
RN
Ecole Normale Supérieure
A 6a
Opéra
N 186
6

.....

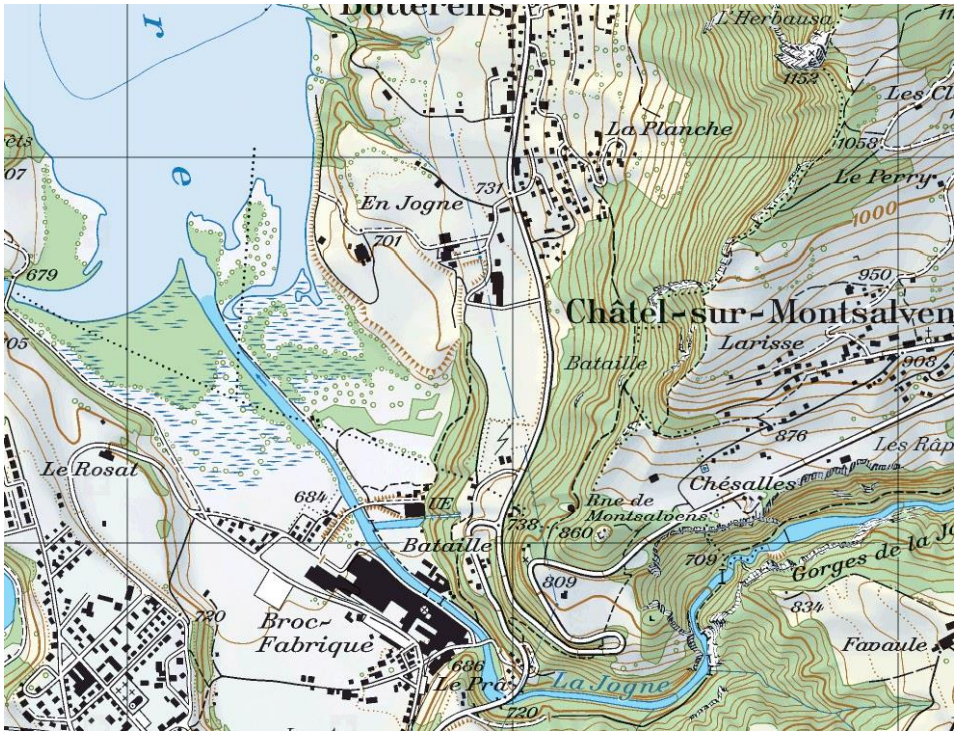
.....

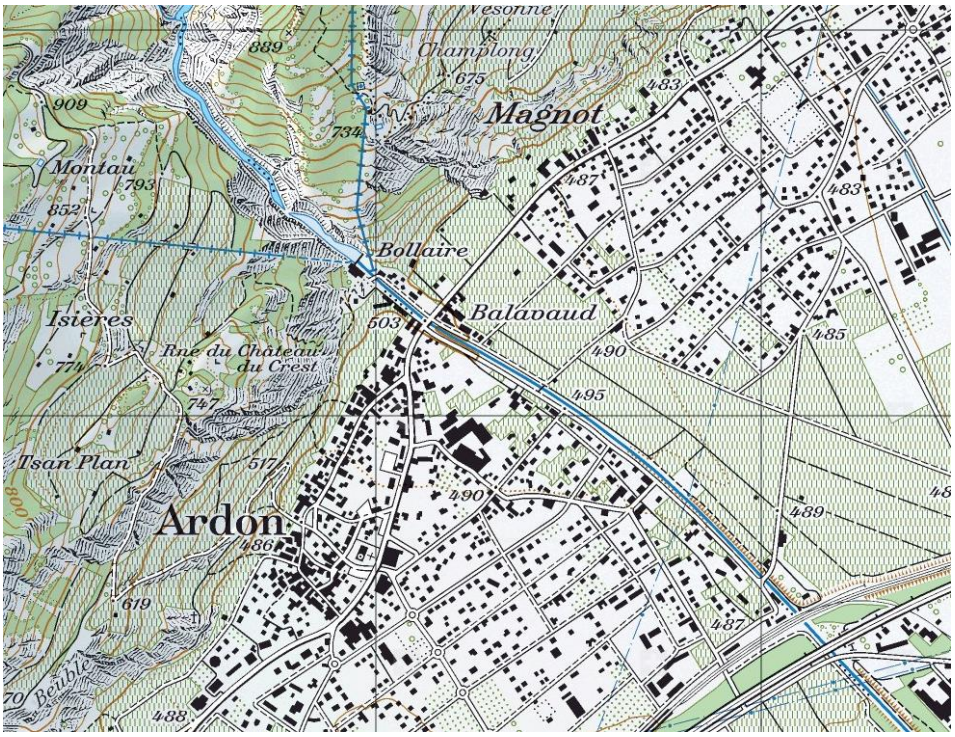


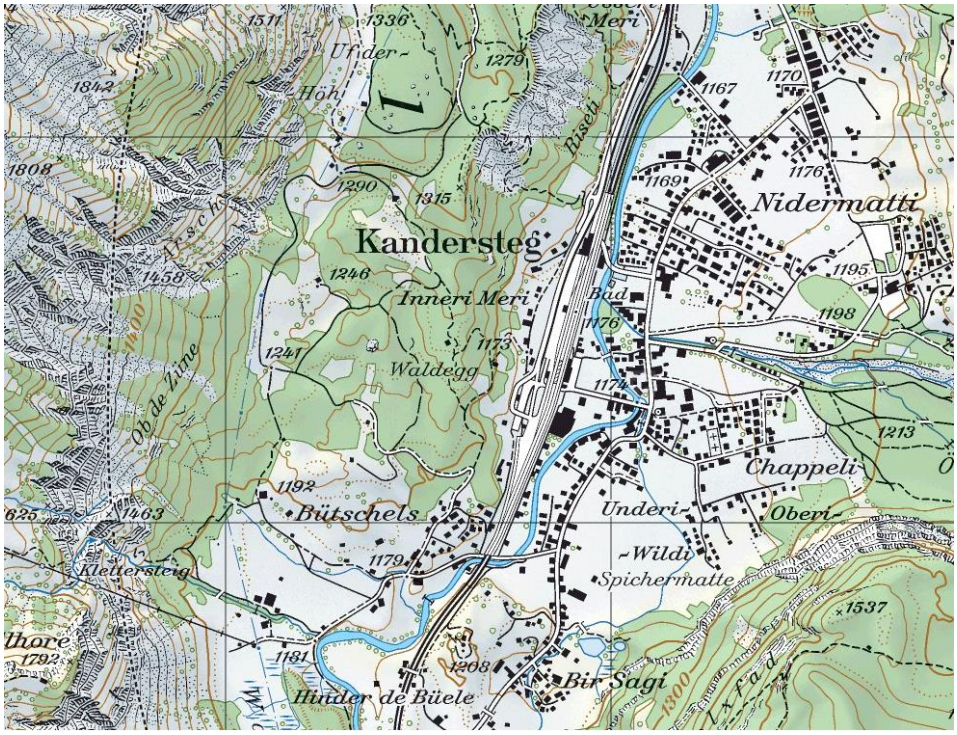

.....

## N° 7: SWISS TOPOGRAPHIC STYLE AND VISUAL CHARACTERISTICS

**Please study all three Swisstopo maps samples below.**




Champlong
Magnot
Montau
Bollaire
Balavaud
Isières
Rue du Château du Crest
Tsan Plan
Ardon
Berbie


Meri
Ufder-
Höh
Kandersteg
Nidermatti
Inneri Meri
Bud
Waldegg
Ob de Zine
Chappeli
Bütschels
Underi-
Oberi-
-Wildi
Spichermatte
Klettersteig
Thore
Bir Sagi
Hinder de Büele

**7.1 From the samples below, select those four that you feel are the most graphically representative of a topographic map from Swisstopo.**

*Please select 4 answers*

| | | | |
|---|---|---|---|
| ☐ 1 | ☐ 5 | ☐ 9 | ☐ 13 |
| ☐ 2 | ☐ 6 | ☐ 10 | ☐ 14 |
| ☐ 3 | ☐ 7 | ☐ 11 | ☐ 15 |
| ☐ 4 | ☐ 8 | ☐ 12 | ☐ 16 |

## N° 8 : YOUR BACKGROUND INFORMATION

**8.1 Gender**

☐ Female

☐ Male

**8.2 Birth year**

……

**8.3 Nationality**

……

**8.4 Effectuez-vous de la recherche en cartographie ou dans une discipline connexe ?**

☐ Yes

☐ No

**8.5 Job title**

……

**8.6 Do you consider yourself a map expert ?**

☐ Yes

☐ No

**8.7 Have you filled in this survey with ?**

☐ Smartphone

☐ Tablet computer

☐ Laptop / desktop computer

## N° 9 : END OF THE SURVEY

**9.1 Feel free to add any comments about this tudy**

……

……

……

**9.2 Please leave an email should you be interested in the results of this study**

…….

## END

# Liste des figures

Figure I.1 Exemples d'applications cartographiques mobiles : Géoportail, Plans, Google Maps, et Open Street Map (OSM). ..... 12

Figure I.2 Déroulement du mémoire de thèse. ..... 13

Figure 1.1 Exemple de représentation littérale (A) et graphique (B) pour un itinéraire de randonnée (Moncla, 2015). ..... 18

Figure 1.2 Diagramme circulaire montrant les proportions de l'Empire Ottoman ..... 19

Figure 1.3 Carte figurative de l'instruction populaire de la France, ..... 19

Figure 1.4 Les différents modes de représentation de l'information géographique : a. mode maillé ; b. superposition du mode maillé et du mode vecteur ; c. mode vecteur. ..... 21

Figure 1.5 Trois types d'entités vecteurs différentes : point, ligne et polygone. ..... 21

Figure 1.6 Trois types d'implantation géométrique : a. implantation ponctuelle : adresse postale ; b. implantation linéaire : réseau routier ; c. implantation surfacique : ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique) – Captures d'écran extraites du Géoportail de l'IGN. ..... 21

Figure 1.7 Divers représentations cartographiques proposées par l'IGN ..... 23

Figure 1.8 Extrait du Scan25® diffusé sur le Géoportail à la frontière franco-espagnol. ..... 24

Figure 1.9 Représentations cartographiques d'un même espace géographique à travers deux échelles : a. 1:25 000ème ; b. 1:250 000ème (source : Géoportail). ..... 26

Figure 1.10 Exemples de cartes topographiques au 1:25 000ème produites par l'IGN représentant trois types d'espaces géographiques différents (source : Géoportail). ..... 26

Figure 1.11 Exemples de cartes topographiques au 1:25 000ème produites ..... 27

Figure 1.12 Ensemble des fonds cartographiques proposés ..... 30

Figure 1.13 Trois représentations cartographiques stylisées proposées par Stamen : terrain, watercolor et toner. ..... 30

Figure 1.14 Des systèmes SIG centralisés aux services d'information géographique distribués. ..... 31

Figure 1.15 Interface du Géoportail de l'IGN. ..... 34

Figure 1.16 Symbolisation de données cartographiques ..... 35

Figure 1.17 Modèle de symbolisation SLD/SE d'après Mueller (2006) et Lupp (2007). ..... 36

Figure 1.18 Interface iD - outil d'édition des données OSM - digitalisation d'un bâtiment. ..... 38

Figure 1.19 Mashup réalisé à partir du Géoportail IGN. ..... 39

Figure 1.20 Mashup réalisé à partir du portail uMap. ..... 39

Figure 1.21 Relation signes graphiques – réalité spatiale illustrée à partir d'une carte topographique IGN au 1:25 000ème. ..... 40

Figure 1.22 Extrait d'une légende cartographique de type 2010 représentant le réseau routier d'une carte topographique IGN au 1:25 000ème. ....43

Figure 1.23 Approche temporelle de l'expérience utilisateur, ....44

Figure 1.24 Extraits cartographiques Google Maps représentant la ville de Sydney à différentes dates matérialisant l'évolution du style cartographique Google Maps ....46

Figure 1.25 Fondamentaux d'un système de communication cartographique ....47

Figure 1.26 Modèle de communication cartographique simplifié d'après Koláčný (1969). ....48

Figure 1.27 Acquisition de connaissances sur le décodage d'une représentation cartographique (2) et réintroduction des connaissances dans la phase d'encodage de l'information géographique (1). ....49

Figure 2.1 Illustration du principe d'abstraction d'un visage en bande dessinée (McCloud, 1993). ....54

Figure 2.2 Illustration des différences entre un rendu photoréaliste : l'orthophotographie (A) et une abstraction cartographique : la carte topographique IGN au 1:25 000ème (B) (Hoarau, 2015). ....55

Figure 2.3 Deux cartes schématiques du métro Londonien. ....55

Figure 2.4 Le triptyque référent-signifiant-signifié représentant le concept de signe. ....56

