

La **couleur** comme composante de structuration de l'environnement urbain

Spécification d'un protocole de caractérisation chromatique et d'une typologie paramétrique

Luan Nguyen
Ingénieur civil architecte

Dissertation présentée
en vue de l'obtention du titre
de Docteur en Art de Bâtir,
Urbanisme et Aménagement du Territoire

Membres du Jury :
Prof. Jacques Teller, Université de Liège, Promoteur
Prof. Sigrid Reiter, Université de Liège, Présidente
Prof. Jean-Jacques Embrechts, Université de Liège
Dr Juan Serra Lluch, Universitat Politècnica de València
Dr Daniel Siret, Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées
Département UEE (Urban and Environment Engineering)
Division Architecture & Urbanisme
LEMA - Local Environment: Management & Analysis

Liège, Année académique 2017 – 2018

Ce document présente les résultats originaux d'une recherche de thèse menée par :

Luan Nguyen
Ingénieur civil architecte
Assistant - chercheur
Université de Liège - LEMA
Allée de la Découverte 9, Bâtiment B52/3
B-4000 Liège, Belgique
nl.nguyen@uliege.be

Aux termes de la loi du 30 juin 1994 sur le droit de l'auteur et les droits voisins, seul l'auteur a le droit de reproduire partiellement ou complètement cet ouvrage de quelque manière et sous quelque forme que ce soit. Toute photocopie ou reproduction sous autre forme est donc faite en violation de cette loi et de ses modifications ultérieures.

A An, Margaux et Rose.

A mes amis, Anne-Françoise et Michel.

Abstract (fr)

Les informations qui renseignent l'individu sur son environnement urbain sont pour la plupart déclenchées et définies par le sens de la vue, c'est-à-dire par des sensations visuelles. La couleur constitue une composante fondamentale de ces sensations visuelles : elle permet l'identification des objets par le jeu des contrastes qui définit la forme. Malgré ce rôle essentiel dans la lecture du paysage urbain, le milieu de la recherche en morphologie urbaine ainsi que les pouvoirs publics abordent de manière lacunaire la question de la couleur, que ce soit dans le cadre du diagnostic d'un territoire spécifique ou dans le cadre de sa régulation urbaine.

Contrairement à d'autres attributs morphologiques tels que le gabarit, l'implantation ou encore la densité du bâti, qui sont quelques caractéristiques liées à la « forme urbaine », la couleur se définit le plus souvent dans le cadre de la description du matériau au travers de l'établissement de palettes vernaculaires. Plusieurs causes sont à l'origine de ce déficit tant dans le milieu scientifique que professionnel : l'inadaptation des méthodes de caractérisation existantes ainsi que leur lourdeur d'usage, d'une part, et d'autre part la complexité des nouveaux tissus urbains à caractériser, couplée à la rapidité de leur développement au cours des soixante dernières années. Sur base de ce constat, qui a amorcé la présente recherche, nous proposons de traiter cette composante morphologique par le développement d'un instrument de mesure capable de produire un diagnostic objectif en vue d'établir un consensus à la fois scientifique et démocratique.

Dans un premier temps, un état de l'art sera dressé, au travers duquel nous aborderons la problématique de la couleur dans le champ de la morphologie urbaine, parcourant et détaillant les outils d'analyse existants tout en mettant en évidence leurs lacunes. Ensuite, nous proposerons un instrument pour la caractérisation de l'attribut chromatique, via le développement d'un protocole de mesure appliquée sur dix-huit fragments urbains de Liège répartis en quatre catégories principales d'aires urbaines (le centre historique, les cités ouvrières, les lotissements périurbains et les zones commerciales). Les résultats mettront en évidence des distributions spécifiques pour chacune de ces quatre catégories et nous permettront de développer des réponses quantitatives aux questions suivantes : comment la couleur s'organise-t-elle ? Comment structure-t-elle le tissu urbain au même titre que la forme ? Comment s'établit-elle comme un indicateur d'homogénéité et de cohérence spatiale ? A l'aide d'outils statistiques et d'indicateurs tels que l'entropie de Shannon emprunté au domaine des sciences de l'information, nous mettrons en évidence, dans la tradition de la typologie de la forme urbaine, quatre types chromatiques pour l'ensemble des individus composant les dix-huit fragments urbains étudiés.

Mots-clés : couleur, caractérisation, morphologie urbaine, composantes du tissu urbain, protocole, validation, typologie, analyse statistique, K-means, cohérence spatiale, entropie de Shannon.

Abstract (en)

The information that tells us about the urban environment is for the most part triggered and defined by the sense of sight, in other words by visual sensations. Colour is a fundamental component of the visual sensations: it allows us to identify objects with the contrasts that define the form. In spite of this essential function in the reading of the urban landscape, research in urban morphology and public authorities deal with the question of colour in a deficient way, either as part of the diagnosis of a specific territory or as part of its urban regulation. Oppositely to other morphological characteristics such as size, implantation or density (which are some characteristics of the "urban form"), colour is defined most often within the description of the material and through vernacular pallets.

Several causes explain this deficit in both the scientific and professional approaches: first the inadequacy of existing characterization methods and their difficult process, then the complexity of new urban fabrics to characterize, reinforced with the rapidity of their development and extension over the last sixty years.

Starting from this observation which had triggered the present research, we propose to treat this morphological component by focusing on the development of a measuring instrument that can be used as a diagnostic tool to achieve a scientific and democratic consensus.

Initially, a state of the art will be drawn up, through which we will address the problem of colour in the field of urban morphology, browsing and detailing the existing analytical tools while highlighting their shortcomings.

Then, we propose an instrument for the characterization of the chromatic attribute, through the development of a protocol applied to eighteen urban fragments of Liège divided into four main classes of urban areas (the historic center, the working-class neighborhoods, the periurban housing districts and the shopping centers). The results will highlight specific distributions for each of these four categories.

Afterwards, we will try to provide quantitative answers to the following questions: how is colour organized? How does it structure the urban fabric in the same way as form? How is it established as an indicator of homogeneity and spatial coherence? Using statistical tools, in the tradition of the typology of the urban form, four chromatic types will be highlighted for all the individuals making up the eighteen studied urban fragments.

Keywords: colour, characterization, urban morphology, components of the urban fabric, protocol, validation, typology, statistical analysis, K-means, spatial coherence, Shannon entropy.

Chapitre 1

Introduction générale

« L'intérêt que portent aujourd'hui les architectes et les urbanistes à la couleur confirme, s'il en était besoin, cette importance à la fois éthique (existentielle) et esthétique de la couleur. Ils la considèrent en effet comme indispensable à la structuration et à la dynamique de l'espace urbain et déterminante pour la qualité de vie des habitants. » (Pinson, 2011) : p.36.



Figure 1-1. Façades de la rue Hors-Château à Liège. © L. Nguyen (2009)

1. Contexte de la recherche : la couleur dans le champ de la morphologie urbaine

De nombreux exemples tirés d'essais théoriques en architecture et en urbanisme illustrent le statut de la couleur comme caractéristique essentielle du paysage urbain. Gustave Kahn (1901) peint le Paris du début du 20^{ème} siècle comme étant uniforme et monochrome de par l'usage de la pierre calcaire. Dans *L'image de la Cité*, Kevin Lynch (1960) emploie le gris-jaunâtre pour caractériser les grands immeubles de Florence tandis que Rem Koolhaas, dans son recueil encyclopédique *SMLXL*, relate dans la description qu'il fournit pour les villes génératives émergentes, une explosion de beige avec un épicentre de teinte aubergine métallique mate, kaki tabac, courge poussiéreuse (Koolhaas and Mau, 1998).

Il nous semble banal d'affirmer que nous évoluons dans des environnements colorés. Dans ces milieux parcourus par des signaux visuels dans lesquels nous sommes immergés, la couleur¹ possède un rôle fondamental à caractère informatif. Sa fonction principale se situe en effet dans la reconnaissance et le repérage des objets par l'émergence de leurs contours générée par le jeu des contrastes (Embrechts, 1988). Cette identification de la forme est rendue possible par le phénomène « figure/fond² » qui peut être considéré comme fondamental pour la perception visuelle (Von Meiss, 2012) ; « *Form follows colour* » (Buether, 2014). La couleur peut ensuite construire des dispositifs visuels conférant un caractère spécifique à un lieu, au moyen de relations d'intégration, de singularisation ou encore de fragmentation qui peuvent être observées entre les composantes du tissu urbain.

Chaque type de milieu urbain se dote d'une configuration chromatique qui lui est propre. Ainsi, dans les zones urbaines historiques, la couleur contribue dans le regroupement des bâtiments en endossant un rôle fédérateur par l'usage d'une tonalité chromatique similaire (Figure 1-2). « C'est le moyen le plus efficace, économique et rapide pour créer l'harmonie au sein de la discontinuité du tissu urbain. » (Brino, 1998) : p.56. Dans d'autres cas, la couleur fragmente l'environnement visuel au moyen d'une palette polychrome (Figure 1-3). Dans une même perspective, la couleur peut permettre à un objet de se singulariser par l'effet d'un contraste de tonalité, de saturation ou de luminosité avec son

¹ Dans cette première partie, le terme « couleur » sera utilisé pour désigner autant le « stimulus coloré » que la « sensation colorée ». Nous apporterons une distinction fondamentale plus tard.

² Le phénomène « figure/fond » constitue l'objet d'étude des théories de la « *Gestalt* » (théorie de la forme). « Cette branche particulière, sous l'impulsion de chercheurs comme Wertheimer, Koffka, Guillaume, Katz, Metzger, suivis de chercheurs prenant en même temps leurs distances comme Gregory et Gibson, a réussi à établir quelques règles de vision qui n'ont pas été réfutées ultérieurement. » (Von Meiss, 2012) : p.21.

environnement. Galen Minah synthétise ces propos : « *Colour can clarify and define a space, a form or a structure.* » (2008) : p.1.

En outre, à côté des rôles fonctionnels qui viennent d'être décrits, la couleur est porteuse de valeurs patrimoniales et d'identité collective. En plus de baliser notre sens de la vue, elle donne du sens à notre environnement visuel, par une fonction sémantique (Collette and Nguyen, 2006b). Face à l'uniformisation culturelle générée par la globalisation³ qui induit un processus d'uniformité et délite les diversités (Ameri, 2008), la couleur joue un rôle dans le maintien des spécificités identitaires. Dans le cadre de la reconstruction chromatique du quartier de La Boca à Buenos Aires, De Mattiello and Rabuini ajoutent : « *We believe, it is important to protect the cultural heritage of our cities, towns, and neighborhoods especially in an ever increasingly globalized world.* » (De Mattiello and Rabuini, 2010) : p.6.



Figure 1-2. La couleur contribue au regroupement des bâtiments en endossant un rôle fédérateur par l'usage d'une tonalité chromatique similaire (vue de Sienne en Toscane, depuis la Torre del Magnia). © J. Teller (2015)

Les différentes régions du monde possèdent des palettes de couleurs qui témoignent de leur originalité (Noury, 2010). « *In some European regions, each village is associated with its unique colour scheme. This is also true for certain Asian regions.* » (Chin, 2010) : p.1. Cette facette de la couleur, ciblant la spécificité chromatique locale comme valeur du patrimoine culturel, trouve

³ Pour l'historien et critique d'architecture Hans Ibelings, les sociologues observent un processus d'homogénéisation convaincant et révélateur, généré par la globalisation : « Il existe bien d'autres indices de cette homogénéisation, dont l'un est le développement identique et l'apparence similaire des villes et des agglomérations. » (Ibelings, 2003) : p.69. Ibelings insiste sur la perte de repère et de sens due à cette homogénéisation : « Partout, l'architecture adopte une phisyonomie révélatrice d'une certaine absence de sens. » (Ibidem) : p.69.

assurément un écho avec la Convention Européenne du Paysage⁴, dans le cadre de la protection, de la gestion et de l'aménagement des paysages.



Figure 1-3. La couleur peut fragmenter une scène urbaine par l'usage d'une palette polychrome (Times Square à Manhattan, vue depuis l'angle de la W 46th Street et la 7th Avenue). © L. Nguyen (2008)

Dans le cadre de cette fonction sémantique, la couleur est active dans les processus de construction et de mutation des paysages urbains selon deux échelles de temps. En premier lieu, dans un emploi à court terme qui se manifeste par des dispositifs dans lesquels la couleur agit dans une perspective signalétique et attractive. Elle apparaît comme une sorte de maquillage recouvrant le bâti, en adéquation avec une logique sociale et économique de dimension temporelle équivalente. Ensuite, la couleur peut se manifester au cours de processus beaucoup plus lents ; elle se présente comme le témoin de valeurs esthétiques d'usage, garante de la mémoire et de l'histoire du lieu. Dans ce sens, les coloristes Jean-Philippe et Dominique Lenclos mettent en parallèle un usage de la couleur qui peut être changeant et réversible avec une présence de la couleur sous forme de stratifications lentes dans le temps et profondes dans l'espace (Lenclos and Lenclos,

⁴ La Convention Européenne du Paysage a été adoptée le 20 octobre 2000 à Florence par 29 États membres. Il s'agit d'un traité du Conseil de l'Europe, issu d'une initiative du Congrès des pouvoirs locaux et régionaux de l'Europe (CPLRE), dont l'objectif est d'apporter des connaissances sur les paysages européens en vue de leur protection, leur préservation et leur aménagement. La Convention apporte en préliminaire une définition de la notion de « paysage » par une clarification de la terminologie. Le document met en avant l'utilité sociale du paysage et la qualité du cadre de vie tant dans les milieux urbains que ruraux, mais également dans les territoires dégradés. Le document contribue à intégrer le paysage dans les politiques d'aménagement du territoire et dans les politiques axées sur la culture, le social, l'économie, l'environnement et l'agriculture (Conseil de l'Europe, 2000).

1999). Ces deux temporalités peuvent également se décrire selon un double statut de la couleur : la « couleur matériau » et la « couleur peinture ». Rem Koolhaas, à nouveau, dans la monographie *OMA 30: 30 Colours* dédiée à la couleur, aborde ces deux notions :

« There are two kinds of colours. The ones that are integral to a material, or a substance – they cannot be changed – and the ones that are artificial, that can be applied and that transform the appearance of things. The difference between colour and paint. » (Koolhaas, 1999) : p.13.

Les autorités publiques ont pris conscience de l'impact de la couleur comme facteur susceptible d'influencer l'image et l'attractivité des villes. Dans de nombreux pays européens, une prise de conscience au niveau des pouvoirs publics sur le rôle important de la couleur du bâti dans le paysage se manifeste et certaines palettes chromatiques spécifiques et locales sont considérées comme appartenant au patrimoine culturel de la ville ou de la région au même titre que les objets d'art ou les monuments (Lenclos et al., 1995). « La couleur procède aussi la plupart du temps d'une stratégie politique de la part des municipalités conscientes qu'elle est un facteur de développement économique. » (Ibidem) : p.5. De manière générale, l'objectif de la régulation urbaine en matière de couleur se focalise sur la nécessité d'uniformiser les éléments bâtis dans un périmètre territorial donné. Ce besoin d'harmonisation, d'uniformisation, synonyme de cohérence morphologique pour beaucoup, est souvent perçu comme une condition nécessaire de l'embellissement des villes. En Chine, la notion d'*Urban Color Plan* prend de plus en plus d'importance dans le domaine de la planification afin de rendre l'environnement urbain plus élégant (Gou and Wang, 2008). Dans le contexte de la croissance économique de ce pays, plusieurs villes chinoises situées dans la partie est du territoire mènent des recherches et mettent en œuvre des outils de développement de type *Urban Color Plan*. Ceux-ci permettent à la fois d'orienter une stratégie de maintien de la couleur dominante d'un tissu afin d'éviter le désordre visuel, mais aussi de contrôler et de guider l'aménagement des futures zones de construction. Nous voyons que l'une des tâches premières dans la conception de ces « plans couleur », en marge de leur valeur opérationnelle dans le cadre du projet urbain, réside dans la reconnaissance des tonalités préexistantes et dans leur formalisation.

Dans la même perspective de régulation, plusieurs communes et municipalités en Belgique, en France et en Suisse font usage de chartes chromatiques comme instruments d'orientation (développées par des professionnels de la couleur en collaboration avec des fabricants industriels dans le domaine de la peinture) afin de garantir la pérennité des tonalités locales dominantes. En amont de leur vocation première à pérenniser les couleurs locales, et de la même manière que pour les *Urban Color Plans*, le travail préalable du coloriste-concepteur se situe dans l'observation et la reconnaissance de la spécificité chromatique ; ce travail de caractérisation en amont s'établit sur base d'observations visuelles, traduites et

synthétisées à l'aide de nuanciers de couleurs, d'échantillons de matériaux ou encore par le biais de descriptions littérales.

En dépit de l'intérêt manifeste que suscite la couleur dans les milieux administratifs et professionnels, force est de constater l'aspect déficient des instruments de sa gestion, en particulier le manque d'objectivité et l'aspect approximatif des procédures d'analyse préalable du site. Aussi, à la différence d'autres attributs morphologiques du tissu urbain liés à la forme tels que le gabarit, l'implantation du bâtiment sur la parcelle ou encore la densité du bâti - qui peuvent être définis de manière objective notamment par des approches paramétriques -, les pratiques urbanistiques actuelles fixent la propriété chromatique le plus souvent par des descriptions indirectes focalisées sur le matériau de façade, comme si la couleur était prisonnière de la réalité palpable de la matière et ne pouvait s'en libérer, comme si le processus d'« émancipation de la couleur » (Le Rider, 1998) par rapport à la forme, qui s'est produit dans l'art pictural⁵, ne pouvait avoir lieu dans les disciplines liées à l'environnement.

Pour illustrer cela, nous pouvons citer tout d'abord le Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine (CWATUP)⁶ qui fournit, dans le chapitre relatif au Règlement Général des Bâtisses en Site Rural (RGBSR)⁷, des informations des plus subjectives et

⁵ Selon le peintre Fernand Léger, la couleur a réellement trouvé son autonomie vis-à-vis de la forme en premier chez les impressionnistes qui « voulant se dégager du côté imitatif, [...] n'ont considéré la peinture que dans sa couleur, négligeant presque dans leurs efforts, toute forme et toute ligne » [(Léger, 2004) : p.27-28].

⁶ Le Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine comprend l'ensemble des dispositifs applicables en Wallonie dans les domaines précités. Il pose les objectifs de l'aménagement du territoire et traite des procédures à respecter en matière d'aménagement et d'urbanisme, dans le cadre de l'adoption d'un plan ou la délivrance d'un permis. Notons que depuis le 1^{er} juin 2017, le Code du Développement Territorial (CoDT) entre en vigueur en Wallonie et remplace le CWATUP. [En ligne] et disponible sur [http://spw.wallonie.be/dgo4/site_amenagement/index.php/juridique/cwatup] - version officieuse mise à jour au 29/12/2016, consulté le 10/01/2017.

⁷ En l'absence d'outil de planification, le RGBSR (art. 417 à 430 du CWATUP) s'applique aux actes de construction, de reconstruction, de transformation et de placement d'installations fixes ; il repose sur des règles générales applicables aux villages concernés où qu'ils se trouvent en Wallonie ainsi que sur des règles particulières à chacune des huit régions agro-géographiques qui la composent (Plateau limoneux hennuyer, Plateau limoneux brabançon, Hesbaye, Pays de Herve, Condroz, Fagne - Famenne, Ardenne, Lorraine belge). Ces règles se concentrent pour l'essentiel sur l'implantation des bâtiments (respect du relief du sol et utilisation des limites des parcelles cadastrales), leur gabarit (gabarit en plan, en hauteur sous gouttières et en pente de toiture) et la palette d'aspect des matériaux de façade et de toiture. On notera que le Code du Développement Territorial (CoDT) reprend les dispositions du RGBSR dans le cadre du Guide Régional d'Urbanisme. Ces dispositions prennent une valeur indicative : ainsi, un écart dans le cadre d'une demande de permis nécessite une motivation démontrant que le projet ne compromet pas les objectifs de développement territorial, d'aménagement du territoire ou d'urbanisme et contribue à la protection, à la gestion ou à l'aménagement des paysages bâties ou non bâties. [En ligne] et disponible sur [http://spw.wallonie.be/dgo4/tinymce/apps/amenagement/views/documents/juri

imprécises lorsqu'il s'agit d'établir une régulation de la couleur des bâtiments. Le RGBSR emploie des termes à la signification floue et approximative, en lien direct avec le matériau, qui sont soumis à l'appréciation du décideur ; il s'agit de qualificatifs tels que « maçonnerie de teinte gris clair à gris moyen » (art. 423) ou encore « brique locale de teinte foncée » (art. 425). Les règles du RGBSR étant « déduites de l'observation de la structure urbanistique des villages »⁸ - l'observateur qui collecte les données visuelles a pour tâche de traduire les sensations colorées de manière littérale -, il est légitime de s'interroger sur l'objectivité et la pertinence de ce diagnostic qui, *de visu*, a conduit à ces descriptions en ce qui concerne les tonalités de couleur pour les ensembles bâties relatifs aux huit régions agro-géographiques en Wallonie. Maïza présente une constatation similaire, lorsqu'il aborde le Plan d'Occupation des Sols de la Ville de Paris :

« *Harmonie, rythme, aspect satisfaisant, intégration, etc.*, sont seuls les termes sur lesquels peuvent s'appuyer les concepteurs pour projeter une texture⁹. L'espace de liberté est, à l'opposé de celui des règles sur les volumes, très étendu. » (Maïza, 1999) : p.40.

Dans ce sens, pour appuyer davantage notre argumentaire, nous pouvons illustrer l'aspect approximatif de la législation, en exposant la situation quelque peu terre à terre mais très récurrente dans laquelle une administration publique doit, sur base d'une réglementation qui prescrit la teinte des revêtements de façade sous forme littérale¹⁰, valider la couleur du matériau qu'un auteur de projet lui soumet sous la forme d'un échantillon. Le dispositif législatif peut générer en corollaire des problèmes liés aux multiples interprétations possibles du règlement¹¹, étant donné les

dique/codt/charleroi_20170131/4_2_CoDT_Guides_Ludivine_Nowe.pdf], consulté le 11/04/2018.

⁸ Information issue du site de la DGO4 - Service public de Wallonie. [En ligne] et disponible sur [http://spw.wallonie.be/dgo4/site_amenagement/index.php/site/directions/dua/r/gbsr], consulté le 20/12/2016.

⁹ L'auteur définit la texture comme le contenu d'un masque, terme emprunté de l'informatique graphique, pour identifier les objets selon la géométrie de leur volume (le contour ou l'enveloppe, à savoir le contenant) et selon la texture (le contenu qui compose l'intérieur du masque). La couleur, dans cette définition spécifique, fait partie de la texture. Nous verrons plus tard que Ching en donnera une définition d'un point de vue phénoménologique beaucoup plus traditionnelle.

¹⁰ Il s'agit du moyen de description de la couleur adopté dans la majorité des outils de planification dans l'aménagement du territoire en Wallonie à l'échelle communale (schéma de structure communal, règlement communal d'urbanisme, plan communal d'aménagement, prescriptions dans le cadre d'un plan de lotissement,...).

¹¹ Les problèmes liés à la désignation de la couleur sur base de critères qualitatifs a récemment fait la une de l'actualité dans le paysage de l'architecture wallonne. Lauréat d'un concours public en 2006, le bureau d'architecture Matador est désigné pour la construction d'un immeuble à appartements à Mons. Le règlement communal d'urbanisme permettait de faire usage d'un parement en brique pour la façade dans une « teinte variant du rose au brun » ; dans ce sens, les architectes ont

nombreux paramètres qui viennent de toute évidence perturber la désignation objective de la teinte et compliquent l'établissement d'un consensus : les différentes sources lumineuses sous lesquelles l'échantillon est observé (éclairage naturel extérieur ou éclairage artificiel intérieur faisant varier le rendu des couleurs), l'importance de l'environnement c'est-à-dire l'intégration du matériau dans sa structure d'appareillage (une maçonnerie composée d'une brique et du joint de mortier par exemple) qui génère une perception différente de la couleur du matériau si celui-ci était isolé, l'effet de la distance d'observation sur la perception du matériau, la subjectivité propre à chaque observateur dans l'évaluation de la teinte, etc. Ce constat issu de la pratique professionnelle a constitué l'amorce de notre réflexion.

Dans un autre volet, nous pouvons nous interroger sur la place de la couleur dans le milieu de la recherche scientifique. Celle dédiée à la morphologie urbaine se focalise sur l'étude et la description de la forme des éléments constituant le tissu urbain, éléments que le français A. Lévy (1999) inventorie comme étant le parcellaire, le viaire, le bâti et l'espace libre (ou ouvert). M.R.G. Conzen, père de la morphologie urbaine anglo-saxonne, considère deux éléments supplémentaires : la composante relative au site qui combine la topographie, l'hydrographie et la végétation, et l'usage du sol, qui ne constitue pas un élément physique à proprement parler (Conzen, 1960). La description physique de ces éléments constitutifs, de leurs interrelations et de leurs configurations, qui constitue l'essence de l'étude consacrée à la « forme urbaine », s'opère à des échelles d'analyse variées (Lévy, 2005) ; on peut ainsi noter l'existence d'une approche de la forme urbaine comme « forme des tracés » urbains se focalisant sur la forme géométrique du plan général de la ville, et d'une autre approche comme « forme des tissus » urbains dédiée spécifiquement aux composantes

opté pour une brique de couleur brun foncé : « Dès le démarrage du chantier, les choix de matières et de couleurs se font sur base d'échantillons grandeur nature, mis en œuvre provisoirement afin d'en évaluer les pertinences sous les effets de la lumière, de la pluie, dans les relations au contexte des autres matières déjà existantes etc... Ce choix se fait toujours en collaboration avec les acteurs compétents. Il est acté définitivement dans un PV de chantier. Et donc mis en œuvre. »

(source : [en ligne] et disponible sur [<https://www.wejustice.com/causes/pour-le-respect-des-architectes-et-du-quartier-caserne-a-mons>], consulté le 30/01/2017). En mars 2013, le chantier est suspendu par le Fonctionnaire Délégué de l'administration de l'urbanisme de la Province de Hainaut 1. Ce dernier met en cause la brique et sa couleur, qu'il estime de teinte noire et donc non réglementaire, en dépit de deux analyses colorimétriques d'instituts scientifiques et des prescriptions techniques du fabricant. S'en est suivi une procédure judiciaire entre l'auteur de projet et le Fonctionnaire Délégué qui a abouti à différents accords (dont celui de peindre en blanc une partie du bâtiment pour l'éclaircir et apposer des bandeaux décoratifs, actes contre lesquels l'auteur de projet s'est opposé). Le jugement du procès pour la reconnaissance des droits d'auteurs et contre les décisions administratives arbitraires a été rendu le 19 janvier 2017 : le juge a fait droit à l'un des nombreux arguments de procédure invoqués par le Fonctionnaire Délégué. Face à cette décision que l'auteur de projet a jugé contestable, celui-ci est allé en appel.

constitutives et à leurs interactions¹². Plusieurs études se sont attelées à décrire la forme urbaine par le biais de méthodes visant l'objectivation dans sa caractérisation physique, notamment à l'aide d'indices numériques. Des auteurs ont dans ce sens défini des indicateurs de mesure spécifiques pour décrire des variables liées à la forme, indicateurs englobés dans les vocables génériques *spatial metrics* et *landscape metrics*. On peut ainsi citer, de manière tout à fait non exhaustive, l'indice d'intelligibilité, défini dans la méthode *Space Syntax* de Bill Hillier comme étant le degré de corrélation et de connexion entre les espaces bâtis (Hillier et al., 1983), l'indice d'ouverture de ciel pour caractériser les espaces urbains ouverts (Teller, 2003), l'indice de complexité qui décrit l'irrégularité du contour d'un tissu urbain (Longley and Mesev, 2000), la variable *grid axiality* qui quantifie le degré d'orthogonalité d'une trame urbaine (Asami et al., 2001), ou encore l'indice de porosité qui mesure le ratio d'espaces ouverts dans un périmètre urbain donné (Huang et al., 2007).

Ces recherches dans la caractérisation morphologique ont en outre permis de mettre en évidence trois aspects fondamentaux. En premier lieu, une opposition entre deux formes urbaines qui diffèrent à la fois dans l'apparence et la disposition des éléments constitutifs de leurs tissus : la « ville compacte », configuration propre aux villes historiques de la vieille Europe, et la « ville étalée », caractéristique de la plupart des villes nord-américaines (Dieleman and Wegener, 2004, Frenkel and Ashkenazi, 2008). La divergence de ces deux modèles est renforcée par des attributs formels antinomiques largement relatés dans la littérature scientifique (Bruyns, 2005, Salingaros, 2000, Schwarz, 2010) : compact *vs* diffus, dense *vs* peu dense, homogène *vs* hétérogène, structuré *vs* fragmenté, continu *vs* discontinu, cohérent *vs* complexe, intelligible *vs* nébuleux, etc. Pierre Merlin et Françoise Choay relèvent un constat similaire concernant ces deux configurations :

« [...] si certaines villes se présentent avec une configuration simple (les cités anciennes circonscrites dans leurs murailles, certains bourgs et villages, etc.), la ville industrielle moderne géante devient "infinie parce qu'indéfinie". [...] La forme de la ville est toujours la forme d'une époque de la ville : elle se présente à la fois avec une épaisseur historique, résultat de son évolution sur place, et avec une étendue géographique, conséquence de son expansion dans l'espace, juxtaposant ainsi des fragments urbains hétérogènes donnant lieu, aujourd'hui, à des ensembles hétéroclites sur le plan formel, dont la

¹² L'approche à grande échelle qui étudie la géométrie du plan de la ville n'est pas neuve ; elle constituait déjà l'objet des travaux de Lavedan, qui a cherché à catégoriser les tracés des villes (1926, 1941, 1952) ; dans la description macroscopique, on citera également les travaux de Pinon (1994) qui a mis en évidence le lien entre la composition urbaine et le site. L'approche à échelle plus réduite selon la forme des tissus urbains peut être illustrée par les recherches menées par Panerai and Langé (2001), ou encore par celles développées chez les figures de l'« Ecole italienne », notamment Aymonino (1977) qui a mis en évidence le rapport dialectique (et non causal) entre typologie des édifices et forme urbaine.

morphologie est difficilement saisissable et lisible. » (Merlin and Choay, 2000) : p.379.

Deuxièmement, malgré l'intérêt croissant pour les nouvelles formes urbaines (Mangin, 2004), on a pu constater une focalisation de la recherche scientifique tournée vers une approche morphologique essentiellement historiciste, qui étudie la forme de la ville historique, « avec une préoccupation souvent patrimoniale, conservatrice, normative » [(Lévy, 2005) : p.26]. Enfin, en parallèle à l'étude de la forme urbaine qui endosse un caractère statique, dans le sens où la démarche analytique se réfère à un point précis dans le temps, face à l'expansion rapide des villes et sur base de l'urgence actuelle à comprendre l'évolution spatiale de ce développement afin de mettre en œuvre des modèles prédictifs accompagnés d'instruments d'aide à la décision (Jiao, 2015), nous constatons que la recherche se tourne également vers le phénomène dynamique de la croissance urbaine.

Sur base des aspects développés ci-dessus, si nous revenons à ce qui focalise notre travail, à savoir la « couleur urbaine » - vocable que nous emploierons par analogie avec la « forme urbaine » -, nous remarquons que d'un point de vue épistémologique, dans le milieu de la recherche, un nombre réduit d'auteurs ont porté un intérêt au rôle de la couleur comme attribut physique de l'environnement urbain. Des chercheurs ont investigué le phénomène de la couleur dans l'environnement de la ville par une focalisation sur la polychromie singulière qu'elle peut adopter dans les nouvelles constructions (Petit, 2015) et dans les courants architecturaux de l'histoire en étudiant en outre la portée symbolique (Noury, 2004, 2008), mais leurs recherches portent essentiellement sur une catégorie de palettes de couleurs, celles contrastant et en rupture avec le contexte et qui mettent en jeu des dispositifs visuels originaux (effets de couleurs saturées, effets lumineux, effets signalétiques marquants, etc.). Ces travaux n'abordent que partiellement le « fait coloré », c'est-à-dire la propriété chromatique générale que possèdent tous les objets urbains. D'autre part, le développement des méthodes de caractérisation numérique de la couleur - méthodes qui rendent possible la comparaison objective des résultats générés -, est très loin d'atteindre, en termes d'abondance par le nombre de publications scientifiques, le niveau propre à celui dans le domaine de la forme urbaine. Pour preuve, en témoigne ainsi l'absence d'articles dans les revues spécialisées sur la morphologie urbaine abordant la modélisation et la description basées sur des approches paramétriques, telles que *Landscape and Urban Planning*, *Environment and Planning*, ou encore *Urban Morphology*.

Les travaux dans le domaine de la couleur considérée de manière élargie bénéficient d'une diffusion par l'intermédiaire des deux vecteurs principaux de valorisation de la recherche : la revue *Color Research and Application*¹³ et les actes des congrès organisés par l'Association

¹³ Color Research and Application est un périodique scientifique bimensuel publié par l'éditeur Wiley ; les sujets traités abordent la recherche sur la couleur et sur ses applications dans les domaines de la science, de la technologie, de l'art, de la

Internationale de la Couleur (AIC)¹⁴ (Caivano, 2005, 2006). Ces deux médias scientifiques font état de quelques rares publications s'intéressant à la couleur urbaine et présentant des méthodes de caractérisation chromatique inspirées pour la plupart des travaux de Jean-Philippe Lenclos qui développa, dans les années 60, le concept de « Géographie de la Couleur » que nous aborderons par la suite. Ces méthodes font ainsi appel de manière quasi-exclusive à des palettes chromatiques pour synthétiser les résultats du diagnostic territorial¹⁵ ; la caractérisation relève de ce fait d'une approche qualitative et non quantitative. Nous pouvons citer, comme principaux auteurs, Sibiliano (2011), Gou and Wang (2008, 2010), De Mattiello and Rabuini (2010), Fridell Anter and Billger (2010) et Boeri (2011).

Quelques très rares travaux présentent des méthodes axées sur une métrique dans la description de la couleur des bâtiments qui facilite en outre la comparaison des résultats générés ; nous citerons ainsi les études menées par Garcia-Codoner à Valence dans lesquelles la caractérisation chromatique est générée par des données spectrophotométriques (Garcia-Codoner et al., 2009), ou encore les tentatives d'Avila à Cordoba (Argentine), qui s'est attelée à mesurer la teinte d'éléments colorés d'une scène urbaine (Avila et al., 2004, 2005). Nous pouvons mentionner également les observations tirées des travaux de modélisation de Tosca (1990, 1994, 1997) ; bien que les études menées par cette dernière ne se situent pas purement dans un cadre de diagnostic, l'auteur met en avant la possibilité d'une quantification des intentions et préférences, en termes d'environnement coloré, de la population des cités ouvrières du nord de la Grèce. Enfin, malgré le fait que ses travaux remontent à une trentaine d'années, il est important de citer Giovanni Brino (1986, 1987), figure

conception, de l'éducation et de l'industrie. La revue est soutenue par plusieurs institutions de renom dans le domaine de la couleur : l'Inter-Society Color Council, le Color Group de Grande-Bretagne, la Color Science Association du Japon, la Dutch Color Foundation, la Swedish Color Center Foundation, la Colour Society of Australia, le Centre Français de La Couleur, le Comite Espanol del Color, le Groupe Argentino del Color et la German Society of Color Science and Application.

¹⁴ L'Association Internationale de la Couleur (AIC) a été fondée en 1967 à Washington DC lors de la 16^{ème} session de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Ses objectifs sont fondés sur la promotion des connaissances dans les domaines de la couleur (les sciences, l'art, le design et l'industrie) et sur la diffusion des recherches et de leurs applications à une échelle internationale. L'AIC organise tous les quatre ans des congrès généraux au cours desquels des travaux de recherche originaux sont présentés dans toutes les disciplines. Des *midterm meetings* et des *interim meetings*, événements intermédiaires, ont lieu entre les congrès généraux et sont consacrés à des thématiques plus spécifiques. Toutes les présentations sont détaillées dans les actes de l'AIC ([en ligne] et disponibles sur [<http://www.aic-color.org/congr.htm>]).

¹⁵ Ces palettes sont dressées dans des objectifs de restauration, de conservation et de valorisation patrimoniale du bâti. La vocation des palettes de couleurs, dans la perspective de poser un diagnostic urbain, est similaire à celle relative aux outils développés dans le cadre de la régulation urbaine par les pouvoirs publics, telle que nous l'avons vu plus haut.

marquante dans le domaine de la conservation du patrimoine en Italie, dont les recherches ont porté sur le développement d'une méthodologie rationnelle dans la collecte et le traitement des données chromatiques, synthétisées dans des bases de données informatisées (aspect fortement innovant à l'époque) : la voie numérique et l'usage d'outils statistiques ont permis de déterminer des palettes de couleurs dominantes notamment pour la ville de Turin.

On remarquera également que,似ilairement à la forme urbaine, les nouvelles structures hétérogènes et diffuses de la ville sont peu explorées en ce qui concerne l'analyse de la couleur. La raison majeure réside dans le fait que l'objectif principal des campagnes de collectes d'échantillons se concentre sur la mise en évidence des teintes pérennes, en d'autres termes sur l'établissement de palettes qui constituent la spécificité locale d'un territoire, afin de constituer sa carte d'identité chromatique par la valorisation de ses couleurs « permanentes » (Lenclos et al., 1982). Cet objectif écarte d'emblée les tissus plus récents qui affichent des palettes très hétérogènes, afin de se focaliser sur les couches primitives de la ville. Une autre raison se situe dans l'adaptabilité des méthodes les plus répandues de relevé de la couleur (prélèvement de matériaux ou procédure de comparaison via des chartes de référence) appliquées aux fragments urbains historiques dans le but de mettre en lumière leurs couleurs permanentes ; cet exercice demeure moins évident pour les nouvelles configurations urbaines :

« [...] La méthode s'avère plus complexe à appliquer dans les nouveaux quartiers ou faubourgs en reconversion, puisque ces environnements présentent souvent, soit de grandes zones vacantes à urbaniser, soit des quartiers hétérogènes avec des ensembles de formes, d'époques, de programmes, de couleurs et d'identités disparates à partir desquels il est difficile de prendre référence. » (Petit, 2015) : p.134.

En conclusion, le contexte actuel dans le domaine de la caractérisation chromatique, intégré dans le champ de la morphologie urbaine, se traduit par un constat paradoxal : malgré le fait que la couleur soit reconnue comme un élément essentiel dans le paysage et qu'il soit nécessaire de préserver la spécificité patrimoniale d'un territoire par la mise en œuvre d'instruments de gestion de la couleur, ce qui se traduit par la volonté des autorités publiques de se doter de chartes chromatiques de référence ou d'*Urban Color Plans*, force est de constater que les pouvoirs publics par le biais de la législation intègrent des outils peu pertinents et objectifs en ce qui concerne la description des référents chromatiques. Anne Petit établit ce type de constat marqué par l'absence d'outils de régulation spécifiques à la couleur dans les nouveaux quartiers, au niveau de la législation française (Petit, 2005). Au niveau du grand public, Aiping Gou remarque (sur base d'interviews de la population chinoise qu'elle a menées et qui traitent des préférences dans le choix des couleurs pour les bâtiments) que les habitants se sentent davantage concernés lorsqu'il s'agit de problèmes liés à l'espace (taille, ambiance, intimité, ...) par rapport à ceux relatifs à la couleur (Gou,

2011). Ce manque d'intérêt apparaît également au niveau de la recherche dans le champ de la morphologie urbaine à l'intérieur de laquelle la problématique de la couleur est peu débattue en général. En effet, alors que la morphologie devrait renvoyer le plus souvent à un ensemble très large de caractères décrivant l'aspect général d'un objet (Maïza, 1999), nous avons vu que l'essentiel de cette discipline se focalise sur la forme et le contour des éléments constitutifs de la ville. Au sein même du milieu spécifique de la recherche dans le domaine de la couleur, les méthodes se basant sur une métrique sont rares, l'essentiel se portant sur des caractérisations non quantifiées via des palettes chromatiques, et donc subjectives dans le sens où elles sont basées sur des interprétations de l'observateur. Le contexte lacunaire actuel génère par conséquent une absence de consensus à la fois démocratique et scientifique en ce qui concerne la gestion de cette composante de l'environnement urbain.

2. La « couleur urbaine » comme objet de recherche par l'établissement d'une métrique

Sur base du constat qui vient d'être exposé mettant en avant les limites et les insuffisances tant dans le domaine des pratiques urbanistiques que de la recherche en morphologie urbaine qui fait apparaître la souveraineté de la forme, l'objet de la thèse, dans le contexte développé ci-dessus, est d'aborder la problématique de la couleur urbaine sous l'angle d'une expertise basée sur une approche la plus objective.

Deux leviers d'action sont mobilisés dans le cadre de la thèse. Tout d'abord, la modélisation de l'attribut chromatique d'un fragment urbain par l'élaboration d'une instrumentation à la fois simple et accessible, destinée tant aux autorités publiques qu'aux professionnels de l'aménagement. Notre démarche visera à caractériser la couleur par l'approche quantitative – précisément par l'usage de valeurs colorimétriques – qui permettra de générer des indicateurs afin de rendre plus explicites l'évaluation et la comparaison des résultats. Ensuite, notre étude portera sur la mise en évidence de distributions chromatiques spécifiques dans la ville : à l'examen des résultats générés par l'application de la méthode développée, ceux-ci montreront que la couleur, au même titre que la forme, constitue une composante qui structure le substrat physique de la ville et qu'il existe des dispositifs spécifiques à chaque zone urbaine. Ce rôle de structuration a par ailleurs été mis en évidence chez Garcia-Codoner et al. qui ont établi que la ville est polychrome, que la couleur unique n'existe pas à l'échelle de l'entité urbaine et que cette dernière, bien que complexe au niveau chromatique, est dotée d'une logique structurale en ce qui concerne la distribution des palettes de couleurs (Garcia-Codoner et al., 2009). C'est dans cette perspective de mise en évidence d'une structure que notre étude permettra *in fine*, d'établir, dans la tradition de l'urbanisme, une typologie dans laquelle chaque « type chromatique » relatif à un contexte urbain donné constitue une structure morphologique stable. La thèse examinera donc autant les milieux urbains historiques que les structures hétérogènes et moins cohérentes de la ville contemporaine qui n'ont bénéficié, nous l'avons vu, que d'un attrait restreint dans le domaine de la recherche. La métrique que nous développerons permettra en outre de mesurer du point de vue de la couleur, la cohérence spatiale d'un fragment urbain pour les zones historiques et les zones issues des nouveaux développements urbains et périurbains (entrées de ville, aires commerciales, lotissements périurbains, ...).

Aussi, de manière sous-jacente, la recherche, à travers son champ expérimental établissant une méthodologie et une terminologie spécifiques, permettra de définir concrètement un cadre scientifique spécifiant des paramètres définis de manière précise et des intervalles de variation typiques pour décrire et interpréter la distribution de la composante chromatique. La définition de cette base théorique de référence pour aborder la problématique de la couleur urbaine a pour vocation de faciliter

le consensus entre les professionnels et les autorités publiques d'une part, et entre chercheurs, d'autre part. Nous considérons en effet que le fait de comprendre et de discuter le plus objectivement la couleur urbaine en toute clarté, par l'usage de termes et de notions définis sans ambiguïté¹⁶, est porteur d'un dessein d'intérêt collectif, dans le sens où la couleur contribue de manière légitime à la qualité du cadre environnemental par la gestion, le maintien et la valorisation des spécificités paysagères urbaines, tels que définis dans les objectifs visés par la Convention Européenne du Paysage.

Tout au long de notre démarche qui s'intègre dans un cadre de diagnostic territorial, nous n'avons pas envisagé, pour l'heure, la mise en place d'une régulation morphologique à vocation d'orientation ou à vocation législative, même s'il pourrait s'agir d'une application possible de la méthode. Aussi, nous nous focaliserons sur la description morphologique concrète des tissus urbains et d'aucune manière, nous ne tenterons de déterminer les causes sociales, culturelles et économiques qui ont engendré les configurations observées. Dans ce sens, notre approche est phénoménologique, pour reprendre le terme développé par Merleau-Ponty pour qui la phénoménologie a pour objectif de « décrire, et non pas d'expliquer ni d'analyser » [(1971) : p.11]. Bien que cette démarche purement descriptive sans autres considérations peut paraître incomplète pour saisir pleinement les dimensions de la couleur dans le contexte urbain, elle en demeure à tout le moins légitime par une focalisation sur le stimulus coloré, sur la couleur « *as found* » ; l'originalité du travail réside indubitablement dans cette manière d'aborder la question de recherche et trouve un écho, une analogie avec Merleau-Ponty à nouveau, lorsqu'il cherche à « revenir de cette perception façonnée par la culture à la perception brute ou sauvage » [(1964) : p.265].

En conclusion, notre travail a pour vocation d'intégrer la couleur dans le débat sur la morphologie de la ville. Pour construire notre développement, nous nous appuierons au préalable sur deux hypothèses de départ : l'autonomie de la couleur urbaine et l'objectivabilité de celle-ci.

¹⁶ Nous verrons par la suite que de nombreuses confusions et approximations se manifestent dans le langage propre à la couleur dans les milieux professionnels et scientifiques.

2.1. Hypothèses dans le cadre de la recherche

2.1.1. L'autonomie de la couleur urbaine

Le *Dictionnaire des Termes de la Couleur* définit la couleur comme « un des caractères de la perception visuelle, qui complète ceux liés à la forme et aux effets de surface des objets » [(Sève et al., 2007) : p.17].

La morphologie d'un élément constitutif de l'environnement urbain se décompose en deux composantes, la « forme » et le « matériau ». Ce dernier est en outre constitué par deux sous-composantes : sa « couleur » et sa « texture »¹⁷ (Figure 1-4), propriétés physiques liées à la matière¹⁸. Pour affirmer l'autonomie de la couleur urbaine, nous pouvons utiliser un raisonnement appliquant une logique de transitivité.

Dans un premier temps, comme constat axiomatique, nous considérons que la forme et la couleur présentent un statut équivalent comme propriétés physiques d'un objet. En urbanisme, cette équivalence a été soulevée notamment chez Collette dans l'esquisse qu'il fournit pour l'établissement d'un cahier des charges type intégrant des variables de planification ; il définit dans les prescriptions relatives à l'aspect des bâtiments les propriétés suivantes : la volumétrie générale, la volumétrie secondaire, les ouvertures, les matériaux et les couleurs (Collette, 1983). Dans son enseignement en architecture, Ching spécifie les propriétés physiques suivantes qu'il considère de manière égale pour décrire un élément architecturé : la forme (*shape*), le gabarit (*size*), la couleur (*colour*) et la texture (*texture*) (Ching, 1996). Ceci converge avec le constat de Lenclos qui considère que plusieurs composantes interviennent dans la lecture des sites : « La forme, la volumétrie, les matériaux et leurs couleurs, conjugués à l'implantation urbanistique des édifices, dispersés ou groupés. » (Lenclos, 1990) : p.137. Von Meiss ajoute, lorsqu'il définit les phénomènes perceptifs intrinsèques aux objets architecturés : « L'identité de

¹⁷ Francis D.K. Ching définit la texture comme étant « *the visual and especially tactile quality given to a surface by the size, shape, arrangement, and proportions of the parts* » [(Ching, 1996) : p.34]. « *Texture also determines the degree to which the surfaces of a form reflect or absorb incident light* » (Ibidem). Cette définition se réfère essentiellement à une impression tactile. Les qualificatifs littéraux utilisés par les fabricants de matériaux pour décrire la texture d'une matière sont nombreux : lisse, rugueux, soyeux, strié, stratifié, bosselé, effrité, marbré, veiné, moucheté, spéculaire, brillant, scintillant, mat, homogène, hétérogène, régulier, irrégulier, ... L'aspect de surface a une forte influence sur l'apparence visuelle : ainsi, pour les métaux polis, lorsque l'état de surface est brillant, il reste très peu de la perception de la couleur. Malgré le fait que nous ne nous focaliserons pas sur la texture, nous verrons plus tard que cet aspect de surface sera pris en considération dans notre approche de caractérisation.

¹⁸ Nous préciserons que cette affirmation, bien que communément acceptée car validée par le phénomène de constance des couleurs et par l'observation quotidienne, est erronée d'un point de vue technique et scientifique : la couleur n'est pas à proprement parler une propriété intrinsèque à un objet car elle varie avec l'environnement, l'adaptation, l'éclairage et disparaît dans certaines conditions (sous un niveau d'éclairement bas).

la figure peut venir du contour, mais tout aussi d'informations associatives qu'on perçoit dans sa surface ou dans son volume. » (Von Meiss, 2012) : p.22-23.

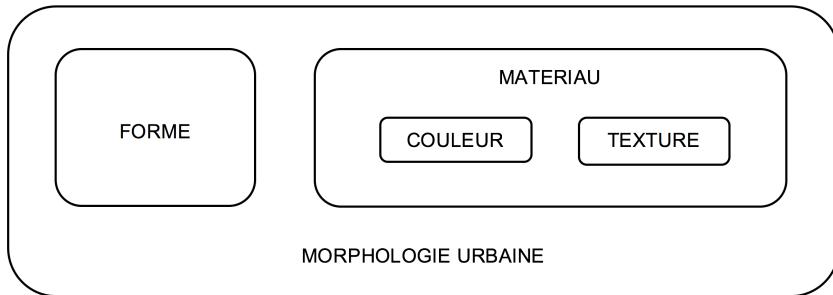


Figure 1-4. La morphologie d'un élément constitutif du tissu urbain se décompose en deux composantes, la « forme » et le « matériau ». Ce dernier est constitué de deux sous-composantes : la « couleur » et la « texture ».

Comme deuxième énoncé de notre démonstration, nous nous basons sur la reconnaissance de l'autonomie de la forme urbaine, validée par plusieurs chercheurs. Aldo Rossi, tout d'abord, qui reconnaît d'une part l'existence d'une architecture de la ville et d'autre part l'idée que la forme urbaine constitue une structure autonome par rapport à la fonction (Rossi, 2001). Hillier et al. (1983), ensuite, voient dans la forme urbaine un champ de savoir autonome et considèrent que l'objectif central de l'analyse urbaine doit se focaliser sur la forme physique et spatiale de la ville et non sur les causes socio-économiques qui ont contribué à sa production. Enfin, Teller (2001), en se basant sur les déclarations de Whitehand qui considère la forme urbaine comme une forme tridimensionnelle observée à une échelle intermédiaire entre celle du bâtiment et celle du quartier, perçoit également un certain degré d'autonomie dans la forme urbaine, « ce qui en fait un objet d'analyse scientifique légitime » [(Teller, 2001) : p.18].

Dès lors, étant donné que la couleur s'établit sur un pied d'égalité avec la forme, elle devrait en toute logique bénéficier également de sa propre autonomie, étant donné que la légitimité de la forme comme objet de recherche est reconnue.

Par ailleurs, comme nous l'avons détaillé dans la première partie de l'introduction générale, le rôle fondamental de la couleur dans le flux d'informations issu des stimulus provenant de l'environnement physique, ainsi que l'existence d'un corpus théorique – bien que lacunaire – qui lui est dédié dans le domaine de l'urbanisme, renforcent assurément notre considération.

Pour l'architecte théoricien Paolo Portoghesi, « *there is no doubt that the "colour" of a city is a historical phenomenon* » [(Portoghesi, 1980) : p.20]. Brino, dans ses travaux sur la ville historique de Turin – travaux dont la portée se

situe à la fois dans une dimension descriptive mais également opérationnelle –, se focalisa sur la composante « couleur » dont il étudia les variations grâce à l'outil informatique et démontre de manière rationnelle sa capacité d'organisation. « Giovanni Brino montre l'importance de l'analyse et de la restitution des couleurs de la ville italienne, en tant que composante fondamentale de la signification urbaine. » (Lamizet and Sanson, 1998) : p.97. En conclusion, tout ce qui précède fournit à la couleur urbaine toute la légitimité, selon nous, pour lui conférer un statut d'objet de recherche spécifique et autonome.

2.1.2. *L'objectivabilité de l'attribut chromatique*

Cette seconde hypothèse traduit le fait que l'attribut chromatique d'un objet est une propriété qui peut être mesurée, objectivée dans le cadre d'une caractérisation.

Nous définissons la « caractérisation chromatique » comme étant une tâche visuelle permettant de :

- désigner une couleur (fonction de spécification) ;
- comparer des couleurs entre elles (fonction de catégorisation).

Dans ce cadre, il est primordial de faire la distinction entre deux notions qui, dans le langage, sont souvent désignées par le même terme « couleur », ce qui crée souvent une confusion : le stimulus de couleur et la sensation de couleur¹⁹. Le stimulus coloré constitue le rayonnement électromagnétique qui se propage dans un milieu physique et qui donne naissance à la sensation de couleur, après avoir été capté par l'œil et interprété par le cerveau (Figure 1-5).

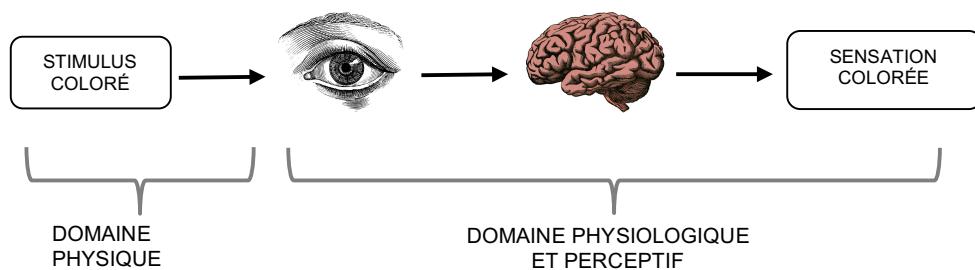


Figure 1-5. Du stimulus coloré à la sensation colorée, du domaine physique (objectif) au domaine physiologique et perceptif (subjectif).

¹⁹ La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), dans sa définition de la couleur, fait bien la distinction entre « sensation » et « stimulus » en rajoutant les adjectifs de couleur « perçue » - qui est le caractère de la perception visuelle qui peut être décrit par des attributs de teinte, de luminosité (ou de clarté) et de niveau de coloration (ou de saturation ou chroma) -, et de couleur « psychophysique » - considérée comme étant la spécification d'un stimulus visuel par des valeurs définies, telles que les trois composantes trichromatiques (Sève et al., 2007).

La sensation de couleur reste donc une impression subjective alors que le stimulus de couleur appartient au domaine objectif. C'est dans ce sens que la colorimétrie²⁰ s'attache à définir, à classer et à mesurer les stimulus colorés et non les sensations. Elle demeure de ce fait d'un usage tout approprié dans le cadre d'une caractérisation qui se veut la plus objective.

Le processus d'objectivation qui sous-tend notre travail constitue un fondement essentiel de ce dernier. Nous souhaitons en effet écarter de notre démarche toute attitude basée sur des impressions personnelles dans l'appréciation et « qui consiste à admettre que la gestion de la morphologie urbaine relève du seul jugement esthétique, et que celui-ci est en effet subjectif » [(Teller, 2001) : p.19]. Dans l'évaluation chromatique d'un fragment urbain, notre approche bannit, dans ce sens, tout jugement en ce qui concerne la notion d'harmonie²¹ dont le mécanisme d'appréciation varie selon nous d'un individu à l'autre, par un point de vue esthétique singulier.

Un jugement esthétique est lié à un jugement de goût qui par nature demeure subjectif. Il est de bon ton de reprendre l'expression de la langue française « Des goûts et des couleurs, on ne discute pas », maxime qui traduit le fait que chaque individu possède un droit légitime à afficher et revendiquer ses propres goûts et opinions et qu'il existe des sujets pour lesquels on ne peut trouver de consensus. Cette acceptation prend pour base qu'il n'existe pas deux personnes semblables, chacun ayant des caractéristiques physiologiques, une expérience vécue et des conceptions qui lui sont propres. Le jugement esthétique s'éloigne de l'objectivité²² et conduit de ce fait à une impasse en termes d'adhésion collective vis-à-vis

²⁰ En science des couleurs, la colorimétrie est considérée comme l'ensemble des connaissances et pratiques scientifiques et techniques qui se focalisent sur l'évaluation des stimulus colorés et qui se sont développées à la suite des résolutions adoptées dans le cadre de la CIE à partir de 1931. « La colorimétrie étudie les équivalences visuelles qui résultent des propriétés trichromes de l'appareil visuel d'une part et des mélanges additifs de lumières d'autre part, conduisant à une mesure relative des stimulus visuels et à un repérage des couleurs. Cette affirmation peut aussi être une définition de ce qu'on appelle plutôt la colorimétrie de base. La colorimétrie avancée s'en distingue par l'intérêt qu'elle porte à la perception des différences de couleur et à l'apparence chromatique. » (Sève et al., 2007) : p.16. Nous développerons davantage ce domaine dans le prochain chapitre.

²¹ De nombreux chercheurs ont tenté d'expliquer le fonctionnement de l'impression d'harmonie. Récemment, Zena O'Connor (2010) dans ses travaux, a dressé un état des théories relatives à l'harmonie et propose une définition conceptuelle basée sur les différences culturelles, perceptives, contextuelles et temporelles. Elle note en outre une absence de consensus scientifique sur cette notion dans la littérature.

²² L'objectivité, comme l'affirment Daston and Galison, « implique la suppression d'un aspect du moi, et s'oppose à la subjectivité » [(Daston and Galison, 2012) : p.48]. Dans cette perspective, le postulat d'objectivité constituerait une condition nécessaire dans le cadre d'un consensus dans lequel il est possible « d'arriver à établir des accords forts entre individus différents *a posteriori* » [(Feldman, 2002) : p.85]. Pour Henri Atlan, philosophe et biologiste, ce postulat d'objectivité implique « que des phénomènes soient observés par des méthodes dites objectives, c'est-à-dire, en gros, reproductibles et indépendantes, non pas de l'existence d'observateurs, mais de la subjectivité des observateurs » [(Atlan, 1979) : p.273].

d'une question soulevée (dans notre cas, désigner la couleur d'un objet urbain).

Cette vision des choses possède une dimension d'autant plus manifeste dans le domaine de la couleur où la subjectivité est associée à plusieurs éléments :

- au plan physiologique, l'existence de processus biologiques liés à l'appareil visuel ;
- au plan perceptif, qui met en jeu des éléments cognitifs liés à un apprentissage social et culturel, une élaboration qui s'exprime par un langage spécifique²³.

Nous avons ainsi vu que la plupart des instruments de régulation de la couleur urbaine pouvaient générer de multiples interprétations. Ce constat est assez logique étant donné que ces-dits instruments (pour rappel les nuanciers de couleur et les descriptions littérales) impliquent une intervention humaine qui peut être considérée comme un filtre se décomposant en un appareil visuel physiologique couplé avec ce qu'Augoyard appelle la « boîte noire humaine » (1998), et qui crée en quelque sorte une altération, spécifique à chaque individu, des stimulus visuels issus du monde physique dans le cadre de la reconnaissance de l'attribut chromatique.

Le recours à la colorimétrie permet à la caractérisation chromatique de s'établir comme une tâche objectivable. En d'autres termes, l'approche colorimétrique permet de mesurer, d'évaluer²⁴ sans ambiguïté la couleur ou plutôt, comme nous avons insisté sur ce point, le « stimulus coloré », en évoluant dans le domaine physique, sans intervenir dans le domaine physiologique et perceptif (Figure 1-5). « Ce n'est pas la mesure de la couleur, qui est une sensation, mais plutôt la mesure de paramètres

²³ Embrechts parle d'une « image conditionnée par ce que l'on pourrait appeler l'histoire visuelle de chaque être humain » qui influence notre perception [(Embrechts, 1988) : p.1]. Nous confrontons les informations visuelles avec des situations que nous avons rencontrées et intériorisées. Dans l'enseignement de l'architecture, pour illustrer le fait que la perception n'est pas neutre, l'épisode suivant dans la vie de Le Corbusier est souvent relaté : « Le Corbusier, voyageant en Belgique, fut émerveillé par de puissantes pyramides à l'échelle territoriale. Lorsqu'il s'aperçut qu'en réalité il s'agissait de terrils, déchets de mines, son enthousiasme s'effondra "... d'un coup je mesure le gouffre qui peut s'ouvrir entre l'aspect d'une chose et la qualité de l'esprit qu'elle suscite..." » (Le Corbusier, 1965, cité par Von Meiss, 2012).

²⁴ Nous considérons la « mesure » comme une « évaluation » de type quantitative. Teller ajoute une nuance entre ces deux termes, en y associant la notion d'objectivité : « Par mesure, il faut entendre la différence entre deux états ou entre un état et une situation de référence. Ce qui est recherché à ce niveau, c'est l'objectivité, même si l'on sait que l'objectivité parfaite n'existe pas. Il n'en va pas de même de l'évaluation, dont le rôle est de déterminer le caractère significatif de l'écart mesuré, en fonction de la fiabilité même de la mesure, de l'amplitude de l'écart observé, de la représentativité de la référence utilisée, etc. Cette opération implique nécessairement tout un jeu de valeurs – personnelles, sociales, culturelles – et deux personnes pourront bien être en désaccord sur le caractère significatif d'une même mesure. » (Teller, 2001) : p.233.

physiques permettant de repérer un stimulus coloré dans un système référencié, en correspondance avec la sensation de couleur. » (Embrechts, 1995) : p.2.1.

L'objectivabilité, c'est-à-dire la possibilité de traduire l'attribut chromatique en une valeur quantifiée permet de juger une instrumentation en ce qui concerne ses qualités métrologiques²⁵, en vue de répondre au contexte d'application visé (à savoir, dans notre cas, l'évaluation la plus objective de l'attribut chromatique²⁶ d'un objet urbain). C'est dans ce cadre que des procédures de validation²⁷ mettant à l'épreuve les performances du dispositif (afin de prouver que ce dernier répond à un usage spécifié) peuvent être mises en œuvre.

Aussi, nous considérons que l'objectivité absolue ne peut être atteinte²⁸ ; notre méthode s'est construite sur une succession de choix d'ordre expérimental et comporte des limitations et approximations, comme nous le verrons plus loin. Il reste que c'est la recherche d'objectivation²⁹ qui sera au cœur de l'élaboration de notre méthode dans le choix des outils permettant l'évaluation de la couleur. C'est sur cette base que nous tâcherons de développer une métrique de la couleur urbaine qui répond, de la même manière que Teller le mentionne dans le cadre du développement d'instruments informatiques pour spécifier l'espace ouvert, « à des critères d'objectivité et de rigueur, et en tant que telle, susceptible de servir de base à un discours raisonné et critique » [(Teller, 2001) : p.233].

²⁵ Le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) définit, dans le cadre du Vocabulaire International de Métrologie, les caractéristiques métrologiques des appareils de mesure. Les principales caractéristiques sont l'étendue de mesure, la résolution, la sensibilité, l'exactitude, la justesse et la fidélité (JCGM, 2012).

²⁶ En termes métrologiques, l'attribut chromatique constitue la mesurande, la grandeur que l'on cherche à mesurer. Précisément, il s'agit de la lumière réfléchie par l'enveloppe d'un objet, qui produit son apparence colorée.

²⁷ Nous mettrons en œuvre des procédures de validation en ce qui concerne la fidélité des mesures, telles que la répétabilité et la reproductibilité, dans le cadre du développement de notre protocole de caractérisation chromatique au chapitre 3.

²⁸ En effet, une instrumentation parfaite n'existe pas : « Tout système de mesure est inéluctablement attaché d'erreurs : le système de mesure n'est jamais parfait puisqu'il est en général plus ou moins sensible à l'environnement (température, pression, humidité ...). » (Taillade, 2005) : p.16. En outre, il demeure assez difficile d'écartier radicalement l'intervention humaine qui peut être la source d'erreurs systématiques ou aléatoires.

²⁹ Dans notre étude, le terme d'« objectivation », que nous définissons comme le processus qui tente de rendre une démarche la plus objective possible, est préférable à celui d'« objectivité »-même.

3. Structure de la thèse

La thèse repose sur un double constat : d'une part, le manque d'instrument répondant à des critères de niveau élevé dans l'objectivation permettant l'acquisition et le traitement de données dans la gestion de la couleur urbaine. D'autre part, le caractère prépondérant de la forme sur la couleur, la première bénéficiant d'une focalisation et d'avancées plus significatives dans le milieu de la recherche en morphologie urbaine. Partant de là, l'objectif du travail vise prioritairement à établir une instrumentation permettant la caractérisation quantitative de l'attribut chromatique relatif à un fragment de tissu urbain (une rue, un lotissement ou une place). L'originalité de cet outil résidera dans son accessibilité et dans la clarté de son fonctionnement par le biais de l'établissement méthodique d'un protocole. L'objectif sous-jacent est ensuite de créer une base conceptuelle tangible et cohérente au sujet de la couleur urbaine en vue de son expertise, afin qu'elle soit traitée dans un même niveau d'égalité que la forme.

Dans cette perspective, l'application de l'instrument sur plusieurs fragments à l'échelle d'une agglomération urbaine permettra de fournir une réponse, à partir de résultats quantitatifs et statistiques, aux questions suivantes : comment la couleur s'organise-t-elle ? Comment structure-t-elle le tissu urbain au même titre que la forme ? Comment s'établit-elle comme un indicateur d'homogénéité et de cohérence spatiale ?

Nous établirons dans un premier temps un état de l'art dans le **Chapitre 2 : inventaire des outils existants dans l'évaluation de la couleur**. Nous analyserons les méthodes les plus courantes pour évaluer et caractériser la couleur, méthodes qui se répartissent en trois catégories principales : les palettes visuelles synthétiques, les appareils colorimétriques et les descriptions verbales. Nous mettrons en évidence les faiblesses et les limites de ces méthodes.

Le **Chapitre 3 : implémentation d'un protocole de caractérisation chromatique – application et validations** exposera les différentes étapes dans la construction d'une instrumentation permettant de générer des résultats numériques fournissant des valeurs afin de comprendre la distribution de l'attribut chromatique, ici quantifié, pour un fragment urbain. Il s'agit d'une méthode expérimentale ; elle sera testée sur le territoire liégeois sur base d'une population composée de près de deux mille façades réparties en dix-huit échantillons (rues, places, lotissements, aires commerciales, entrées de ville, ...) appartenant à quatre catégories principales d'aires urbaines : le centre historique, les lotissements résidentiels périurbains, les cités ouvrières et les zones commerciales. Le protocole sera soumis à une série de validations (reproductibilité, répétabilité, et comparaison des résultats avec ceux issus d'un colorimètre) afin de juger de sa robustesse et son degré d'exactitude.

Sur base des résultats générés qui mettront en évidence des distributions spécifiques pour les quatre catégories d'aires urbaines, dans le **Chapitre 4 : développement d'une typologie paramétrique et évaluation de la cohérence spatiale**, nous produirons des types chromatiques, dans la tradition de la typologie de la forme urbaine. Etant donné que le stimulus coloré peut être représenté dans un espace tridimensionnel à l'aide de composantes colorimétriques, nous utiliserons un algorithme de partitionnement de type *K-means* pour grouper l'ensemble des façades relevées selon quatre *clusters*, qui sont assimilables à des types. Sur base de la répartition des types pour chaque fragment urbain, nous étudierons la cohérence spatiale et nous mesurerons cette dernière à l'aide de l'indicateur d'« entropie de Shannon ». Notre étude mettra en évidence les différences entre les zones historiques (centre historique, quartiers du 19^{ème} siècle) et les nouvelles configurations urbaines (entrées de ville, aires commerciales et lotissements périurbains résidentiels).