Figure 2.5 Fonctionnement des signes graphiques en cartographie (Jégou, 2013). ....57

Figure 2.6 Modélisation du signe iconique à travers l'exemple du chat ....59

Figure 2.7 Intégration de la carte topographique au modèle du signe iconique, ....60

Figure 2.8 Double cônes inversés du modèle TSL décrivant les trois paramètres de la couleur. ....61

Figure 2.9 Le tableau de concordance des variables visuelles et des relations graphiques, ....63

Figure 2.10 B : résultat du test de saillance de la carte A, à partir de l'algorithme SUN ....66

Figure 2.11 Étapes de construction d'une carte topographique et les processus d'abstraction cartographique associés, figure adaptée de Duchêne et al. (2011). ....67

Figure 2.12 Un linéaire courbe possédant deux niveaux différents de résolution ....69

Figure 2.13 Exemples de généralisation cartographique sur des objets « bâtiment » ....70

Figure 2.14 Illustration de la généralisation cartographique à travers l'exemple de Swisstopo. ....71

Figure 2.15 Principales opérations utilisées en généralisation cartographique ....72

Figure 2.16 Exemple de relations visuelles et sémantiques entre des thèmes cartographiques (Chesneau, 2006). ....74

Figure 2.17 Différents exemples de motifs utilisés pour représenter la végétation ....74

Figure 2.18 Processus de symbolisation d'un jeu de données cartographiques. ....75

Figure 2.19 Modèle de légende de l'équipe de recherche COGIT (Hoarau et Mustière, 2011). ....75

Figure 2.20 Construction d'un signe graphique dans une carte topographique. ....76

Figure 2.21 Principe de fonctionnement d'une application webmapping. ....77

Figure 2.22 Modèle de spécifications d'une carte sur internet (Bucher, 2009). ....77

Figure 2.23 Amélioration des contrastes de couleur dans une carte de risques (Chesneau, 2006). ..... 79

Figure 2.24 Continuum cartographique de représentations mixtes entre photoréalisme et abstraction cartographique (Hoarau, 2015). ..... 82

Figure 2.25 Échantillons cartographiques évalués à partir des descripteurs (Dominguès, 2008). ..... 84

Figure 2.26 Résultats obtenus par application sur un même jeu de données cartographiques IGN de quatre légendes européennes (Jolivet, 2009). ..... 85

Figure 2.27 Couples de descripteurs présentés lors du test de Renard (2008). ..... 85

Figure 2.28 Cartes topographiques utilisées dans une expérimentation visuelle ..... 86

Figure 2.29 Cartes topographiques utilisées dans une expérimentation visuelle ..... 87

Figure 2.30 Cartes de chaleur illustrant les mouvements oculaires obtenus avec l'eye-tracker pour évaluer la recherche d'itinéraire sur l'atlas 1994 - carte A - et l'atlas 2013 – carte B. ..... 89

Figure 2.31 Mécanismes perceptifs sollicités pour l'interprétation d'une composition cartographique : vision, perception visuelle, cognition et reconnaissance visuelle, ..... 90

Figure 2.32 Illustration du fonctionnement de la perception pré-attentive à travers la détection visuelle d'un rond rouge au sein d'un ensemble de ronds bleus (Healey et Enns, 1999). ..... 92

Figure 2.33 Exemples de variables visuelles auxquelles la perception pré-attentive est sensible, figure adaptée de Ware (2010). ..... 92

Figure 2.34 Symboles cartographiques ponctuels ayant servi de stimuli ..... 93

Figure 2.35 Exemple du vase de Rubens (A) et du principe de regroupement (B). ..... 95

Figure 2.36 Les Lois de la Forme illustrées à travers le mot « GESTALT » . ..... 96

Figure 2.37 Comparaison du fonctionnement cognitif de la perception visuelle d'une carte et de l'écoute d'une phrase, figure adaptée de Mayer (2009). ..... 97

Figure 2.38 Différences entre le processus ascendant (A) et descendant (B) de reconnaissance, figure adaptée de Barragan-Jason (2013). ..... 99

Figure 2.39 Principes de reconnaissance d'un objet selon la loi de Hebb (2002). ..... 101

Figure 2.40 Principes de la reconnaissance de formes géographiques selon Peterson (1987). ..... 102

Figure 2.41 Fonctionnement de la mémoire spatiale au sein du système mémoriel ..... 104

Figure 2.42 Traitements séquentiels intégrant la reconnaissance dans le processus de décision d'après Atkinson et Shiffrin (1968). ..... 107

Figure 2.43 les quatre types de cartes utilisés dans l'expérience de Wilkening et Fabrikant (2011a) - a : courbes de niveaux b : ombrage clair + courbes de niveaux c : ombrage sombre + courbes de niveaux d : cartes de pentes ..... 108

Figure 2.44 Trente-neuf compositions cartographiques sélectionnées par des experts pour leur qualité jugée exceptionnelle (Demaj et Field, 2012). ..... 111

Figure 2.45 Comparaison des rendus cartographiques ICC de Catalogne (A) vs IGN Espagnol (B) sur une même zone géographique en Espagne : Sant Pol de Mar. ..... 112

Figure 2.46 Différents types d'approches pour formaliser la notion de style cartographique (Christophe, 2012). ..... 115

Figure 2.47 Repère tridimensionnel spécifiant les trois paramètres définissant le style cartographique : l'originalité, l'aspect décoratif, l'expressivité (Beconyte, 2011). ..... 117

Figure 2.48 Illustrations de différents styles cartographiques (Beconyte, 2011). ..... 118

Figure 2.49 Matrice de la communication cartographique persuasive (Muehlenhaus, 2013a). ..... 119

Figure 2.50 Exemples de plans de ville étudiés par Ciołkosz-Styk (2011). ..... 120

Figure 2.51 Exemples de cartes topographiques au 1:50 000ème ..... 121

Figure 2.52 Trois extensions ajoutées aux standards SLD/SE : ExpressiveFill, ExpressiveStroke, BlendingMode, (Christophe et al., 2016). ..... 122

Figure 2.53 Deux représentations cartographiques différentes de l'Everest (Hurni et al., 2015). ..... 123

Figure 2.54 Génération automatique du dessin de rocher (A) – Dessin du rocher associé aux lignes de crêtes d'un MNT (B), (Geisthövel et Hurni, 2015). ..... 124

Figure 2.55 Comparaison entre le dessin du rocher de l'Aiguille du Moine sur la carte IGN au 1:10 000ème et celui obtenu par les extensions SLD/SE proposées par Christophe et al. (2016). ..... 124

Figure 2.56 Extraction de caractéristiques visuelles représentatives du style Cassini : style source, utilisées en tant que patchs pour produire une carte à la manière Cassini : style cible ..... 125

Figure 2.57 Principes d'extraction et d'application de palettes de couleurs sur un jeu de données cartographiques (Christophe, 2011). ..... 126

Figure 2.58 Images représentatives du style Pop Art (Christophe et Hoarau, 2013). ..... 126

Figure 2.59 Exemple de rendu cartographique obtenu à partir de la BD CARTO® en suivant les recommandations sur construction d'une carte au style Pop Art émises ..... 127

Figure 3.1 Cadre formel synthétisant notre approche générale, figure adaptée de Livet et al. (2010). ..... 134

Figure 3.2 Carte unificateur associant les processus de conception d'une carte topographique et les fonctions perceptives et cognitives engagées par les utilisateurs pour l'interpréter. ..... 136

Figure 3.3 Processus de la reconnaissance d'un style topographique. ..... 137

Figure 3.4 Exemples de signes graphiques distinctifs et prédominants au sein d'une carte topographique IGN. ..... 140

Figure 3.5 Cadre unificateur intégrant les concepts et les hypothèses proposés. ..... 141

Figure 3.6 Alignement de notre proposition sur le modèle de légende de l'équipe de recherche COGIT et les standards SLD/SE. ..... 143

Figure 3.7 Cheminement de l'approche entre étude de cartes et étude des utilisateurs. ..... 144

Figure 3.8 Distinctions entre l'évaluation des propriétés visuelles globales (A) et les propriétés visuelles locales d'une carte topographique (B). ..... 145

Figure 3.9 Principes constitutifs de l'expérimentation utilisateur et les relations existantes avec le modèle de style proposé. ..... 146

Figure 3.10 Étapes vers la caractérisation d'une signature visuelle reconnaissable. ..... 147

Figure 3.11 Continuum topographique représentant différents types de légende IGN au 1:25 000ème : type 22, type 72, type 93 (IGN® copyright). ..... 151

Figure 3.12 Continuum topographique représentant les différentes légendes Swisstopo au 1:25 000ème à travers le temps, de 1922 à 2013 (Swisstopo® copyright). ..... 152

Figure 3.13 Carte topographique IGN au 1:25 000ème représentant la région de Thonon-les-Bains ..... 156

Figure 3.14 Carte topographique Swisstopo au 1:25 000ème représentant la région de Thonon-les-Bains (Swisstopo® copyright). ..... 156

Figure 3.15 Liste des signes distinctifs identifiés et classés par thème cartographique pour chacun des deux producteurs de cartes IGN et Swisstopo..... 159

Figure 3.16 Synthèse des connaissances acquises par l'étude de cartes. ..... 162

Figure 3.17 Principe d'extraction des signes graphiques candidats à la caractérisation d'une signature visuelle..... 163

Figure 3.18 Signes graphiques candidats extraits d'un ensemble de cartes topographiques IGN et Swisstopo au 1:25 000ème (IGN® et Swisstopo® copyright)..... 164

Figure 4.1 Cartes topographiques sélectionnées pour représenter la famille cartographique IGN (représentées ici en miniatures - IGN® copyright). ..... 172

Figure 4.2 Cartes topographiques sélectionnées pour déterminer le profil des participants et évaluer la reconnaissance d'une carte topographique IGN (représentées ici en miniatures). ..... 173

Figure 4.3 Cartes topographiques sélectionnées pour représenter la famille cartographique Swisstopo (représentées ici en miniatures - Swisstopo® copyright). ..... 174

Figure 4.4 Cartes topographiques sélectionnées pour déterminer le profil des participants et évaluer la reconnaissance d'une carte topographique Swisstopo ..... 175

Figure 4.5 Jeux de signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique IGN (IGN® copyright). ..... 177

Figure 4.6 Jeux de signes graphiques candidats à la caractérisation de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo (Swisstopo® copyright). ..... 178

Figure 4.7 Échantillons de toponymes extraits de différentes cartes : Swisstopo, Google Maps, ACT, OSM, Ordnance Survey, ICC, IGN et USGS. ..... 180

Figure 4.8 Diagramme en bâtons illustrant la fréquence d'utilisation de cartes topographiques par les participants. ..... 187

Figure 4.9 Diagramme en bâtons illustrant la relation des participants aux cartes topographiques IGN, Ordnance Survey et Swisstopo. ..... 187

Tableau 4.10 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte topographique par son apparence visuelle. ..... 188

Tableau 4.11 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte de la famille cartographique IGN. ..... 189

Figure 4.12 Diagramme en bâtons illustrant les cartes sélectionnées comme appartenant à la famille cartographique IGN. ..... 189

Tableau 4.13 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour l'ensemble des participants. 190

Tableau 4.14 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour les participants ayant sélectionnées uniquement les cartes appartenant à la famille cartographique IGN. 191

Tableau 4.15 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour l'ensemble des participants. 192

Tableau 4.16 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique IGN pour les participants ayant sélectionné uniquement les cartes appartenant à la famille cartographique IGN. 193

Figure 4.17 Diagramme en bâtons illustrant le taux de reconnaissance des familles cartographiques pour les huit échantillons de toponymes extraits. 195

Figure 4.18 Diagramme en bâtons des signes graphiques candidats sélectionnées par les participants en visualisant quatre cartes topographiques IGN : perception visuelle. 196

Figure 4.19 Diagramme en bâtons, illustrant les signes graphiques sélectionnés par les participants sans visualiser de cartes topographiques IGN : mémorisation visuelle. 198

Figure 4.20 Diagramme en bâtons illustrant la fréquence d'utilisation de cartes topographiques par les participants. 200

Figure 4.21 Diagramme en bâtons illustrant la relation des participants aux cartes topographiques IGN, Ordnance Survey et Swisstopo. 200

Tableau 4.22 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte topographique par son apparence visuelle. 201

Tableau 4.23 Tableau croisé dynamique entre la fréquence d'utilisation des cartes topographiques et la possibilité de reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo. 202

Figure 4.24 Diagramme en bâtons des cartes sélectionnées comme appartenant à la famille cartographique Swisstopo. 203

Tableau 4.25 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo pour l'ensemble des participants. 204

Tableau 4.26 Tableau croisé des résultats obtenus pour les propriétés utilisées pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo pour les participants ayant sélectionnées uniquement la carte appartenant à la famille cartographique Swisstopo. 204