Nous conclurons le travail avec le **Chapitre 5 : conclusions et perspectives de développement** dans lequel nous ferons la synthèse critique des résultats obtenus tout au long de la recherche. Nous exposerons également les perspectives de développement ultérieur et nous présenterons brièvement *Urba Khroma* (actuellement en version beta), une application software "end-user" qui dispose d'une interface graphique générant les résultats du protocole de caractérisation chromatique développé et établissant l'analyse typologique.

Chapitre 2

Inventaire des outils existants dans l'évaluation de la couleur

« Il aimait le moment où la nature devient un artiste inspiré,... osant des ciels vert pomme, orange, braise, risquant toutes les teintes de son nuancier en l'espace d'une demi-heure. » (Extrait de *La part de l'autre*, Schmitt, 2001) : p.227.



Figure 2-1. La polychromie de la pierre. Recueil des échantillons et contretype de couleurs de la pierre utilisée dans le bâti ancien de La Madrassa Sidi Boulbaba.
© (Azzouz, 2013)

1. Introduction

En termes de gestion urbaine de la couleur, nous pouvons classer distinctement deux catégories d'approches : d'une part, une approche axée sur la régulation dans un cadre de projet urbain et basée sur des stratégies de type « *color planning* »³⁰, que nous nommerons « méthode de planification » ; d'autre part, une approche purement descriptive qui se focalise sur le diagnostic territorial et que nous appellerons « méthode de caractérisation (ou d'évaluation) ».

Notre recherche s'inscrit dans la catégorie des méthodes de caractérisation. Dès lors, le présent chapitre abordera exclusivement ces méthodes et nous n'évoquerons que très sommairement les stratégies de régulation et de planification chromatique. Nous verrons en outre que les méthodes de planification de la couleur partagent des thématiques similaires aux méthodes de caractérisation en ce qui concerne les outils mis en œuvre (palettes visuelles, simulations graphiques et prescriptions écrites). Dans certains cas, la caractérisation chromatique formulée pour un territoire prend la valeur d'un instrument d'orientation dans le cadre d'une stratégie de préservation afin de réguler l'évolution du paysage urbain ciblé par le diagnostic et d'intégrer de nouvelles constructions au niveau contextuel³¹.

C'est dans les années 70 que les travaux sur la caractérisation chromatique se développent, notamment avec l'apparition d'une nouvelle profession dans le milieu de l'architecture et de l'urbanisme : l'expert et le consultant spécialisé sur les questions de la couleur dans l'aménagement du territoire, communément appelé « coloriste-paysagiste »³².

« La couleur urbaine (et avec elle les matériaux locaux, le patrimoine construit, la culture locale, les habitudes visuelles, le sentiment d'appartenance à une localité, etc.) apparaît alors comme porteuse et

³⁰ Le concept de *color planning* a été mis en avant dans les travaux de la chercheuse chinoise Aiping Gou (2011). Outil stratégique au niveau de la conception, le *color planning* a pour objectif principal d'améliorer la qualité du cadre de vie en rendant l'environnement plus lisible, plus attrayant et visuellement continu à l'aide de la couleur exploitée comme facteur de cohérence.

³¹ Aiping Gou (2011) utilise l'expression « *from color to color* » pour désigner cette méthode de planification qui consiste à se baser sur la couleur historique existante pour concevoir l'*urban color plan*, c'est-à-dire la nouvelle couleur. Cette approche a été critiquée par la chercheuse Christina Boeri : « *History cannot possibly be the sole criterion to draw inspiration from in order to find answers to the design needs of this complex chromatic system.* » (Boeri, 2010) : p.460.

³² La tâche du « coloriste-paysagiste » se situe autant dans l'établissement d'un diagnostic territorial que dans la mise en œuvre d'outils de planification et d'aide à la décision pour les aspects chromatiques. Les approches sont variées d'un coloriste à l'autre, ce qui renforcerait davantage le caractère subjectif lié aux méthodes d'approche chromatique : « chaque coloriste fait appel à différentes méthodes de travail qui relèvent à la fois d'approches instrumentales, d'approches sensibles et d'approches exploratoires, en plus de recourir à leur propre expérience. » (Petit, 2015) : p.183.

garante de la cohérence territoriale. Les coloristes ont alors la mission de relever et d'établir la carte identitaire chromatique de chaque territoire. » (Petit, 2015) : p.27.

Durant cette période, les professionnels ont sensibilisé les autorités publiques afin de mettre la couleur dans les préoccupations, dans une perspective de préservation « d'une qualité d'ensemble qui se fait de plus en plus rare » [(Lenclos et al., 1982) : p.62]. Tout cela trouve bien entendu un écho avec la doctrine postmoderniste qui est venue en réaction avec les abus du mouvement moderne et en particulier avec les principes des CIAM³³ menaçant l'identité et l'unité formelle urbaine par la transformation complète de la ville traditionnelle. Le critique en architecture Charles Jencks, qui a établi les bases théoriques du postmodernisme, émet deux critiques fondamentales adressées au modernisme : le manque de capacité à communiquer par l'emploi d'un langage non verbal et surtout l'absence de mémoire, de références au contexte (Jencks, 1977). Dès lors, une prise de conscience à l'égard du patrimoine commence à se développer : valorisation et lecture de la ville historique - notamment par les travaux de l'Ecole Italienne (Muratori, Caniggia, Aymonino et Rossi) -, politique de protection et de préservation des centres urbains historiques, ainsi que des identités locales.

« *The postmodern reaction of the 1970s and 1980s brought about a host of architects concerned with the references to history and to the environment, and color in architecture also acquired a new meaning under these orientations.* » (Caivano, 2006) : p.357.

C'est également à cette période que deux figures marquantes vont se mettre en avant et atteindre un large public en exposant et publant leurs travaux basés sur la caractérisation de la couleur³⁴. Tout d'abord, Jean-Philippe Lenclos, considéré comme le pionnier des études chromatiques en France, qui à partir de 1965 a mis au point sa méthode d'analyse baptisée « Géographie de la Couleur », méthode qui a été appliquée à des villes françaises, européennes et à l'échelle internationale (Lenclos et al., 1982, 1995, 1999) ; cette méthode s'est constituée comme une référence majeure immanquable dans les travaux, mêmes les plus récents. Ensuite, Giovanni Brino, professeur à la *Politecnico di Torino*, qui établit une banque de données des couleurs de façades pour la ville de Turin et qui, à l'aide d'outils numériques, détermina les couleurs dominantes, ce qui a permis de réaliser une charte chromatique pour la ville.

³³ Congrès Internationaux d'Architecture Moderne. Le premier CIAM a eu lieu en 1928 à La Sarraz en Suisse et fut constitué par 28 architectes européens sous l'égide de Le Corbusier et de Sigfried Giedion. Sa vocation est de promouvoir une architecture et un urbanisme fonctionnels, marquant une rupture réelle dans l'histoire de ces deux disciplines.

³⁴ Les recherches menées par ces deux figures seront détaillées dans notre étude sur les nuanciers et palettes de couleurs.

Dans le domaine de la caractérisation, deux approches se démarquent : les nuanciers de couleur et les méthodes basées sur des appareils de mesure spectrale. José Luis Caivano met en évidence ces deux tendances dans le domaine de l'architecture et de l'urbanisme :

« The use of spectrophotometric techniques for color measurement and of standardized samples from color order systems of classification and specification purposes appears today as a necessity in studies of colors, color plans, and projects of rehabilitation or restoration buildings and urban districts, offering the possibility of constituting accurate color-data banks. »

(Caivano, 2006) : p.360.

A la lecture de cette citation, nous voyons que Caivano, en désignant ces deux familles de méthodes, fait bien la distinction entre les deux desseins relatifs d'une part à la « classification - spécification » et d'autre part, au « projet » dans le cadre de réhabilitation et de restauration des constructions à petite et grande échelle. Il voit également l'intérêt de ces deux procédés d'évaluation pour la mise en œuvre d'une base de données relative à la couleur. L'établissement de cette dernière permet de passer à l'étape du traitement des informations qui ont été relevées, étape qui fait partie intégrante des méthodes de caractérisation. Dans la perspective de la valorisation des relevés, l'analyse des données collectées permet de synthétiser, de rendre compréhensibles et de fournir de nouvelles connaissances par l'interprétation des résultats générés. En outre, lorsque les données collectées sont assimilables à des valeurs numériques, il devient pertinent de faire appel aux outils statistiques dans l'interprétation des observations notamment lorsque l'effectif total de la population à étudier est élevé.

Nous rappelons également que la différence fondamentale entre ces deux méthodes majeures dans la caractérisation se situe dans l'objet d'analyse. Avec les nuanciers de couleur, on navigue dans le domaine subjectif, et c'est la sensation de couleur qui est évaluée, repérée et classée en faisant appel à l'analyse visuelle directe. Les mesures spectrales ont quant à elles recours à la colorimétrie qui se base sur un système objectif de repérage des couleurs ; ce dernier ne repose pas sur l'analyse visuelle des couleurs (sensations) mais sur « l'analyse directe, physique, des radiations, des stimulus de couleur » (Embrechts, 1995). En outre, les nuanciers de couleur font référence à des systèmes de classement ordonnés (Munsell ou NCS par exemple) et des collections de couleurs sous forme d'atlas (Pantone, RAL, etc.), tandis que les mesures spectrales font intervenir des grandeurs numériques repérées dans des espaces chromatiques normalisés par le CIE (espaces RGB, XYZ, CIELAB, etc.).

Il existe d'autres méthodes d'évaluation de la couleur. Outre les nuanciers de couleurs et les appareils de mesure colorimétrique, nous aborderons également les méthodes et outils existants suivants :

- Les descriptions verbales, qui accompagnent la plupart du temps les palettes et les valeurs numériques ;

- Les méthodes de caractérisations complémentaires, souvent couplées aux trois méthodes principales : nous décrirons en fin de chapitre le prélèvement *in situ*, la photographie et le dessin à main levée et numérique.

En complément à la description de ces méthodes de caractérisation, nous fournirons des exemples d'expériences concrètes faisant usage de ces outils en guise d'illustrations. Nous mettrons également en évidence les limites et faiblesses de ces méthodes dans la pratique afin de proposer, dans le chapitre suivant, notre propre instrumentation comme alternative originale et cohérente.

2. Les nuanciers et palettes de couleurs

Les nuanciers restent les outils les plus répandus dans le cadre de l'évaluation de la couleur, et ce en dehors même du domaine de l'architecture et de l'urbanisme ; on les retrouve ainsi communément dans les secteurs suivants : l'agro-alimentaire, les matériaux, les peintures, le textile, l'automobile, le domaine médical et les cosmétiques. Dans ce sens, l'anthropologue spécialiste de la couleur, Anne Varichon, décrit un usage pléthorique du nuancier de couleurs, banalisé et perdant même de sa valeur fonctionnelle³⁵.

Les premiers nuanciers apparaissent chez les teinturiers déjà à partir du 18^{ème} siècle. Quelques corps de métier « commencent à manipuler les propriétés qualitatives (et non plus seulement quantitatives) d'exemplification et le terme "échantillon" apparaît dans les traités de teinture » [(Varichon, 2013) : p.72]. C'est à la fin du 19^{ème}, lors de la révolution industrielle, que le nuancier connaît un essor grâce aux progrès de la chimie des couleurs. Le secteur du textile fait ainsi usage de nuanciers pour présenter les nombreuses possibilités en termes de gammes de couleurs (certaines teintes étant inédites à l'époque), pour un produit destiné à la vente (Figure 2-2).



Figure 2-2. Nuances adoptées par la Chambre syndicale des rubans et soieries de St-Etienne, saison hiver 1904. © (Varichon, 2013) : p.73.

Ces nuanciers se répandent dans le milieu de l'industrie de la peinture par le biais de l'impression en couleur qui a vu une grande amélioration dans les procédés de reproduction en quadrichromie (Figure 2-3). Dans ces nuanciers, les échantillons sont disposés régulièrement en lignes et en colonnes, ce qui permet une vision synoptique afin de pouvoir comparer aisément les coloris. Ces échantillons prennent très souvent la forme d'un recueil compact de cartes colorées s'ouvrant en éventail (Figure 2-4). C'est

³⁵ Anne Varichon constate, dans la société postindustrielle, que le nuancier s'écarte de son rôle de retranscription des nuances colorées, « abdique peu à peu ses propriétés d'exemplification de la couleur », « est convoqué pour illustrer idées et concepts et, au cœur des interactions sociales, multiplie les signifiés, s'inscrit dans des rites » [(Varichon, 2013) : p.69].

sur base de ces nuanciers publiés par des industriels de la peinture que les coloristes Lenclos and Lenclos³⁶, à partir du milieu des années 60, ont pu prélever par étalonnage la couleur de matériaux de façade, afin de composer les palettes et tableaux de synthèse (voir section 2.3 du présent chapitre).



Figure 2-3. Nuancier de couleurs édité en 1971 par la firme Dupont comme peintures de finition pour les automobiles du groupe Chrysler³⁷. © Dupont



Figure 2-4. Nuancier « Sikkens-5051 » du fabricant néerlandais Akzo Nobel, reprenant 2079 teintes organisés en trois grandes familles³⁸. © Akzo Nobel

2.1. Précisions terminologiques

Dans un souci de clarté, il nous semble primordial de faire la distinction entre « collection », « système ordonné », « atlas », « nuancier » et « charte » de couleurs. En effet, une confusion récurrente entre ces différents termes

³⁶ La société IPA Peintures Gauthier est mentionnée en début de l'ouvrage *Les couleurs de la France – Maisons et paysages* (Lenclos and Lenclos, 1990). Zolpan, fabricant de peinture pour le bâtiment, a lancé récemment un nouveau nuancier « Façades Régionales », en collaboration l'Atelier 3D, bureau de consultance fondé par Jean-Philippe Lenclos (source : [en ligne] et disponible sur [<http://www.zolpan.fr/peintures/FACADESREG.htm>], consulté le 30/06/2016).

³⁷ Illustration issue du site Pantherpink (peintures automobiles), [en ligne] et disponible sur [http://www.pantherpink.com/chartsg.htm?load_img=12], consulté le 31/10/2016.

³⁸ Illustration issue du site Sikkens, [en ligne] et disponible sur [<http://www.sikkens.be/fr/5051>], consulté le 17/09/2015.

apparaît très souvent dans la littérature. Le *Dictionnaire des termes de la couleur* (Sève et al., 2007) fournit les définitions suivantes :

- Collection de couleurs :

Ensemble matériel de couleurs sélectionnées, généralement réalisé avec des matières particulières et pour un objectif spécifique³⁹ (Exemples : collections Pantone⁴⁰ et RAL⁴¹).

- Système ordonné de couleurs :

Classification de l'ensemble des couleurs de surface selon une méthode applicable à toute couleur, établie à partir des attributs perceptifs de couleur et du caractère trichrome de la perception. Cette méthode conduit à un arrangement spatial qui est indépendant de sa réalisation matérielle plus ou moins parfaite⁴² (Exemples : systèmes Munsell, OSA, NCS, DIN, etc. qui sont des systèmes ordonnés de couleurs auxquels sont associés des atlas).

- Atlas de couleurs :

Réalisation matérielle d'un ensemble de couleurs sous une forme de feuille ou de plaque, répondant à des critères de choix raisonné et pouvant illustrer un système ordonné de couleurs. Les échantillons colorés sont le plus souvent disposés sur des feuillets, parfois dans un

³⁹ « Le terme de collection est un terme générique qui souvent ne permet pas de connaître la nature exacte de l'ensemble des couleurs réalisé. Bien souvent dans ces collections, la désignation des échantillons correspond plus à leur composition qu'à des critères perceptifs. Cependant, l'immense intérêt d'une collection de couleurs est de voir des objets colorés, de permettre ainsi l'identification et la communication au sujet de la couleur, autrement que par des grandeurs colorimétriques le plus souvent peu parlantes. » (Sève et al., 2007) : p.130.

⁴⁰ La collection Pantone, créée en 1963, est à la base destinée à l'imprimerie : contrairement à l'impression en quadrichromie (où les couleurs sont imprimées une par une), les couleurs Pantone sont générées à partir d'encre mélangées par le pressier avant l'impression. Le principe d'origine repose sur dix couleurs de base et le nuancier Pantone se compose de près de huit cents teintes.

⁴¹ Nous noterons que RAL (*Reichsausschuss für Lieferbedingungen*, traduit par « Comité impérial pour les conditions de livraison ») désigne à la fois une collection de 213 couleurs (*RAL Classic*) et un système ordonné basé sur un code-couleurs de 7 chiffres (*RAL Design*) s'appuyant sur le principe de trois paramètres pour décrire la couleur (teinte, clarté et chroma).

⁴² « La conception et la réalisation des systèmes ordonnés de couleurs nécessitent de nombreuses étapes dont la difficulté explique le coût très élevé des atlas les illustrant : fixer les principes de sélection des couleurs (par exemple, l'équidistance visuelle pour un attribut perceptif, ou la teneur en couleurs élémentaires, en blanc et en noir pour le système NCS), choisir une méthode d'arrangement spatial (par exemple l'arrangement cubo-octaédrique du système OSA), élaborer une méthode de réalisation des échantillons colorés en s'assurant qu'ils satisferont les critères fixés, établir une correspondance avec les systèmes colorimétriques normalisés et apprécier l'exactitude de la réalisation commerciale complète. » (Sève et al., 2007) : p.131.

dispositif permettant de les étaler comme un éventail, mais peuvent également être sous forme de plaquettes indépendantes et amovibles⁴³.

- Nuancier de couleurs :

Ensemble limité de couleurs matérielles disponibles pour un usage spécifique⁴⁴.

- Charte de couleurs :

Ensemble limité de couleurs matérielles lié à un domaine d'usage spécifique des couleurs, destiné à servir de base de désignation ou de choix, voire de référence.

De ces définitions, nous pouvons voir que le *Dictionnaire des termes de la couleur* fait une distinction assez mince entre le nuancier et la charte dont les définitions sont quasi similaires. La définition du nuancier se réfère essentiellement aux recueils et plaquettes fournis par les industriels à des fins commerciales tels que ceux évoluant dans le domaine de la peinture ou des objets manufacturés. Ce dictionnaire ne fait par ailleurs pas mention du terme « palette » de couleurs, également rencontré dans la littérature. Dans le contexte de notre travail, nous adopterons le terme nuancier pour désigner à la fois les deux outils suivants, utilisés à des fins d'évaluation, dans une tâche de comparaison visuelle :

- un atlas regroupant des échantillons de couleurs issus d'un système ordonné, chaque élément portant une nomenclature se référant directement au système (tel l'index *Natural Color System* (NCS), voir Figure 2-5) ;
- une collection de couleurs éditée par un fabricant de peinture dans laquelle un élément est désigné par une dénomination propre au fabricant (tel le nuancier *Zolpachrom 3* édité par le fabricant de peinture Zolpan, voir Figure 2-6).

Le terme palette quant à lui, sera utilisé pour désigner un document de synthèse reprenant des éléments piochés à partir d'un nuancier de couleurs (sur base d'une correspondance visuelle entre le matériau à évaluer et l'échantillon du nuancier le plus adéquat) dont l'objectif est la caractérisation qualitative de la distribution de la couleur pour un périmètre géographique donné (Figure 2-7). La palette peut s'affiner par regroupement, élimination : il s'agit alors d'une palette finale de synthèse.

Nous emploierons enfin le mot charte de couleurs spécifiquement lorsque le dispositif est exploité dans un cadre de régulation urbaine,

⁴³ « Les atlas de couleur doivent être observés en respectant les conditions d'éclairage pour lesquelles ils ont été réalisés. » (Ibidem) : p.133.

⁴⁴ « Le but des nuanciers est de proposer à un utilisateur un choix de couleurs disponibles avec un matériau particulier, peinture par exemple. Le nuancier permet de voir un nombre limité de couleurs, de les désigner et de comparer entre elles des nuances voisines. Dans de nombreux cas les nuanciers sont réalisés par des procédés photomécaniques et donnent des couleurs une représentation seulement approximative, liée à un coût de réalisation modique. » (Ibidem) : p.133.

comme outil d'aménagement⁴⁵ (Figure 2-8) : « Ces documents oscillent entre les différents registres de la “règlementation”, de la “régulation”, de l’“orientation”, de la “sensibilisation”, de la “recommandation” ou encore du “conseil”. » (Petit, 2005) : p.97.



Figure 2-5. Nuancier « NCS INDEX1950 ». Présentés dans un atlas de 216 pages représentant les 1950 couleurs standards NCS, les échantillons colorés sont divisés en 5 groupes: les neutres, les jaunes (G80Y-Y70R), les rouges (Y80R-R70B), les bleus (R80B-B70G) et les verts (B80G-G70Y)⁴⁶. © NCS



Figure 2-6. Nuancier peinture « Zolpachrom 3 » du fabricant Zolpan. Ce nuancier comprend 1180 échantillons répartis en trois grandes familles, numérotées et répertoriées selon un code propre au fabricant⁴⁷. © Zolpan

⁴⁵ Bien que la langue anglaise utilise « *colour chart* » pour désigner un nuancier de couleur tel que nous le définissons, le terme « charte » nous semble adéquat pour désigner un outil permettant de réguler la couleur, étant donné la portée au sens législatif et réglementaire inclue dans la définition première de ce mot.

⁴⁶ Illustration issue du site « Planète Couleur », [en ligne] et disponible sur [<https://www.planeteCouleur.com/ncs-index-1950-original,fr,4,NCS-index-1950-original.cfm>], consulté le 17/09/2015.

⁴⁷ Illustration issue du site de Zolpan, [en ligne] et disponible sur [<http://www.zolpan-intensement-couleurs.fr/fr/index.aspx>], consulté le 02/01/2017.

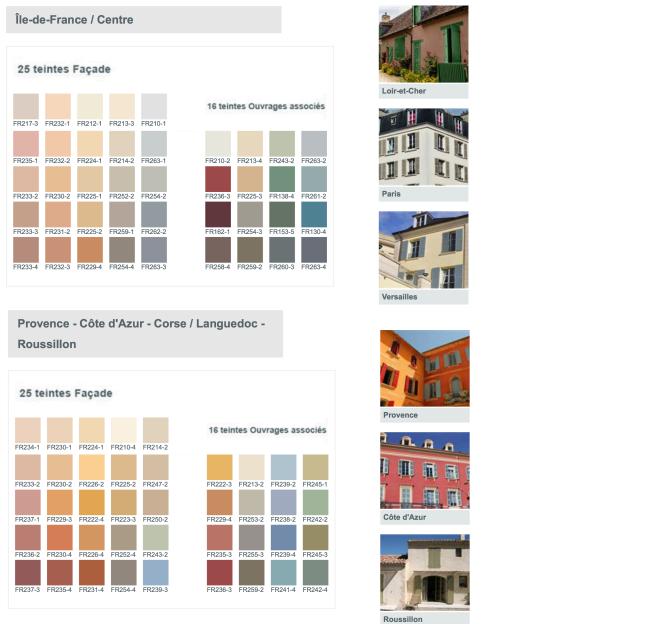


Figure 2-7. Les palettes « Façades Régionales » du fabricant Zolpan (en collaboration avec l'atelier de couleur design Atelier 3D) pour les régions « Île-de-France/Centre » et « Provence – Côte d'Azur – Corse / Languedoc Roussillon conseille des harmonies »⁴⁸. © Zolpan

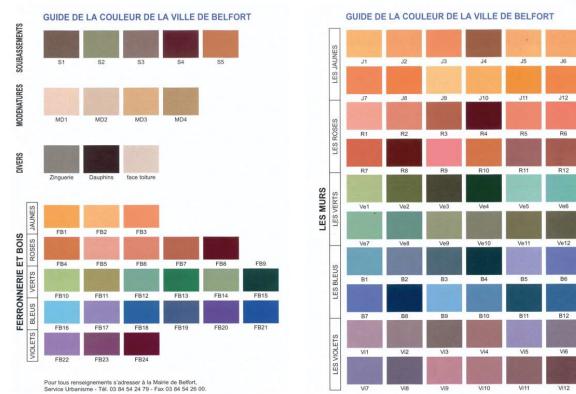


Figure 2-8. Charte chromatique de la ville de Belfort. Cette dernière mène depuis plusieurs années une politique volontariste en matière de recolorisation de ses façades pour lesquelles des subventions sont octroyées dans le cadre de leur ravalement⁴⁹. © Ville de Belfort

⁴⁸ La mise en œuvre est réalisée sur base d'une étude de type « Géographie de la Couleur », chaque palette régionale reprenant 41 couleurs issues du nuancier « Zolpachrom 3 » (voir Figure 2-6). Selon le fabricant, ces palettes s'imprègnent de l'histoire de ces terroirs ; elles n'ont pas été réalisées sur la demande d'une autorité publique, dans une perspective de régulation urbaine. Illustration issue du site de Zolpan, [en ligne] et disponible sur [http://www.zolpanintensementcouleurs.fr/fr/collections/tendances_collections/façades_regionales/nuancier_façades_regionales.aspx], consulté le 02/01/2017.

⁴⁹ Illustration issue du site de la Ville de Belfort, [en ligne] et disponible sur [http://www.ville-belfort.fr/fr_ravalement_de_façade.html], consulté le 02/01/2017.

2.2. La perception des couleurs dans le domaine subjectif

L'évaluation chromatique, par correspondance avec les échantillons ordonnés d'un nuancier de couleurs, implique un processus qui fait appel à la perception visuelle. Chez l'homme, la perception visuelle est un phénomène à trois degrés de liberté. Trois attributs peuvent décrire la sensation de couleur ; Sève et al. (2007) en fournissent les définitions suivantes⁵⁰ :

- *la teinte*⁵¹ : attribut de la perception de couleur évoquant l'une des quatre sensations rouge, jaune, vert ou bleu, ou une combinaison de deux d'entre elles voisines dans le cercle chromatique.
- *la luminosité*⁵² : attribut d'une perception visuelle selon lequel une surface paraît émettre ou réfléchir plus ou moins de lumière.
- *le niveau de coloration*⁵³ : attribut de la perception de couleur permettant de qualifier une coloration plus ou moins intense, en l'estimant dans l'absolu, croissant avec l'intensité de lumière reçue.

C'est à partir d'une telle définition de la couleur perçue selon ces trois axes sensoriels, que les systèmes ordonnés de couleurs dans le cadre d'un classement ou d'un repérage ont été élaborés.

Les premiers systèmes de classement des couleurs apparaissent sous une forme circulaire et c'est le Père Castel qui, en 1735, eut l'idée première d'un cercle chromatique. Il utilisait à cet effet un disque dont le pourtour portait un ruban tissé de fils multicolores. L'idée a été reprise plus tard par Chevreul⁵⁴ (Figure 2-9). Rosenstiehl, puis Beaudeneau perfectionnèrent ce

⁵⁰ Ces définitions en langue française sont similaires à celles fournies en anglais par Wyszecki and Stiles (2000) pour *Hue*, *Brigthness* et *Colourfulness*.

⁵¹ « Teinte » et « tonalité » sont des synonymes ; il ne faut cependant pas les confondre avec le terme « nuance » qui est considéré comme « une faible variation de clarté, de teinte ou de saturation apportée à une couleur » [(Sève et al., 2007) : p.55].

⁵² La luminosité (en angl. *brightness*) est un attribut qui qualifie le niveau absolu de lumière qui provient de tout objet ou de toute surface, tandis que la clarté (en angl. *lightness*) est définie comme une luminosité relative ; la clarté est la luminosité d'une surface jugée relativement à celle d'une surface éclairée identiquement, qui paraît blanche, ou fortement transmissive (CIE, 1987). Wyszecki and Stiles ajoutent : «*Variations in brightness range from “bright” to “dim”* », «*Variations in lightness range from “light” to “dark”*» (2000) : p.487.

⁵³ Les termes « niveau de coloration », « chroma » et « saturation » (respectivement en angl. *colourfulness*, *chroma* et *saturation*) sont souvent confondus ; ils ont cependant été distinctivement définis par le CIE :

- *Colourfulness is the “attribute of a visual perception according to which the perceived colour of an area appears to be more or less chromatic”.*
- *Chroma is the “colourfulness of an area judged as a proportion of the brightness of a similarly illuminated area that appears white or highly transmitting”.*
- *Saturation is the “colourfulness of an area judged in proportion to its brightness”.*

([en ligne] et disponible sur [<http://eilv.cie.co.at/>], consulté le 30/06/2016)

⁵⁴ Goethe dans son *Traité des Couleurs* esquissait également un cercle chromatique afin de fonder une théorie sur la polarité des couleurs et de développer un système à partir du contraste naturel entre le clair et le foncé (Von Goethe, 1995).

cercle en le construisant de telle sorte que l'on trouve, aux deux extrémités d'un diamètre, deux couleurs complémentaires, et aux trois sommets d'un triangle équilatéral inscrit, une triade fondamentale [(Déribéré, 1968) : p.14].

Sur base des trois couleurs primaires (jaune, rouge, bleu), il devient possible d'obtenir toutes les autres. Les couleurs secondaires (orange, violet, vert) sont obtenues par le mélange des couleurs primaires deux à deux, en quantité égale (ex: jaune+rouge=orange). Par ailleurs, deux couleurs complémentaires sont diamétralement opposées sur le cercle ; nous avons ainsi les paires rouge-vert, bleu-orange et jaune-violet. Cette configuration du cercle chromatique fut établie par Johannes Itten, peintre et enseignant au Bauhaus (Figure 2-10).

A partir du cercle chromatique repérant de manière polaire la valeur « teinte », des systèmes de classement sous forme de solides de couleurs ont été construits. Nous détaillons ici deux des systèmes les plus répandus : le système américain créé en 1915 par Munsell et le système suédois NCS - *Natural Color System* (déjà abordé plus haut) mis au point en 1975.



Figure 2-9. Cercle chromatique proposé par Chevreul en 1861, composé de 72 tons⁵⁵.



Figure 2-10. Le cercle chromatique de Johannes Itten (1961), associant le cercle au triangle des primaires. © (Prette and De Giorgis, 2001) : p.126

2.2.1. *Le système Munsell*

Le peintre et professeur d'art Albert H. Munsell a classé visuellement les couleurs dans un réseau cylindrique selon trois paramètres : la clarté (V pour *value*), la teinte (H pour *hue*) et le chroma C (C pour *chroma*). Le système est fondé sur la base d'équidistances visuelles. C'est le système d'identification des couleurs le plus largement reconnu aux États-Unis.

⁵⁵ Illustration issue du site « Optique dans le néo-impressionnisme », [en ligne] et disponible sur [<https://optiquedansleneoimpressionnisme.files.wordpress.com/2013/02/chevreul-cercle.jpg>], consulté le 30/12/2015.

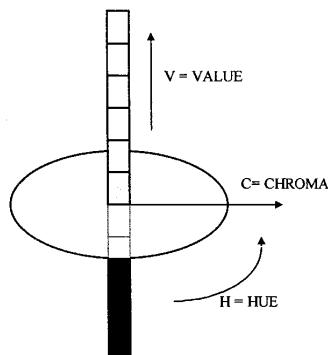


Figure 2-11. Schéma du système Munsell. © (Degeimbre, 1999) : p.14.

La clarté V est représentée par l'axe vertical sur une échelle allant de $V=0$ (noir) à $V=10$ (blanc) (Figure 2-11). Autour de l'axe V, dans un plan horizontal, se trouve le cercle des teintes (paramètre H) désignées par les lettres R (*red*), Y (*yellow*), G (*green*), B (*blue*) et P (*purple*) ainsi que par les doublets RP, YR, etc. (figure 2-12). Sur un rayon du cercle des teintes, c'est-à-dire pour une teinte donnée, la distance radiale C représente le chroma de la couleur. Elle varie de 0 (couleur grise) à 10 (couleur pure) voire plus selon la teinte. Ainsi, la nomenclature 5B 3/6 désigne une couleur dont :

- $H = 5B$, c'est-à-dire une teinte bleue ;
- $V = 3$, c'est-à-dire de clarté faible ;
- $C = 6$, c'est-à-dire de chroma moyen.

On obtient ainsi un arrangement tridimensionnel d'échantillons de couleurs qui forment un « solide de couleurs » (Figures 2-13 et 2-14). La forme irrégulière de ce solide provient du fait que pour une valeur V donnée, certaines teintes atteignent leur chroma maximum plus rapidement que d'autres. Ainsi, les jaunes atteignent leur chroma maximum pour une valeur élevée, tandis que les bleus-pourpres atteignent leur chroma maximum pour une valeur très basse. « En d'autres termes, il est impossible d'obtenir un bleu-pourpre saturé ayant une valeur élevée. »⁵⁶ (Dériberé, 1968) : p.17.

⁵⁶ Wyszecki and Stiles emploient la notion de « gamut » pour définir les limites de la forme du solide Munsell : « *The gamut of the colors in the Munsell constant-hue chart is limited. Mixtures of chromatic pigments with black and white pigments yield a color gamut [...].* » (Wyszecki and Stiles, 2000) : p.507. En synthèse des couleurs (synthèse additive ou synthèse soustractive), le gamut est la partie de l'ensemble des couleurs qu'un matériel donné peut reproduire.

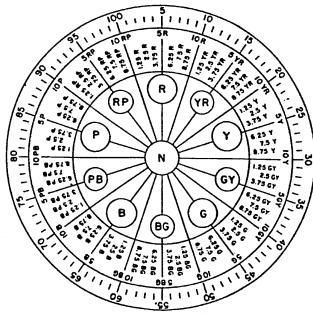


Figure 2-12. Cercle des teintes dans le système Munsell.

© (Degeimbre, 1999) : p.14.

Ce solide est également édité sous forme d'un atlas dont chaque planche correspond à une coupe et se compose d'un tableau d'échantillons de couleurs désignés par la nomenclature propre au système.

Il est important de préciser que le solide de couleurs Munsell se limite à un système de référence et de classification : il n'indique pas la composition spectrale exacte de la couleur. Toutefois, l'intérêt de ce système de numérotation se situe dans sa facilité d'utilisation, étant donné qu'il devient envisageable, avec un minimum de pratique, de se représenter approximativement (et de mémoire) l'aspect d'une couleur d'après ses coordonnées [(Dériberé, 1968) : p.19].

Aussi, il est évident que la recherche visuelle d'une couleur dans ce système doit s'effectuer sous un éclairage déterminé, correspondant à la lumière du jour⁵⁷, puisque ce dernier a une influence sur la couleur des objets et sur les conditions d'adaptation chromatique.

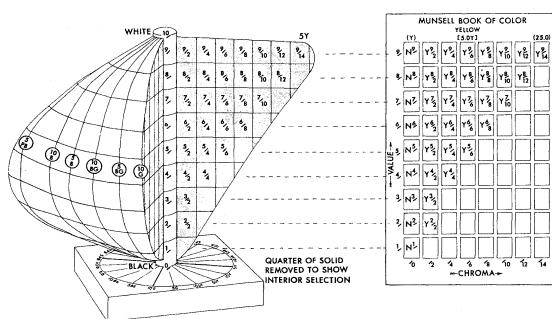


Figure 2-13. Solide de couleurs du système Munsell et planche de

l'Atlas correspondant à la coupe. © (IES, 1984) : p.5-10.

⁵⁷ L'évaluation des échantillons du système Munsell se réalise dans des conditions ordinaires, sous éclairage naturel : « *ordinary viewing conditions (daylight illumination, middle gray to white surroundings).* » (Wyszecki and Stiles, 2000) : p.507.

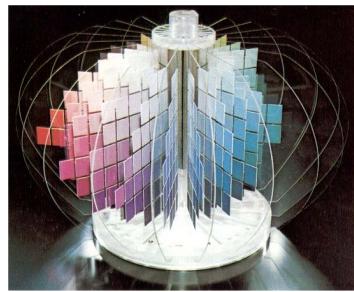


Figure 2-14. Le solide de couleurs Munsell, aussi appelé *Munsell Color Tree*, est constitué de 309 échantillons. © (IES, 1984) : p.5-10.

2.2.2. *Le Natural Color System*

Le *Natural Color System* ou NCS est un système de classification des couleurs conçu par le Scandinavian Colour Institute AB à Stockholm ; largement répandu, il acquiert un statut normatif de référence pour désigner la couleur en Suède (depuis 1979), en Norvège (depuis 1984) et en Espagne (depuis 1994). De nos jours, NCS est certainement le système ordonné de couleurs le plus utilisé dans les domaines de l'architecture et du design (Caivano, 2006).

Le système repose sur l'évaluation de la similitude que possède toute couleur d'une part avec les quatre teintes élémentaires bleu, vert, jaune, rouge et d'autre part avec le blanc et le noir. Le système NCS, tout comme le système Munsell, se compose d'un solide de couleurs, décomposable en coupes horizontales (cercle des teintes réparties selon le jaune Y, le rouge R, le bleu B et le vert G) et en coupes verticales (triangle exprimant la nuance, combinant la teneur en blanc⁵⁸ et la chromie⁵⁹) (Figure 2-15a). Sur base de ce système ordonné, 1950 couleurs sont ainsi référencées en nuanciers sous la forme d'atlas, d'index et de coffrets de cartes (Figure 2-5).

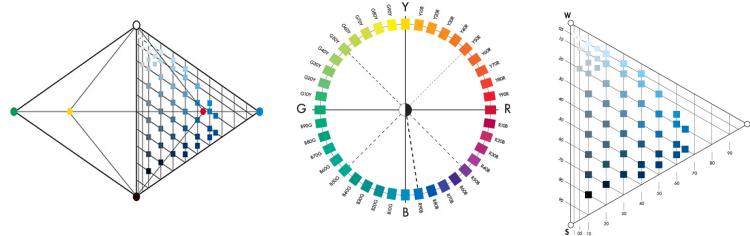


Figure 2-15a. Le système NCS : solide de couleurs, cercle des teintes et triangle exprimant la nuance⁶⁰. © NCS

⁵⁸ La teneur en blanc peut être considérée comme un paramètre de clarté. Dans le solide NCS, ce paramètre évolue le long de l'axe vertical allant du blanc W au noir S.

⁵⁹ La chromie (en angl. *chromaticness*) est un attribut perceptif correspondant au niveau de coloration [(C.I.E., 1987) : définition 845-02-40].

⁶⁰ Illustration issue du site de *Natural Color System*, [en ligne] et disponible sur [<http://ncscolour.com/about-us/how-the-ncs-system-works/>], consulté le 10/10/16.



Figure 2-15b. Exemple de notation du système NCS⁶¹. © NCS

Le système se base également sur une notation spécifique. Ainsi, pour la couleur S 1050-R90B (Figure : 2-15b) :

- la lettre « S » signifie que la couleur fait partie des couleurs standards NCS 1950 ;
- les deux premiers chiffres indiquent la teneur en noir. Dans notre exemple, elle est de 10% ;
- les deux chiffres suivant fournissent la chromie. Dans notre exemple, elle est de 50%⁶² ;
- les derniers chiffres et lettres indiquent la teinte de la couleur. Pour notre couleur, il s'agit d'un rouge (R) avec 90% de bleu (B).

Les nuanciers NCS et Munsell constituent des systèmes de repérage visuel permettant à un observateur de choisir, parmi un ensemble d'échantillons, la couleur semblable à celle d'un matériau donné. Leur particularité réside dans le fait que ces systèmes sont basés sur la couleur en tant que sensation ce qui en résulte que la spécification d'une couleur met en jeu l'analyse visuelle sans aucun autre dispositif ou instrument (Figure 2-16). Nous pouvons déjà en déduire les limites de cette procédure : l'usage de l'œil comme instrument d'évaluation possède tous les inconvénients liés à la subjectivité. Une même couleur qui serait caractérisée par plusieurs observateurs pourrait de ce fait fournir des résultats d'évaluation dispersés (Embrechts, 1995).



Figure 2-16. Recherche de la couleur correspondante du nuancier NCS par évaluation visuelle avec le matériau⁶³. © NCS

⁶¹ Ibidem.

⁶² Notons que lorsque les nombres indiquant la teneur en noir et la chromie sont additionnés et soustraits de 100, le résultat correspond à la teneur en blanc.

⁶³ Illustration issue du site de *Natural Color System*, [en ligne] et disponible sur [<http://ncscolour.com/product/exterior-colour-design/>], consulté le 10/10/16.

2.3. Applications des nuanciers et palettes de couleurs

2.3.1. *Le projet « Farbraum Stadt » à Zurich comme cas introductif*

Pour aborder l'usage des nuanciers et palettes, nous présentons une récente expérience en Suisse très détaillée qui a été pilotée par la Haus der Farbe en coopération avec la municipalité de Zurich et le CRB – NCS Colour Centre Switzerland. Il s'agit d'une étude baptisée « *Farbraum Stadt* » (Couleur-Espace-Ville) initiée en 2005 par le département de l'urbanisme de la ville de Zurich et s'étalant sur cinq ans ; l'objectif principal de cette recherche est de fournir des bases théoriques et pratiques dans le domaine de la couleur urbaine, d'améliorer les compétences des différents acteurs évoluant dans le domaine de l'aménagement (les autorités publiques, les auteurs de projet, les consultants, les industriels, le milieu de la construction, les promoteurs, mais aussi les propriétaires). Les résultats, au terme de la campagne de collecte, sont traduits sous forme de palettes chromatiques de synthèse réparties sur le territoire municipal. L'étude menée par la Haus der Farbe ne porte pas de dessein lié à une vocation réglementaire ; elle repose avant tout sur l'établissement d'un outil d'aide à la décision. Les palettes visuelles de synthèse finales, objets de la caractérisation, ne sont pas transposées en outil de planification ; elles intègrent un objectif qui se focalise prioritairement dans la conscientisation et la sensibilisation relatives aux problématiques liées à la couleur.

« In contrast to similar organisations, the body based at the Haus der Farbe (« House of colour »), an independant colour design centre in Zurich, does not seek to regulate the use of colour in the form of the usual colour guidelines, but is instead committed to raising wider social awareness and improving professional skills. » (Sibiliano and Wettstein, 2014) : p.61.

Dans un premier temps, une campagne de récolte de données très complète mais assez longue est mise en œuvre : collecte d'échantillons d'enduits de façade et de matériaux, photographies, vidéos, descriptions écrites et enquêtes auprès des habitants. Il s'agit de caractériser les couleurs principales et secondaires (*main colours* et *secondary colours*⁶⁴) des façades d'une population composée de 41.000 bâtiments sur l'ensemble du territoire municipal, répartis en 34 quartiers. Des informations complémentaires pour chaque façade sont également relevées (type de protection solaire, forme de la toiture, nombre de niveaux de l'immeuble, etc.) ; ces informations, couplées à celles relevées pour la couleur, sont intégrées dans la base de données du SIG de la Ville de Zurich, ce qui permet de les relier avec d'autres indications telles que l'année de construction, l'année de rénovation, l'affectation et le gabarit (Sibiliano and Wettstein, 2014).

⁶⁴ « *The main colour describes the predominant colour of a façade* », « *the secondary colour describes a second colour used to distinguish parts of the façade.* » (Sibiliano, 2011) : p.74 et 75.

Les auteurs fournissent peu d'information sur le protocole d'évaluation de la couleur en ce qui concerne la comparaison du matériau de façade *in situ* (ou du fragment d'enduit prélevé et observé en bureau) avec les nuanciers : distance de l'évaluation visuelle, conditions d'éclairage naturel ou artificiel, désignation précise des nuanciers utilisés⁶⁵, etc. Il reste qu'au départ des données collectées, une palette composée de 115 couleurs (palette de base) a pu être dressée. Cette palette se subdivise ensuite en douze catégories de tonalités (sous-palettes) : jaune, orange, rouge, rose/violet, bleu, vert, vert terne, ocre, beige, brun, gris et blanc. Ici, à nouveau, les auteurs fournissent peu d'information sur le processus de regroupement et de catégorisation, processus qui implique une réduction du nombre initial de couleurs répertoriées, afin de générer à la fois la palette de base et les sous-palettes.

Les résultats sont graphiquement synthétisés dans un coffret édité et largement diffusé (*Farbraum Stadt : Box ZRH*) comprenant :

- une carte du territoire municipal qui reprend les 41.000 constructions pour lesquelles la couleur de la façade a été relevée ; sur la carte, chaque construction est frappée d'un point coloré selon la catégorie de couleurs et dont la dimension est proportionnelle à la taille (Figure 2-17) ;
- des palettes reprenant les vignettes des couleurs de base (à savoir celles relatives à 66% de la population étudiée) réparties en deux groupes, l'un pour la couleur principale (Figure 2-18), l'autre pour la couleur secondaire. Pour la palette de la couleur principale, l'étude met en évidence les 21 couleurs les plus employées avec des proportions pour l'ensemble de la population de 35% pour les beiges, 23% pour les blancs, 12% pour les teintes saturées et 10% pour les gris [(Sibiliano and Wettstein, 2014) : p.64] ;
- une palette spécifique, sous forme de planches au format A4, relative à des bâtiments iconiques dans l'emploi de la couleur (Figure 2-19) ;
- une palette spécifique, sous forme d'éventail de couleurs répertoriées NCS, reprenant 100 couleurs architecturales typiques pour les bâtiments construits de 1900 à 2010, réparties en périodes (Figure 2-20).

⁶⁵ L'étude utilise le système ordonné de couleurs NCS. Aucune autre information n'a été fournie quant à l'exclusivité de ce nuancier.



Figure 2-17. Carte du territoire municipal reprenant les 41.000 constructions pour lesquelles la couleur de la façade a été relevée⁶⁶. © Haus der Farbe

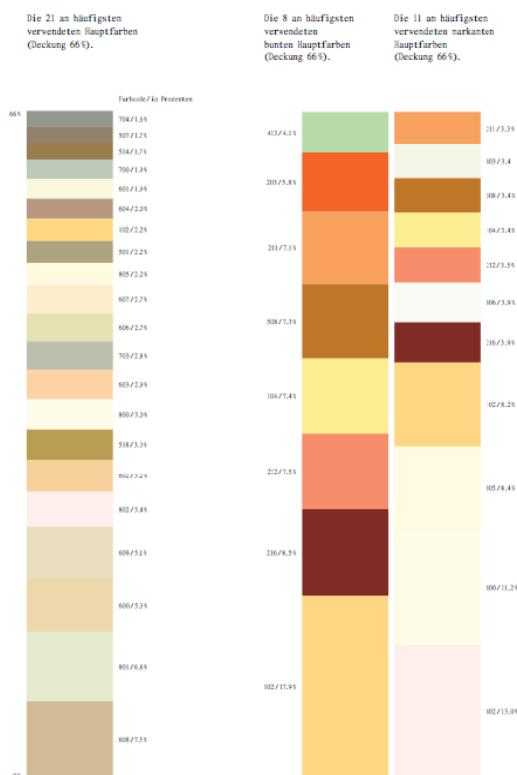


Figure 2-18. Palette pour la couleur principale. Les vignettes de la colonne de gauche reprennent les 21 couleurs de base les plus utilisées, celles de la colonne du milieu sont les 8 couleurs saturées les plus utilisées et celles de la colonne de gauche les 11 couleurs éclatantes les plus utilisées. © (Sibiliano, 2011) : p.74

⁶⁶ Illustration issue du site de Barbieri Bucher (art design), [en ligne] et disponible sur [www.barbieribucher.ch/325373/], consulté le 10/10/16.

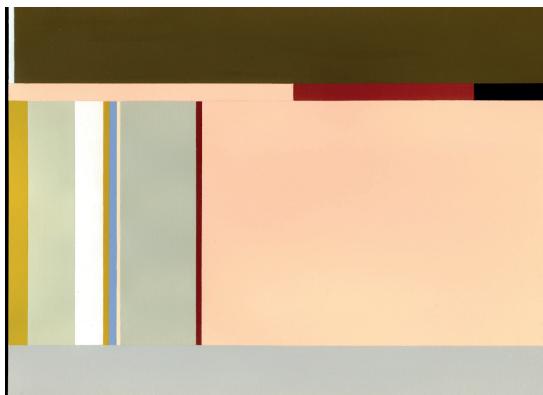


Figure 2-19. Palette spécifique sous forme de planche au format A4, relative à un bâtiment iconique dans l'emploi de la couleur (ici le bâtiment Schoolhouse Letten). © (Sibiliano, 2011) : p.76



Figure 2-20. Palette spécifique sous forme d'éventail de couleurs répertoriées NCS, reprenant 100 couleurs architecturales typiques pour les bâtiments construits de 1900 à 2010, réparties en périodes⁶⁷. © Haus der Farbe

Ces supports visuels, d'un aspect graphique très soigné pour permettre une diffusion auprès d'un large public – constitué à la fois d'experts et de néophytes –, dans une perspective principale de sensibilisation, ont le mérite de mettre en avant l'importance de la couleur dans le débat sur l'aménagement des villes. Ces outils constituent de ce fait des médiums efficaces pour comprendre, de par leur qualité synoptique remarquable, d'une part la distribution spatiale de la composante chromatique, via la carte à l'échelle de la ville, et d'autre part les valeurs chromatiques en elles-mêmes pour les bâtiments de la ville de Zurich, via les palettes et autres supports visuels.

En outre, l'usage d'un SIG qui intègre la composante chromatique dans une base de données permettrait de mettre en évidence des relations avec d'autres caractéristiques morphologiques, même si cette dimension n'est que très peu abordée par les chercheurs. Un autre aspect intéressant, qui est rendu possible par le mode de représentation graphique, est la prise en compte d'un paramètre surfacique de la couleur dans les palettes de synthèse tant à l'échelle territoriale qu'à celle du bâtiment (la taille de l'aplat de couleur est proportionnelle à la surface relative de celle-ci sur le bâtiment).

⁶⁷ Illustration issue du site « Farbraum Stadt », [en ligne] et disponible sur www.farbraumstadt.ch/epoche_100.html, consulté le 10/10/16.

Le projet *Farbraum Stadt* se veut ambitieux : « *Taken as a whole, they* (en parlant des perspectives dégagées par la recherche, N.d.A.) *provide the most sophisticated and diverse image possible of the city as a colour space.* » (Sibiliano and Willstein, 2014) : p.66. Néanmoins, nous pouvons nous interroger sur la teneur en objectivité d'une telle démarche. Nous savons que la couleur perçue – c'est-à-dire la sensation visuelle, l'information émise au cerveau après traitement par l'appareil physiologique de l'onde électromagnétique réfléchie provenant de l'objet en direction de la rétine –, est façonnée par de nombreux paramètres. Tout d'abord des paramètres d'ordre physique : la lumière qui éclaire l'objet, le milieu de propagation de la lumière réfléchie ou encore l'influence des parois voisines à l'objet. Ensuite des paramètres liés à l'observateur : l'œil ainsi que la mémoire visuelle et cognitive qui donnent toute la dimension subjective à la couleur perçue.

Confrontés à tous ces paramètres, le projet *Farbraum Stadt* voit sa robustesse remise en question. Les conditions d'éclairage (qui modifient le spectre de la lumière incidente) ont-elles été standardisées afin que chaque évaluation de la couleur du matériau par comparaison avec le nuancier NCS pour chaque façade soit réalisée dans une conjoncture contextuelle identique ? Ensuite, la méthode employée met en jeu une grosse part de subjectivité étant donné l'emploi du nuancier dans l'évaluation, cet instrument possédant les inconvénients et les limites que nous avons déjà formulés plus haut. Ainsi, la couleur d'un même matériau caractérisé par n observateurs pourrait trouver un maximum de n correspondances NCS différentes, même sous des conditions d'éclairage identiques, ce qui induit donc une forte dispersion des résultats. D'autant plus que l'évaluation visuelle a lieu à deux reprises dans la méthode : l'une en amont, lors de la collecte de la couleur sur le matériau et l'autre, lors du regroupement des résultats pour former les catégories et réduire leur nombre.

Les palettes de couleurs résultantes sont donc « gangrénées » par des éléments subjectifs. Dans ces palettes, les résultats sont de type qualitatif, sous forme d'aplats de couleurs regroupés pour caractériser l'ensemble de la ville de Zurich (via la carte et la palette des couleurs de base) ou un bâtiment de la ville (via les palettes spécifiques). La différenciation entre deux palettes (la colonne de gauche et la colonne du milieu sur la Figure 2-17 par exemple) ne s'établit que sur des critères d'ordre qualitatif, basé sur le langage (plus « lumineux », plus « clair », plus « pâle », plus « marqué », etc.) englobant indéniablement une grande part de subjectivité⁶⁸, ce qui ruine toute tentative de comparaison la plus objective.

Dans ce sens, nous sommes d'autant plus interpellé lorsque les chercheurs, dans leurs publications, font usage de notions liées à la métrique et à la statistique⁶⁹ et donc sur des valeurs quantifiables,

⁶⁸ Au sujet de la subjectivité, Teller indique qu'elle se manifeste lorsque l'on est « confronté à des choix, qui nécessitent une forme de jugement lui-même basé sur une interprétation personnelle de la réalité » [(Teller, 2001) : p.136].

⁶⁹ « *These* (en parlant des couleurs des façades, N.d.A.) *were then reduced to 115 colours, which were subsequently used to comprehensively record and statistically evaluate the facades'*

caractérisant de ce fait leur démarche comme scientifique et objective, ce qui est bien entendu loin d'être le cas étant donné le processus de mise en œuvre et le type de représentation. Tous les paramètres qui viennent d'être explicités et qui sont à l'origine des faiblesses et des lacunes intrinsèques à la méthode déforcent la fiabilité de l'instrument dans la restitution de l'image colorée des bâtiments et de la ville ; si l'étalement des résultats obtenus par plusieurs observateurs dans l'évaluation de la couleur demeure important (cet aspect n'a pas été abordé par les chercheurs, et la recherche apparaît comme dépourvue de plan d'expérience), les documents graphiques générés pourraient indéniablement fausser la perception du public vis-à-vis de ce « corpus » chromatique à l'échelle du territoire municipal.

2.3.2. Etudes faisant usage des nuanciers et des palettes de couleurs

Parmi les méthodes de caractérisation chromatique faisant usage des nuanciers et palettes de couleurs et ayant fait l'objet de publications scientifiques⁷⁰, nous présentons ici deux études, parmi les plus récentes et les plus détaillées⁷¹. La description de ces études nous amènera au travail réalisé par Brino pour la ville de Turin et à la « Géographie de la Couleur » des Lenclos, qui constituent tous deux des méthodes de référence dans la caractérisation chromatique.

Nous citerons en premier lieu les travaux des chercheurs chinois Gou and Wang, qui ont dressé des palettes pour caractériser les toitures de plusieurs constructions de l'Ancienne Chine (Gou and Wang, 2010). Ces chercheurs font usage des nuanciers Pantone avec les notations CMJN (cyan, magenta, jaune et noir, CMYK en angl.) pour désigner la couleur des tuiles. Au terme du relevé reprenant plus d'une centaine d'individus analysés, Gou and Wang ont réparti les résultats en deux catégories principales : l'une comprenant les tuiles communes de tonalité grise et l'autre comprenant les tuiles colorées en émail. Cette dernière catégorie est représentée par une palette sous forme de tableau dont les colonnes se subdivisent en six familles de teintes (jaune, vert, bleu, noir, blanc et violet) et les lignes selon les périodes de dynasties chinoises (Figure 2-21). Les différences de teintes parmi les données relevées sont assez marquées selon les six familles, ce qui a permis de les positionner sans équivoque dans le tableau qui fournit le nombre d'occurrences pour chaque classe.

colours », « The challenge here was to develop a survey instrument that would allow the researchers to make statistical statements without detracting from the city's chromatic diversity » (Sibiliano and Wettstein, 2014) : p.63-64.

⁷⁰ Les actes des conférences de l'AIC font état d'un certain nombre de publications dans cette thématique de recherche. La plupart de ces publications constituent des essais expérimentaux, très succinctement décrits.

⁷¹ Ces deux études ont en outre fait l'objet de publications dans la revue de référence Color Resarch and Application.

Dynasties	Yellow family	Green family	Blue family	Black family	White family	Purple family
Song Dynasty: 960 A.D.						
1279 A.D.						
Yuan Dynasty: 1271 A.D.						
1388 A.D.						
Ming Dynasty: 1388 A.D.						
1644 A.D.						
Qing Dynasty: 1644 A.D.						
1911 A.D.						

Figure 2-21. Palette de couleurs pour les toitures composées de tuiles colorées en émail, issues de constructions de la Chine ancienne.

© (Gou and Wang, 2010) : p.261

Les auteurs précisent que les mesures ont été réalisées sur site et sur base d'échantillons de tuiles exposés dans des musées. Ils ne spécifient ni les conditions d'éclairage pour l'évaluation, ni la procédure qu'ils ont adoptée face à un matériau nuancé (en particulier une tuile de couleur non uniforme). Par ailleurs, l'évaluation est réalisée sur une tuile et non sur l'ensemble de la toiture. Nous pourrions dès lors nous interroger sur le facteur d'échelle dans l'observation et le prélèvement de la couleur : la couleur d'une seule tuile est-elle ainsi représentative de la toiture dans son entièreté ? Cette échelle d'observation ne tient par ailleurs pas compte de l'hétérogénéité chromatique globale de la toiture, issue des nuances de la tuile dupliquée, de l'appareillage produisant des effets d'ombre assombrissant la couleur. L'évaluation de la teinte d'une surface – qui peut de ce fait apparaître hétérogène – se réalisant par comparaison avec des éléments d'un nuancier, cette procédure peut indéniablement générer de multiples interprétations dans le cas où elle est réalisée par plusieurs observateurs ; nous pensons dès lors que la procédure nécessiterait une série de validations pour établir son degré de robustesse.

Nous mentionnerons ensuite les travaux de De Mattiello and Rabuini comme autre recherche significative. Leur étude a été menée dans le cadre de la reconstruction chromatique du quartier de La Boca à Buenos Aires, dans lequel les logements typiques sont couverts de planches de bois et de feuilles de métal peints dans des couleurs à forte saturation, induisant de ce fait une vraie tradition culturelle. L'enduit peint possède ici à la fois une fonction de protection du matériau mais est également employé dans une perspective de différentiation sociale, de singularisation et de liberté (De Mattiello and Rabuini, 2010).

L'établissement des palettes est ici réalisé sur base de prélèvements d'enduits sur les bâtiments. Les chercheurs se sont cependant rendu compte que le temps a eu un effet sur les couleurs originales qui ont été recouvertes de nouvelles couches, ce qui pouvait ainsi induire une gamme de couleurs assez large pour un seul prélèvement. L'originalité de leur approche réside dès lors dans le fait qu'ils ont intégré dans leur analyse d'autres facteurs pour confirmer la première couleur. Il s'agit par exemple de faire appel à des œuvres anciennes peintes par des artistes qui ont représenté le paysage de La Boca en termes de coloration, en vue de rechercher les teintes originales des bâtiments.

Des prélèvements d'échantillons accompagnés d'analyses picturales provenant d'illustrations anciennes ont permis d'établir des palettes de couleurs pour La Boca (Figure 2-22a). En tout, 150 échantillons issus de prélèvements d'enduits de façades⁷² ont été évalués. L'évaluation est réalisée par correspondance de la couleur des échantillons avec le système de classement NCS, (Figure 2-22b). Le fait que cette évaluation soit réalisée sous des conditions d'éclairage intérieur en laboratoire, plus stables que des conditions en extérieur changeantes et non maîtrisables, fournit davantage de rigueur dans la comparaison entre les résultats obtenus, bien que ces conditions soient éloignées de celles issues d'une cabine de visionnement sous lumière normalisée. Il reste qu'un aspect de la méthode développée conserve tous les inconvénients du subjectif, étant donné que l'évaluation, dans la comparaison à la fois avec l'échantillon et avec l'œuvre picturale, fait appel à l'analyse visuelle directe.

⁷² La campagne de prélèvement a été réalisée avec l'aide de la société Akzo Nobel établie à Barcelone (De Mattiello and Rabuini, 2010).

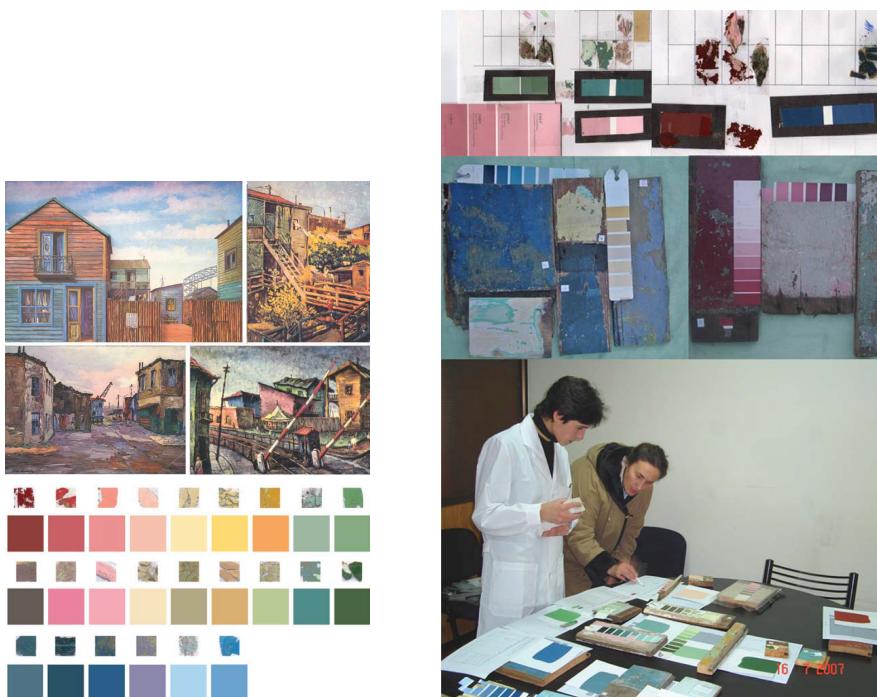


Figure 2-22a (à gauche). Palette de couleurs construite sur base d'échantillons d'enduits des constructions de la Boca. L'évaluation de la couleur d'origine est complétée par l'analyse d'oeuvres picturales anciennes. © (De Mattiello and Rabuini, 2010) : p.4

Figure 2-22b (à droite). Protocole d'évaluation chromatique des échantillons en laboratoire, par correspondance avec les couleurs du nuancier NCS. © (De Mattiello and Rabuini, 2010) : p.5

De Mattiello and Rabuini citent les travaux de restauration de la ville de Turin par l'architecte Giovanni Brino dans le début des années 80, comme référence et source d'inspiration de leur recherche. Nous avons déjà mentionné à plusieurs reprises les études de Brino ; même s'il s'agit d'une expérience qui date de plus d'une trentaine d'années, il nous semble pertinent de l'évoquer dans cette section étant donné que l'approche, bien qu'orientée sur la reconstitution et la restauration, intègre le nuancier, la palette et la charte de couleurs ; les études de Brino sont en outre mentionnées par de nombreux chercheurs⁷³.

La méthode proposée par Brino est amorcée dans les années 60, lorsqu'il fait une surprenante découverte. Dans un premier temps, il s'intéresse de manière fortuite à la coloration singulière du Crystal Palace, construit par Owen Jones lors de l'Exposition de Londres en 1851. Cet édifice mettait en évidence le rôle structurant de la couleur en architecture et en urbanisme :

« En effet, pour la première fois dans l'histoire, de la coloration d'un édifice à partir des couleurs primaires rouge, jaune et bleu est abordée de manière scientifique par Owen Jones qui les utilise de manière

⁷³ De manière non exhaustive : Caivano (2005 et 2006), Caldas et al. (2008), De Mattiello and Rabuini (2010), Azzouz (2013), Serra (2013) et Petit (2015).

chromoplastique, en les entrecouplant de bandes blanches. » (Brino, 1998) : p.55.

Quelques années plus tard, dans le cadre de la restauration de la Casa Antonelli à Turin, Brino effectue des recherches dans les archives de la ville et retrouve le projet de coloration originale de la façade ; il s'aperçoit que la Casa Antonelli et le Crystal Palace, tous les deux construits la même année, partagent la même trichromie : « jaune molasse pour les parties portantes, rouge brique pour les structures de remplissage et gris bleu, couleur pierre, pour les éléments décoratifs. » (Brino, 1987) : p.147. Tout en poursuivant ses recherches historiques sur base d'archives, ses travaux portent ensuite sur la coloration à l'échelle urbaine. Il reconstitua avec une précision remarquable le plan de coloration de la ville mis en place entre 1800 et 1850 (Brino and Rosso, 1987). Sur base de documents historiques, la palette des couleurs, la charte chromatique et les projets de coloration des principales rues et places de la ville ont ainsi été reproduits (Figures 2-23 et 2-24). On se rendit ainsi compte que durant près d'un demi-siècle, la couleur a joué un rôle fédérateur dans le cadre de la réforme urbaine mise en place par les architectes de la période néoclassique au Conseil des Ediles qui avaient succédé aux architectes baroques. Ces architectes, depuis le début du 19^{ème} siècle, structurèrent à l'aide de la couleur les grands axes de circulation reliant les places majeures de la ville, afin de construire une trame chromatique selon « un processus graduel et continu d'irradiation » [(Brino, 1998) : p.56].

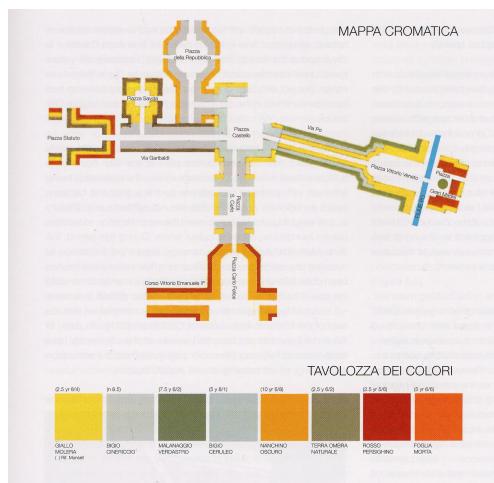


Figure 2-23. Charte et palette de couleurs du centre de Turin. La charte met en évidence une trame chromatique selon un processus graduel et continu d'irradiation⁷⁴. © (Brino, 1980)

⁷⁴ Illustration issue du site « Color y arquitectura contemporanea (tesis doctoral online de Juan Serra Lluch) », [en ligne] et disponible sur [<http://juaser11.blogspot.es/juanserralluch/como/color-para-interferir-en-las-propiedades-visuales-de-la-forma/geometria/>], consulté le 11/10/16.



Figure 2-24. La Piazza San Carlo à Turin. Les façades ont été restaurées selon la teinte jaune-ocre pâle (« *giallo molera* ») défini dans la charte chromatique reconstituée. © L. Nguyen (2016)

A côté des descriptifs issus des archives documentaires et des anciennes règlementations qui constituent les ressources de base, et lorsque celles-ci sont manquantes dans certains cas, l'architecte emploie le nuancier Munsell pour évaluer les couleurs des façades *in situ* ou à partir d'échantillons prélevés et analysés en laboratoire. Lorsque les traces colorées avaient totalement disparu, des comparaisons avec des façades de même typologie (pour lesquelles les couleurs étaient connues à partir de documents d'époque similaire) permettaient de combler le manque de données (Brino, 1987).