Tableau 4.27 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique Swisstopo pour l'ensemble des participants. 205

Tableau 4.28 Tableau croisé des résultats obtenus pour la symbolisation des thèmes cartographiques utilisés pour reconnaître une carte de la famille cartographique

Swisstopo pour les participants ayant sélectionné uniquement la carte appartenant à la famille cartographique Swisstopo. ..... 206

Figure 4.29 Diagramme en bâtons illustrant le taux de reconnaissance des familles cartographiques pour les huit échantillons de toponymes extraits. ..... 208

Figure 4.30 Diagramme en bâtons des signes graphiques candidats sélectionnés par les participants en visualisant quatre cartes topographiques Swisstopo : perception visuelle. ..... 210

Figure 4.31 Diagramme en bâtons des signes graphiques candidats sélectionnés par les participants sans visualiser de cartes topographiques IGN : mémorisation visuelle. ..... 211

Figure 4.32 Catégorisation des signes graphiques candidats perçus et mémorisés pour les deux familles cartographiques IGN et Swisstopo. ..... 217

Figure 4.33 Signature visuelle du style topographique IGN (IGN® copyright). ..... 219

Figure 4.34 Extraction de la signature visuelle de la famille cartographique IGN à travers l'exemple de la représentation topographique de la région de St Jean-de-Luz (IGN® copyright). ..... 220

Figure 4.35 Signature visuelle du style topographique Swisstopo (Swisstopo® copyright). ..... 222

Figure 4.36 Extraction de la signature visuelle de la famille cartographique Swisstopo à travers l'exemple d'une représentation topographique de la région de Sursee (Swisstopo® copyright). ..... 223

Figure 4.37 Rappel des ingrédients constitutifs du style topographique. ..... 224

Figure 4.38 Carte topographique IGN originale représentant la region de Thonon-les-Bains. ..... 226

Figure 4.39 Signature visuelle IGN de 1er et 2ème niveau. ..... 227

Figure 4.40 Illustration de la signature visuelle IGN de 1er et 2ème niveau sur les données cartographiques de la région de Thonon-les-Bains. ..... 227

Figure 4.41 Résultat cartographique n° 1 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN. ..... 229

Figure 4.42 Résultat cartographique n° 2 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN. ..... 229

Figure 4.43 Résultat cartographique n° 3 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN. ..... 230

Figure 4.44 Résultat cartographique n° 4 : carte topographique obtenue à partir de la signature visuelle IGN. ..... 230

Figure 4.45 Signature visuelle IGN de 1er et 2ème niveau. ..... 233

Figure 4.46 Carte topographique obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau IGN sur des données cartographiques Swisstopo. ..... 234

Figure 4.47 Signature visuelle Swisstopo de 1er et 2ème niveau. ..... 234

Figure 4.48 Carte topographique obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau Swisstopo sur des données cartographiques IGN. ..... 235

Figure 4.49 Carte topographique hétérogène obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau IGN et complétée par des données cartographiques Swisstopo avec des spécifications de légende Swisstopo. ..... 236

Figure 4.50 Carte topographique hétérogène obtenue à partir des signatures visuelles de 1er et 2ème niveau Swisstopo et complétée par des données cartographiques IGN avec des spécifications de légende IGN. ..... 237

Figure 4.51 Pipeline de la caractérisation d'une signature visuelle à la conception de nouvelles représentations cartographiques. ..... 239

Figure 4.52 Principes de fonctionnement du plugin Topostyle au sein de la plateforme GeOxygene. ..... 241

Figure 4.53 Guide de rédaction cartographique pour le plugin Topostyle. ..... 241

Figure 4.54 Interface de visualisation de la plateforme GeOxygene + plugin Topostyle. ..... 242

Figure C.1 Synthèse des contributions de ce travail de thèse (en vert) et proposition de perspectives de recherche (en rouge). ..... 245

Figure C.2 Exemples de relations colorimétriques à considérer pour émettre des contraintes. ..... 247

Figure C.3 Corrélation entre différents niveaux de reconnaissance d'une signature visuelle et la charge cognitive nécessaire à l'interprétation de la carte. ..... 248

Figure C.4 Continuums cartographiques permettant de naviguer efficacement entre une abstraction cartographique – carte topographique - et une représentation réaliste – orthophotographie (Hoarau et Christophe, 2015). ..... 250

Figure C.5 Principes pour naviguer entre deux styles cartographiques à l'aide de représentations intermédiaires au sein d'une application de géovisualisation. ..... 251

Figure C.6 Pipeline de la formalisation de deux signatures visuelles à la conception de représentations cartographiques mixtes. ..... 251

Figure C.7 Trois rendus cartographiques, extraits de la géovisualisation animée des états de marée dans l'estuaire de Lanildut, et s'inspirant des styles cartographiques maritimes et terrestres existants, avec notamment une utilisation des couleurs conventionnelles pour la profondeur d'eau (Masse et Christophe, 2016). ..... 253

Figure C.8 Rendus cartographiques proposés extraits d'une pyramide cartographique du Géoportail (Dumont et al., 2015). ..... 254

Figure C.9 Description du problème à résoudre pour avoir une signature visuelle reconnaissable à travers les échelles. ..... 255

Figure C.10 Exemples de rendus cartographiques 3D stylisés : A rendu photo non réaliste, B rendu photo réaliste (Brasebin et al., 2016). ..... 256

# Bibliographie


ABADIE, N. (2012). Formalisation, acquisition et mise en œuvre de connaissances pour l'intégration virtuelle de bases de données géographiques : les spécifications au cœur du processus d'intégration. Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Information Géographique, Université Paris-Est, IGN / COGIT.

ABDELBERY, S., BONIN, O., JOSSELIN, D., et EITAN, A. (2014). Proposition pour Cartographie Sonore Synesthésique et Interactive. In Actes de la Conférence internationale de Géomatique et Analyse Spatiale SAGEO'14 (Spatial Analysis and GEOmatics), 24-27 Novembre 2014, Grenoble, France.

ABRAS, C., MALONEY-KRICHMAR, D., et PREECE, J. (2004). User-centered design. Berkshire encyclopedia of human-computer interaction, Great Barrington, Berkshire Pub, p. 763-768.

AI, T., ZHOU, Q., ZHANG, X., HUANG, Y., et ZHOU, M. (2014). A Simplification of Ria Coastline with Geomorphologic Characteristics Preserved. Marine Geodesy, 37(2), p. 167-186.

ALVAREZ, G. A., et CAVANAGH, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects. Psychological science, 15(2), p. 106-111.

ANDERSON, J. R. (2000). Learning and memory : An Integrated Approach, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Chichester, UK.

ANDRIENKO, G. L., et ANDRIENKO, N. V. (1999). Interactive maps for visual data exploration. International Journal of Geographical Information Science, 13(4), p. 355-374.

ANDRIENKO, N., et ANDRIENKO, G. (2005). Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data : a Systematic Approach, Springer-Verlag New York, Secaucus, NJ, USA.

ARNHEIM, R. (1976). The Perception of Maps. The American Cartographer, 3(1), p. 5-10.

ATKINSON, R. C., et SHIFFRIN, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. The Psychology of Learning and Motivation, 2, p. 89-195.

AVELAR, S., et HURNI, L. (2006). On the Design of Schematic Transport Maps. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 41(3), p. 217-228.

AYKIN, N. M., et AYKIN, T. (1991). Individual differences in human-computer interaction. Computers and industrial engineering, 20(3), p. 373-379.

BARKOWSKY, T., et FREKSA, C. (1997). Cognitive requirements on making and interpreting maps. In S. Hirtle et A. Frank (Eds.), Spatial Information Theory A Theoretical Basis for GIS Springer, Berlin, p. 347-361.

BARRAGAN-JASON, G. (2013). La dynamique du traitement des visages : du percept à la familiarité, Thèse de doctorat en Neurosciences, Université Paul Sabatier-Toulouse III.

BARTZ, B. S. (1971). The Role Of The User In The Map Communication Process : Designing Maps For Children. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 8(2), p. 35-40.

BATTY, M., HUDSON-SMITH, A., MILTON, R., et CROOKS, A. (2010). Map mashups, Web 2.0 and the GIS revolution. Annals of GIS, 16(1), p. 1-13.

BEARD, K. (1991). Constraints on rule formation. In B. Buttenfield et R. Mcmaster (Eds.), Map generalization: making rules for knowledge representation Longman House Essex, UK, p. 121–135.

BECONYTE, G., et VILIUVIENE, R. (2009). The Concept and Importance of Style in Cartography. Geodezija ir Kartografija, 35(3), p. 82-91.

BECONYTE, G. (2011). Cartographic Styles : criteria and parameters. In proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC'11), 3-8 July 2011, Paris, France.

BÉGUIN, M., et PUMAIN, D. (1994). La représentation des données géographiques, Éditions Armand Colin, Paris.

BÉGUIN, M. (1998). Données Quantitatives Ponctuelles et Contraintes. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 156, Juin 1998, p. 78-79.

BEKTAŞ, K., et ÇÖLTEKIN, A. (2011). An approach to modeling spatial perception for geovisualization. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 21, p. 53-62.

BELBIN, J. A. (1996). Gestalt Theory Applied to Cartographic Text. In Cartographic Design : Theoretical and Practical Perspectives, Wood, Clifford, and C. Peter Keller (Eds.), John Wiley and Sons, Chichester, UK, p. 253-269.

BENOVÁ, A., et PRAVDA, J. (2009). Map Style. In Cartography and Art, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography Series, Cartwright, W.; Gartner, G.; Lehn, A. (Eds.), XVI, 2009, p. 145-153.

BERTHOZ, A. (2003). La décision, Odile Jacob, Paris.

BERTIN, J. (1967). Sémiologie graphique, Les diagrammes - Les réseaux - Les cartes, Mouton Gauthier-Villar, Paris.

BERTIN, J. (1977). La Graphique et le traitement graphique de l'information, Flammarion, Paris.

BESSADOK, F., et DOMINGUÈS, C. (2011). Automatic Evaluation and Improvement of Map Readability. In proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC'11), 3-8 July 2011, Paris, France.

BESSADOK, F., MUSTIÈRE, S., et RUAS, A. (2010). Co-visualisation de données sur une carte. In Actes de la Conférence Internationale de Géomatique et Analyse Spatiale SAGEO'10 (Spatial Analysis and GEOmatics), 17-19 Novembre 2010, Toulouse, France.

BIANCHETTI, R. A., WALLGRÜN, J. O., YANG, J., BLANFORD, J., ROBINSON, A. C., et KLIPPEL, A. (2012). Free Classification of Canadian and American Emergency Management Map Symbol Standards. The Cartographic Journal, 49(4), p. 350-360.

BISHOP, C. M. (1995). Neural networks for pattern recognition, Oxford University press, New York.

BO, G., LIANGZHI, L., et JUNXIAOBO, Z. (2001). The Theory of Cartographic Communication Based Modern Computer. In proceedings of the 20th International Cartographic Conference (ICC'01), 6-10 August 2001, Beijing, China.

BOARD, C. (1972). Cartographic communication. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 18(2), p. 42-78.

BOARD, C. (1978). Map Reading Tasks Appropriate in Experimental Studies in Cartographic Communication. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 15(1), p. 1-12.

BOARD, C., et TAYLOR, R. M. (1977). Perception and Maps : Human Factors in Map Design and Interpretation. Transactions of the Institute of British Geographers, 2(1), p. 19-36.

BOFFET, A. (2001). Méthode de création d'informations multi-niveaux pour la généralisation cartographique de l'urbain, Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Information Géographique, Université de Marnes-la-Vallée, IGN / COGIT.

BORD, J.-P. (1997). Le géographe et la carte. Point de vue et questionnement de la part d'un géographe cartographe. Cybergeo : European Journal of Geography (document 17, mis en ligne le 20 mars 1997 - Consulté le 25 octobre 2012 à l'adresse http://cybergeo.revues.org/6470).

BORD, J.-P. (1998). Géographie et sémiologie graphique : deux regards différents sur l'espace. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 156, Juin 1998, p. 52-58.

BOSSARD, L., DANTONE, M., LEISTNER, C., WENGERT, C., QUACK, T., et VAN GOOL, L. (2012). Apparel classification with style. In Lee, K.M., Matsushita, Y., Rehg, J.M., Hu, Z. (eds.) ACCV 2012 , Part IV. LNCS, vol. 7727, Springer, Heidelberg, p. 321-335.

BÖTTGER, J., BRANDES, U., DEUSSEN, O., et ZIEZOLD, H. (2008). Map Warping for the Annotation of Metro Maps. IEEE Pacific Computer Graphics and Applications, 28(5), p. 56-65.

BRASEBIN, M., PERRET, J., et HAËCK, C. (2011). Un système d'information géographique 3D pour l'exploration des règles d'urbanisme : Application à la constructibilité des bâtiments. Revue Internationale de Géomatique, 21(4), p. 533-556.

BRASEBIN, M., BUARD, E., CHRISTOPHE, S., et PELLOIE, F. (2015). A knowledge base to classify and mix 3D rendering styles. In proceedings of the 27th International Cartographic Conference (ICC'15), 23-28 August 2015, Rio de Janeiro, Brazil.

BRASEBIN, M., CHRISTOPHE, S., JACQUINOD, F., VINESSE, A., et MAHON, H. (2016). 3D Geovisualization and stylization to manage comprehensive and participative Local Urban Plans. In proceeding of the 11th 3D Geoinfo Conference, 20-21 October, Athens, Greece.

BREWER, C. A. (1994). Color Use Guidelines for Mapping and Visualization. In A.M. Mac Eachren and D.R.F. Taylor (Eds.), Visualization in modern cartography, Elsevier Science, Tarrytown, NY, p. 123-147.

BREWER, C. A. (2003). A Transition in Improving Maps : The ColorBrewer Example. Cartography and Geographic Information Science, 30(2), p. 159-162.

BROCK, A., TRUILLET, P., ORIOLA, B., et JOUFFRAIS, C. (2010). Usage of multimodal maps for blind people: why and how. In proceeding of ACM international conference on interactive tabletops and surfaces, 7-10 November 2010, Saarbrucken, Germany.

BROWN, M. W., et AGGLETON, J. P. (2001). Recognition memory : what are the roles of the perirhinal cortex and hippocampus? Nature Reviews Neuroscience, 2(1), p. 51-61.

BRUCKNER, S., et GRÖLLER, M. E. (2007). Style transfer functions for illustrative volume rendering. Computer Graphics Forum, 26(3), p. 715-724.

BRUNET, R. (1987). La carte, mode d'emploi, Fayard-Reclus, Paris.

BRUNET, R. (1997). La discontinuité en géographie : origines et problèmes de recherche - Entretien de C. Grasland et J.C. François. L'espace géographique, Belin-Reclus, Paris, 26(4), p. 297-308.

BRYCHTOVA, A., et ÇÖLTEKIN, A. (2014). An empirical user study for measuring the influence of colour distance and font size in map reading using eye tracking. The Cartographic Journal, 0(0), p. 1-11.

BUARD, E., et RUAS, A. (2007). Evaluation of colour contrasts by means of expert knowledge for on-demand mapping. In proceedings of the 23rd International Cartographic Conference (ICC'07), 4-10 August 2007, Moscow, Russia.

BUARD, E., et RUAS, A. (2009). Processes for Improving the Colours of Topographic Maps in the Context of Map-On-Demand. In proceedings of the 24th International Cartographic Conference (ICC'09), 15-21 November 2009, Santiago, Chile.

BUCHER, B., BUARD, E., JOLIVET, L., et RUAS, A. (2007). The Need for Web Legend Services. In G. E. Ware, J. Mark; Taylor (Eds), Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS), Lecture Notes in Computer Science 4857. Springer, Berlin Heidelberg, p. 44-60.

BUCHER, B. (2009). Vers la diffusion en ligne d'information géographique sur mesure. Habilitation à Diriger des Recherches spécialité informatique et sciences de l'information géographique, Université Paris-Est, IGN / COGIT, Marne-la-Vallée, France.

BUNCH, R. L., et LLOYD, R. E. (2006). The cognitive load of geographic information. The Professional Geographer, 58(2), p. 209-220.

BUTTENFIELD, B. P., et MCMASTER, R. B. (1991). Map generalization : Making rules for knowledge representation. Longman Scientific and Technical, London.

CALVET, C. (2013). Les plasticiens rebattent les cartes. Libération next arts. (mis en ligne le 3 mai 2013 - Consulté le 10 mai 2013 à l'adresse http://next.liberation.fr/arts/2013/05/03/les-plasticiens-rebattent-les-cartes_900726).

CAMU, P. (1965). De l'usage des cartes. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 2(1), p. 14-16.

CARD, S. K. (2007). Information Vizualisation. In A. Sears et J. Jacko (Eds.), Human Computer Interaction Handbook : Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications, 2nd Edition, CRC Press, New York, p. 509-543.

CARD, S. K., MACKINLAY, J. D., et SHNEIDERMAN, B. (1999). Readings in information visualization : using vision to think. 1st Edition, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.

CARSWELL, R. J. B. (1971). The Role Of The User In The Map Communication Process : Children's Abilities In Topographic Map Reading. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 8(2), p. 40-45.

CARTER, J. R. (2005). The Many Dimensions of Map Use. In proceedings of the 22nd International Cartographic Conference (ICC'05), 9-16 July 2005, La Coruna, Spain.

CARTWRIGHT, W. (2012). Neocartography : Opportunities, issues and prospects. South African journal of geomatics, 1(1), p. 14-31.

CARTWRIGHT, W., et PETERSON, M. P. (2007). Multimedia cartography. In CARTWRIGHT, W., PETERSON, M. P., et GARTNER, G. (Eds.). Multimedia cartography, Springer, Berlin Heidelberg, p. 1-10.

CARVALHO, G., et MOURA, A. C. (2009). Applying Gestalt Theories And Graphical Semiology As Visual Reading Systems Supporting Thematic Cartography. In proceedings of the 24th International Cartographic Conference (ICC'09), 15-21 November 2009, Santiago, Chile.

CHAPPART, G., et REYNARD, N. (2007). La carte topographique française de 1887 à nos jours. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 191, Mars 2007, p. 53-67.

CHEN, H.-Y., et ZHENG, M.-C. (2013). Individual Differences in Map Reading for Designing Maps. In proceedings of Consilience and Innovation in Design - 2013 IASDR Conference, 26-30 August 2013, Tokyo, Japan.

CHESNEAU, E., RUAS, A., et BONIN, O. (2005). Colour contrasts analysis for a better legibility of graphic signs on risk maps. In proceedings of the 22nd International Cartographic Conference (ICC'05), 9-16 July 2005, La Coruna, Spain.

CHESNEAU, E. (2006). Modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur en cartographie : Application aux cartes de risque. Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, Université Paris-Est, IGN / COGIT.

CHESNEAU, E. (2007). Improvement of Colour Contrasts in Maps : Application to Risk Maps. In proceedings of the 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 8-11 May 2007, Aalborg, Denmark.

CHILTON, S. (2009). Crowdsourcing is radically changing the geodata landscape: case study of OpenStreetMap. In proceedings of the 24th International Cartographic Conference (ICC'09), 15-21 November 2009, Santiago, Chile.

CHOMBART DE LAUWE, P. H., ANTOINE, S., BERTIN, J., CHAUVET, L., COUVREUR, L., et GAUTHIER, J. (1952). Paris et l'agglomération parisienne, Tome I : « L'espace social dans une grande cité ». Puf, Coll. Bibliothèque de Sociologie Contemporaine.

CHRISTOPHE, S., et RUAS, A. (2002). Detecting Building Structures for generalisation purposes. In proceedings of the 10th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'02), 9-12 July 2002, Ottawa, Canada.

CHRISTOPHE, S. (2009a). Aide à la conception de légendes personnalisées et originales : Proposition d'une méthode coopérative pour le choix des couleurs. Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Information Géographique. Université Paris-Est, IGN / COGIT.

CHRISTOPHE, S. (2009b). Making Legends By Means of Painters' Palettes. In Cartwright, W.; Gartner, G.; Lehn, A. (Eds.), Cartography and Art. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography Series, XVI, 2009, p. 81-92.

CHRISTOPHE, S. (2011). Creative Colours Specification Based on Knowledge (COLorLEGend system). The Cartographic Journal, 48(2), p. 138-145.

CHRISTOPHE, S., ZANIN, C., et ROUSSAFA, H. (2011). Colours Harmony in Cartography. In proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC'11), 3-8 July 2011, Paris, France.

CHRISTOPHE, S. (2012). Cartographic Styles Between Traditional and Original (towards a cartographic style model). In proceedings of AutoCarto 2012 Conference, 16-18 September 2012, Columbus, Ohio, USA.

CHRISTOPHE, S., HOARAU, C., KASBARIAN, A., et AUDUSSEAU, A. (2012). A Framework to Make Pop Art Map Design. In proceedings of the 7th International Conference on Geographic Information Science (GIScience), 19-21 September 2012, Columbus, Ohio, USA.

CHRISTOPHE, S., et HOARAU, C. (2013). Expressive map design based on Pop Art : revisit of Graphic Semiology? Cartographic Perspectives, Journal of the North American Cartographic Information Society (NACIS), 73, p. 61-74.

CHRISTOPHE, S., PERRET, J., et HOARAU, C. (2013). Extraction de palettes de couleurs pour l'aide à la conception cartographique. Technique et Science Informatiques, Revue des sciences et technologies de l'information, 32(3-4), p. 401-430.

CHRISTOPHE, S., HOARAU, C., BOULANGER, L., TURBET, J., et VANDERHAEGHE, D. (2015). Automatic rendering of a Cassini style. In proceedings of the 27th International Cartographic Conference (ICC'15), 23-28 August 2015, Rio de Janeiro, Brazil.

CHRISTOPHE, S., DUMÉNIEU, B., TURBET J., HOARAU, C., MELLADO, N., ORY, J., LOI, H., MASSE, A., ARBELOT, B., VERGNE, R., BRÉDIF, M., HURTUT, T., THOLLOT, J., VANDERHAEGHE, D (2016). Map Style Formalization: Rendering Techniques Extension for Cartography. Pierre Bénard; Holger Winnemöller. Expressive 2016 The Joint Symposium on Computational Aesthetics and Sketch-Based Interfaces and Modeling and Non-Photorealistic Animation and Rendering, May 2016, Lisbonne, Portugal. The Eurographics Association, Non-Photorealistic Animation and Rendering, 2016, Non-Photorealistic Animation and Rendering.

CIOŁKOSZ-STYK, A. (2011). Comparison of the city maps' content of western, eastenrn and central European cities. AUC Geographica, 46(1), p. 7-14.

COLLIER, P., PEARSON, A., et FORREST, D. (1998). The representation of topographic information on maps–vegetation and rural land use. The Cartographic Journal, 35(2), p. 191-197.

ÇÖLTEKIN, A., HEIL, B., GARLANDINI, S., et FABRIKANT, S. I. (2009). Evaluating the Effectiveness of Interactive Map Interface Designs : A Case Study Integrating Usability Metrics with Eye-movement Analysis. CaGIS - Cartography and Geographic Information Science, 36(1), p. 5-17.

ÇÖLTEKIN, A., FABRIKANT, S. I., et LACAYO, M. (2010). Exploring the efficiency of users' visual analytics strategies based on sequence analysis of eye movement recordings. International Journal of Geographical Information Science, 24(10), p. 1559-1575.

ÇÖLTEKIN, A. (2015). Mix well before use : Understanding the key ingredients of user studies. In proceedings of the ICC 2015 Pre-Conference Workshop : Envisioning the Future of Cartographic Research (ICA Commission on Cognitive Visualization), 21 August 2015, Paraná Federal University (UFPR), Curitiba, Brazil.

COSTA, L., et ROBERT, S. (2009). Guide de lecture des cartes anciennes, Illustrations dans le Val d'Oise et le Bassin Parisien. Errance, Paris.

COSTANTINI, M. (2010). La Sémiotique Visuelle : Nouveaux Paradigmes, L'Harmattan, Paris.

COUPLEUX, S., RENARD, J., et DUHAMEL, S. (2005). Éditorial Frontières, mobilités et effets spatiaux. Espace Populations Sociétés, 2005/2. (mis en ligne le 27 juillet 2009 - Consulté le 27 septembre 2014 à l'adresse http://eps.revues.org/3178).

CRAMPTON, J. W. (2001). Maps as social constructions: power, communication and visualization. Progress in Human Geography, 25(2), 235-252.

CUENIN, R. (1972). Cartographie générale : Notions générales et principes d'élaboration. Vol. 1, Éditions Eyrolles, Paris.

CUNTY, C., RIBARDIÈRE, A., MAS, A., LIZZI, L., LAMBERT, N., et BEN REBAH, M. (2012). Premiers pas vers une proposition de sémiologie graphique animée. Un outil d'expérimentation. Cartes et Géomatique - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 211, Mars 2012, p. 21-31.

DAMASIO, A. R. (1994). Descartes' error : Emotion, rationality and the human brain, Putnam Editions, New York.

DE BAECQUE, A. (2014). La traversée des Alpes. Essai d'histoire marchée, Gallimard, Paris.

DÉCRYPTAGÉO LE MAG. (2015). La carte en proie aux émotions. Décryptagéo Le Mag, n° 166, Avril 2015, p. 14.

DEMAJ, D., et FIELD, K. (2012). Reasserting Design Relevance in Cartography : Some Examples. The Cartographic Journal, 49(1), p. 77-93.