Toutes les informations sont ensuite converties en fichiers numériques sous forme de bases de données (ce qui fut assez inédit à l'époque pour ce type de recherche) : chaque façade correspond à une fiche comprenant un plan d'élévation, la liste complète des couleurs présentes (codifiées selon le système Munsell) pour tous les éléments d'architecture, mais également d'autres informations telles que les techniques de coloration. L'usage de l'informatique a permis d'effectuer des analyses numériques et de générer, par calcul, la palette de couleurs dominantes⁷⁵ à l'échelle du centre historique, ou encore de déterminer des histogrammes statistiques reportant en abscisse le code de la couleur et en ordonnée les lectures

⁷⁵ La méthode de Brino fait appel au système Munsell pour désigner la couleur. Ce système possède la particularité de voir sa métrique correspondre à l'estimation des distances colorimétriques perçues par l'œil. Wyszecki and Stiles confirment cet aspect : « *The notation of the Munsell system, because it is based on nearly uniformly spaced scales of color, it is a useful tool for the formulation and solution of many colorimetric problems.* » (Wyszecki and Stiles, 2000) : p.507. Dès lors, il est concevable, à partir d'un ensemble de relevés de couleurs codés selon le système Munsell, de déterminer une « moyenne » représentée par un échantillon dans cet espace chromatique dans lequel « le choix des échantillons fut tel que la distance de couleur subjective entre échantillons voisins soit constante (uniformité locale et même globale) » [(Embrechts, 1988) : p.18].

effectuées (Figure 2-25). Pour le chercheur, cet histogramme statistique est équivalent à une palette de couleurs, au niveau de l'information transmise (distribution des couleurs dominantes, occurrences, etc.).

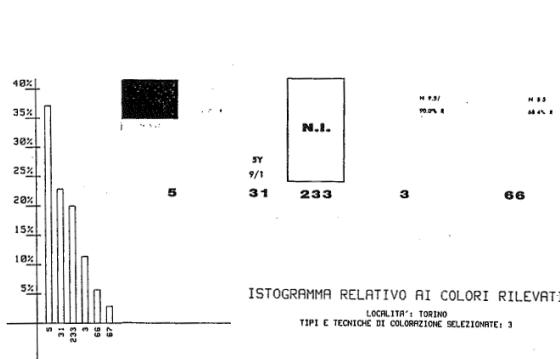


Figure 2-25. Histogramme statistique des couleurs dominantes des éléments de façade en pierre dans le centre historique de Turin. © (Brino and Rosso, 1987)

En ce qui concerne la méthode en elle-même, bien que la collecte des données demeure conventionnelle de par l'implication d'une évaluation visuelle via un nuancier de type Munsell dans la désignation de la couleur, l'originalité de la méthode de Brino réside dans l'usage du traitement numérique (la donnée qualitative relative à la couleur de chaque façade devient une donnée quantitative) pour générer la palette synthétique des couleurs dominantes du fragment urbain étudié (ici le centre historique de Turin).

Giovanni Brino débute ses investigations dans les années 60. En France, c'est à la même période⁷⁶, en 1965 précisément, que Jean-Philippe Lenclos (associé avec son épouse Dominique Lenclos) est sollicité par la société industrielle IPA Peintures Gauthier comme directeur artistique du département « peinture pour le bâtiment ». S'apercevant qu'un nuancier de seulement 50 couleurs était élaboré pour toute la France, il décida de créer une palette spécifique pour chaque région en mettant sur pied des campagnes de prélèvement de matériaux des façades⁷⁷. La mise en œuvre de ces palettes permet aux Lenclos d'établir une analyse chromatique sur des territoires français, européens et ensuite extra-européens⁷⁸, l'objectif étant d'abord de fournir une caractérisation contextuelle afin de constituer

⁷⁶ Assez étonnamment, bien qu'apparaissent des convergences évidentes et des challenges similaires dans les deux méthodes qui ont en outre été amorcées quasiment la même année, aucune collaboration n'a été entreprise entre Brino et les Lenclos. Brino mentionne à peine les travaux du couple, dans l'article « *Colore e Torino* » qu'il signe en 1980 pour la revue *Domus*, article dans lequel il fait usage du terme « *colour palette* » qu'il reconnaît avoir emprunté de la « *Géographie de la Couleur* » (Brino, 1980).

⁷⁷ Source : interview de Jean-Philippe Lenclos, [en ligne] et disponible sur [<http://www.18h39.fr/articles/entretien-avec-jean-philippe-lenclos-defenseur-du-patrimoine-des-couleurs.html>], consulté le 12/10/16.

⁷⁸ Les territoires étudiés dans les trois ouvrages traitant de la « *Géographie de la Couleur* » (Lenclos et al., 1982, pour les sites en France, Lenclos et al., 1995, pour les sites européens et Lenclos and Lenclos, 1999, pour les sites extra-européens) sont représentatifs de territoires significatifs pour les auteurs (Petit, 2015).

des points de repères pour des interventions ultérieures ayant un impact sur le paysage. Aussi, les Lenclos voient une portée qui va au-delà de l'aspect morphologique dans leurs investigations :

« Les études présentées ici nous semblent avoir une dimension sociologique et historique, dans la mesure où, étant datées, elles pourront être à l'avenir des points de repère significatifs pour l'analyse de l'évolution des couleurs dans l'architecture régionale et celle du comportement des habitants. » (Lenclos et al., 1995) : p.5.

Ils font ensuite le constat selon lequel la couleur des constructions est « le fruit de l'interaction étroite de l'utilisation des matériaux trouvés sur place et de l'application de certaines couleurs dictée par les traditions locales » [(Lenclos, 1990) : p.137]. Par la méthode qu'ils mettent au point et qu'ils nomment « Géographie de la Couleur », ils veulent montrer que chaque territoire possède une « dominante chromatique qui lui est propre » [(Ibidem) : p.137].

La méthode se divise en deux phases (Lenclos and Lenclos, 1990). La première constitue une analyse du site qui comprend (Figure 2-26a) :

- un prélèvement des matériaux, sous forme de fragments divers (maçonnerie, enduit, peinture, ...);
- une reproduction des couleurs (lorsque le prélèvement d'échantillon est difficile à effectuer), répertoriées à l'aide d'un nuancier de couleurs du fabricant industriel ou par reproduction avec un contretype peint ;
- un relevé de l'échelle de la luminosité, pour mesurer optiquement la valeur moyenne des tonalités des matériaux à l'aide d'une échelle composée de dix gradations du blanc au noir ;
- des croquis colorés de situation, pour noter les caractéristiques principales de la construction ;
- des prises de vue pour mémoriser, visualiser et diffuser les informations.

La seconde phase se compose d'une synthèse visuelle des constats chromatiques qui transpose les données recueillies de la première phase en échantillons de couleurs et qui comprend (Figure 2-26b) :

- Une palette générale reproduisant les couleurs des surfaces les plus importantes pour le bâtiment ;
- une palette ponctuelle qui reprend les couleurs de éléments ponctuels (portes, fenêtres, volets, encadrements, soubassements, ...);
- une palette des rapports qualitatifs et quantitatifs, avec des échantillons de dimensions proportionnelles à la surface des éléments de façade ;

- une palette chromatique de l'ensemble des édifices élément par élément (toitures, façades, encadrements, soubassements, portes, fenêtres, volets,...) et un tableau de synthèse (superposition de la palette ponctuelle sur la palette générale).

Les auteurs soulignent le caractère « objectif » de leur méthode :

« Le cheminement de l'enquête tend à éviter, autant que possible, une appréhension subjective des phénomènes. Afin de se fonder essentiellement sur les données objectives que fournissent l'architecture et son environnement, on procède à un examen minutieux du site en prélevant sur le terrain des échantillons des divers matériaux entrant dans la composition du sol, des murs, des toits, des portes et des volets... auxquels seront joints des prélèvements de feuillage, de mousse et de lichens – éléments impermanents – et on note les apports aléatoires qui influent sur la physionomie chromatique de la construction. » (Lenclos and Lenclos, 1990) : p.67.

Ce caractère « objectif » est susceptible, selon nous, d'être largement remis en question. Tout d'abord, l'usage d'un nuancier dans l'évaluation de la sensation de couleur et de luminosité, par analyse visuelle directe, contient, comme nous l'avons évoqué à maintes reprises, tous les inconvénients liés au subjectif. Ensuite, la transposition des données chromatiques sous forme des différentes palettes synthétiques de la deuxième phase du protocole implique un jugement sélectif des couleurs à nouveau à travers une tâche visuelle. Ces palettes de synthèse comprennent un nombre limité de 25 éléments (voir Figure 2-26b), choisis comme représentatifs d'une population de façades beaucoup plus vaste. Là où la méthode de Brino faisait usage d'une sélection qui semble plus objective (par voie informatique) pour générer la synthèse des couleurs dominantes, la méthode des Lenclos fait appel à l'examen visuel pour choisir les 25 individus significatifs. La « Géographie de la Couleur » implique par conséquent une série d'évaluations faisant appel au jugement de l'observateur, ce qui l'éloigne de l'objectivité annoncée par les auteurs.

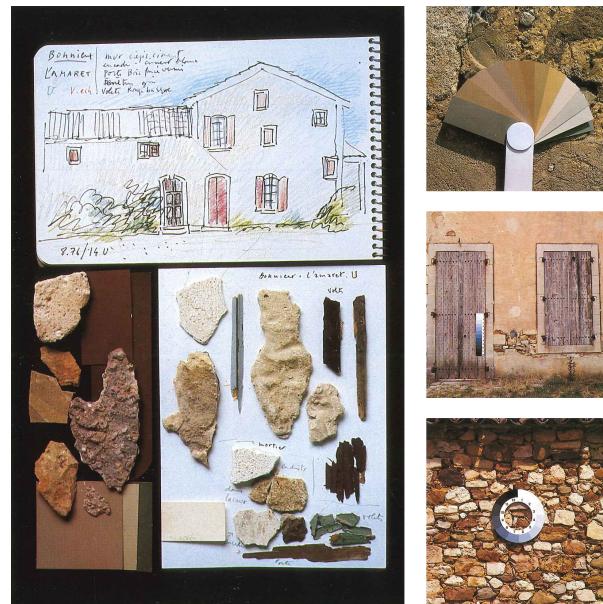


Figure 2-26a. Illustration de la « Géographie de la Couleur » pour le village de Bonnieux, première phase de l'étude : analyse du site (prélèvement de matériaux, croquis colorés, usage du nuancier pour la reproduction de la couleur, prises de vue, relevé de l'échelle de luminosité des matériaux). © (Lenclos and Lenclos, 1990) : p.66

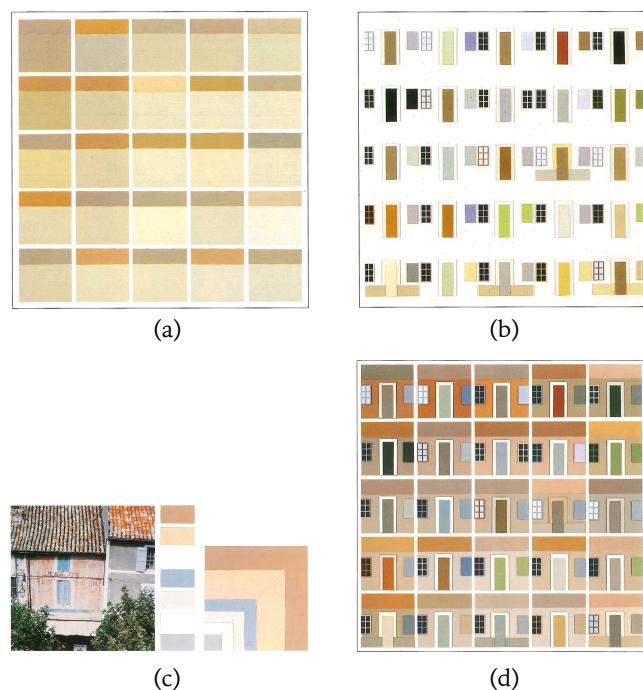


Figure 2-26b. Illustration de la « Géographie de la Couleur » pour le village de Bonnieux, deuxième phase de l'étude (synthèse visuelle des constats chromatiques) : (a) la palette générale pour les façades et les toitures, (b) la palette ponctuelle pour les portes, les volets, les fenêtres, les encadrements et les soubassements, (c) la palette des rapports qualitatifs et quantitatifs, (d) tableaux de synthèse pour les façades. © (Lenclos and Lenclos, 1990) : p.69-70-71

Il s'agit ici de critiques liées au degré de subjectivité de la méthode et ciblées sur l'emploi de nuanciers et de palettes. D'autres limites peuvent

être pointées. Ainsi, la procédure demeure assez longue et complexe à réaliser : prélèvement des échantillons de matériaux (nous verrons plus tard les inconvénients liés au prélèvement *in situ*), retranscription en couleurs et établissement des palettes synthétiques. La « Géographie de la Couleur » a été appliquée par les Lenclos dans la perspective d'une valorisation patrimoniale menant à une sensibilisation de la richesse chromatique d'un territoire et à une élaboration éventuelle d'outils réglementaires pour sa conservation. Dans ce sens, la deuxième critique majeure a été soulevée par la chercheuse Aiping Gou qui met en évidence la difficulté de l'usage de la méthode des Lenclos en dehors des secteurs historiques (Gou, 2011), lorsque les palettes de synthèse constituent les fondements d'une politique d'aménagement de type « *from color to color* ». Elle est ainsi peu adaptée aux villes chinoises confrontées à une forte et rapide croissance urbaine : il semble de ce fait illusoire, pour certains contextes spécifiques, de se baser sur le patrimoine comme base d'une politique d'aménagement qui tient compte de la couleur, puisque ce patrimoine est menacé et tend à se réduire sous le développement urbain et la pression immobilière qui produit des figures architecturales génériques⁷⁹.

Il reste que la « Géographie de la Couleur », de par la capacité synoptique et l'accessibilité des outils proposés, a su séduire un grand nombre de chercheurs, de municipalités et d'industriels. Les travaux des Lenclos, considérés comme des « pionniers des études sur l'inventaire des dominantes chromatiques locales de diverses régions et pays » [(Petit, 2015) : p.128], constituent une référence notoire, largement citée dans les études urbaines abordant la couleur et fournissant un outil de travail indispensable aux professionnels (Noury, 2008). Comme applications de la « Géographie de la Couleur », nous pouvons citer, de manière non exhaustive, les travaux de Soares and Durão (2008) pour le quartier historique de Porto, Gou and Wang (2008) pour la caractérisation des villes traditionnelles chinoises, Caldas et al. (2008) dans le cadre de la valorisation de l'image de logements HLM dans la périphérie de Lisbonne, ou encore Kuo and Tseng (2011) dans l'étude du Parc National de Yangmingshan à Taiwan.

2.3.3. *Nuancier et distance d'évaluation*

Jusqu'ici, l'évaluation de la couleur d'un matériau présent sur une façade est réalisée par comparaison de cette dernière avec celle d'un échantillon répertorié dans un nuancier, en plaçant ce nuancier côte à côte avec la zone

⁷⁹ Avec un ton cynique et prophétique caractéristique de son écriture, Koolhaas évoque la disparition du patrimoine, processus naturel selon lui des « Villes Génériques » dont une grande partie est située en Asie : « La Ville Générique a eu un passé, autrefois. Sur son chemin vers la grandeur, de vastes parties de la ville ont dû disparaître, d'abord sans qu'on s'en plaigne - le passé semblait étonnamment malsain et même dangereux - puis, sans prévenir, le soulagement se changea en regret. » (Koolhaas, 2011) : p.63-64.

à caractériser (comme le montre la Figure 2-16 avec le nuancier NCS). Dans certains cas, il n'est pas toujours aisément d'apposer un nuancier sur une façade, par exemple lorsque le matériau à caractériser est inaccessible car localisé à une certaine hauteur ou au-delà d'une limite de propriété non franchissable. Il s'agirait dans ce cas d'effectuer une évaluation de la couleur à une certaine distance. C'est dans la perspective de gérer ces deux distances d'observation que Fridell Anter and Billger (2010) ont fait la distinction entre la couleur « inhérente » au matériau (*inherent colour*) et la couleur « perçue » à distance (*perceived colour*)⁸⁰. Lorsqu'il s'agit de la couleur « inhérente », les chercheuses placent un index NCS sur la paroi (Figure 2-27, image de gauche). Dans le cas de la couleur « perçue » d'une façade à grande distance, l'évaluation est effectuée en tenant à bout de bras la page de l'atlas NCS concernée (Figure 2-27, image de droite).

Pour l'évaluation à distance, la chercheuse Christina Boeri propose un dispositif, appelé « *viewer* », afin de faciliter la comparaison visuelle, par isolement de la portion de la scène visuelle dans le viseur, avec le nuancier NCS (Figure 2-28). L'isolement de la zone à évaluer tend à annuler les effets produits par le processus d'adaptation chromatique de l'œil qui est conditionné par la couleur dominante du champ visuel. Boeri utilise ce dispositif dans l'étude des couleurs de la place Giovanni Bausan à Milan (Boeri, 2011).

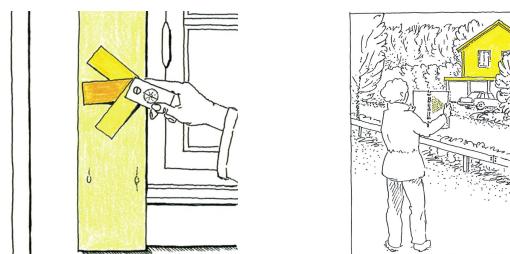


Figure 2-27. Détermination de la couleur inhérente et de la couleur perçue selon Fridell Anter and Billger. © (Fridell Anter and Billger, 2010) : p.147

⁸⁰ Cette terminologie couleur « inhérente » / couleur « perçue » nous semble ambiguë : la couleur « inhérente », évaluée à même la paroi, constitue une sensation colorée qui est perçue, étant donné qu'elle constitue un caractère de la perception visuelle qui peut être décrit par des valeurs de teinte, de luminosité et de niveau de coloration (ces valeurs constituant, comme nous l'avons vu, les fondements d'un système de classement ordonné). En outre, il est vain de considérer la couleur comme une propriété inhérente ou intrinsèque au matériau car elle varie notamment en fonction de l'éclairage.



Figure 2-28. Le « viewer » utilisé par Boeri pour faciliter l'identification de la couleur à l'aide d'un nuancier à distance. © (Boeri, 2011) : p.279

Il est clair qu'une différence de couleur d'un même objet apparaît selon la distance d'observation, cette différence étant produite par l'épaisseur de la masse d'air entre l'observateur et l'objet, ainsi que par le trouble atmosphérique⁸¹ : celui-ci modifie le milieu de propagation du rayonnement lumineux incident mais également celui du rayonnement réfléchi provenant des objets colorés de la scène visuelle. Cette modification a pour conséquence une altération du spectre lumineux des rayonnements. L'éloignement atmosphérique a ainsi pour effet de désaturer les couleurs et de les faire virer vers le bleu (Figure 2-29).



Figure 2-29. Effet du trouble atmosphérique sur le rendu des couleurs : les objets éloignés sont désaturés et virent vers le bleu.

© (Lenclos et al., 1995) : p.57.

⁸¹ L'atmosphère contient des éléments qui absorbent et diffusent le rayonnement solaire tels que la vapeur d'eau, l'ozone et les gaz d'aérosols. Ils constituent ce que l'on appelle le trouble atmosphérique. Parmi les paramètres utilisés pour caractériser le trouble atmosphérique, le facteur de trouble T se révèle le plus employé. Il peut être défini comme « le rapport entre les facteurs d'extinction totaux de l'atmosphère envisagée et une atmosphère pure et sèche, milieu exclusivement diffusant » [(Dogniaux and Doyen, 1968) : p.5]. Sigrid Reiter explique ce phénomène filtrant les rayons solaires et qui est propre au milieu urbain :

« Lors de la traversée de l'atmosphère, les radiations solaires sont absorbées et diffusées par les molécules d'air et les aérosols ; elles sont également absorbées et réfléchies par les poussières et microgouttelettes en suspension. De manière générale, ces troubles sont plus importants en ville qu'à la campagne. En effet, au-dessus des villes, la concentration en CO, CO₂ et SO₂ est de 5 à 25 fois plus importante qu'en milieu rural créant ainsi un dôme de pollution qui limite la disponibilité de la lumière naturelle en milieu urbain. » (Reiter, 2007) : p.351.

L'effet de la distance d'observation produit ainsi une altération de la couleur perçue d'un objet à évaluer. Cette altération est relatée par Lenclos et al. dans leurs travaux :

« Un pignon de couleur saturée paraît beaucoup plus pâle à 100 mètres qu'à portée de la main ; à l'image du son qui s'atténue avec la distance, la couleur s'estompe et perd de sa résonance avec l'éloignement. » (Lenclos et al., 1982) : p. 23.

On notera que le guide d'utilisation des nuanciers NCS intègre également ce phénomène dans la procédure d'évaluation. Il recommande de désigner un échantillon de couleur, dans l'index ou dans l'atlas, plus sombre et présentant une chromie moins élevée que la couleur perçue sur la façade à distance (Enberg, 2010). La correction étant réalisée par voie visuelle directe, ceci amplifie davantage le degré de subjectivité.

Dans un autre champ de recherche, Jacques Lucan, enseignant et théoricien de l'architecture, en se référant à Deleuze et Guattari, désigne la vision lointaine comme étant « optique », tandis que la vision rapprochée est nommée « haptique » :

« La vision rapprochée décuple l'attention portée à la matérialité de l'objet, tandis que la vision d'ensemble de ce même objet tend à devenir impossible. Cette vision rapprochée met en jeu des valeurs "tactiles", tandis qu'une approche lointaine met en jeu des valeurs "visuelles". » (Lucan, 2015) : p.138.

Le constat de Lucan, axé sur une approche phénoménologique, n'aborde en définitive pas du tout la dimension de la couleur. Son observation trouve malgré tout un écho avec l'analyse des Lenclos qui font la distinction entre ces deux échelles de perception, qu'ils nomment, pour leur part, « perception globale » et « perception élémentaire ». Ils font intervenir également le sens du toucher pour la vision rapprochée, ce qui fait converger leur pensée avec celle de Lucan :

« Lorsque l'on se trouve à une certaine distance d'un ensemble architectural, on le perçoit sous forme de taches colorées. Si l'on se rapproche, la « perception visuelle » devient « tactile », selon les termes employés par Bernard Lassus, c'est-à-dire que les taches colorées prennent consistance à nos yeux, et qu'apparaissent la texture et la structure des différents matériaux de construction. » (Lenclos and Lenclos, 1990) : p.22.

La perception globale possède l'intérêt d'englober l'entièreté du matériau à caractériser sur la façade (et non une portion de la paroi), l'appareil visuel de l'observateur intégrant dans cette tâche un processus de synthèse additive qui fusionne les taches colorées et dissout les différences de nuances du matériau. Ce mélange optique fut en outre exploité chez les peintres du « pointillisme » tel que Seurat⁸², et est abondamment utilisé

⁸² Gombrich explique la méthode employée par le peintre Georges Seurat :

dans les procédés de reproduction photomécanique telle que la quadrichromie ou encore dans le fonctionnement d'un écran de télévision. Ce processus de synthèse additive n'est bien entendu pas présent pour la perception élémentaire rapprochée lorsque le nuancier est appliqué sur la paroi, cette proximité révélant un mélange chromatique bigarré et une texture pour certains matériaux (nous avons abordé cet aspect lors de la description des travaux de Gou and Wang pour les tuiles, au point 2.3.2). Ces deux caractéristiques, mélange bigarré et texture, qui sont liées au matériau, complexifient davantage l'évaluation visuelle dans la recherche de correspondance avec les échantillons référencés d'un nuancier.

2.3.4. *Conclusions sur les nuanciers et palettes*

Largement utilisés dans les études ciblant la couleur urbaine, les nuanciers et les palettes offrent avant tout une capacité synoptique évidente dans le cadre de la caractérisation d'un milieu urbain. Ces outils ne nécessitent pas de connaissances scientifiques particulières pour appréhender la valeur informative qu'ils fournissent. En effet, le classement de la sensation de couleur (ou de la couleur perçue) dans les systèmes ordonnés est effectué selon les attributs de teinte, de luminosité et de niveau de coloration qui sont des caractéristiques propres à la perception visuelle humaine, ce qui rend l'usage des nuanciers et palettes accessibles auprès d'un large public.

C'est sans doute pour cette raison de facilité de compréhension, et donc d'exploitation et de diffusion, que les palettes de synthèse sont, dans beaucoup de cas, transposées telles quelles sous la forme de chartes chromatiques, dans une perspective de régulation urbaine (selon le processus « *from color to color* » comme nous l'avons pointé précédemment). Cette transposition des palettes issues d'un diagnostic en chartes « projet », est ainsi au cœur d'instruments d'orientation élaborés par plusieurs municipalités qui sont très souvent « sponsorisées » par des industriels de la peinture. Nous pouvons ainsi citer la commune de Dinant qui a intégré une charte chromatique⁸³ dans son Projet de Ville, votée à l'unanimité par le Conseil communal (de Biourge and Pacco, 2006). L'objectif de cette charte serait double : valoriser le patrimoine exceptionnel de la cité et lui donner un attrait économique et touristique complémentaire (Ibidem). La charte chromatique, sous forme d'un index en éventail, comprend un choix de couleurs composé de coloris traditionnels (provenant du diagnostic territorial) et de nouveaux coloris plus soutenus au niveau de la saturation (proposés pour les rénovations ou les nouvelles constructions afin d'aviver

« Prenant la méthode impressionniste pour point de départ, il étudia la théorie scientifique de la vision des couleurs et décida de construire ses tableaux en mosaïques de petites touches régulières de couleurs pures. Il espérait qu'ainsi les couleurs se mélangerait pour l'œil (ou plutôt dans le cerveau), sans rien perdre de leur intensité ni de leur luminosité » (Gombrich, 2006) : p.415-416.

⁸³ Le diagnostic patrimonial et la sélection des couleurs pour l'élaboration de la charte ont été confiés à la société Akzo-Nobel.

la palette de base) (Figure 2-30). Une expérience similaire a été conduite par le Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement de l'Oise en France qui, en partenariat avec le fabricant de peinture Astral, a édité des recommandations architecturales sous forme de conseils pratiques et esthétiques « afin de conserver le charme naturel » du cadre de vie du Bassin Compiégnois (CAUE de l'Oise, 2001). Ces recommandations intègrent des chartes chromatiques pour certains types de constructions (maisons en brique, maisons en brique et pierre, maisons en pierre, architecture forestière) ; l'aspect de ces chartes est similaire aux palettes synthétiques de la « Géographie de la Couleur » des Lenclos (Figure 2-31).



Figure 2-30. Charte chromatique pour la ville de Dinant, sous forme d'un index en éventail. © (de Biourge and Pacco, 2006) : p.84

Les couleurs étude couleurs réalisée par Martine HOMBURGER, coloriste conseil.
nuancier : ces références de coloris sont celles des peintures ASTRAL, toutefois d'autres fabricants distribuent les mêmes teintes.
Palettes de couleurs élaborées en coordination avec le Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine.



Figure 2-31. Charte chromatique pour l'architecture forestière du pays compiénois. © (CAUE de l'Oise, 2001)

Nous voyons par ces deux exemples que la priorité des chartes chromatiques se situe dans le domaine patrimonial et vise la préservation des qualités chromatiques d'un territoire donné, afin d'intégrer les nouvelles interventions dans une continuité morphologique. Dans ce sens, nous rappelons que les travaux de Brino et des Lenclos qui mettent en avant les nuanciers et les palettes, ont été amorcés dans les années 60 et s'inscrivent de ce fait dans le courant postmoderne de l'époque, associé à une attitude contextualiste. « D'un point de vue postmoderne, le droit à l'existence d'un bâtiment passait par la sensibilité au contexte et par l'assimilation d'éléments de l'environnement. » (Ibelings, 2003) : p.18. En

outre, Aldo Rossi, en 1966 dans son ouvrage *L'Architettura della Città*⁸⁴, confère à l'environnement bâti un rôle de mémoire de la collectivité (Rossi, 2001). Pour ces raisons, la palette de couleurs (et donc la charte, considérée comme son substitut réglementaire) de par son pouvoir de synthèse et de cristallisation de la couleur urbaine, voit donc sa valeur d'usage profondément ancrée dans la conservation de l'héritage patrimonial.

A côté de leur capacité synoptique et de leur facilité d'utilisation, un autre avantage des palettes, de par le mode de représentation graphique, demeure la possibilité d'intégrer une donnée liée à la superficie relative colorée, à l'échelle de la façade ou à l'échelle du fragment urbain étudié. Cet aspect avait notamment été intégré dans le projet « *Farbraum Stadt* » à Zurich que nous avons décrit ci-avant.

Les avantages qui viennent d'être rappelés dans l'usage des nuanciers et des palettes sont contrebalancés par une série de défauts que nous avons mis en évidence dans les différentes applications. En premier lieu, nous avons mentionné l'éclairage naturel lors de la tâche visuelle. Evaluer les individus d'une population avec des conditions d'éclairage différentes ruine indéniablement la cohérence de la procédure de caractérisation, en particulier dans une perspective de comparaison. Il nous semble dès lors primordial de garantir un contrôle afin de se rapprocher d'une normalisation des conditions d'éclairage naturel : relevé réalisé à un moment identique de la journée, sous ciel couvert pour une lumière diffuse (un éclairage solaire direct est soumis à des variations du spectre lumineux selon l'heure de la journée et la période de l'année et est susceptible de produire des effets d'ombrage sur la façade). Sous des conditions d'éclairage intérieur, la même approche doit être menée lors de l'évaluation de fragments de matériaux. Cet aspect primordial, qui permet en outre d'éviter d'altérer le métamérisme⁸⁵ sous des éclairages différents, n'est que très rarement relaté dans les études de caractérisation chromatique faisant usage du nuancier.

⁸⁴ *L'Architettura della Città* (l'Architecture de la Ville) est un ouvrage qui est considéré comme l'un des fondements théoriques du postmodernisme.

⁸⁵ « Bien que les objets soient différents dans leur identité lumineuse physique, ils peuvent cependant apparaître équivalents pour l'œil qui les regarde, car l'œil, étant incapable d'analyser les fréquences, reçoit une information globale de chaque objet [qui]... peut se traduire, dans certaines conditions, par un effet identique, dû à la simplification du codage physiologique. Il s'agit ici du phénomène très important de métamérisme. » (Parra, 1978) : p.14. De cette description du phénomène, nous voyons que deux fragments de matériaux de nature différente peuvent présenter une perception colorée identique sous un éclairage naturel et apparaître différents sous un éclairage artificiel (lampe à incandescence ou fluorescente). Il serait dès lors déconseillé, d'un point de vue méthodologique, d'alterner examen en conditions extérieures et en conditions intérieures, ce qui était malheureusement le cas chez De Mattiello and Rabuini (2010) et dans la méthode de Brino (voir paragraphes précédents).

Un point important qui n'a pas été soulevé jusqu'ici concerne le mode de fabrication des atlas et nuanciers de référence : il est essentiel que le fabricant garantisse des éditions pérennes, ce qui nécessite un contrôle dans les procédés d'impression (durabilité des encres, du papier, etc.).

Ensuite, nous avons insisté suffisamment sur cet aspect, le degré de subjectivité lié à une évaluation de la couleur par voie visuelle constitue une faiblesse majeure. L'emploi des nuanciers ne permet pas une caractérisation la plus objective, étant donné la probabilité élevée d'un étalement des résultats de mesure issus de plusieurs observateurs⁸⁶, ce qui diminue en outre la robustesse de la méthode. En effet, la réponse de l'œil au stimulus varie d'un observateur à l'autre, et suivant les conditions d'observation (angle de vision, état de fatigue, adaptation chromatique, ...). Le degré de subjectivité s'amplifie tout au long de la méthode : le subjectif se manifeste d'abord lors de la désignation de l'échantillon référencé dans le nuancier, ensuite lors de l'établissement de la palette de synthèse par regroupement visuel des valeurs, et enfin dans le cadre d'une correction éventuelle imposée par une grande distance d'observation.

Ce qui nous conduit enfin aux deux distances d'observation envisagées. La perception globale éloignée introduisant les effets du trouble atmosphérique dans l'évaluation, il semblerait judicieux d'imposer uniquement des observations selon la perception élémentaire, à distance rapprochée. Mais nous avons vu que qu'à cette distance, l'hétérogénéité chromatique et la texture du matériau sont susceptibles de rendre ardu l'examen d'une portion de paroi, qui de par la taille, n'est pas forcément représentative de la couleur de la façade globale...

⁸⁶ En analogie avec une approche métrologique, on dira que la méthode ne présente pas une fidélité satisfaisante dans les résultats générés.

3. Les appareils de mesure chromatique

3.1. Notions de base en colorimétrie

La caractérisation de la sensation de couleur voit dans son processus d'évaluation une dimension subjective liée à l'appareil visuel de l'observateur. C'est dans cette optique que la colorimétrie⁸⁷ fonde ses bases dans la mise au point d'un système de mesure permettant de désigner les couleurs sans ambiguïté, par la mise en jeu de l'analyse physique des stimulus de couleur (c'est-à-dire le rayonnement électromagnétique provenant des objets) et non de l'analyse visuelle des sensations de couleur : « *Colorimetry is the branch of color science concerned, in the first instance, with specifying numerically the color of a physically defined visual stimulus.* » (Wyszecki and Stiles, 2000) : p.117.

La colorimétrie vise ainsi à quantifier et décrire à l'aide de modèles mathématiques le stimulus coloré ; la correspondance avec la couleur « sensation » ne sera permise que sous des conditions d'observation spécifiques, et pour un observateur donné. La colorimétrie repose sur trois bases (NBN L 02-002, 1986) :

- la trivariance de la vision des couleurs pour un observateur normal ;
- les lois de Grassmann⁸⁸ et d'Abney⁸⁹ relatives aux mélanges additifs du stimulus ;
- la définition, pour chaque système colorimétrique, d'un observateur de référence⁹⁰.

⁸⁷ Le *dictionary des termes de la couleur* définit la colorimétrie dans l'usage courant comme étant « l'ensemble des sciences et techniques relatives à la mesure de la couleur » [(Sève et al., 2007) : p.15]. L'ouvrage donne également une définition de la colorimétrie dans le domaine de la science des couleurs : « Ensemble des savoirs et des pratiques scientifiques et techniques qui se sont plus spécialement développés à la suite des résolutions adoptées par la Commission internationale de l'éclairage en 1931, – et périodiquement réactualisées – ayant pour but l'étude et l'évaluation des stimulus visuels dans leur rapport à la couleur ».

⁸⁸ La loi de Grassman montre que toute couleur peut être obtenue par le mélange additif de trois stimulus colorés primaires ($[R], [G], [B]$), pris dans des proportions données R, G, B : $\forall [C], \exists R, G, B : [C] = R [R] \oplus G [G] \oplus B [B]$.

⁸⁹ La loi d'Abney indique que si L_R , L_G et L_B sont les luminances des quantités unitaires $[R], [G]$ et $[B]$, et si, L_C est la luminance de la couleur $[C]$, on peut établir l'égalité suivante : $L_C = RL_R + GL_G + BL_B$

⁹⁰ La CIE a défini deux observateurs de références pour la colorimétrie (NBN L 02-002, 1986) :

Au 19e siècle, les recherches de Von Helmholtz et Grassman montrent que toute sensation de couleur peut être obtenue, de manière équivalente, par le mélange additif de trois couleurs primaires (Richter, 1984). A partir de ce constat, Von Helmholtz lance l'hypothèse de « l'existence d'une triple excitation indépendante du nerf optique » [(Embrechts, 1988) : p.6], hypothèse validée, au niveau physiologique, par la présence des pigments visuels localisés dans les trois types de cônes B, R et G (Nathans et al., 1986).

Du fait de la trivariance visuelle, le repérage d'une couleur est possible en faisant appel à trois paramètres associés à un point dans un espace vectoriel à trois dimensions : en d'autres termes, une couleur peut être représentée par un vecteur qui a pour orientation la chromie (teinte, saturation) et pour module la brillance ou luminosité (Figure 2-32). Les trois composantes trichromatiques qui définissent cet espace tridimensionnel sont appelées R, G et B, pour se référer aux couleurs de base. Dans l'espace RGB, le point $(1, 0, 0)$ représente le stimulus de référence [B] et l'intersection du plan $(B+R+G=1)$ avec le sous-espace positif correspond à un triangle isocèle de sommets [B], [G] et [R] ; il s'agit du triangle des couleurs (ou de Maxwell). Sur la Figure 2-32, les points sur la droite OC correspondent à des sensations de couleur qui présentent des teintes et des saturations approximativement identiques et des brillances (ou luminosités) subjectivement différentes. Le point d'intersection C' avec le triangle des couleurs est représentatif d'un couple (teinte, saturation) ou « chromie » (Embrechts, 1988).

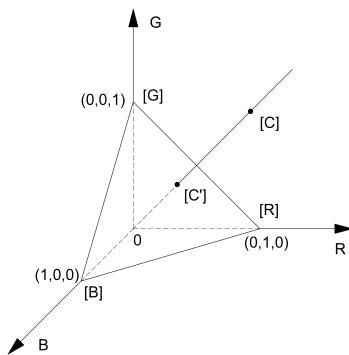


Figure 2-32. Espace des couleurs à trois dimensions et triangle des couleurs (plan $B+R+G=1$). © L. Nguyen (2017)

Dans cet espace, il est possible de repérer la position des radiations monochromatiques (couleurs spectrales). Leurs composantes

-
- L'observateur CIE 1931 applicable aux champs d'observation en vision centrale d'étendue angulaire comprise entre environ 1° et 4° (typiquement 2°) ;
 - L'observateur CIE 1964 applicable aux champs d'observation en vision centrale d'étendue angulaire supérieure à environ 4° (typiquement 10°).

trichromatiques $\bar{b}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ et $\bar{r}(\lambda)$ ont été estimées par Guild⁹¹ (1926). Les primaires étaient choisies à 700 nm pour le rouge, 546.1 nm pour le vert et 435.8 nm pour le bleu. Ces composantes trichromatiques ainsi évaluées ont été nommées fonctions colorimétriques par la CIE en 1931, ce qui est à l'origine du système RGB CIE 1931 (SCIRN-PRN de l'Université du Maine, 2009). L'évolution des fonctions colorimétriques en fonction de la longueur d'onde est représentée sur la Figure 2-33.

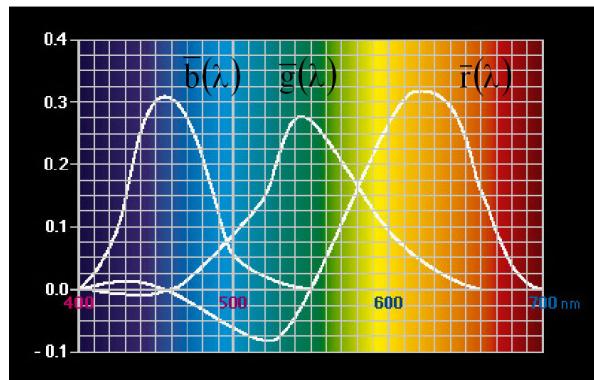


Figure 2-33. Evolution des fonctions colorimétriques RGB, en fonction de la longueur d'onde⁹². © SCIRN-PRN de l'Université du Maine

Tout rayonnement polychromatique $L_c(\lambda)$ peut être associé à une couleur $\vec{C} = R_c \vec{R} + G_c \vec{G} + B_c \vec{B}$ dont les composantes trichromatiques dans le système RGB sont fournies par les équations suivantes (SCIRN-PRN de l'Université du Maine, 2009) :

$$R_c = \int L_c(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda \quad G_c = \int L_c(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda \quad B_c = \int L_c(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda \quad [2.1]$$

Ces dernières équations sont à la base de l'appareillage d'un colorimètre qui mesure les composantes trichromatiques : « Trois cellules photoélectriques de sensibilité $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ et $\bar{b}(\lambda)$, éclairées par un rayonnement quelconque $e(\lambda)$, délivrent des courants dont les intensités sont dans les rapports $R : G : B$. » (Embrechts, 1988) : p.12.

Pour mettre en œuvre ce dispositif, les trois coefficients de distribution doivent être positifs : la Figure 2-33 montre que la sensibilité $\bar{r}(\lambda)$ présente une partie négative sur une grande plage de longueur d'onde. C'est pour pallier à cet inconvénient que la CIE a défini trois autres primaires qui définissent un nouvel espace chromatique : l'espace XYZ. Cet espace est défini à partir de trois nouveaux primaires [X], [Y] et [Z], par

⁹¹ L'expérience réalisée par J. Guild a été menée sur sept observateurs sur un champ visuel limité à un angle de 2° afin que les flux lumineux soient essentiellement incidents sur la macula (SCIRN - PRN de l'Université du Maine, 2009).

⁹² Illustration issue du site du SCIRN-PRN de l'Université du Maine, [en ligne] et disponible sur [http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M07_C02/co/Contenu_07.html], consulté le 21/09/16.

transformation linéaire des primaires [R], [G] et [B]. Les fonctions colorimétriques correspondantes sont $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, et $\bar{z}(\lambda)$ (Figure 2-34).

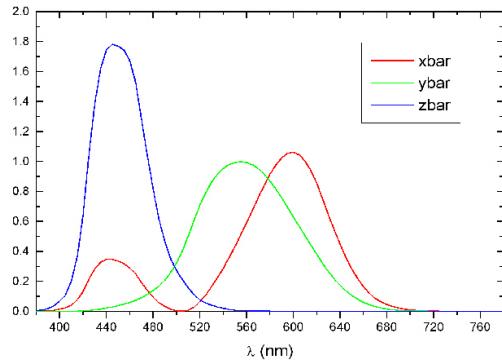


Figure 2-34. Evolution des fonctions colorimétriques XYZ, en fonction de la longueur d'onde⁹³. © SCIRN-PRN de l'Université du Maine

A partir des valeurs X, Y et Z, on tire les coordonnées trichromatiques x, y, z telles que :

$$x = X/(X + Y + Z) \quad y = Y/(X + Y + Z) \quad z = Z/(X + Y + Z) \quad [2.2]$$

et vu que $x + y + z = 1$, on peut représenter les couleurs dans un plan orthonormé (xy). La Figure 2-35 donne une présentation du triangle des couleurs correspondant, également connu sous le terme de diagramme de chromaticité CIE 1931.

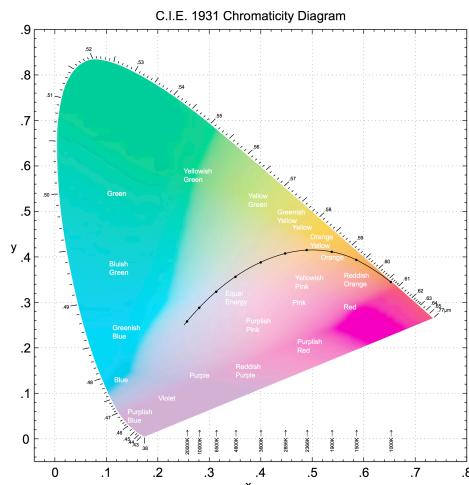


Figure 2-35. Triangle des couleurs ou diagramme de chromaticité CIE 1931⁹⁴.

© Wikipedia

L'inconvénient des espaces RGB et XYZ réside dans le fait qu'aucun de ces derniers ne constitue un espace chromatique uniforme⁹⁵ en d'autres

⁹³ Illustration issue du site du SCIRN-PRN de l'Université du Maine, [en ligne] et disponible sur [http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M07_C02/co/Contenu_07.html], consulté le 21/09/16.

⁹⁴ Illustration issue du site Wikipedia, [en ligne] et disponible sur [https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space], consulté le 21/09/16.

⁹⁵ Mac Adam en 1942 démontre la non uniformité du diagramme (x, y) en mettant en évidence des régions de forme elliptique sur celui-ci : « [...] tous les points d'une

termes « un espace chromatique dans lequel des distances égales représentent en principe des différences visuelles d'égale ampleur entre les stimulus visuels » [(Sève et al., 2007) : p.126]. C'est dans ce sens que la CIE a proposé des transformations de l'espace CIE XYZ 1931 dans le but d'une corrélation plus homogène entre l'écart de deux couleurs et la perception visuelle d'un observateur normal (SCIRN - PRN de l'Université du Maine, 2009). On a ainsi abouti, en 1976, aux espaces chromatiques CIELUV, recommandés dans le cadre de la caractérisation des écrans de visualisation couleur et CIELAB, ce dernier étant conseillé pour la caractérisation des surfaces colorées et dans l'industrie des colorants (Ibidem). Les coordonnées L^* u^* v^* et L^* a^* b^* ⁹⁶ sont définies par les relations suivantes (Sève et al., 2007) :

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\
 u^* &= 13L^*(u' - u'_n) = 13L^* \left[\frac{4X}{X+15Y+3Z} - \frac{4X_n}{X_n+15Y_n+3Z_n} \right] \\
 v^* &= 13L^*(v' - v'_n) = 13L^* \left[\frac{9Y}{X+15Y+3Z} - \frac{9Y_n}{X_n+15Y_n+3Z_n} \right] \\
 L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\
 a^* &= 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \\
 b^* &= 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

où X Y Z sont les composantes trichromatiques du stimulus considéré et X_n Y_n Z_n sont celles du stimulus neutre de référence.

La figure 2-36 montre la géométrie polaire de l'espace chromatique uniforme CIELAB⁹⁷. Dans cet espace, une couleur est définie par L^* qui définit la clarté et deux autres grandeurs psychométriques, le chroma C^* et l'angle de teinte h , outre les coordonnées cartésiennes a^* et b^* :

$$\begin{aligned}
 C_{ab}^* &= \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \\
 h_{ab} &= \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right)
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

ellipse correspondent à des chromaticités situées à la même distance (1 m.p.c.d. = minimum perceptible colour difference) de la chromaticité centrale. Dans un diagramme de chromaticité uniforme, les ellipses de Mac Adam auraient été des cercles parfaits, tous de même taille : on en est loin avec le diagramme (x, y). » (Embrechts, 1995) : p. 2.24.

⁹⁶ Ces coordonnées « sont munies d'un astérisque pour éviter la confusion avec des systèmes antérieurs où les mêmes notations de coordonnées étaient utilisées mais avec une définition différente » [(Sève et al., 2007) : p 128].

⁹⁷ L'espace chromatique CIELAB (tout comme l'espace CIELUV) n'est approximativement uniforme, selon la CIE, que pour « des conditions d'observation courantes », en particulier lorsque les surfaces sont éclairées par des illuminants de teinte blanche. L'uniformité des deux surfaces est loin d'être parfaite (Embrechts, 1995).

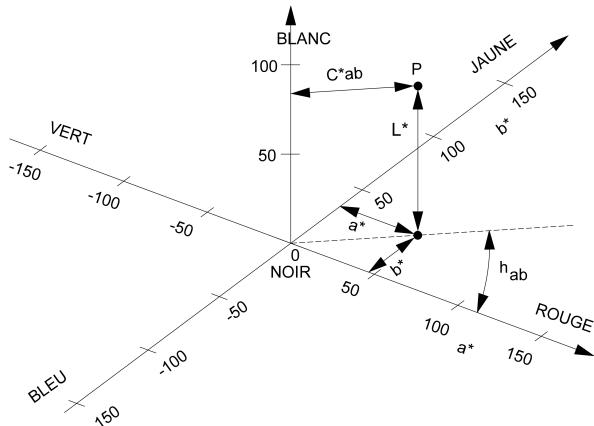


Figure 2-36. L'espace chromatique uniforme CIELAB. © L. Nguyen (2017)

3.2. Description du colorimètre à filtres tri-stimuli

Les instruments de mesure de la couleur ont été conçus dans le but de fournir les coordonnées chromatiques de n'importe quel stimulus de couleur sans intervention de l'œil humain. Ces instruments se divisent en trois catégories : les spectroradiomètres⁹⁸, les spectrophotomètres⁹⁹ (desquels font partie les spectrocolorimètres) et les colorimètres à filtres tri-stimuli.

Dans ce paragraphe, nous ne donnerons qu'une description générale concernant le fonctionnement du colorimètre à filtres, appareil que nous avons en outre employé dans le cadre des validations du protocole exposé dans le prochain chapitre (il s'agit du modèle « Micro Color » du fabricant Dr Lange ®¹⁰⁰, voir Figure 2-37). Nous renvoyons dès lors le lecteur vers des ouvrages techniques spécialisés (tel que l'ouvrage très complet *Color Science* de Wyszecki and Stiles, 2000) concernant les premiers appareils cités et pour plus de détails sur le colorimètre à filtres.

⁹⁸ « Le spectroradiomètre est un appareil conçu pour mesurer les quantités radiométriques en fonction de la longueur d'onde. » (Wyszecki and Stiles, 2000) : p. 229 (traduction de l'auteur). Il permet donc de mesurer le spectre d'un rayonnement lumineux, selon une certaine résolution. « La spectroradiométrie est actuellement reconnue comme la mesure la plus fiable et la plus précise en colorimétrie » (Embrechts, 1995) : p.3.6. Notons que le prix d'un spectroradiomètre est largement supérieur à celui d'un colorimètre à filtres.

⁹⁹ « Le spectrophotomètre est un appareil conçu pour mesurer la transmittance (ou facteur de transmission, N.d.A.) spectrale et les facteurs de réflectance spectrale des objets. Il a une conception similaire au spectroradiomètre [...], bien qu'il possède un objectif plutôt différent, à savoir une capacité à comparer à chaque longueur d'onde le rayonnement quittant l'objet. » (Wyszecki and Stiles, 2000) : p.232 (traduction de l'auteur). Le spectrophotomètre se compose d'un monochromateur, à savoir un dispositif permettant de séparer dans un rayonnement des radiations monochromatiques, ce qui permet à l'appareil de mesurer la répartition spectrale du flux renvoyé ou transmis par un matériau (Sève et al., 2007).

¹⁰⁰ L'appareil nous a gracieusement été prêté par le Laboratoire des Matériaux de Construction (GeMMe Research Group, sous la direction du Professeur Luc Courard) de l'Université de Liège.



Figure 2-37. Colorimètre à filtres « Micro Color » de la marque Dr Lange ®, utilisé dans le cadre de notre recherche. L'appareil portable se compose d'un pavillon de mesure (contenant une sphère intégrative munie d'une lampe au Xénon), d'une unité de traitement où s'affichent les valeurs colorimétriques et d'un dispositif de calibrage.

Un colorimètre à filtres se présente comme un « appareil photoélectrique permettant de déterminer les composantes trichromatiques d'un matériau (plus précisément du rayonnement émis par le matériau, N.d.A.) grâce à l'usage d'un ensemble de filtres colorés spécifiques d'un illuminant et d'un système colorimétrique » [(Sève et al., 2007) : p. 145].

La figure 2-38 reprend un schéma décrivant les éléments constitutifs du colorimètre « Micro Color » au niveau de son fonctionnement. L'appareil se compose d'un pavillon de mesure composé d'une sphère intégrative combinée à une lampe au xénon qui fournit un éclairage diffus de l'échantillon à mesurer ; le pavillon de mesure s'applique sur le matériau ciblé. La réflexion diffuse de l'échantillon est mesurée à un angle de 8°. Le rayonnement réfléchi est ensuite transmis via un câble optique à l'unité de traitement pour être divisé et dirigé vers les filtres colorés spécifiques. L'instrument fournit des signaux photoélectriques proportionnels aux composantes trichromatiques X, Y et Z de la radiation lumineuse incidente, à l'aide de trois cellules qui reproduisent les fonctions colorimétriques CIE. Les données sont traitées à l'aide de micro-processeurs, toutes les mesures sont stockées et affichées en format numérique. Les résultats peuvent être affichés selon plusieurs systèmes colorimétriques, dont XYZ et CIELAB.

Préalablement avant chaque série de mesures, il est recommandé de calibrer l'appareil selon une procédure fournie par le fabricant, à l'aide d'un dispositif de calibrage comprenant une plaquette « blanc standard » munie de ses valeurs X,Y,Z de référence¹⁰¹. Le calibrage s'explique par le fait qu'il s'établit une différence entre les fonctions colorimétriques CIE et les

¹⁰¹ Il s'agit des valeurs XYZ de la plaquette « blanc standard » éclairée par un illuminant D65 normalisé et qui accompagne l'appareil.

sensibilités spectrales réelles du colorimètre (Embrechts, 1995) ; ceci constitue un inconvénient important pour cette technologie.

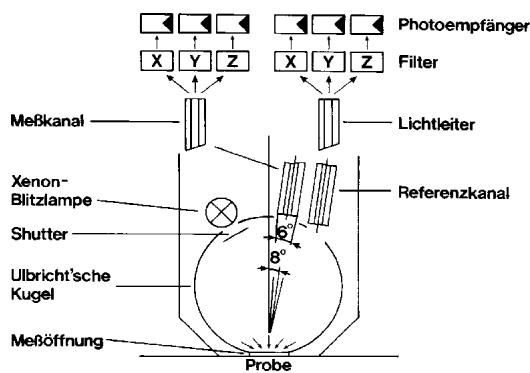


Figure 2-38. Schéma reprenant les éléments constitutifs du colorimètre à filtres « Micro Color » fabriqué par Dr Lange ®, au niveau de son fonctionnement. © (Dr Lange) : p.3

3.3. Applications des techniques spectrocolorimétriques dans la caractérisation chromatique

Plusieurs études espagnoles publiées dans la revue *Color Research & Application* font mention de l'usage d'appareils perfectionnés dans le cadre de mesure spectrale. Feliu et al. (2005) ont ainsi cherché à identifier la composition et la nature chromatique des couches des éléments de façades du siège du Conseil Provincial de Cadix, en vue de sa restauration, en faisant appel à plusieurs techniques telles que la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS) et la microscopie électronique à balayage (SEM). Leurs résultats pour les différentes couches de matériaux sont présentés en coordonnées CIELAB. Dans une approche tout à fait similaire (les mêmes instruments sont utilisés), Durao-Benito et al. (2007) caractérisent la couleur, la composition chimique et l'essence minéralogique des différentes couches superposées de matériaux provenant du « Patio de las Doncellas » dans le palais « Reales Alcazares » (de style Mudejar) à Séville.

Une des études les plus détaillées et complètes qui ont été réalisées au cours des dix dernières années et qui font usage des techniques spectrocolorimétriques dans la caractérisation des tissus urbains historiques est celle réalisée par les chercheurs Garcia-Codoner et al. (2009) de l'Université polytechnique de Valence (nous avons déjà abordé leur recherche précédemment). Leurs travaux portent sur la mise en évidence du statut de la couleur comme variable structurelle de la forme urbaine. Bien que la section actuelle traite spécifiquement des appareils de mesure chromatique, nous résumons et critiquons dans ce qui suit les recherches menées par Garcia-Codoner et al. dont la portée, comme nous le verrons, va au-delà du simple cas d'application des techniques spectrocolorimétriques.

Garcia-Codoner et al. démontrent dans leurs travaux qu'une structure chromatique pouvait être décelée au niveau de la ville historique ; ils ont établi que la ville se présente comme une entité polychrome¹⁰², que la couleur unique n'existe pas à l'échelle urbaine et que cette dernière, bien que complexe au niveau chromatique, est dotée d'une logique organisationnelle. En outre, une relation s'établit entre la couleur et la typologie architecturale et dans chaque district qui a été étudié, des types dominants aux niveaux chromatique et formel émergent, chaque époque architecturale (ou chaque type formel) correspondant à une gamme spécifique de couleurs. Dans le cadre de l'étude pour le centre historique de la ville de Valence, les chercheurs se sont attelés à reconstruire la palette historique de la ville au 19^e siècle (dans une démarche similaire à celle de Giovanni Brino pour la ville de Turin), palette qui selon eux est sous la menace d'une dénaturation voire d'une disparition en conséquence des processus de croissance et de transformation urbaines non contrôlés, ce qui entraînerait une perte de cohérence formelle¹⁰³ de la ville historique (Garcia-Codoner et al., 2009).

En amont de leurs résultats et conclusions pour la ville de Valence, Garcia-Codoner et al. mettent au point une méthodologie dans la collecte des données pour déterminer les gammes de couleurs ; elle s'établit selon les points suivants :

- analyse des documents d'archive¹⁰⁴ ;
- analyse stylistique et classement de la typologie architecturale des bâtiments existants du centre-ville¹⁰⁵ ;
- relevé des mortiers et des enduits utilisés, suivi d'une analyse en laboratoire permettant de déterminer la composition et les qualités chromatiques des matériaux prélevés ;
- détermination de la « table des couleurs » pour les constructions du centre-ville, et en particulier pour chaque classe ou type. A cet

¹⁰² A cet effet, les auteurs emploient l'expression « *chromatically polynuclear* ».

¹⁰³ La notion de cohérence formelle (ou spatiale), ici abordée sous le regard de la couleur, est introduite de manière assez inédite chez Garcia-Codoner et al. Dans le domaine de la forme urbaine, plusieurs auteurs (Bruyns, 2005, Salingaros, 2000 et Hillier et al., 1983) se sont focalisés sur sa spécification en faisant intervenir des concepts de connectivité ou de degré de corrélation. Nous détaillerons la notion de « cohérence » urbaine davantage dans le chapitre 4.

¹⁰⁴ Garcia-Codoner et al. bénéficient de ressources documentaires des plus appréciables dans la détermination des couleurs d'origine des bâtiments, en accédant aux archives de la ville de Valence qui comprennent les détails stylistiques des façades de toutes les constructions entre 1750 et 1930 (Garcia-Codoner et al., 2009).

¹⁰⁵ Les auteurs ne fournissent aucune information sur la méthode utilisée et les sources d'inspiration (école de Versailles, école italienne, ...) dans le processus de classification typologique des bâtiments.

effet, le système de couleurs Munsell est utilisé dans la détermination des gammes de couleurs spécifiques¹⁰⁶.

La troisième étape (analyse en laboratoire) fait intervenir des instruments de mesure spécifiques, selon deux phases : une première phase qui se focalise sur la mesure *in situ* des couches superficielles d'enduits via l'usage d'un colorimètre appliqué en contact sur la paroi et d'un spectrocolorimètre¹⁰⁷ et une seconde phase centrée sur des analyses chimiques de la composition exacte des matériaux (enduits, mortiers, pigments, ...), illustrée sur la figure 2-39, par l'emploi d'instruments sophistiqués :

« *The pigmentation samples were prepared for an optical photographic study with a binocular magnifier for a physical/chemical analysis and determination of components. The analytical instruments and techniques used were: a scanning electron microscope (for the morphological study of the samples), and X-ray diffraction, or scanning electron microscope/energy dispersive using X-ray (SEM/EDX) for the mineralogical analysis of samples [...]* » (Garcia-Codoner et al., 2009) : p.254.

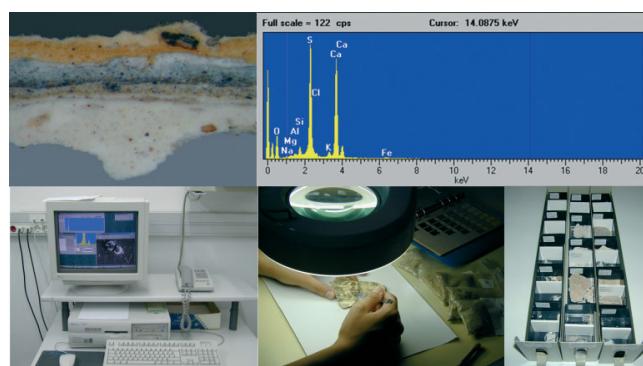


Figure 2-39. Analyse en laboratoire permettant de déterminer les gammes de couleurs historiques de Valence. © (Garcia-Codoner et al., 2009) : p.255

Le centre-historique a été subdivisé en cinq districts : Carmen, Seu-Xerea, Velluters, Mercat et Universitat-Sant Francesc. L'analyse typologique au niveau de la stylistique révèle cinq types dominants répartis parmi les cinq districts : artisan, classiciste, éclectique, moderniste et éclectique tardif. Les chercheurs constatent que chaque district contient un nombre significatif de constructions issues de plusieurs mêmes types dominants qui caractérisent l'aire d'un point de vue de la forme urbaine. La

¹⁰⁶ Le système Munsell semble adéquat dans la translation des couleurs en données chiffrées. Comme nous l'avons vu, ce système de classement présente une correspondance entre la perception et les distances des échantillons dans le volume Munsell. Dans ce sens, il est envisageable de déterminer un échantillon Munsell « moyen » représentatif d'un ensemble vaste d'individus à classer (ce qui est le cas ici). Les auteurs ne précisent néanmoins pas s'ils ont réalisé un tel raisonnement dans leurs travaux.

¹⁰⁷ Les auteurs ne spécifient ni les modèle de colorimètre et de spectrocolorimètre utilisés, ni le protocole dans la collecte des données.

figure 2-40 donne le plan du centre historique de Valence, divisé en districts et dans lequel apparaît la répartition des types dominants.

Dans l'étude des couleurs sur les façades, Garcia-Codoner et al. définissent deux caractères essentiels dans la répartition de la couleur : la couleur de fond (qu'ils nomment « façade background ») et celle du système ornemental¹⁰⁸. Ils observent qu'une fragmentation croissante de la façade, en termes de couleur, s'est produite depuis la période médiévale (où la composante « façade background » est prédominante par rapport à celle relative aux ornements) jusqu'à la période éclectique (où la fragmentation est extrême, les éléments ornementaux réduisant le fond), en passant par la période classique.

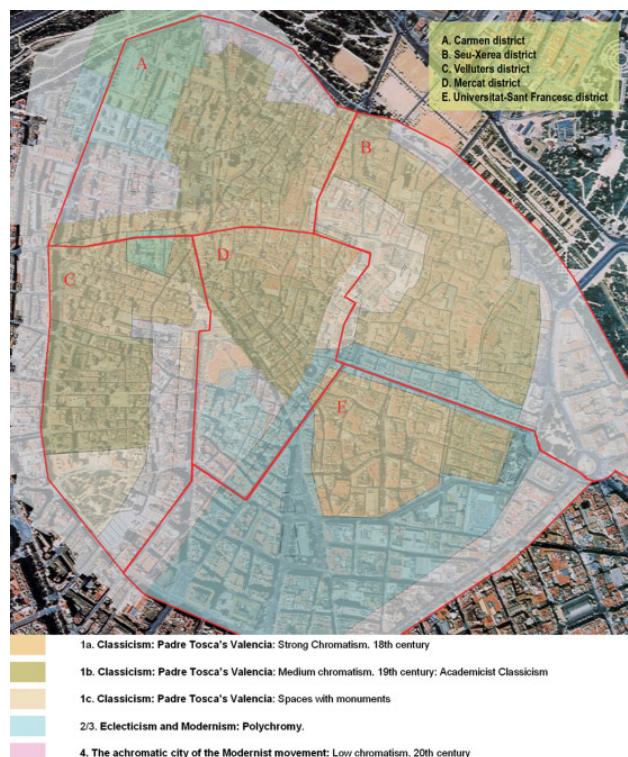


Figure 2-40. Le centre historique de Valence, divisé en districts : répartition des types dominants. © (Garcia-Codoner et al., 2009) : p.258

L'analyse chromatique appliquée sur les constructions étudiées (3.762 individus au total répartis suivant les cinq districts) a permis de mettre en évidence des « tables de couleurs » qui se composent de 11 gammes pour la composante « façade background » (stone, stucco, brick, 2.5Y, 2.5YR, 5YR, 7.5YR, 10YR, 5R, 10R et 5GY) et de 12 gammes pour la composante

¹⁰⁸ La distinction des deux caractères se base sur leurs degrés de présence sur la façade : la couleur de la composante « façade background » (à savoir la couleur du matériau de remplissage en fond) est prédominante, tandis que celle du système ornemental apparaît comme secondaire. Les chercheurs vont jusqu'à déterminer quantitativement cette répartition pour les types dominants (Garcia-Codoner et al., 2009). Nous emprunterons ces définitions dans le cadre du chapitre 3 présentant notre protocole de caractérisation.

ornementale (*no mouldings*, 2.5Y, 2.5YR, 5YR, 7.5YR, 10YR, *stone, local blue, grey, stucco, brick, 5BG-green*).

Les tableaux de la figure 2-41 reprennent quelques résultats de leur étude. Le premier tableau fournit les occurrences des gammes chromatiques de la composante « *façade background* » pour les cinq types dominants. Les deux tableaux suivant indiquent les occurrences des gammes chromatiques dans les cinq districts d'abord pour la composante « *façade background* » et ensuite pour la composante ornementale.

TABLE V. 19th century Valencia: Predominance of chromatic ranges in façade backgrounds.

Chromatic Ranges	Artisan		Classicism		Intr. eclecticism		Palaces		Total	
	Units	%	Units	%	Units	%	Units	%	Units	%
Stone	0.00		0.00		0.00		2	9.52	2	0.63
Stucco	0.00		0.00		0.00		1	4.76	1	0.31
Brick	0.00		0.00		2.99		2	9.52	4	1.25
2.5Y	7	5.60	13	12.15	7	10.45	1	4.76	28	8.75
2.5YR	5	4.00			0.00		0.00		5	1.56
5YR	29	23.20	14	13.08	6	8.96	0.00	49	15.31	
7.5YR	31	24.80	23	21.50	17	25.37	4	19.05	75	23.44
10YR	45	36.00	45	42.06	29	43.28	11	52.38	130	40.63
5R	0	0.00			0.00		0.00		0	0.00
10R	8	6.40	2	1.87	0.00		0.00		10	3.13
5GY	0.00		10	9.35	6	8.96	0.00		16	5.00

TABLE VI. 19th century Valencia: The predominance of chromatic ranges in façade backgrounds by districts.

Carmen		Velluters		Mercat		Seu-xerea		Historic center	
Range	%	Range	%	Range	%	Range	%	Range	%
2.5Y	0.00	2.5Y	0.00	2.5Y	24.42	2.5Y	15.15	2.5Y	10.28
2.5YR	0.00	2.5YR	0.00	2.5YR	0.00	2.5YR	0.00	2.5YR	0.00
5YR	19.23	5YR	21.43	5YR	16.28	5YR	6.06	5YR	17.00
7.5YR	20.51	7.5YR	39.29	7.5YR	12.79	7.5YR	27.27	7.5YR	22.92
10YR	42.31	10YR	23.21	10YR	46.51	10YR	45.46	10YR	39.92
5R	0.00	5R	0.00	5R	0.00	5R	0.00	5R	0.00
10R	12.83	10R	0.00	10R	0.00	10R	0.00	10R	3.95
5GY	2.56	5GY	14.29	5GY	0.00	5GY	0.00	5GY	3.95
Stone	0.00	Stone	1.79	Stone	0.00	Stone	3.03	Stone	0.79
Brick	1.28	Brick	0.00	Brick	0.00	Brick	3.03	Brick	0.79
Stucco	1.28	Stucco	0.00	Stucco	0.00	Stucco	0.00	Stucco	0.40
	100.00		100.00		100.00		100.00		100.00

TABLE VII. 19th century Valencia: Predominance of chromatic ranges in ornamental elements by district.