DENÈGRE, J., et SALGÉ, F. (1996). Les systèmes d'information géographique. Presses Universitaires de France, Paris.

DENIS, M. (1979). Les images mentales. Presses Universitaires de France, Paris.

DENIS, M. (1989). Image et cognition. Presses Universitaires de France, Paris.

DENT, B. D. (1972). Visual organisation and thematic map communication. Annals of the Association of American Geographers, 62(1), p. 79-93.

DESBOIS, H. (2008). Quand les cartes se numérisent. Sciences humaines, Entre image et écriture. La découverte des systèmes graphiques. Grands Dossiers des Sciences Humaines n°11, juin-juillet-août 2008. (mis en ligne le 28 mai 2005 - Consulté le 8 janvier 2014 à l'adresse http://www.scienceshumaines.com/quand-les-cartes-se-numerisent_fr_22361.html).

DESBOIS, H. (2015). La carte et le territoire à l'ère numérique. Socio, 4, p. 39-60.

DHÉE, F. (2011). Améliorer la carte topographique pour les daltoniens. In proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC'11), 3-8 July 2011, Paris, France.

DHÉE, F. (2013). Amélioration de la carte topographique pour les daltoniens. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, IGN / COGIT.

DIETZE, L., et ZIPF, A. (2007). Extending OGC Styled Layer Descriptor (SLD) for Thematic Cartography - Towards the ubiquitous use of advanced mapping functions through standardized visualization rules. In proceedings of the 4th International Symposium on LBS and TeleCartography, 8-10 November 2007, Hong Kong.

DODGE, M., et PERKINS, C. (2008). Reclaiming the map : British geography and ambivalent cartographic practice. Environment and Planning A, 40(6), p. 1271-1276.

DOERSCH, C., SINGH, S., GUPTA, A., SIVIC, J., et EFROS, A. A. (2012). What Makes Paris Look like Paris? ACM Transactions on Graphics (Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH 2012), 31(3), p. 1-9.

DOMINGUÈS, C. (2008). Description de cartes géographiques. In Actes de la 8ème Conférence Internationale Francophone sur l'Extraction et la Gestion des Connaissances (EGC2008). 29 Jan - 1er Février, Sophia Antipolis, France.

DOMINGUÈS, C. (2012). Construire la légende de la carte à l'aide d'une base de connaissance en cartographie. In Actes des 23es Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC 2012), 25-29 Juin 2012, Paris, France.

DONALDSON, W. (1996). The role of decision processes in remembering and knowing. Memory and Cognition, 24(4), p. 523-533.

DOWNS, R. M., et STEA, D. (2011). Cognitive maps and spatial behavior : Process and products. In M. Dodge, R. Kitchin, et C. Perkins (Eds.), Map Readers : Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation, John Wiley and Sons, p. 312-317.

DRAHOŠOVÁ, S. (2015). Influence of Cartographic Style on the Perception of Roadmaps Master thesis, Department of Geoinformatics Palacký University, Olomouc, Czech Republic, p. 56 (mis en ligne en juin 2015 - Consulté le 18 septembre 2015 à l'adresse http://eyetracking.upol.cz/influence-of-cartographic-style-on-the-perception-of-roadmaps/).

DUCHÊNE, C., CHRISTOPHE, S., et RUAS, A. (2011). Generalisation, symbol specification and map evaluation: feedback from research done at COGIT laboratory, IGN France. Special Issue : Validation of EO-derived information for crisis management: a Digital Earth perspective in the VALgEO expert community. International Journal of Digital Earth (IJDE), 4(1), p. 25-41.

DUMONT, M., TOUYA, G., et DUCHÊNE, C. (2015). Automated Generalisation of Intermediate Levels in a Multi-Scale Pyramid. In proceedings of the 18th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation, 21st August 2015, Rio de Janeiro, Brazil.

DYMON, U. J. (2003). An analysis of emergency map symbology. International Journal of Emergency Management, 1(3), p. 227-237.

DYMON, U. J. (2005). Preparing an ANSI standard for emergency and hazard mapping symbolog. In proceedings of the 22nd International Cartographic Conference (ICC'05), 9-16 July 2005, La Coruna, Spain.

ECO, U. (1988). Le signe. Éditions Labor, Bruxelles.

EGELS, Y., et KASSER, M. (2003). Digital photogrammetry. CRC Press, New York.

ESPACE INTERMINISTÉRIEL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (2014). Glossaire de l'information géographique. GéoInformations. (mis en ligne le 11 décembre 2008 - Consulté le 12 juillet 2014 à l'adresse http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/glossaire-de-l-information-geographique-a855.html).

FABRIKANT, S. I., et GOLDSBERRY, K. (2005). Thematic Relevance and Perceptual Salience of Dynamic Geovisualization Displays. In proceedings of the 22nd International Cartographic Conference (ICC'05). 9-16 July 2005, La Coruna, Spain.

FABRIKANT, S. I., REBICH-HESPANHA, S., ANDRIENKO, N., ANDRIENKO, G., et MONTELLO, D. R. (2008). Novel method to measure inference affordance in static small-multiple map displays representing dynamic processes. The Cartographic Journal, Special Issue of Geovisualisation, 45(3), p. 201-215.

FABRIKANT, S. I., HESPANHA, S. R., et HEGARTY, M. (2010). Cognitively inspired and perceptually salient graphic displays for efficient spatial inference making. Annals of the Association of American Geographers, 100(1), p. 13-29.

FABRIKANT, S. I. (2011). Géovisualisation : cartographier les phénomènes évolutifs. Du cognitif au sensitif. 2ème École d'été du GDR MAGIS, 2-6 Mai 2011, Aussois (Communication invitée).

FABRIKANT, S. I., CHRISTOPHE, S., PAPASTEFANOU, G., et MAGGI, S. (2012). Emotional response to map design aesthetics. In proceedings of the 7th International Conference on Geographic Information Science (GIScience), 16-18 September 2012, Columbus, Ohio, USA.

FABY, H., et KOCH, A. (2010). From maps to neo-cartography. In proceedings of the 3rd International Conference on Cartography, 15-20 June 2010, Nessebar, Bulgaria.

FERLAND, Y. (1998). Les défis théoriques posés à la cartographie mènent à la cognition. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 156, Juin 1998, p. 44-51.

FERNIE, E. (1995). Art history and its methods: A critical anthology. Phaidon Press, London.

FIELD, K., et DEMAJ, D. (2012). Reasserting Design Relevance in Cartography : Some Concepts. The Cartographic Journal, 49(1), p. 70-76.

FOERSTER, T., STOTER, J., et KÖBBEN, B. (2007). Towards a Formal Classification of Generalization Operators. In proceedings of the 23rd International Cartographic Conference (ICC'07), 4-10 August 2007, Moscow, Russia.

FONTANABONA, J. (1999). Mieux comprendre comment un élève donne du sens aux cartes. Cahiers de géographie du Québec, 43(120), p. 517-538.

FONTANABONA, J. (2000a). Concevoir le langage cartographique comme un système d'expression cartographique. In Cartes et modèles graphiques : analyse de pratiques en classes de géographie Éditions de l'INRP - Institut National de Recherche Pédagogique, Paris.

FONTANABONA, J. (2000b). Langage cartographique et connaissances géographiques. In Cartes et modèles graphiques : analyse de pratiques en classes de géographie. Éditions de l'INRP - Institut National de Recherche Pédagogique, Paris.

FRANGEŠ, S. (2003). Legibility as the condition for cartographic visualisation. In proceedings of the Cartographic Visualization in the Condition of Computer Mapmaking - E-mail seminar of Cartography. University of Architecture, Civil Engeneering and Geodesy, Sofia, Bulgaria.

FRANKLIN, C., et HANE, P. (1992). An Introduction to Geographic Information Systems : Linking Maps to Databases, Database, 15(2), p. 15-21.

GAFFURI, J. (2008). Généralisation automatique pour la prise en compte de thèmes champ : le modèle GAEL. Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Information Géographique, Université de Marne la Vallée, IGN / COGIT.

GAGNÉ, R. M., BRIGGS, L. J., et WAGER, W. W. (1992). Principles of Instructional Design. 4th Edition, Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, New York.

GAO, D., et VASCONCELOS, N. (2004). Discriminant saliency for visual recognition from cluttered scenes. In Advances in Neural Information Processing Systems 17 (NIPS 2004). 13-15 December 2004, Vancouver, Canada.

GARLANDINI, S., et FABRIKANT, S. I. (2009). Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization. In Spatial Information Theory : 9th International Conference, COSIT 2009, Aber Wrac'h, France, Sep. 21-25, 2009, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 5736. Stewart Hornsby, K., Claramunt, C., Denis, M. and Ligozat, G. (Eds.), Springer, Berlin, Germany, p. 195-211.

GARRETT, J. J. (2010). Elements of user experience, the user-centered design for the web and beyond. 2nd Edition, New Riders, Berkeley, CA.

GARTNER, G. (2008). Cartographic Heritage in the eyes of artists and cartographers - Experience from the International Symposium « Cartography and Art ». e-Perimetron, 3(4), p. 251-256.

GEISTHÖVEL, R., et HURNI, L. (2015). Automatic Rock Depiction via Relief Shading. In proceedings of the 27th International Cartographic Conference (ICC'15), 23-28 August 2015, Rio de Janeiro, Brazil.

GENETTE, G. (2010). L'Œuvre de l'art. La Relation Esthétique, le Seuil, Paris.

GESBERT, N. (2004). Formalisation des spécifications de bases de données géographiques pour une meilleure compréhension des données. In Actes du XXIIème Congrès INFORSID 2004, 25-28 Mai, Biarritz, France.

GIBSON, J. J. (1966). The senses considered as perceptual systems. Houghton Mifflin, Boston, USA.

GIBSON, J. J. (1979). The ecological approach to visual perception. Houghton Mifflin, Boston, USA.

GIRRES, J.-F., et TOUYA, G. (2010). Quality Assessment of the French OpenStreetMap Dataset. Transactions in GIS, 14(4), p. 435-460.

GOLDSTEIN, E. B. (2010). Sensation and Perception, 8th Edition, Cengage Learning, Belmont, USA.

GOLDSTEIN, E. B. (2014). Cognitive psychology: Connecting mind, research and everyday experience, 4th revised Edition, Cengage Learning, Stamford, USA.

GOMBRICH, E. H. (1977). Art and illusion: A study in the psychology of pictorial representation, Vol. 5, Phaidon London.

GOODCHILD, M. F. (2007). Citizens as sensors : the world of volunteered geography. GeoJournal, 69(4), p. 211-221.

GOULD, P., et WHITE, R. (1986). Mental Maps. 2nd Edition, Routledge, London and New York.

GRIFFIN, A., et FABRIKANT, S. I. (2012). More maps, more users, more devices means more cartographic challenges. The Cartographic Journal, 49(4), p. 298-301.

GROUPE µ. (1992). Traité du signe visuel : pour une rhétorique de l'image. Le Seuil, Paris.

GUELKE, L. (1979). Perception, meaning and cartographic design. The Canadian Cartographer, 16(1), p. 61-69.

GUIMOND, L. (2015). Vers une grille d'analyse de l'expérience géographique : cas-type dans la campagne au Québec. Norois, 233(4), p. 11-24.

GUO, Z. (2011). Mind the map! The impact of transit maps on path choice in public transit. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 45(7), p. 625-639.

HAKLAY, M., SINGLETON, A., et PARKER, C. (2008). Web mapping 2.0 : The neogeography of the GeoWeb. Geography Compass, 2(6), 2011-2039.

HAKLAY, M., et WEBER, P. (2008). Openstreetmap : User-generated street maps. Pervasive Computing, IEEE, 7(4), p. 12-18.

HALIK, L. (2012). The analysis of visual variables for use in the cartographic design of point symbols for mobile Augmented Reality applications. Geodesy and Cartography, 61(1), 19-30.

HARRIE, L., STIGMAR, H., et DJORDJEVIC, M. (2015). Analytical Estimation of Map Readability. ISPRS International Journal of Geo-Information, 4(2), p. 418-446.

HARROWER, M., et FABRIKANT, S. (2008). The role of map animation for geographic visualization. Geographic visualization : Concepts, Tools and Applications. Dodge, M., Turner M., McDerby, M. (eds.), Wiley, Chichester, UK, p. 49-65.

HEAD, C. G. (1984). The Map As Natural Language : A Paradigm For Understanding. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 21(1), p. 1-32.

HEALEY, C. G., BOOTH, K. S., et ENNS, J. T. (1996). High-speed visual estimation using preattentive processing. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 3(2), p. 107-135.

HEALEY, C. G., et ENNS, J. T. (1999). Large datasets at a glance: Combining textures and colors in scientific visualization. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 5(2), p. 145-167.

HEBB, D. O. (2002). The organization of behavior: A neuropsychological theory. Psychology Press, New York.