Carmen		Velluters		Mercat		Seu-xerea		Five districts	
Range	%	Range	%	Range	%	Range	%	Range	%
No mouldings	10.39	No mouldings	4.05	No mouldings	5.56	No mouldings	8.33	No mouldings	6.92
2.5Y	0.00	2.5Y	2.70	2.5Y	13.33	2.5Y	8.33	2.5Y	6.23
2.5YR	0.00	2.5YR	0.00	2.5YR	0.00	2.5YR	0.00	2.5YR	0.00
5YR	11.69	5YR	8.11	5YR	5.56	5YR	0.00	5YR	6.92
7.5YR	18.18	7.5YR	32.43	7.5YR	7.78	7.5YR	27.08	7.5YR	20.07
10YR	37.66	10YR	31.08	10YR	67.78	10YR	50.00	10YR	47.40
Stone	3.90	Stone	0.00	Stone	0.00	Stone	6.25	Stone	2.08
Local blue	11.69	Local blue	4.05	Local blue	0.00	Local blue	0.00	Local blue	4.15
Grey	3.90	Grey	8.11	Grey	0.00	Grey	0.00	Grey	3.11
Stucco	0.00	Stucco	0.00	Stucco	0.00	Stucco	0.00	Stucco	0.00
Brick	0.00	Brick	0.00	Brick	0.00	Brick	0.00	Brick	0.00
5BG (green)	2.60	5BG (green)	9.46	5BG (green)	0.00	5BG (green)	0.00	5BG (green)	3.11
	100		100		100		100		100

Figure 2-41. Tableaux des résultats pour la composante « *façade background* » et la composante ornementale © (Garcia-Codoner et al., 2009) : p.259-260-261

Ces résultats conduisent aux conclusions suivantes. En premier lieu, en ce qui concerne la composante « *façade background* », l'absolue prédominance des ocres et des rouges (5YR, 7.5YR et 10YR) est observée, dans des proportions variables pour les types et les districts. Ensuite, en ce qui concerne la composante ornementale, il apparaît étonnamment une certaine similarité avec la composante « *façade background* » : la gamme chromatique la plus largement utilisée est de la famille 10YR, identique aux deux composantes¹⁰⁹. Ces conclusions dressent un descriptif qui révèle

¹⁰⁹ Même si cela reste secondaire en ce qui nous concerne, ces constats trouvent leur origine, selon les chercheurs, d'une part dans la tendance relative à l'usage de ces

l'évolution de « l'ossature » chromatique urbaine selon une logique qu'il qualifie de structurelle :

« Paradoxically, although at the beginning of the 19th century Valencia was a city formed by a multitude of small buildings, chromatically intense, constituting a rapid and fragmented visual sequence, by the end of the century the city was formed of much larger buildings with more complex elements. It became a “chromatically atomized” city, in which the large number of combinations of chromatic ranges and the wealth of ornamentation generated a richly polychrome urban landscape. » (Garcia-Codoner et al., 2009) : p.265.

Garcia-Codoner et al. mentionnent le degré d'objectivité de leur étude : « *This process of analysis guarantees an objective determination of the original colour ranges: duly arranged and classified according to the Munsell colour system.* » (Garcia-Codoner et al., 2009) : p.254. Il est clair que l'usage d'appareils de précision leur permet de revendiquer le caractère objectif du protocole qu'ils ont établi et des résultats générés. Nous pouvons néanmoins émettre quelques critiques concernant leur méthodologie. En premier lieu, la procédure qu'ils ont développée pour la collecte des données (analyse des documents d'archive, usage du colorimètre pour les mesures directes, prélèvement de matériaux suivi d'analyse en laboratoire) apparaît comme fastidieuse, longue et onéreuse, de par l'usage d'appareils sophistiqués, ce qui diminue son accessibilité et sa reproductibilité auprès d'un plus large public. Ensuite, l'usage du colorimètre dans le prélèvement de l'attribut chromatique ainsi que l'analyse des enduits prélevés réduisent l'étude de la couleur à une petite échelle de perception : la petite portion mesurée ou prélevée est-elle représentative de l'entièreté de la façade, si l'on est, en particulier, confronté à un matériau hétérogène (comme nous l'avons vu dans les exemples précédents) ? Enfin les « tables de couleurs » reprenant les gammes pour la composante « *façade background* » et pour celle des éléments d'ornementation nous paraissent limitées en termes de nombres (pour rappel, 11 pour la première composante et 12 pour la seconde), au regard des nombreuses nuances que devraient présenter les 3.762 individus composant la population étudiée pour le centre-historique, bien qu'un nombre réduit de tonalités peut s'avérer pertinent en termes d'outil de régulation accessible à destination des architectes dans le cadre d'opération de restauration. Aussi, le processus de catégorisation pour former ces gammes n'est pas explicité : s'agit-il d'une évaluation visuelle (ce qui affaiblirait fortement la démarche d'objectivation) ou de calculs qui permettent de déterminer des couleurs « moyennes » ?

Une dernière remarque est portée sur les perspectives offertes dans l'exploitation de leurs résultats et qui pourraient fournir une plus grande dimension dans le dessein final. Garcia-Codoner et al. se focalisent principalement sur la restitution de l'image originale au 19^e siècle du centre

couleurs spécifiques et au choix esthétique d'une coloration similaire des éléments d'ornement avec le fond, et d'autre part dans l'usage d'oxydes comme colorants naturels pour les mortiers (Garcia-Codoner et al., 2009).

historique. Etant donné qu'ils pointent à plusieurs reprises les développements urbains actuels qui menacent la pérennité de la « structure » chromatique initiale qu'ils ont révélée, il serait intéressant de comparer la configuration initiale avec l'actuelle – l'écart de variation pouvant en outre être aisément quantifié –, en vue de déterminer la teneur de l'évolution de la composante chromatique.

Malgré les limites qui viennent d'être décrites, la publication de leurs travaux (notamment via l'article « *Colour as a Structural Variable of Historical Urban Form* » publié en 2009 dans la revue *Color Research & Application*), à côté du fait qu'ils valorisent l'usage d'appareils de mesure dans la caractérisation chromatique, a permis de diffuser des concepts et des thématiques de recherche spécifiques dans le champ de la caractérisation chromatique : la couleur comme variable structurelle du tissu urbain, lien entre typologie de la forme et typologie de la couleur, discussion de la cohérence spatiale, distinction d'une composante « *façade background* » et d'une composante ornementale permettant de caractériser le degré d'unité/fragmentation. Leurs travaux constituent de ce fait à nos yeux une référence scientifique notable dans l'élaboration d'un outil de caractérisation de la couleur urbaine.

3.4. Avantages et inconvénients des appareils de mesure chromatique

Parmi toutes les méthodes de caractérisation chromatique décrites dans ce chapitre, il est évident que les appareils de mesure chromatique, qui sont par ailleurs largement utilisés dans les milieux industriels, fournissent les résultats les plus objectifs étant donné l'approche métrique qu'ils portent sur le stimulus coloré. Aussi, vu que le même illuminant normalisé éclaire les différents échantillons à mesurer, la comparaison entre mesures devient possible (ce qui, rappelons-le, était loin d'être le cas avec l'usage des nuanciers de couleurs pour lesquels l'instabilité des conditions d'observation constituait l'une des faiblesses).

Le fait que les résultats soient établis sous forme numérique ouvre de nombreuses possibilités en termes de traitement de données comme la détermination des valeurs moyennes, en particulier lorsque l'affichage des résultats se présente dans un espace chromatique uniforme tel que CIELAB.

L'exploitation des appareils de mesure chromatique relève néanmoins une série de limites et d'inconvénients. Tout d'abord le prix onéreux de ces appareils ; bien que nous ayons assisté au cours des dernières années à une démocratisation significative de leurs prix, notamment pour les colorimètres d'entrée de gamme, il reste que l'achat d'un spectrocolorimètre professionnel tourne autour des 1.000 euros pour les plus abordables (qui sont moins précis et moins fiables), le prix pouvant

facilement atteindre des dizaines de milliers d'euros lorsqu'il s'agit d'instruments de haute gamme plus sophistiqués¹¹⁰.

Ensuite, la mesure chromatique ne se réalise que sur quelques cm² de surface de matériau constituant une façade. Comme nous l'avons mentionné dans notre critique concernant l'étude de Garcia-Codoner et al. pour le centre historique de Valence, cette portion ne peut à elle seule être représentative de l'entièreté de la façade, en particulier lorsque l'on est confronté à un matériau d'apparence nuancée ou lorsque la façade hétérogène se compose de plusieurs matériaux telle qu'une maçonnerie appareillée. On pourrait dans ce sens combler cette lacune en multipliant les relevés sur base de plusieurs points répartis sur l'ensemble de la façade et déterminer la moyenne pour les valeurs colorimétriques prises dans un espace chromatique uniforme (nous emploierons cette manière de procéder dans le cadre de la validation de notre méthode au chapitre 3).

Enfin, le dernier inconvénient est lié au précédent : l'accessibilité de la zone à mesurer peut constituer une difficulté dans la prise de mesures à l'aide de l'appareil lorsque le matériau à évaluer est situé aux étages supérieurs, au-delà d'une limite de propriété, etc.

¹¹⁰ Il s'agit des prix pour des modèles fabriqués par X-Rite ® ou Konica-Minolta ®. Source : [en ligne] et disponible sur [https://www.aliexpress.com/price/color-spectrophotometer_price.html], consulté le 05/05/2017.

4. Les descriptions verbales

4.1. Désigner la couleur par les mots

« Les petites maisons de briques, peinturlurées pour égayer le climat, les unes jaunes, les autres bleues, d'autres noires, celles-ci sans doute afin d'arriver tout de suite au noir final, dévalaient à droite et à gauche, en serpentant jusqu'au bas de la pente. »

« Dehors, le temps était de plus en plus doux, le ciel de suie se cuivrait, chargé d'une de ces longues pluies du Nord, dont on sentait l'approche dans la tiédeur humide de l'air. La nuit venait par grandes fumées, noyant les lointains perdus de la plaine. Sur cette mer immense de terres rougeâtres, le ciel bas semblait se fondre en noire poussière, sans un souffle de vent à cette heure, qui animât les ténèbres. C'était d'une tristesse blafarde et morte d'ensevelissement. »

(Extraits de *Germinal*, Zola, 1906 : p.169 et 231)

Décrire et dénommer la couleur par l'intermédiaire des mots, que ce soit sous forme orale ou écrite, constitue une tâche qui demeure liée au mécanisme linguistique développé par chaque individu, ce qui confère à ce mode de communication une dimension hautement subjective, intrinsèquement liée à notre expérience cognitive.

Les descriptions écrites sont largement utilisées dans les outils de réglementation urbanistique¹¹¹, dans les ouvrages relatifs au patrimoine¹¹² ou encore dans les fiches techniques fournies par les fabricants de

¹¹¹ Bien que nous ayons écarté de notre étude les discussions sur les outils de réglementation en ne nous focalisant que sur les supports de diagnostic et de caractérisation des tissus urbains, la régulation urbaine contient en amont de sa définition une phase de diagnostic à l'origine de ces spécifications opérationnelles, en particulier lorsque s'établit une politique d'intégration contextuelle sous-jacente. Nous pouvons en outre constater que le processus de caractérisation de la couleur va dans le sens « observation du matériau – réponse littérale » (c'est la teneur de cette réponse littérale que nous analysons dans ce paragraphe), et à l'inverse celui pour la réglementation suit le sens « description littérale – réponse matérielle » (cette réponse matérielle lorsqu'elle est multiple, est à l'origine de la divergence des points de vue). Nous avons abordé, au cours du chapitre précédent, le RGBSR dans le cadre de la description des teintes de matériaux pour les nouvelles constructions par application d'une continuité morphologique pérenne observée. Dans le même sens, nous fournissons ici un extrait de prescription réglementaire concernant la teinte des briques de parement pour les constructions projetées dans le cadre d'un projet de lotissement : « Les matériaux de façades recommandés sont : [...] Les maçonneries de type rugueux dans les tonalités unies ocre, rouge, brun ou gris-noir. Les briques de tonalité blanc et jaune sont volontairement exclues » (Extrait des prescriptions du lotissement du Pré-Ailly à Liège, AUPA, 2010).

¹¹² Dans les volumes du *patrimoine monumental de la Belgique*, l'accent est mis sur la nature des matériaux. Exemple de description : « [...] Dans l'axe, bâtiment en briques et calcaire, à double corps, de deux niveaux sur sept travées. [...] Toiture mansardée d'ardoises à croupettes, deux lucarnes à fronton triangulaire. » (description de l'ancien hôtel de Grady, rue Hors-Château à Liège, Ministère de la Communauté française – Administration du Patrimoine culturel, 1974, p.146.)

matériaux¹¹³ ; nous pouvons remarquer pour ces trois catégories que la description de la nature des matériaux est prioritaire et lorsque c'est la couleur qui est décrite, l'aspect demeure fort générique et imprécis (la teinte apparaît souvent seule, quelque fois accompagnée d'un ou de deux qualificatifs relatifs à la saturation et à la clarté), ce qui laisse l'ouverture à une multitude d'interprétations aboutissant indubitablement à la divergence des points de vue. Pour illustrer cela, nous fournissons sur la figure 2-42 l'ensemble des briques de parement disponibles chez le fabricant belge *Wienerberger* sous le vocable générique « brique rouge », appellation souvent reprise dans les prescriptions réglementaires, patrimoniales et techniques.



Figure 2-42. Gamme de briques de parement du fabricant belge *Wienerberger*, désignées sous l'appellation générique « brique rouge » : la relation « couleur – réponse verbale » est loin d'être biunivoque¹¹⁴. © *Wienerberger*

La Figure 2-42 montre que près de 70 modèles rentrent dans cette catégorie « brique rouge » et que dès lors, une relation biunivoque entre une couleur observée et une réponse verbale nous semble improbable à atteindre, même

¹¹³ Exemple de descriptif technique pour une brique de parement :

« Apparence : surface plane, très légèrement nuancé ; Couleur : rouge profond – la couleur est homogène dans la masse ; Texture surface : lisse - non sablée ; Aspect : mat. » (Extrait du cahier des charges pour la brique *Wienerberger Colorline Rouge lisse de Campine*. [En ligne] et disponible sur <http://www.wienerberger.be/fr/colorline-rouge-lisse-de-campine.html>], consulté le 05/05/2017).

¹¹⁴ Illustration issue du fabricant, [en ligne] et disponible sur <http://www.wienerberger.be/fr/façade>], consulté le 10/05/2017.

en usant d'adjectifs normalisés¹¹⁵ pour définir la teinte, la clarté et la saturation. A côté de ces adjectifs normalisés, la langue française permet d'apporter davantage de précisions dans la teinte par l'emploi de qualificatifs faisant référence à des objets naturels (matières naturelles, végétaux, animaux, etc.) tels que : abricot, ocre, sable, pourpre, sépia, turquoise, amande, brique, écarlate, vermillon, cerise, grenat, canari, citron, olive, kaki, noisette, etc.

Malgré l'emploi de compléments à côté de la teinte, le lexique propre à une langue peut s'avérer malgré tout limité pour cibler une couleur précise. C'est pourquoi, dans le milieu de la caractérisation de la couleur urbaine, les descriptions littérales s'accompagnent le plus souvent d'un visuel représentant la couleur. Ainsi, dans son étude des paysages urbains japonais traditionnels et contemporains, la chercheuse Lorena Alessio complète les descriptions littérales concernant l'attribut chromatique à l'aide de plusieurs visuels ; quatre outils différents sont ainsi mis en parallèle pour caractériser la couleur urbaine : la photographie de l'objet étudié, la palette chromatique correspondante, les codes RGB relatifs aux échantillons, les noms des couleurs (la teinte suivie d'un adjectif) en japonais et en anglais. (Fig. 2-43). La description littérale, à côté de son rôle premier décrivant la nature chromatique de l'objet, est capable selon elle de décrire l'atmosphère ressentie (Alessio, 2016).



Figure 2-43. Usage de quatre outils différents pour caractériser la couleur d'une construction : la photographie de l'objet étudié, la palette chromatique correspondante, les codes RGB relatifs aux échantillons, les noms des couleurs (la teinte suivie d'un adjectif) en japonais et en anglais.
© (Alessio, 2016) : p.238.

Alors que la description « littéraire » est plutôt appréciée lorsque le texte de l'auteur contient des métaphores et des perceptions personnelles liées à

¹¹⁵ L'Afnor, dans la norme X08-010, en vue d'une classification par voie écrite des couleurs, définit quatre teintes de base (bleu, vert, jaune et rouge) et rajoute les onze mots supplémentaires (orangé, violet, pourpre, ivoire, crème, rose, kaki, brun, marron, bordeaux et gris) : l'ensemble de ces mots, dépourvus de qualificatifs, sont nécessaires pour couvrir la totalité du domaine chromatique. Un consensus a ensuite été établi pour associer des qualificatifs sur la clarté perceptive (élevée, moyenne, faible) et la saturation (pâle, clair, vif, grisé, moyen, intense, sombre, foncé, profond) (Sève et al., 2007). Il n'y a pas de lexique équivalent pour les normes belges NBN.

l'émotion¹¹⁶, la description « littérale » utilisée spécifiquement dans la caractérisation doit écarter toute interprétation subjective de l'auteur afin de garder les propos les plus objectifs. Cette recherche d'objectivation semble ardue, étant donné d'une part l'expérience visuelle du descripteur (sa propre perception), et d'autre part les termes employés qui sont puisés dans le lexique spécifique au langage dans lequel il s'exprime.

4.2. « Relativisme linguistique » vs « universalisme perceptuel »

Ce rapport qui existe entre lexique et perception a suscité un débat mouvementé dans le milieu des linguistes qui se sont divisés entre d'une part les disciples du relativisme linguistique, adeptes de l'hypothèse Sapir-Whorf¹¹⁷, et d'autre part ceux de l'universalisme perceptuel (Jraissati, 2008). Pour les partisans du relativisme linguistique basé sur l'hypothèse Sapir-Whorf, la façon dont les frontières sont tracées entre les couleurs avoisinantes, ou la façon dont la couleur est catégorisée, est relative au langage (Ray, 1952, cité par Jraissati, 2008). Whorf expliqua lui-même le principe de relativité linguistique :

« Nous découpons la nature selon les tracés que notre langue a dessinés sur elle. Nous ne découvrons pas les catégories et les types que nous isolons à partir du monde des phénomènes parce qu'elles se trouveraient sous le nez de tout observateur ; au contraire, le monde se présente à nous sous la forme d'un flux kaléidoscopique d'impressions qui doit être organisé par nos esprits — c'est-à-dire en grande partie par nos systèmes linguistiques mentaux [...]. Nous sommes ainsi confrontés à un nouveau principe de relativité, selon lequel les mêmes preuves physiques ne conduisent pas tous les observateurs à la même image de l'univers, à moins que leurs ressources linguistiques ne soient similaires ou puissent être ajustées de quelque manière. » (Whorf, 1956, traduction de Fortis, 2010) : p.2.

¹¹⁶ Dans la littérature française, nous pouvons citer Emile Zola (1840-1902), auteur dont l'écriture – et en particulier la description –, est qualifiée de symbolisme impressionniste : « Emile Zola perçoit la réalité de son œil de peintre et essaie de rendre dans ses descriptions la notion d'énergie plutôt que l'image des objets dans leur forme, dans leur masse ou leur texture. En effet, la couleur et la lumière sont, bien au-delà de la ligne et du volume, les principes fondamentaux de la plastique zolienne. » (Veloso, 2002) : p. 418.

¹¹⁷ L'hypothèse Sapir-Whorf est axée sur l'idée selon laquelle la langue organise notre vision du monde, sélectionne des aspects de l'expérience et sert à catégoriser cette expérience [(Fortis, 2010) : p.3]. Pour illustrer cette hypothèse, Whorf se sert de l'exemple des Esquimaux sur leur perception de la neige : « *We have the same word for falling snow, snow on the ground, snow packed hard like ice, slushy snow, wind-driven flying snow – whatever the situation may be. To an Eskimo, this all-inclusive word would be almost unthinkable; he would say that falling snow, slushy snow, and so on, are sensuously and operationally different, different things to contend with; he uses different words for them and for other kinds of snow.* » (Whorf, 1956) : p.216.

Selon l'hypothèse Sapir-Whorf dans son sens le plus radical, deux personnes parlant des langues différentes – et par extension deux personnes parlant la même langue mais issues de langues maternelles différentes –, n'auront pas forcément la même image mentale à partir du même stimulus coloré et peuvent fournir des réponses verbales différentes. Il serait également vain de trouver un consensus si on leur demandait de catégoriser, dans notre cas par exemple, des matériaux de façade au niveau de leurs couleurs en formant des sous-ensembles chromatiques de base (rouge, brun, jaune, gris, etc.) : on devrait s'attendre à une dispersion plus ou moins importante des réponses si l'on faisait appel à plusieurs observateurs issus de communautés linguistiques différentes.

L'intuition nous amène à mettre en doute l'hypothèse Sapir-Whorf notamment en ce qui concerne la désignation des couleurs primaires (rouge, jaune et bleu) voire secondaires (brun, gris, etc.) dans la pratique de l'architecture et de l'urbanisme. Les travaux de Berlin and Kay (1969) permettent de légitimer notre sentiment. Dans leur monographie *Basic color terms*¹¹⁸, Berlin and Kay ont réagi contre l'hypothèse Sapir-Whorf en ce qui concerne en particulier la catégorisation de la couleur. Ils reprennent le même protocole expérimental que Lenneberg and Roberts¹¹⁹ (1956), dans lequel les sujets ont pour tâche de désigner des catégories de couleurs (en traçant des contours) sur une carte Munsell¹²⁰ (Figure 2-44) et le meilleur exemple pour chaque catégorie de couleur. Leurs résultats ont révélé deux aspects essentiels dans le domaine de la linguistique relative à la couleur (Berlin and Kay, 1969) :

- Il existe une certaine invariance relative à un nombre déterminé de termes basiques de couleurs (*basic color terms*), aussi appelées couleurs typiques (ou focales) qui correspondent universellement aux mêmes régions de l'espace de couleurs. « Présumées universelles, les couleurs focales suggèrent l'existence d'un déterminisme biologique. » (Berlin and Kay, 1969 : p.109, traduit par Fortis, 2010 : p.8).
- Les termes basiques apparaissent selon une évolution séquentielle, de la forme d'un système binaire de deux couleurs vers un système plus évolué de 11 couleurs désignables par des termes de base. « Ainsi, si une langue a deux termes basiques, il s'agira de termes désignant les catégories qu'on appellerait en français noir et blanc, si une langue a trois termes, il s'agira de

¹¹⁸ Cet ouvrage relate les résultats d'une étude comparative portant sur la catégorisation des couleurs dans 98 langues : 20 langues étudiées sur terrain et 78 langues analysées à partir de sources littéraires.

¹¹⁹ Avant ceux de Berlin and Kay, les travaux de Lenneberg and Roberts ont constitué les bases en direction des théories universalistes ; Lenneberg and Roberts (1956) ont mis en évidence l'existence de couleurs typiques identiques dans différentes langues.

¹²⁰ La carte Munsell correspond à la projection planaire de type « Mercator » du volume Munsell (voir Figure 2-13).

noir, blanc et rouge (suivi de jaune, vert, bleu, marron, rose, orange, gris). »¹²¹ (Jraissati, 2008) : p.69. La figure 2-45 reprend ces couleurs basiques.

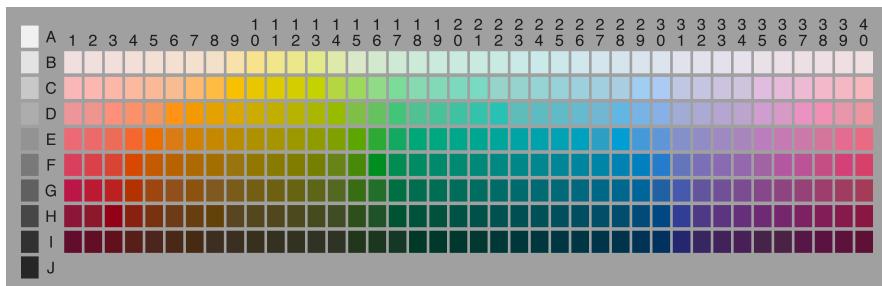


Figure 2-44. Carte de Munsell, utilisée dans le protocole expérimental de Berlin and Kay, dans la théorie des « *basic color terms* »¹²². © International Computer Science Institute (University of California at Berkley)

En d'autres termes, via leur protocole expérimental, Berlin and Kay ont pu affirmer qu'il existe un caractère universel au travers des différentes langues étudiées en ce qui concerne les catégories de couleurs, plus précisément pour certaines couleurs stables dites focales. La chercheuse Eleanor Rosch, en 1972, confirment les résultats de Berlin and Kay par le biais des mesures qu'elle réalise sur la codabilité¹²³ : celle-ci est maximale pour les couleurs focales, quelle que soit la langue, les couleurs focales étant celles dont la dénomination est la plus concise et qui sont nommées le plus rapidement (Fortis, 2010).

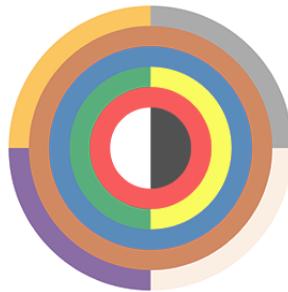


Figure 2-45. Couleurs focales issues de la théorie des « *basic color terms* » de Berlin and Kay¹²⁴. © The Daily Omnivore

¹²¹ A cet effet, Sève et al. ajoutent, sur la théorie des « *basic color terms* » de Berlin and Kay : « Une culture, quelle qu'elle soit, commence toujours par distinguer les colorations avec seulement deux termes, équivalent à *noir* et *blanc* ou à *foncé* et à *clair*, avant d'accéder dans l'ordre à *rouge*, à *vert / jaune*, puis à *bleu*, à *brun*, enfin à *orange / rose / violet / gris*. » (Sève et al., 2007) : p.42.

¹²² Illustration issue du site de l'International Computer Science Institute, [en ligne] et disponible sur [<https://www1.icsi.berkeley.edu/wcs/data.html>], consulté le 10/05/2017.

¹²³ Rosch emprunte le concept de codabilité à Lenneberg and Roberts : la codabilité d'une couleur se juge par la longueur du nom qui lui est donné (plus le nom est court, plus la couleur est codable) et le délai à mettre pour trouver le nom (délai de dénomination) (Fortis, 2010).

¹²⁴ Illustration issue du site « The Daily Omnivore », [en ligne] et disponible sur [<https://thedailyomnivore.net/2012/05/03/basic-color-terms/>], consulté le 12/05/2017.

Depuis son émergence en 1969, la théorie des « *basic color terms* » de Berlin and Kay a connu un grand nombre de remaniements, sans une remise en cause de ses principes fondamentaux (Fortis, 2010). Les derniers travaux de Kay introduisent de nouvelles découvertes, telle l'irrégularité de l'espace perceptuel¹²⁵, qui renforcent la notion d'universalité en termes de catégorisation (Regier et al., 2007). Bien que quelque fois contestés dans le milieu scientifique, les résultats de cette théorie ont reçu un accueil global favorable et bénéficient d'un important retentissement qui a favorisé un grand nombre de rapprochements pluridisciplinaires (Fortis, 2010, Sève et al., 2007).

4.3. Les limites du verbe dans la description de la couleur urbaine

En ce qui concerne la dénomination des couleurs, nous avons vu que les linguistes sont passés du « relativisme » à « l'universalisme » (Fortis, 2010) ; ils se sont écartés de l'hypothèse Sapir-Whorf qui stipule un principe de relativité lié au langage qui organise notre vision du monde, pour admettre que des couleurs de base, dites « *focales* » sont universelles et identiques pour des populations de langues et de cultures différentes.

De ce fait, dans le cadre qui nous intéresse, à savoir l'usage des mots pour dénommer la couleur d'un objet urbain en vue de sa caractérisation, nous pouvons conclure qu'une reconnaissance immédiate et unanime dans le cadre du consensus devrait être attribuée pour certaines couleurs dites de base (telles que le rouge, le jaune, le brun, le rose et le gris en reprenant les couleurs urbaines les plus usuelles), si lesdites couleurs étaient exposées à plusieurs individus, et ce malgré les différences de langues et malgré la mémoire cognitive (qui contient les représentations mentales des couleurs) unique à chacun.

On remarque que ce qui pose problème dans la caractérisation de la couleur urbaine, ce n'est pas la dénomination de ces couleurs dites de base étant donné leurs apparences visuelles qui se révèlent déjà aisément différenciables (voir Figure 2-45) ; la difficulté dans le consensus viendrait essentiellement des couleurs visuellement plus ambiguës lorsqu'il s'agit de nuances rabattues¹²⁶ ou éclaircies dérivant d'une même couleur de base. En d'autres termes, il s'agirait, pour reprendre le protocole expérimental de Berlin and Kay, d'éléments sur la carte de Munsell éloignés des couleurs basiques focales (voir Figure 2-44), proches des frontières des catégories. Ceci converge avec les premières conclusions de la théorie des « *basic color terms* » qui mentionnait des résultats, au niveau de l'universalité, très

¹²⁵ Kay et ses collaborateurs proposent que les catégories de couleurs ne se forment ni autour des points focaux universels ni au regard des frontières, mais sur la base d'un espace perceptuel irrégulier (Regier et al., 2007).

¹²⁶ Une couleur rabattue est une couleur de surface qui a été mélangée avec du noir, ce qui diminue l'intensité de sa coloration (Sève et al., 2007).

variables « aux frontières de catégories » (Fortis, 2010, Jraissati, 2007). En jouant sur les valeurs de saturation et de clarté à partir d'une couleur focale de base, on fait migrer son aspect visuel vers ces frontières, à savoir des zones où le consensus est plus difficilement atteint par rapport aux couleurs focales. L'ambiguïté dans la reconnaissance est, selon nous, d'autant plus marquée, lorsque des couleurs de base sont voisines sur la carte de Munsell : ainsi, la palette de briques sur la figure 2-42 montre des distinctions floues entre les échantillons de couleur rouge clair, rose, rouge foncé et brun¹²⁷.

¹²⁷ Concernant le brun, Guignet relate sa multiplicité (qui augmente davantage la difficulté dans sa désignation et sa dénomination) : « le brun n'est pas une couleur particulière ; le nombre des bruns est infini, car une couleur quelconque, mêlée de noir devient un brun. C'est ce qu'on nomme des couleurs rabattues. » (Guignet, 1889) : p.205, cité par (Sève et al., 2007) : p.33.

5. Les méthodes de caractérisation complémentaires

Les méthodes que nous qualifions ici de complémentaires sont rarement utilisées de manière isolée ; elles sont la plupart du temps couplées aux trois méthodes principales décrites précédemment. Bien qu'il en existe d'autres (telles les modélisations infographiques dont l'exploitation reste assez marginale, et que nous n'aborderons pas dans le présent travail), nous parcourons dans cette partie les trois outils complémentaires suivants : les prélèvements *in situ*, la photographie et le dessin manuel et assisté par les logiciels de DAO.

5.1. Les prélèvements *in situ*

Les prélèvements de fragments de matériaux (maçonneries, enduits, boiseries, etc.) directement sur les constructions (voir illustrations Figures 2-1 et 2-46) ont été abordés à plusieurs reprises dans les sections précédentes, en particulier dans le cadre de la « Géographie de la Couleur » des Lenclos.

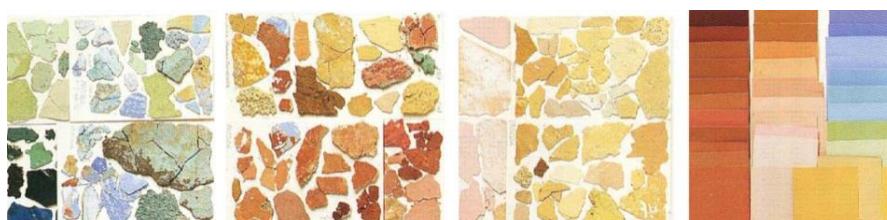


Figure 2-46. Prélèvement de matériaux pour la ville de Procida (Italie) et traduction sous forme de palette chromatique. © (Lenclos et al., 1995) : p.231

La technique de relevé se couple avec une des méthodes principales, au cours des premières étapes de collecte de données. Sur base d'une collection de prélèvements, la couleur du matériau est soit traduite et codifiée par un répertoriorage à l'aide d'un nuancier de référence (NCS, Munsell, ...), soit mesurée par un colorimètre en vue de déterminer des valeurs quantifiées.

Au niveau du secteur du patrimoine, les relevés de matériaux sont exploités dans le cadre de recherches archéologiques pour étudier les façades d'anciens bâtiments :

« L'archéologie de façade fait appel à la stratigraphie des surfaces murales pour retrouver les partis chromatiques originaux adoptés par les concepteurs des époques précédentes et pour observer les possibles changements de l'apparence colorée des bâtiments. Hormis l'apport de connaissances sur les multiples couches colorées des édifices, il s'agit plutôt d'essayer de comprendre les rapports chromatiques entre les éléments architecturaux, de tenter d'évaluer les couleurs selon les différentes époques, voire d'établir les tendances éventuelles d'une époque. » (Petit, 2015) : p.137.

C'est dès lors dans ce champ de recherche axé sur la conservation que l'usage des prélèvements est le plus fréquent, comme nous l'avons vu dans les études décrites plus haut : nous rappelons ainsi l'exploitation des prélèvements chez De Mattiello and Rabuini dans leur recherche sur les enduits des habitations du quartier de La Boca à Buenos Aires, dans le cadre de la reconstruction de la palette historique de Turin chez Brino et dans l'étude du centre historique de Valence réalisée par Garcia-Codoner et al.

L'inconvénient majeur dans le prélèvement réside dans la minutie du travail – surtout dans le cas de façades classées –, ce qui rend le processus long et délicat. Même si les dégâts sur la façade demeurent en général infimes, la technique n'est pas sans risque et produit une détérioration de la surface à analyser. Ensuite, chaque prélèvement de taille souvent réduite se réalise sur une portion de matériau donné, dans une zone bien déterminée de la façade. Dès lors, lorsque les prélèvements sont exploités au travers de collections de matériaux, sans aucun autre appui en vue de la caractérisation d'un ensemble d'individus, les mêmes critiques portées aux palettes de couleurs et aux méthodes exploitant la colorimétrie peuvent être formulées : capacité synthétique réduite vu le nombre limité d'éléments supposés être représentatifs d'un grand ensemble, difficulté dans la caractérisation de matériau nuancé et de système complexe telle qu'une maçonnerie appareillée, et échelle de perception peu appropriée.