HEGARTY, M., SMALLMAN, H. S., STULL, A. T., et CANHAM, M. S. (2009). Naive Cartography: How Intuitions about Display Configuration Can Hurt Performance. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 44(3), p. 171-186.

HOARAU, C. (2015). Représentations cartographiques intermédiaires : Comment visualiser une carte et une orthophotographie pour naviguer entre abstraction et réalisme ?, Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Information Géographique. Université Paris-Est, IGN / COGIT.

HOARAU, C., et CHRISTOPHE, S. (2015). Color and Texture Interpolation between Orthoimagery and Vector Data. In ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences (Vol. II-3/W5).

HOARAU, C., et MUSTIÈRE, S. (2011). GeOxygene : semiology plugin. Base model for work on map legend in Geoxygene (rapport technique).

HOCHMAIR, H. (2009). The Influence of Map Design on Route Choice from Public Transportation Maps in Urban Areas. The Cartographic Journal, 46(3), p. 242-256.

HOPFSTOCK, A. (2005). A common design for topographic maps in Europe ? In proceedings of the 22nd International Cartographic Conference (ICC'05), 9-16 July 2005, La Coruna, Spain.

HUBERT, F., et RUAS, A. (2002). A method based on samples to capture user needs for generalization. In proceedings of the 6th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation, 7-8 July 2002, Ottawa, Ontario, Canada.

HURNI, L., TSORLINI, A., LEHMANN, P., SCHENKEL, R., et GEISTHÖVEL, R. (2015). Re-mapping the Cliffs of Mount Everest : Deriving a Synoptic Map from Large-scale Mountain Map Data. In proceedings of the 27th International Cartographic Conference (ICC'15). 23-28 August 2015, Rio de Janeiro, Brazil.

IMHOF, E. (1967). L'art en cartographie. Annuaire International de Cartographie, 7, p. 21-32.

IMHOF, E. (1975). Positioning Names on Maps. American Cartographer, 2(2), p. 129-144.

IMHOF, E. (1982). Cartographic Relief Presentation, Walter de Gruyter & Co, Berlin and New York.

IOSIFESCU ENESCU, I., PANCHAUD, N. H., HEITZLER, M., IOSIFESCU ENESCU, C. M., et HURNI, L. (2015). Towards Better WMS Maps Through the Use of the Styled Layer Descriptor and Cartographic Conflict Resolution for Linear Features. The Cartographic Journal, 52(2), p. 125-136.

ITTEN, J. (1996). L'Art de la couleur, Larousse – Dessain et Tolra, Paris.

ITTI, L., KOCH, C., et NIEBUR, E. (1998). A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 20(11), p. 1254-1259.

JAGERSAND, M. (1995). Saliency maps and attention selection in scale and spatial coordinates: An information theoretic approach. In proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision. 20-23 June 1995, Cambridge, MA, USA.

JEANRICHARD, F. (1986). L'Office fédéral de topographie de G.-H. Dufour à nos jours. Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural, 4(88), p. 128-135.

JÉGOU, L., et DEBLONDE, J.-P. (2012). Vers une visualisation de la complexité de l'image cartographique. Cybergeo : European Journal of Geography (document 600, mis en ligne le 11 avril 2012 - Consulté le 12 mars 2014 à l'adresse http://cybergeo.revues.org/25271).

JÉGOU, L. (2013). Vers une nouvelle prise en compte de l'esthétique dans la composition de la carte thématique : propositions de méthodes et d'outils, Thèse de doctorat en Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II.

JÉGOU, L. (2014). Une approche esthétique pour l'enseignement de la composition de gradients colorés. Cartes et Géomatique - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 222, Décembre 2014, p. 139-147.

JÉGOU, L. (2016). L'imagination esthétique dans la conception graphique des cartes : proposition de typologie illustrée. working paper or preprint.

JENNY, B., GILGEN, J., GEISTHÖVEL, R., MARSTON, B. E., et HURNI, L. (2014). Design Principles for Swiss-style Rock Drawing. The Cartographic Journal, 51(4), p. 360-371.

JOLIVEAU, T. (2011). Le géoweb, un nouveau défi pour les bases de données géographiques. L'Espace géographique, 40(2), p. 154-163.

JOLIVET, L. (2009). Characterizing maps to improve on-demand cartography - the example of European topographic maps. In proceedings of the 17th Annual Conference GIS Research UK (GISRUK2009), 1-3 April 2009, Durham, Royaume-Uni.

JOLY, F. (1974). La cartographie. Presses Universitaires de France, Collection Magellan, Paris.

JOLY, M. (2011). L'image et les signes : approche sémiologique de l'image fixe. 2ème édition, Armand Colin, Paris.

JOSSELIN, D. (2011). Spatial analysis using sonorous cartography. Some propositions. In proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC'11), 3-8 July 2011, Paris, France.

KANDINSKY, W. (1975). Cours du Bauhaus. Denoël Gonthier, Paris.

KARAYEV, S., TRENTACOSTE, M., HAN, H., AGARWALA, A., DARRELL, T., HERTZMANN, A., et WINNEMOELLER, H. (2013). Recognizing image style. CoRR - Computing Research Repository, 1311(3715).

KARSSEN, A. J. (1980). The Artistic Elements in Map Design. The Cartographic Journal, 17(2), p. 124-127.

KEATES, J. S. (1982). Understanding maps. Longman, London and New York.

KEATES, J. S. (1984). The Cartographic Art. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 21(1), p. 37-43.

KENT, A. J. (2005). Aesthetics : A Lost Cause in Cartographic Theory? The Cartographic Journal, 42(2), p. 182-188.

KENT, A. J. (2013). Understanding aesthetics : the cartographers' response. The Bulletin of the Society of Cartographers, 46(1-2), p. 31-43.

KENT, A. J., et DAVIES, J. M. (2013). Hot geospatial intelligence from a Cold War : the Soviet military mapping of towns and cities. CaGIS - Cartography and Geographic Information Science, 40(3), p. 248-253.

KENT, A. J., FIELD, K., JENNY, B., et HOPFSTOCK, A. (2012). Cartographic Design and Aesthetics « FAQ ». Cartographic Perspectives, (73), p. 13-16.

KENT, A. J., et VUJAKOVIC, P. (2009). Stylistic Diversity in European State 1:50 000 Topographic Maps. The Cartographic Journal, 46(3), p. 179-213.

KENT, A. J., et VUJAKOVIC, P. (2011). Cartographic Language: Towards a New Paradigm for Understanding Stylistic Diversity in Topographic Maps. The Cartographic Journal, 48(1), p. 21-40.

KIAPOUR, M. H., YAMAGUCHI, K., BERG, A. C., et BERG, T. L. (2014). Hipster wars : Discovering elements of fashion styles. In in proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). Springer Berlin Heidelberg, p. 472-488.

KOFFKA, K. (1935). Gestalt psychology, Harcourt, Brace and World, New York, USA.

KOLÁČNÝ, A. (1969). Cartographic Information - a Fundamental Concept and Term in Modern Cartography. The Cartographic Journal, 6(1), p. 47-49.

KORPI, J., et AHONEN-RAINIO, P. (2013). Clutter Reduction Methods for Point Symbols in Map Mashups. The Cartographic Journal, 50(3), p. 257-265.

KORZYBSKI, A. (1998). Une carte n'est pas le territoire: prolégomènes aux systèmes non-aristotéliciens et à la sémantique générale, Éditions de l'Éclat, Paris, France.

KOSSLYN, S. M. (1985). Graphics and human information processing: a review of five books. Journal of the American Statistical Association, 80(391), p. 499-512.

KOSSLYN, S. M. (2005). Mental images and the brain. Cognitive Neuropsychology, 22(3), p. 333-347.

KRAAK, M.-J., et BROWN, A. (2003). Web cartography, CRC Press, London and New York.

KRIZ, K. (2013). Maps and Design–Influence of Depiction, Space and Aesthetics on Geocommunication. In Kriz K., Cartwright W., Ki nberger M. (Eds.), Understanding Different Geographies, Lecture Notes in Geoinformation and cartography, Springer, Berlin, p. 9-23.

LAFAY, S., BRAUN, A., CHANDLER, D., MICHAUD, M., RICAUD, L., et MUSTIÈRE, S. (2015). Automatic mapping and innovative on-demand mapping services at IGN France. CaGIS - Cartography and Geographic Information Science, 42(1), p. 54-68.

LALLEMAND, C., et GRONIER, G. (2015). Méthodes de design UX : 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs, Editions Eyrolles, Paris.

LAMBERT, N., et ZANIN, C. (2012). OpenStreetMap : collaborer pour faire des cartes. M@ppemonde, n° 107 (mis en ligne le 6 décembre 2012 - Consulté le 22 mai 2013 à l'adresse http://mappemonde.mgm.fr/num35/internet/int12301.html).

LANDRAGIN, F. (2004). Saillance physique et saillance cognitive. Cognition, Représentation, Langage (CORELA), 2(2).

LAROUSSERIE, D. (2013). La révolution numérique. Le Monde. (mis en ligne le 6 mai 2013 - Consulté le 24 mai 2013 à l'adresse http://www.lemonde.fr/sciences/article/2013/05/06/cartographie-la-revolution-numerique_3171889_1650684.html).

LARSGAARD, M. L. (1993). Topographic Mapping of Africa, Antarctica, and Eurasia. Western Assn of Map Libraries, occasional paper n° 14, Provo, Utah.

LE PETIT ROBERT. (2015). Le Petit Robert de la langue française - édition limitée, édition Dictionnaires Le Robert 2015, Paris.

LEBRUN, N., et HOFMANN, C. (2012). Artistes de la carte, De la Renaissance au XXIe siècle : L'explorateur, le stratège, le géographe, Vol. 22, Éditions Autrement, Paris.

LECORDIX, F., PLAZANET, C., CHIRIÉ, F., LAGRANGE, J.-P., BANEL, T., et CRAS, Y. (1994). Placement automatique des écritures d'une carte avec une qualité cartographique, EGIS/MARI 1994, vol. 1, 22.

LEE, Y., EFROS, A., et HEBERT, M. (2013). Style-Aware Mid-level Representation for Discovering Visual Connections in Space and Time. In proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2013), 1-8 December 2013, Sydney, Australia.

LI, Z., YAN, H., AI, T., et CHEN, J. (2004). Automated building generalization based on urban morphology and Gestalt theory. International Journal of Geographical Information Science, 18(5), p. 513-534.

LINDSAY, P. H., et NORMAN, D. A. (1977). Human Information Processing : An Introduction to Psychology. Academic Press, New York.

LIVET, P., MULLER, J.-P., PHAN, D., et SANDERS, L. (2010). Ontology, a mediator for agent-based modeling in social science. The Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 13(1).

LLOYD, R., et HODGSON, M. E. (2002). Visual search for land use objects in aerial photographs. Cartography and Geographic Information Science, 29(1), p. 3-15.

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., et RHIND, D. W. (2010). Geographic Information Systems and Science, 3rd Edition, John Wiley and Sons, Chichester, UK.

LUCK, S. J. (2007). Visual short term memory. Center for Mind et Brain and Department of Psychology, (11), p. 269-274.

LUPP, M. (2007). Styled layer descriptor profile of the web map service implementation specification version 1.1.0. Open Geospatial Consortium Inc. (2007) document 05–078r4.

LYNCH, K. (1960). The image of the city. the MIT Press, Cambridge Massachusetts.

MACEACHREN, A. M. (1995). How Maps Work: Representation, Visualization and Design. The Guilford Press, New York.

MACEACHREN, A. M., et KRAAK, M.-J. (2001). Research challenges in geovisualization. Cartography and Geographic Information Science, 28(1), p. 3-12.

MACKANESS, W., et RUAS, A. (2007). Evaluation in the Map generalisation Process. In W. Mackaness, T. Sarjakoski, et A. Ruas (Eds.), Generalisation of geographic information : cartographic modelling and applications. Elsevier, Oxford, UK.

MARR, D., et NISHIHARA, H. K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. proceedings of the Royal Society of London B : Biological Sciences, 200(1140), p. 269-294.

MARR, D. (1982). Vision : A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. W. H. Freeman and Company, San Fransisco.

MARTIN, O. (2012). L'enquête et ses méthodes : l'analyse quantitative des données. 3ème édition, Armand Colin, Paris.

MASSE, A., et CHRISTOPHE, S. (2015). Homogeneous geovisualization of coastal areas from heterogeneous spatiotemporal data. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-3/W3, p. 509-516.

MASSE, A., et CHRISTOPHE, S. (2016). Améliorer la perception du réalisme dans la géovisualisation du littoral. Revue Internationale de Géomatique, 26(4), p. 1-20.

MATLIN, M. W. (2002). Cognitive Psychology and College-Level Pedagogy: Two Siblings That Rarely Communicate. New directions for teaching and learning, 2002(89), p. 87–103.

MAUGEAIS, E., LECORDIX, F., HALBECQ, X., et BRAUN, A. (2011). Dérivation cartographique multiéchelles de la BDTopo de l'IGN France : mis en oeuvre du processus de production de la nouvelle carte de base. In proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC'11), 3-8 July 2011, Paris, France.

MAYER, R. E. (2009). Multimedia learning. 2nd Edition, Cambridge University Press, UK.

MCCLOUD, S. (1993). Understanding comics: The invisible art. William Morrow Paperbacks, New York.

MCMASTER, R. B., et SHEA, K. S. (1992). Generalization in digital cartography. Association of American Geographers Washington, DC.

MERICKSAY, B., et ROCHE, S. (2011). Cartographie 2.0 : le grand public, producteur de contenus et de savoirs géographiques avec le web 2.0. Cybergeo: European Journal of Geography (document 552, mis en ligne le 20 octobre 2011 - Consulté le 20 décembre 2013 à l'adresse http://cybergeo.revues.org/24710).

MICHAELIDOU, E., FILIPPAKOPOULOU, V., NAKOS, B., et PETROPOULOU, A. (2005). Designing Point Map Symbols: The effect of preattentive attribute of shape. In proceedings of the 22nd International Cartographic Conference (ICC'05), 9-16 July, La Coruna, Spain.

MILLER, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two : some limits on our capacity for processing information. Psychological review, 63(2), p. 81.

MOLES, A. A. (1964). Théorie de l'information et message cartographique. Science et Enseignement des Sciences, 5(32), p. 11-16.

MONCLA, L. (2015). Reconstruction automatique d'itinéraires à partir de textes descriptifs. Thèse de doctorat en Informatique, Laboratoire d'Informatique de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, IGN / COGIT.

MONMONIER, M. (1993). Comment faire mentir les cartes ? Du mauvais usage de la géographie. Flammarion, Paris.

MONSO, O., et DE SAINT POL, T. (2009). La perception graphique : mieux construire et interpréter les graphiques. Courrier des statistiques, n° 126, p. 67-74.

MONTELLO, D. R. (2002). Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches. Cartography and Geographic Information Science, 29(3), p. 283-304.

MONTELLO, D. R. (2009). Cognitive Geography. In R. Thrift et N. Kitchin (Eds), International encyclopedia of human geography, Vol. 2. Elsevier Science, Oxford, p. 160-166.

MOORE, A. (2009). Maps as comics, comics as maps. In proceedings of the 24th International Cartographic Conference (ICC'09), 15-21 November 2009, Santiago, Chile.

MORRISON, J. L. (1974). A theoretical framework for cartographic generalization with the emphasis on the process of symbolization. International Yearbook of Cartography, 14(1974), p. 115-127.

MUEHLENHAUS, I. (2011). Another Goode Method: How to Use Quantitative Content Analysis to Study Variation in Thematic Map Design. Cartographic Perspectives, 0(69), p. 7-30.

MUEHLENHAUS, I. (2012). If Looks Could Kill : The Impact of Different Rhetorical Styles on Persuasive Geocommunication. The Cartographic Journal, 49(4), p. 361-375.

MUEHLENHAUS, I. (2013a). Four Rhetorical Styles of Persuasive Geocommunication: An Initial Taxonomy. In proceedings of the 26th International Cartographic Conference (ICC'13), 25-30 August 2013, Dresden, Germany.

MUEHLENHAUS, I. (2013b). The design and composition of persuasive maps. CaGIS - Cartography and Geographic Information Science, 40(5), p. 401-414.

MUEHLENHAUS, I. (2014). Going Viral: The Look of Online Persuasive Maps. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 49(1), p. 18-34.

MUELLER, M. (2006). Symbology Encoding Implementation Specification Version 1.1.0. Open Geospatial Consortium Inc. (2006) document 05–077r4.

MUSTIÈRE, S., ZUCKER, J. D., et SAITTA, L. (2000). Abstraction et Changement de Langage pour Automatiser la Généralisation Cartographique. In Actes du 12ème congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'2000), 1-3 Février 2000, Paris, France, p. 411-418.

MUSTIÈRE, S. (2001). Apprentissage supervisé pour la généralisation cartographique, Thèse de doctorat en Informatique - Intelligence Artificielle. Université Paris VI.

NEUBAUER, S., et ZIPF, A. (2009). 3D-Symbology Encoding Discussion Draft Version 0.0.1. Open Geospatial Consortium Inc. (2009) document 09-042.

NORMAN, D. A. (1990). The design of everyday things. the 1st Doubleday/Currency Edition, New York.

NORMAN, D. A. (1999). Affordance, Conventions, and Design. Interactions, 6(3), p. 38-43.

OBERAUER, K., LEWANDOWSKY, S., FARRELL, S., JARROLD, C., et GREAVES, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. Psychonomic Bulletin and Review, 19(5), 779-819.

OOMS, K. (2012). Maps, how do users see them? : an in depth investigation of the map users' cognitive processes, Thèse de doctorat en Géographie. Université de Ghent.

OOMS, K., DE MAEYER, P., et FACK, V. (2015). Listen to the Map User: Cognition, Memory, and Expertise. The Cartographic Journal, 52(1), p. 3-19.

ORTAG, F. (2009). Variables of Aesthetics in Maps. In Cartography and Art. 123–131. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (p. 123-131), Springer Berlin Heidelberg.

ORY, J., CHRISTOPHE, S., FABRIKANT, S., et BUCHER, B. (2015). How Do Map Readers Recognize a Topographic Mapping Style? The Cartographic Journal, 52(2), p. 193–203.

ORY, J., CHRISTOPHE, S., et FABRIKANT, S. I. (2013). Identification of Styles in Topographic Maps. In proceedings of the 26th International Cartographic Conference (ICC'13), 25-30 August 2013, Dresden, Germany.

PALEK, B. (2009). The map : Its signs and their relations. Semiotica, 59(1-2), p. 13-34.

PALKA, G., SERRHINI, K., FUCHS, S., THIBAULT, S., et NERON, E. (2013). Improving Evacuation Maps by Integrating Needs and Preferences of End-Users in GIS. In proceedings of the 26th International Cartographic Conference (ICC'13), 25-30 August 2013, Dresden, Germany.

PALMERI, T. J., et GAUTHIER, I. (2004). Visual object understanding. Nature Reviews Neuroscience, 5(4), p. 291-303.

PALSKY, G. (2012). Map design VS sémiologie graphique : Réflexions sur deux courants de la cartographie théorique. Cartes et Géomatique - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 212, Juin 2012, p. 7-12.

PELLETIER, M. (2007). La carte de France en 1756. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 191, Mars 2007, p. 7-12.

PERRET, J., GRIBAUDI, M., et BARTHELEMY, M. (2015). Roads and cities of 18th century France. Scientific data, 2.

PETCHENIK, B. B. (1974). A Verbal Approach to Characterizing the Look of Maps. Cartography and Geographic Information Science, 1(1), p. 63-71.

PETERSON, M. (2009). International Perspectives on Maps and the Internet: An Introduction. In International Perspectives on Maps and the Internet, Springer Berlin Heidelberg, p. 3-10.

PETERSON, M. P. (1987). The Mental Image in Cartographic Communication. The Cartographic Journal, 24(1), p. 35-41.

PETERSON, M. P. (1995). Interactive and animated cartography. Prentice Hall Saddle River, NJ, USA.

PETERSON, M. P. (2003). Maps and the Internet. Elsevier Science, Amsterdam and London.

PIERCE, C. S. (1978). Écrits sur le signe. Le Seuil, Paris.

PLANTIN, J.-C. (2012). Google Maps versus OpenStreetMap : redistribution des cartes sur le Web ?, INA Global (mis en ligne le 28 mai 2012 - Consulté le 11 juin 2012 à l'adresse http://www.inaglobal.fr/numerique/article/google-maps-versus-openstreetmap-redistribution-des-cartes-sur-le-web).

PLAYFAIR, W. (2005). The statistical breviary. Cambridge University Press, New York.

POIDEVIN, D. (1999). La carte, moyen d'action : conception, réalisation. Ellipses, Paris.

POPELKA, S., et BRYCHTOVA, A. (2013). Eye-tracking Study on Different Perception of 2D and 3D Terrain Visualisation. The Cartographic Journal, 50(3), p. 240-246.

POUCET, B., ALVERNHE, A., HOK, V., RENAUDINEAU, S., SARGOLINI, F., et SAVE, E. (2010). L'hippocampe et le code neural de la mémoire spatiale. Biologie Aujourd'hui, 204(2), p. 103-112.

PUMAIN, D., et SAINT-JULIEN, T. (1997). L'analyse spatiale. Localisations dans l'espace. Paris, Armand Colin.

PURCHASE, H. C., ANDRIENKO, N., JANKUN-KELLY, T. J., et WARD, M. (2008). Theoretical foundations of information visualization. In Information Visualization - Human-Centered Issues and Perspectives, edited by A., Stasko, J.T., Fekete, J.-D., and North, C. , Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4950, Springer, Berlin, p. 46-64.

RAPOSO, P. J., et BREWER, C. A. (2014). Landscape Preference and Map Readability in Design Evaluation of Topographic Maps with an Orthoimage Background. The Cartographic Journal, 51(1), p. 25-37.

REGNAULD, N. (1998). Généralisation du bâti : Structure spatiale de type graphe et représentation cartographique. Thèse de doctorat en Informatique. Université de Provence, IGN / COGIT.

REKACEWICZ, P. (2006). La cartographie, entre science, art et manipulation. Le Monde Diplomatique, p. 14-15.

RENARD, J. (2008). Analyse et caractérisation de légendes européennes. Mémoire de Master - M2 Carthagéo. École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG), Marne-la-Vallée, France.

RICKENBACHER, M. (2013). Journeys through time with the Swiss national map series. In proceedings of the 26th International Cartographic Conference (ICC'13). 25-30 August 2013, Dresden, Germany.

RITA, E., BORBINHA, J., et MARTINS, B. (2010). Extending SLD and SE for cartograms. In proceedings of the GSDI 12. 19-22 October 2010, Singapore.

ROBERTS, M. J., NEWTON, E. J., LAGATTOLLA, F. D., HUGHES, S., et HASLER, M. C. (2013). Objective versus subjective measures of Paris Metro map usability: Investigating traditional octolinear versus all-curves schematics. International Journal of Human-Computer Studies, 71(3), p. 363-386.

ROBINSON, A. C., PEZANOWSKI, S., TROEDSON, S., BIANCHETTI, R., BLANFORD, J., STEVENS, J., GUIDERO, E., ROTH, E. R. et MACEACHREN, A. M. (2013). Symbol Store : sharing map symbols for emergency management. Cartography and Geographic Information Science, 40(5), p. 415-426.

ROBINSON, A. H. (1952). The look of maps. University of Winsconsin Press, Madison, USA.

ROBINSON, A. H. (1960). Elements of Cartography. John Wiley and Sons, New York, USA.

ROBINSON, A. H., et PETCHENIK, B. B. (1977). The Map As A Communication System. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 14(1), p. 92-110.

ROCHE, S. (2000). Les enjeux sociaux de Systèmes d'Information Géographique, Les cas de la France et du Québec. L'Harmattan, Paris.

ROCHE, S. (2003). Usages sociaux des technologies de l'information géographique et participation territoriale. In Les figures du projet territorial. B. e. L. Debarbieux, Sylvie. L'Aube, Paris, p. 61-82.

ROQUEPLO, A. (2010). La cartographie chez les artistes contemporains. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 205, Septembre 2010, p. 107-118.

RUAS, A. (2004). Le changement de niveau de détail dans la représentation de l'information géographique, Habilitation à Diriger des Recherches spécialité SIG. Université de Paris-Est, Marne-la-Vallée, France.

RUAS, A. (2007). Recherche en automatisation de processus cartographiques. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 191, Mars 2007, p. 99-110.

RUAS, A., et MUSTIÈRE, S. (2005). Bases de données géographiques et cartographiques à différents niveaux de détail. Le Monde des Cartes - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 185, Septembre 2005, p. 5-14.

RUAS, A., et PLAZANET, C. (1996). Strategies for automated map generalisation. In proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'96), 12-16 August 1996, Delft, Netherlands.

SALICHTCHEV, K. A. (1983). Cartographic Communication : A Theorical Survey. In Graphic Communication and Design in Contemporary Cartography (In Taylor D.R.F, Vol. 2, p. 11-35). John Wiley and Sons, Chichester, UK.

SANTAELLA BRAGA, M. L. (1988). For a Classification of Visual Signs. Semiotica, 70(1-2), p. 59-78.

Saussure, F. (1915). Cours de linguistique générale. Lausanne et Paris : Payot.

SCHLICHTMANN, H. (1985). Characteristic traits of the semiotic system : 'map symbolism'. The Cartographic Journal, 22(1), p. 23-30.

SCHLICHTMANN, H. (2009). Overview of the semiotics of maps. In proceedings of the 24th International Cartographic Conference (ICC'09), 15-21 November 2009, Santiago, Chile.

SCHLICHTMANN, H. (2014). Information in maps : basic characteristics. Journal for Theoretical Cartography, 7, p. 1-11.

SCHMIDT, M. A. R., et DELAZARI, L. S. (2013). Gestalt aspects for differentiating the representation of landmarks in virtual navigation. CaGIS - Cartography and Geographic Information Science, 40(3), p. 159-164.

SCHNUR, S., BEKTAŞ, K., SALAHI, M., et ÇÖLTEKIN, A. (2010). A Comparison of Measured and Perceived Visual Complexity for Dynamic Web Maps. In proceedings of the 6th International Conference on Geographic Information Science (GIScience), 14-17 September 2010, Zurich, Switzerland.

SCHOLZ, R., et LU, Y. (2014). Uncertainty in Geographic Data on Bivariate Maps: An Examination of Visualization Preference and Decision Making. ISPRS International Journal of Geo-Information, 3(4), p. 1180-1197.

SEMMO, A., TRAPP, M., JOBST, M., et DÖLLNER, J. (2015). Cartography-Oriented Design of 3D Geospatial Information Visualization–Overview and Techniques. The Cartographic Journal, 52(2), p. 95-106.

SEMMO, A., LIMBERGER, D., KYPRIANIDIS, J. E., et DÖLLNER, J. (2016). Image stylization by interactive oil paint filtering. Computers and Graphics, 55(C), p. 157-171.

SHAMIR, L., et TARAKHOVSKY, J. (2012). Computer analysis of art. ACM Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH), 5(2), p. 7.

SHANNON, C. E. (1949). Communication theory of secrecy systems. Bell system technical journal, 28(4), p. 656-715.

SHANNON, C. E., et WEAVER, W. (1949). The mathematical theory of information. 1st Edition, University of Illinois Press, Urbana.

SIMONNET, M., BOTHOREL, C., MAXIMIANO, L. F., et THÉPAUT, A. (2012). GeoTablet, une application cartographique pour les personnes déficientes visuelles. In Handicap 2012, Vol. 7, Juin 2012, Paris, France, p. 8-13.

SIMONNET, M., JONIN, H., BROCK, A., et JOUFFRAIS, C. (2013). Conception et évaluation de techniques d'exploration interactives non visuelles pour les cartes géographiques. In Actes de la Conférence internationale de Géomatique et Analyse Spatiale SAGEO'13 (Spatial Analysis and GEOmatics), 23-26 Septembre 2013, Brest, France.

SLUTER, C., et ANDRADE, A. (2015). Pictorial Symbols Design based on the Gestalt Theory. In proceedings of the 27th International Cartographic Conference (ICC'15), 23-28 August 2015, Rio de Janeiro, Brazil.

SOH, B. K., et SMITH-JACKSON, T. L. (2004). Influence of map design, individual differences, and environmental cues on wayfinding performance. Spatial Cognition and computation, 4(2), p. 137-165.

SPITAELS, F. (2012). Les cartographies dérivées d'une base de données géographique. Cartes et Géomatique - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 211, Mars 2012, p. 63-68.

SQUIRE, L. R., et CAVE, C. B. (1991). The hippocampus, memory, and space. Hippocampus, 1(3), p. 269-271.

STEINIGER, S., BURGHARDT, D., et WEIBEL, R. (2006). Recognition of island structures for map generalization. In proceedings of the 14th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems, 05-11 November 2006, Arlington, VA, USA.

STEINRÜCKEN, J., et PLÜMER, L. (2013). Identification of Optimal Colours for Maps from the Web. The Cartographic Journal, 50(1), p. 19-32.

STIGMAR, H. (2006). Amount of information in mobile maps: a study of user preference. Mapping and Image Science, (4), 68-74.

STIGMAR, H., et HARRIE, L. (2011). Evaluation of Analytical Measures of Map Legibility. The Cartographic Journal, 48(1), p. 41-53.

TI, P., LI, Z., et XU, Z. (2015). Automated Generation of Schematic Network Maps Adaptive to Display Sizes. The Cartographic Journal, 52(2), p. 168-176.

TIMPF, S. (1999). Abstraction, Levels of Detail, and Hierarchies in Map Series. In C. Freksa et D. M. Mark (Eds.), Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory, COSIT'99, Springer Heidelberg Berlin, p. 125-140.

TOUYA, G., et GIRRES, J.-F. (2009). Éléments de comparaison entre les données libres d'OpenStreetMap et une base de données géographiques institutionnelle. In Actes de la Conférence internationale de Géomatique et Analyse Spatiale SAGEO'09 (Spatial Analysis and GEOmatics), 25-27 Novembre 2009, Paris, France.

TOUYA, G., et BRANDO-ESCOBAR, C. (2013). Detecting Level-of-Detail Inconsistencies in Volunteered Geographic Information Data Sets. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 48(2), p. 134-143.

TOUYA, G., et GIRRES, J.-F. (2013). ScaleMaster 2.0 : a ScaleMaster extension to monitor automatic multi-scales generalizations. Cartography and Geographic Information Science, 40(3), p. 192–200.

TOUYA, G., et BALEY, M. (2014). Harmonizing Level of Detail in OpenStreetMap Based Maps. In M. Duckham, K. Stewart, et E. Pebesma (Eds.), proceedings of the 8th International Conference on Geographic Information Science (GIScience) - Poster session, 23-26 September 2014, Vienna, Austria.

TOUYA, G., CHRISTOPHE, S., et HOARAU, C. (2015). Clutter and Map Legibility in Automated Cartography : A Research Agenda. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 50(3), p. 181-196.

TRAVERSI, C. (1967). Emploi de la couleur verte dans les cartes topographiques. Annuaire international de cartographie, n° 7, p. 39-42.

TREISMAN, A. M., et GELADE, G. (1980). A feature-integration theory of attention. Cognitive psychology, 12(1), p. 97-136.

TREISMAN, A. M. (1985). Preattentive processing in vision. Computer vision, graphics, and image processing, 31(2), p. 156-177.

TREISMAN, A. M., et GORMICAN, S. (1988). Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. Psychological review, 95(1), p. 15-48.

TREISMAN, A. M. (1992). L'Attention, les traits, et la perception des objets. In Introduction aux sciences cognitives, D. Andler (Eds.). Gallimard, Paris, p. 153-191.

TURNER, A. (2006). Introduction to neogeography. O'Reilly Media Inc.

VAN DIJK, T., VAN GOETHEM, A., HAUNERT, J. H., MEULEMANS, W., et SPECKMANN, B. (2013). Accentuating Focus Maps via Partial Schematization. In proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, 5-8 November 2013, Orlando, Florida, USA.

VAN LANCKER, W. (2012). Google Maps : Designing the Modern Atlas. Core77 (mis en ligne le 09 janvier 2012 - Consulté le 18 février 2012 à l'adresse http://www.core77.com//posts/21486/Google-Maps-Designing-the-Modern-Atlas).

VINEETA, J. (2014). Functional Role of Colour in Preattentive Cognitive Processing from Thematic Map Images. Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS), 19(7), p. 56-64.

WAN, G., GAO, J., DONG, W., et LIU, Y. (2007). Cognitive Map Formation in Map Space Cognition. In proceedings of the 23rd International of the Cartographic Conference (ICC'07), 4-10 August 2007, Moscow, Russia.

WARE, C. (2010). Visual thinking : For design. Morgan Kaufmann, Burlington, Massachusetts.

WEIBEL, R., et DUTTON, G. (1999). Generalising spatial data and dealing with multiple representations. In Geographical Information Systems : Principles, Techniques, Management and Applications, P. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire and D.W.Rhind (Eds.), 2nd Edition, Cambridge, GeoInformation International, p. 125-155.

WESTERBEEK, H., et MAES, A. (2011). Referential scope and visual clutter in navigation tasks. In proceedings of the Workshop on the Production of Referring Expressions (PRE-CogSci 2011), 20th July 2011, Boston, Massachuseets, USA.

WILKENING, J. (2010). Map Users' Preferences and Performance under Time Pressure. In R. Purves et R. Weibel (Eds.), proceedings of the 6th International Conference on Geographic Information Science (GIScience), 14-17 September 2010, Zurich, Switzerland.

WILKENING, J., et FABRIKANT, S. I. (2011a). How do decision time and realism affect map-based decision making ?, In Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2011), Belfast, ME, USA, Sep. 12-16, 2011, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 6899. Egenhofer, M. (Eds.) Springer, Berlin, Germany, p. 1-19.

WILKENING, J., et FABRIKANT, S. I. (2011b). The effect of gender and spatial abilities on map user preference and performance in road selection tasks. In proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC'11), 3-8 July 2011, Paris, France.

WILLATS, J., et DURAND, F. (2005). Defining Pictorial Style : Lessons from Linguistics and Computer Graphics. Axiomathes, 15(3), p. 319-351.

WOOD, D., et FELS, J. (1986). Designs on Signs / Myth and Meaning in Maps. Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 23(3), p. 54-103.

WOOD, M. (1972). Human Factors in Cartographic Communication. The Cartographic Journal, 9(2), p. 123-132.

WOOD, M. (1993). The Map-Users' Response to Map Design. The Cartographic Journal, 30(2), p. 149-153.

Zanin, C. (2010). Entre art et cartographie, quand la carte devient matériau artistique. M@ppemonde, Revue soutenue par l'Institut des Sciences Humaines et Sociales du CNRS, n° 97), 1/2010.

ZHANG, L., TONG, M. H., MARKS, T. K., SHAN, H., et COTTRELL, G. W. (2008). SUN : A Bayesian framework for saliency using natural statistics. Journal of Vision, 8(7), p. 1-20.

ZHAOPING, et SNOWDEN, R. J. (2006). A theory of a saliency map in primary visual cortex (VI) tested by psychophysics of colour-orientation interference in texture segmentation. Visual cognition, 14(4-8), p. 911-933.

# Publications personnelles

## Revues internationales

ORY, J., S. CHRISTOPHE, S.I. FABRIKANT et B. BUCHER (2015). How do map readers recognize a topographic mapping style?, The Cartographic Journal, vol. 52, n. 2, p. 193-203.

⇨ Prix *Henry Johns Award* du meilleur article de l'année 2015 publié dans la revue The Cartographic Journal.

## Conférences internationales

CHRISTOPHE, S., DUMÉNIEU, B., TURBET J., HOARAU, C., MELLADO, N., ORY, J., LOI, H., MASSE, A., ARBELOT, B., VERGNE, R., BRÉDIF, M., HURTUT, T., THOLLOT, J., VANDERHAEGHE, D (2016). Map Style Formalization: Rendering Techniques Extension for Cartography. Pierre Bénard; Holger Winnemöller. Expressive 2016 The Joint Symposium on Computational Aesthetics and Sketch-Based Interfaces and Modeling and Non-Photorealistic Animation and Rendering, May 2016, Lisbonne, Portugal. The Eurographics Association, Non-Photorealistic Animation and Rendering, 2016, Non-Photorealistic Animation and Rendering.

ORY, J., S. CHRISTOPHE, S.I. FABRIKANT et B. BUCHER (2014). Caractérisation visuelle d'un style topographique, Actes du Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale (SAGEO 2014), 24-27 Novembre 2014, Grenoble, France.

ORY, J., S. CHRISTOPHE ET S.I. FABRIKANT (2013). Identification of Styles in Topographic Maps, 26th International Cartographic Conference (ICC'13), 25-30 August 2013, Dresden, Germany (poster session + extented abstract).

## Revues nationales sans comité de lecture

ORY, J., S. CHRISTOPHE, S.I. FABRIKANT et B. BUCHER (2015). Comment les utilisateurs reconnaissent-ils un style topographique?, Cartes et Géomatique - Revue du Comité Français de Cartographie, n° 226, p. 21-34.

DURAND, H. et J. ORY (2011). Communiquer sur un territoire : la révolution QGIS, Géomatique Expert, n° 82, p. 44-50.

## Autres communications

### *Communications orales*

ORY, J. Comment les utilisateurs reconnaissent-ils le style topographique IGN?, Journées de la Recherche IGN 2015, 20 mars 2015, ENSG, Marne la vallée.

### *Communications par affiche*

ORY, J. Le style topographique, voyage dans le temps et dans l'espace, Journées de la Recherche IGN 2016, 25 mars 2016, IGN, St-Mandé.

ORY, J. Approche pour la formalisation des styles topographiques, Journées de la Recherche IGN 2014, 21 mars 2014, IGN, St-Mandé.

ORY, J. Identification du style dans les cartes topographiques ?, Journées de la Recherche IGN 2013, 25 avril 2013, ENSG, Marne la vallée.