5.2. La photographie

La photographie numérique s'est largement développée au cours des vingt dernières années, cela grâce aux progrès technologiques en ce qui concerne les capteurs électroniques, en termes de résolution d'images et grâce à la capacité croissante des modules de stockage (cartes mémoires et disques durs). La démocratisation de la photographie numérique couplée à sa souplesse d'utilisation et d'exploitation (via des fichiers numériques permettant l'usage de logiciels de retouche en post-traitement) a conduit au déclin de la photographie traditionnelle, dite argentique.

Les clichés photographiques sont utilisés en général dans la phase de diagnostic des études de caractérisation chromatique « en soutien au relevé des couleurs » [(Petit, 2015) : p.143]. Dans la première phase d'analyse de site de la méthode de la « Géographie de la Couleur », l'usage de la photographie permet la « mémorisation, la visualisation et la diffusion des informations » [(Lenclos et al., 1982) : p.65]. Chez Lorena Alessio (2016), nous avons observé une exploitation de photographies annotées, sur lesquelles les éléments colorés sont localisés dans le cadre de son travail sur la couleur des paysages urbains japonais (voir Figure 2-43).

Nous avons également abordé les expérimentations de la chercheuse Christina Boeri pour la place Giovanni Bausan à Milan dans lesquelles elle exploite la photographie comme outil de transcription et d'analyse de l'expérience perceptive des utilisateurs (Figure 2-47). Les données

perceptuelles constituent selon la chercheuse les seules sources valables pour amorcer toute réflexion sur la couleur urbaine (Boeri, 2011). Pour l'étude de la place Giovanni Bausan, Boeri répertorie, dans une étape préliminaire, les itinéraires et les points d'observation les plus courants qui sont traduits par des photographies, tant du point de vue de l'observateur mobile que de celui de l'observateur statique. Pour chaque scène visuelle, la chercheuse détermine les couleurs des objets significatifs via entre autre l'usage d'un « *viewer* » (voir Figure 2-28). Les relevés sont réalisés à différents moments de la journée (Figure 2-48). Boeri distingue trois catégories de couleurs : les « couleurs stables » (la couleur des constructions et du mobilier urbain), les « couleurs mobiles » (la couleur des auvents commerciaux et des véhicules) et « les couleurs variables » (la couleur des éléments végétaux). Chacune de ces catégories se divise ensuite en « couleurs proches (*close colours*) » et « couleurs éloignées (*distant colours*) ». Les résultats pour une scène visuelle urbaine sont synthétisés sur une planche reprenant des clichés et une palette de couleurs NCS pour les éléments observés. Les résultats de l'étude de Boeri montrent que la plus grande variabilité apparaît entre la « couleur perçue » et la « couleur inhérente » (notions spécifiques que la chercheuse emprunte à Fridell Anter), en comparaison à la variabilité générée par les changements spectraux provenant des différents moments de la journée et des différentes conditions météorologiques lors des relevés (Ibidem).



Figure 2-47. Travaux de Boeri : perception de la place Giovanni Bausan à Milan, depuis les points de vue les plus courants. © (Boeri, 2011) : p.278.

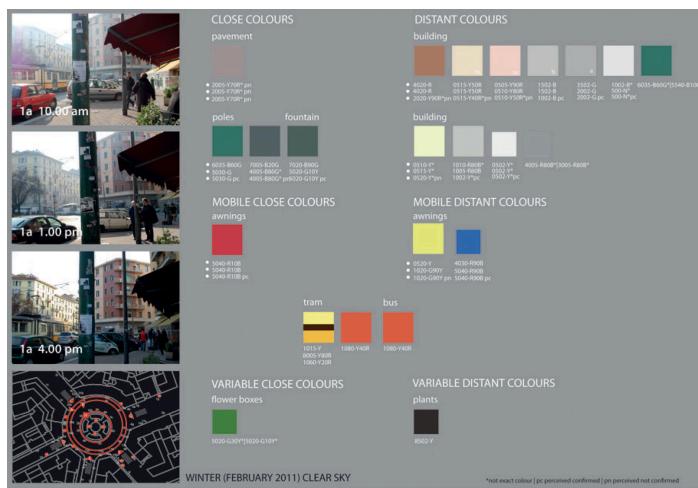


Figure 2-48. Travaux de Boeri : planche synthétique pour une scène visuelle, reprenant des photographies prises à différents moments de la journée et une palette de couleurs NCS divisées en « couleurs proches » et en « couleurs éloignées ». © (Boeri, 2011) : p.279.

La photographie permet de reproduire une image instantanée d'une scène visuelle, ce qui, étant donné que la capture se réalise par le biais d'un appareil électronique, constitue une méthode abordable et fidèle, sous certaines conditions, dans la restitution des couleurs des objets. L'intervention humaine n'a lieu qu'aux moments du cadrage et du déclenchement de la prise de vue ; ces deux actions n'ont a priori aucune incidence sur la couleur capturée. Néanmoins, un shooting photo effectué à l'extérieur fait apparaître des conditions d'éclairage propres à un instant T1 et qui sont différentes de celles à l'instant T2¹²⁸. Dès lors, des images photographiques d'une même scène visuelle, malgré l'usage d'un mécanisme de balance des blancs¹²⁹, sont susceptibles de différer du point de vue de l'apparence de la couleur, certes de manière infime si les instants T1 et T2 sont rapprochés. Dans une approche rigoureuse, la comparaison chromatique d'objets sur base de photographies ne peut être pertinente que lorsque ces dernières sont prises sous des conditions d'éclairage identiques, à tout le moins proches, afin de pouvoir considérer comme stables les paramètres initiaux générant les réponses chromatiques. En effet, il est évident que la comparaison des effets qui proviennent d'hypothèses causales dissemblables (les réponses colorées d'objets éclairés par des

¹²⁸ Les conditions d'éclairage à l'extérieur sont paramétrées par la géométrie solaire (c'est-à-dire la position du soleil dans la voûte céleste qui modifie le spectre lumineux par la diffusion de Rayleigh), la couverture nuageuse et d'autres phénomènes atmosphériques (précipitations, trouble atmosphérique, ...).

¹²⁹ La balance des blancs pour un appareil photo numérique produit une correction de la dominante de couleur et se base sur le même principe que l'adaptation chromatique de l'œil humain. Burger and Burge expliquent ce processus : « *The human eye has the capability to interpret colors as being constant under varying viewing conditions and illumination in particular. A white sheet of paper appears white to us in bright daylight as well as under fluorescent lighting although the spectral composition of the light that enters the eye is completely different in both situations.* » (Burger and Burge, 2009) : p.111-112.

sources lumineuses différentes dans notre cas) ne présente guère d'intérêt d'un point de vue expérimental.

Sous une lumière artificielle fixe dans un environnement intérieur immuable, une variabilité de l'éclairage est moins susceptible d'apparaître. Cela est plus délicat à l'extérieur, bien que des conditions d'éclairage stables pourraient être atteintes en choisissant notamment des instants de prises de vue rapprochés dans le temps, et d'opter pour une lumière diffuse sous ciel couvert.

Une photographie apparaît comme la capture d'une scène réelle aplatie en deux dimensions, une reproduction pouvant être considérée comme la représentation la plus fidèle de ce qui est perçu par l'œil¹³⁰. Dans l'usage de la photographie pour l'évaluation chromatique, les trois points suivants sont à considérer. Tout d'abord, la restitution d'une scène visuelle par deux appareils photographiques de modèle différent, même prise sous des conditions d'éclairage les plus identiques, présentera indéniablement des différences dans la réponse « couleur » : ceci provient de l'emploi de capteurs électroniques différents d'une marque à l'autre. Ensuite, nous avons affirmé que l'intervention humaine n'apparaît pas dans la conversion de l'image réelle en donnée numérique. Il reste que si l'évaluation des clichés photographiques (sur un écran LCD ou sur un support papier) se réalise visuellement, toute l'objectivité sera gommée par l'intervention d'un individu observateur dans le traitement comparatif des données¹³¹. Enfin, vu que la photographie restitue de manière quasi conforme ce que l'œil perçoit, elle ne bénéficie bien entendu d'aucune capacité de synthèse en termes d'outil de caractérisation chromatique, l'image se présentant comme une mosaïque de surfaces colorées, en d'autres termes de l'information brute non traitée.

La photographie apparaît en conséquence prioritairement comme un médium de restitution du réel, sans aucun autre traitement, et c'est dans ce sens que son usage apparaît dans les premiers repérages d'un site à caractériser comme visuel de présentation global du contexte. Une autre voie se situe dans l'exploitation des images photographiques, considérées comme des données de base qui peuvent être traitées afin d'en extraire des résultats exploitables permettant de produire de nouvelles connaissances. Cette perspective semble porteuse d'un grand intérêt à nos yeux et nous verrons, dans le chapitre suivant, que c'est dans cette direction que nous avons orienté notre proposition d'outil de caractérisation chromatique.

¹³⁰ La qualité de la reproduction provenant d'une image photo numérique est subordonnée par les performances de l'appareil photographique dans sa restitution des couleurs. Il existe de nombreux protocoles permettant la comparaison des qualités d'images produites par les appareils photos numériques, tels que ceux développés par la société DxO (www.dxo.com).

¹³¹ L'intervention humaine rend subjective la comparaison visuelle, comme nous l'avons déjà abordée dans le cadre de l'usage des nuanciers pour déterminer la couleur des matériaux.

5.3. Le dessin traditionnel et assisté par logiciel

Le dessin traditionnel constitue l'une des approches exploitées par les Lenclos dans la phase d'analyse de site de la « Géographie de la Couleur » (Figure 2-49). Les coloristes font l'éloge du dessin traditionnel comme un outil privilégié dans leurs études :

« L'un des meilleurs moyens pour appréhender le vocabulaire chromatique du paysage étudié est tout simplement de le dessiner au crayon de couleur. En effet, c'est l'outil le plus pratique pour dénombrer clairement les tonalités dont est composé le motif. » (Lenclos and Lenclos, 2003) : p.17.

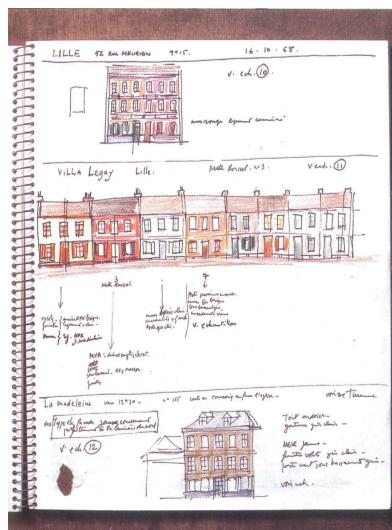


Figure 2-49. L'usage du dessin dans les phases préliminaires de la « Géographie de la Couleur ». © (Lenclos and Lenclos, 1999) : p.17

Un dessin, qu'il soit traditionnel ou assisté par ordinateur, se présente comme une structure couchée sur un support à deux dimensions qui se compose de lignes (ces dernières expriment l'interface entre deux surfaces colorées qui définit un contour¹³²), d'aplats monochromes ou polychromes ainsi que de vides. Il est réalisé par un dessinateur. L'agencement de ces éléments fait apparaître une figure, dans un but de restitution la plus fidèle du réel – dans une « fonction imitative » comme l'indiquait Fernand Léger (2004) –, ou dans une approche interprétative de la réalité¹³³. Au cours du

¹³² Nous avons vu dans l'introduction de notre travail que la ligne, ou le contour, découlait du contraste entre une figure et un fond. La ligne, d'un point de vue pictural, n'a pas de réalité en soi. Kadinsky dira même que « la ligne géométrique est un être invisible » [(Kadinsky, 1991) : p.67]. Brusatin, en évoquant les fameuses silhouettes bleues du peintre Runge qui apparaissent comme de simples aplats monochromes sans contours sur un fond bleu et qui se situent « entre réalisme et abstraction », mentionne « une qualité chromatique plus fine qui masque la tristesse de leur simple contour » [(Brusatin, 2002) : p.135].

¹³³ De nombreux critiques d'art ont vu le déclin de l'art figuratif du réalisme visuel, au vu de l'apparition de nouvelles techniques de reproduction du réel. Pour Léger, ce sont les impressionnistes, les premiers, qui ont rejeté « la valeur absolue du sujet pour ne plus en considérer que la valeur relative » [(Léger, 2004) : p.27]. Vers la fin du 20^{ème} siècle, l'artiste se détache de l'imitation et fait preuve

processus dans lequel le dessinateur a pour tâche de caractériser les couleurs d'une scène urbaine (processus se déroulant la plupart du temps *in situ*), celui-ci fait usage de palettes de couleurs définies par les outils graphiques qu'il emploie pour reproduire et interpréter l'existant : crayons, aquarelles, pastels, ... pour les techniques traditionnelles, palettes de couleurs intégrées dans l'application-software pour les interfaces DAO.

Dans son étude sur les effets chromatiques urbains, la chercheuse Anne Petit répertorie ces derniers en faisant appel au dessin traditionnel (Figure 2-50) et à l'imagerie numérique (Figure 2-51). Ces deux médiums lui permettent d'amplifier et de souligner davantage la vingtaine d'effets visuels répertoriés qui se répartissent en cinq catégories : les effets à dominante optique, les effets à dominante climatique et lumineuse, les effets à dominante psychomotrice, les effets à dominante spatiale et formelle et les effets à dominante sémantique (Petit, 2015).



Figure 2-50. Travaux d'Anne Petit dans le cadre du répertoire des effets chromatiques. Dessin de la chercheuse illustrant l'effet de cacophonie chromatique. © (Petit, 2015) : p.263

Sur base d'une approche sensible mettant à contribution les recherches sur les ambiances urbaines développées par des laboratoires regroupés au sein de l'Unité Mixte de Recherche « Ambiances,

d' « expérimentation », il ne se contente plus de peindre la nature au mieux de ses capacités, comme le mentionne Gombrich (2006). Dans le cadre de la caractérisation de la couleur urbaine, la retranscription du réel par le dessin s'accompagne le plus souvent d'un travail interprétatif qui éloigne la représentation finale d'une reproduction réaliste : isolement d'un élément coloré, accentuation d'un effet chromatique, disparition de la ligne et de la forme pour davantage mettre la couleur en avant, ... Dans ce processus de mise en relief d'une caractéristique visuelle (dans notre cas la couleur), le dessinateur fait appel, à des procédés assez proches de la caricature, comme le précise à nouveau Gombrich : « Quiconque a vu un dessin animé ou simplement des caricatures sait bien qu'il est souvent juste de dessiner les choses différemment de ce qu'elles paraissent, de les modifier, de les déformer d'une manière ou d'une autre. Si Mickey Mouse ne ressemble pas à une vraie souris, à la manière d'une photographie d'un album de famille, qui songerait à s'en plaindre ? » (Gombrich, 2006) : p.24-25.

Architectures, Urbanités » (AAU)¹³⁴, les travaux d'Anne Petit ont pour objectif « d'amorcer la mise en place d'un outil d'analyse des effets de couleur qui puisse aider à l'anticipation et à la communication de ces effets dans la démarche de projet auprès des concepteurs, urbanistes, aménageurs, collectivités, coloristes, etc. » [(Petit, 2015) : p.219]. La chercheuse applique l'inventaire des effets chromatiques le long d'un parcours d'une longueur de 1,5 km situé à Nantes¹³⁵ et qui regroupe des nouvelles constructions sur lesquelles se manifeste « un phénomène de coloration vive et inhabituelle » [(Petit, 2015) : p. 400].

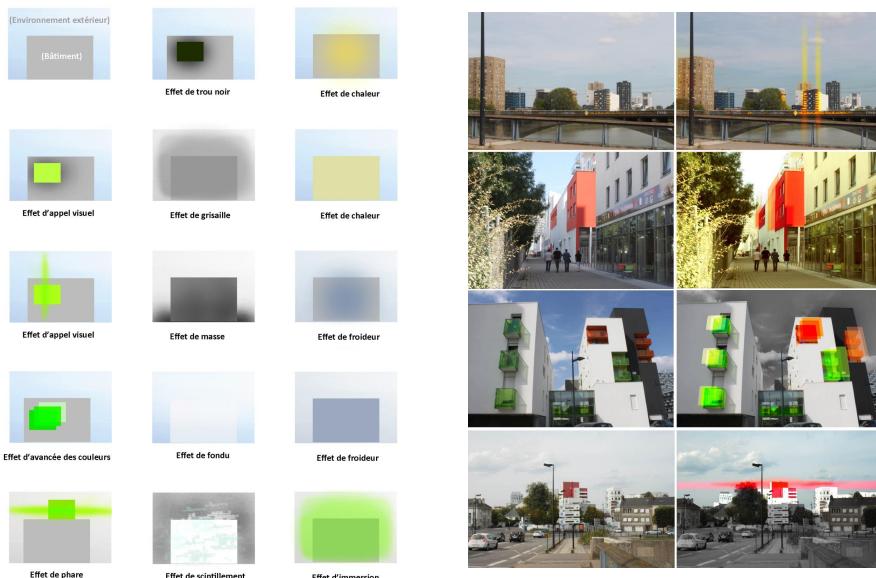


Figure 2-51. Travaux d'Anne Petit dans le cadre du répertoire des effets chromatiques. Proposition d'une amorce de légende graphique pour l'insertion des effets chromatiques sur les photographies (à gauche) et application pour des bâtiments à Nantes (à droite : de haut en bas, effet d'appel visuel, effet de chaleur et avancée des couleurs, effet d'avancée des couleurs et effet de phare). Images réalisées par la chercheuse, avec l'aide du logiciel Adobe ® Photoshop CS6. © (Petit, 2015) : p.356-357

Dans la méthode qu'elle nomme « Séquences Colorées », une première phase de relevé se réalise à l'aide d'un nuancier NCS appliqué sur la paroi à

¹³⁴ L'UMR « Ambiances, Architectures, Urbanités » réunit deux équipes implantées sur deux sites : le Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités (CRENAU) situé à Nantes et le Centre de Recherche sur l'Espace Sonore et l'environnement urbain (CRESSON) situé à Grenoble. Les recherche du laboratoire sont ancrées dans les dimensions spatiales des sociétés, à travers le prisme sensible des ambiances, les différentes formes de matérialités architecturales, et les multiples dimensions sociales et culturelles des urbanités (source : <http://aau.archi.fr/>, consulté le 03/09/2017). L'AAU est en outre à l'origine du Réseau International « Ambiances », réseau scientifique thématique fédérant des travaux en matières d'ambiances architecturales et urbaines (<http://www.ambiances.net/>) ; les travaux mettent en avant l'expérience sensible, l'approche est multisensorielle et pluridisciplinaire.

¹³⁵ Le périmètre d'étude est localisé à cheval entre deux ZAC (zones d'aménagement concerté) dans la centralité urbaine de Nantes : la ZAC Ile de Nantes et la ZAC Pré-Gauchet.

caractériser ou placé à distance selon la méthode de Karin Fridell Ante. Le relevé des couleurs des façades est ensuite synthétisé via l'usage de « motifs chromatiques » caractérisant de manière schématique les teintes utilisées sur les bâtiments (Figure 2-52).



Figure 2-52. Travaux d'Anne Petit dans le cadre du répertoire des effets chromatiques. Motif chromatique (carré à droite) synthétisant les teintes utilisées sur les façades d'un bâtiment. © (Petit, 2015) : p.291

Dans la deuxième phase, la chercheuse établit un protocole d'enquête qui compile les témoignages de douze personnes cheminant le long du parcours et commentant leurs expériences sensibles sur la couleur : les résultats sont collectés sous forme de vidéos, de photographies, et de fichiers audio retranscrits. Dans la dernière étape de l'étude, les résultats de l'enquête – spécifiquement les valeurs convergentes en termes de commentaires qui se dégagent –, sont spatialisés. Cette restitution, qui s'apparente en outre à la méthode de la « traversée polyglotte » de Jean-Paul Thibaud (2001), est appuyée par des photographies prises par les enquêtés et post-traitées par la chercheuse à l'aide du logiciel Adobe Photoshop ®, afin de mettre en évidence les effets de la couleur (la photographie retouchée se confondant fortement avec une œuvre picturale). Un ensemble de cartes reprend les effets chromatiques rencontrés le long du parcours et repérés dans le cadre de l'enquête (Figure 2-53). Les résultats de l'application de la méthode des « Séquences Colorées » pour le parcours à Nantes ont, d'une part, mis en évidence deux types d'effets (l'un à caractère permanent, l'autre à caractère impermanent) et d'autre part souligné la variété d'effets produits par le mouvement dans la perception des couleurs urbaines¹³⁶.

¹³⁶ « Selon le mouvement de l'observateur, les effets se substituent les uns aux autres, ils peuvent se superposer, s'accorder ou se mélanger sur un même bâtiment, entrer en concurrence visuelle et dépendre également des autres » (Petit, 2015) : p.370.

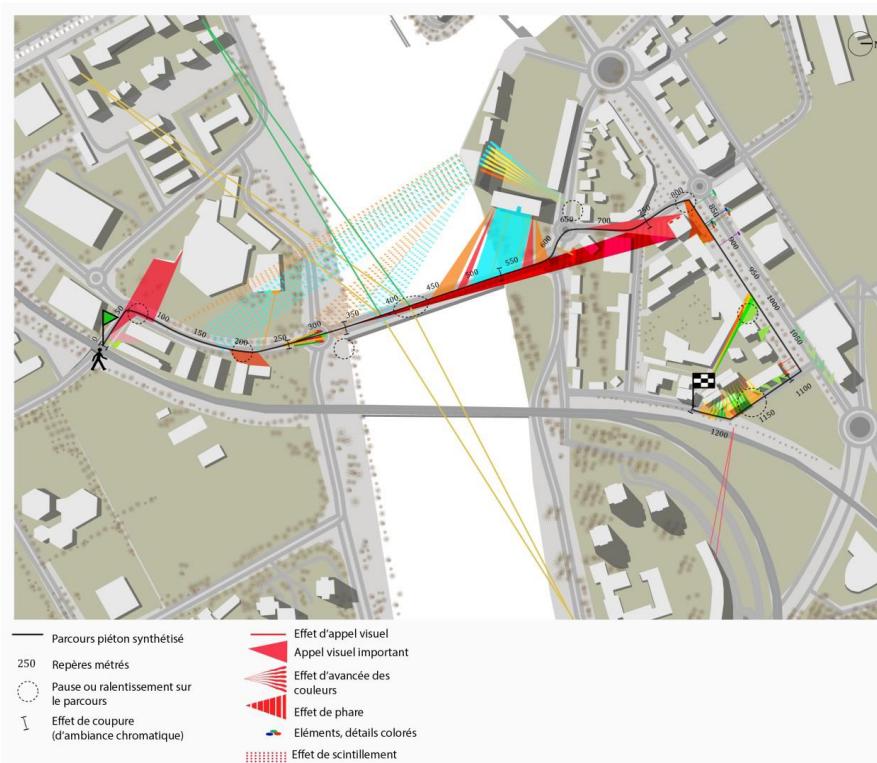


Figure 2-53. Travaux d'Anne Petit dans le cadre du répertoire des effets chromatiques. Carte du parcours urbain reprenant les effets optiques émettant des signaux visuels vers l'observateur, réalisée sur base des commentaires des enquêtés. © (Petit, 2015) : p.359

L'usage du croquis dans les diagnostics de la couleur urbaine est également mis en avant dans le cadre des travaux de Heide Hinterthür. Sur base du dessin traditionnel, cette architecte-coloriste parvient, dans un travail de synthèse graphique, à mettre en avant le rapport des masses colorées, à singulariser un élément de couleur, à révéler l'implication de celui-ci dans les perspectives et cadrages visuels, ou encore à différencier les plans visuels d'un paysage urbain. Ses croquis d'ambiance sont produits lors d'expériences *in situ* (Figure 2-54).

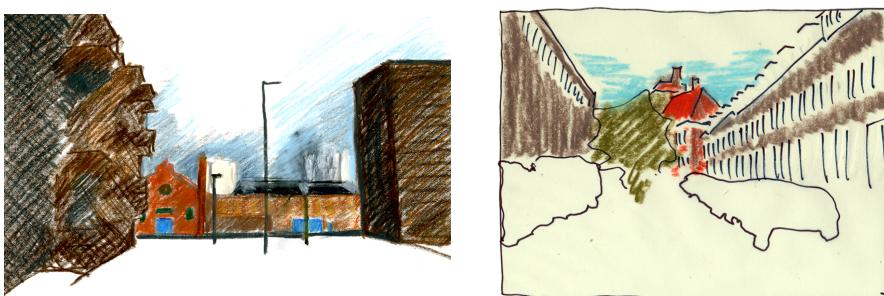


Figure 2-54. Croquis réalisés par Heide Hinterthür pour l'analyse historique, culturelle et urbaine de Rotterdam Zuid¹³⁷. © Topaz Architecten

¹³⁷ Illustrations issues du site internet du bureau Topaz Architecten, [en ligne] et disponibles sur [https://topazarchitecten.nl/stedenbouw/cultuurhistorische-verkenning-vooroorlogse-wijken-rotterdam-zuid/], consulté le 03/09/2017.

Nous pouvons énumérer les forces et les faiblesses du dessin, pointées autant chez Anne Petit que chez Heide Hinterthür. Largement relégué en second plan sous l'effet de la démocratisation de la photographie numérique, le croquis coloré réalisé par un dessinateur ne demeure pas moins doté d'une capacité synoptique et synthétique permettant de saisir de manière rapide et efficace les nuances colorées d'une scène visuelle ; le dessin s'apparente à un processus de synthèse de l'information qui produit une hiérarchie dans les aplats colorés. Le croquis coloré, en plus de faciliter la compréhension visuelle d'une scène (parce qu'il en simplifie la lecture) possède, même si nous avons écarté de notre discours scientifique toute allusion liée à l'interprétation subjective, une valeur expressive qui met une singularité chromatique directement en évidence dans le cadre d'un parcours dynamique proche de l'expérience de l'usager urbain – comme nous venons de le voir chez Anne Petit –, ce que la photographie parvient rarement à transmettre.

Un certain nombre de faiblesses peuvent ensuite être soulevées, le dessin présentant des limites indéniables en termes de restitution du réel dans un but de caractérisation chromatique. Tout d'abord, nous le voyons dans les croquis et les vues infographiques de la méthode des « Séquences Colorées », le dessin exige un degré de compétences techniques et artistiques minimum pour permettre un rendu satisfaisant : lecture d'une scène visuelle, gestion de la perspective, reproduction des textures et des couleurs, gestion du clair-obscur, ... Ensuite, le dessinateur, dans la restitution des couleurs qu'il perçoit est limité par les instruments utilisés (crayons, aquarelles, pastels, nuancier numérique, ...) qui offrent une gamme de couleurs finies : le rendu final est en quelque sorte lié au « gamut » offert par les instruments graphiques. Nous évoquerons ensuite la difficulté dans la comparaison chromatique entre deux rendus dessinés, provenant de la valeur purement qualitative de l'objet, de l'influence des supports matériels (papier, écrans, ...) s'ils ne sont pas semblables, ou encore des différences de techniques (voire de dessinateurs) entre deux dessins. Enfin, comme pour les nuanciers de couleurs mais à un niveau encore supérieur selon nous, la subjectivité liée au dessin constitue la faiblesse majeure de cette méthode de caractérisation. Le dessinateur, qu'il fasse appel à une technique traditionnelle ou numérique, met en jeu, dans sa tâche d'observation et de restitution, un travail d'interprétation personnelle du réel, ce qui ne permet pas de valider cette méthode en termes de reproductibilité : plusieurs dessinateurs fourniraient des résultats différents dans l'interprétation d'une même scène. Ce travail graphique, impliquant une valeur de jugement, s'apparente à un exercice de composition : « *Composing a scene, choosing and positioning light sources, selecting the colours and texture of surfaces, fixing the context and determining the rendering style all deserve skilled judgement.* » (Moore, 1991) : p.51.

6. Conclusions

Les outils de caractérisation chromatique ont été classés en trois catégories principales (les palettes de couleurs, les appareils colorimétriques et les descriptions verbales) auxquelles nous avons ajouté trois instruments d'évaluation complémentaires (les prélèvements *in situ*, la photographie et le dessin). Chaque outil de caractérisation possède ses atouts et ses faiblesses et est indubitablement dédié à un usage spécifique : capture et diffusion rapide pour les palettes, codage précis de la couleur pour les appareils colorimétriques, étude stratigraphique pour les prélèvements, analyse préliminaire de site pour la photographie et le dessin.

C'est pourquoi les méthodes de caractérisation chromatique développées dans la recherche scientifique font rarement usage d'un seul outil : il s'agit en général de combinaisons de plusieurs outils dont l'agencement et la succession fournissent l'originalité et la pertinence des résultats. Ainsi, la méthode de la « Géographie de la Couleur » (Lenclos et al., 1982, Lenclos and Lenclos, 1990, Lenclos et al., 1995, Lenclos and Lenclos, 1999) fait appel à la majorité des outils : croquis, photos, notes écrites, nuanciers de couleurs et prélèvements *in situ* pour la phase d'analyse préliminaire, palettes chromatiques de synthèse pour la phase de présentation des résultats. Il en est de même pour la méthode développée par Giovanni Brino (1980, 1998) dans le cadre de la restauration de la ville de Turin ou encore la méthode des « Séquences Colorées » mise en œuvre par Anne Petit (2015).

Les tableaux ci-dessous fournissent une synthèse des atouts et des faiblesses pour chacun des six outils qui ont été décrits dans le présent chapitre. Ils reprennent les exemples d'applications et précisent les systèmes de classement, les espaces chromatiques et les instruments utilisés dans le cadre de ces utilisations.

Tableaux 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 et 2-6. Synthèse des atouts et des faiblesses pour chacun des six outils décrits dans le présent chapitre. Exemples d'applications et précisions complémentaires (systèmes de classement, espaces chromatiques, instruments utilisés). © L. Nguyen (2017)

NUANCIERS ET PALETTES SYNTHÉTIQUES	ATOUTS	FAIBLESSES	EXEMPLES D'APPLICATION	SYSTÈMES DE CLASSEMENT, ESPACES CHROMATIQUES, APPAREILS ET OUTILS UTILISÉS
	<ul style="list-style-type: none"> • Compréhension aisée permettant une diffusion à un public large. • Visualisation didactique, qualité synoptique. • Intégration possible d'un paramètre surfacique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'une standardisation des conditions d'éclairage dans la tâche d'observation <i>in situ</i>. • Subjectivité liée au jugement de l'observateur : dans la sélection de l'échantillon du nuancier et dans la création de la palette synthétique. • Difficulté dans une démarche comparative entre les palettes relatives à plusieurs périmètres territoriaux (difficulté due à la valeur qualitative des palettes). • Difficulté dans le traitement de matériaux nuancés, d'assemblages multi-matériaux. • Nécessité d'un protocole d'évaluation de la couleur selon les distances d'observation. • Détérioration possible du support papier et de l'encre d'impression. 	<p>Projet "Farbraun Stadt" (Haus der Farbe, 2011)</p> <p>Caractérisation des toitures de l'Ancienne Chine (Gou and Wang, 2000)</p> <p>Reconstruction chromatique du quartier de la Boca à Buenos Aires (De Mattiello and Rabuini, 2010)</p> <p>Charte chromatique pour la ville de Turin (Brino, 1980)</p> <p>"Géographie de la Couleur" (Lenclos and Lenclos)</p> <p>Etude des couleurs de la place Giovanni Bausan à Milan (Boeri, 2011)</p> <p>Charte chromatique de la ville de Dinant (2006)</p> <p>Recommandations architecturales du CAUE de l'Oise (2001)</p>	Nuancier NCS Nuancier Pantone Nuancier NCS Système Munsell Nuanciers provenant de différents industriels Nuancier NCS Nuancier Akzo-Nobel Nuancier Astral

APPAREILS DE MESURE CHROMATIQUE	ATOUTS	FAIBLESSES	EXEMPLES D'APPLICATION	SYSTÈMES DE CLASSEMENT, ESPACES CHROMATIQUES, APPAREILS ET OUTILS UTILISÉS
	<ul style="list-style-type: none"> Objectivité de la méthode basée sur des données quantitatives issues de la mesure du stimulus coloré. Analyse statistique envisageable à partir des valeurs numériques (traitement des données : valeur moyenne, écart-type,...). Standardisation des conditions d'éclairage intégrée dans l'appareil de mesure (éclairage normalisé) : comparaison possible entre les valeurs résultats. 	<ul style="list-style-type: none"> Méthode fastidieuse, appareils onéreux. Surface évaluée limitée à quelques cm², qui n'est pas forcément représentative de l'entièreté de la façade. Difficulté dans l'évaluation des matériaux nuancés et les assemblages multi-matériaux. Zone à mesurer pas toujours accessible (située aux étages supérieurs d'une construction). 	Etude du siège du Conseil Provincial de Cadix (Feliu et al., 2005)	Espace CIELAB FTIR, EDS et SEM
			Etude du patio de las Doncellas à Séville (Duran-Benito et al., 2007)	Espace CIELAB FTIR, EDS et SEM
			Etude du centre historique de la ville de Valence (Garcia-Codoner et al., 2009)	Espace Munsell Spectrocolorimètre, microscope électronique

DESCRIPTIONS VERBALES	ATOUTS	FAIBLESSES	EXEMPLES D'APPLICATION	SYSTÈMES DE CLASSEMENT, ESPACES CHROMATIQUES, APPAREILS ET OUTILS UTILISÉS
	<ul style="list-style-type: none"> Outil apprécié lorsqu'il prend une dimension littéraire et artistique. 	<ul style="list-style-type: none"> Imprécision et ambiguïté dans les termes utilisés. Mise en jeu de la sensibilité du lecteur dans les tournures littéraires. Subjectivité liée au mécanisme du langage propre à chaque individu, en particulier dans le cas des couleurs visuellement ambiguës. 	Réglementations urbanistiques en Région wallonne (RGBSR, prescriptions de lotissements,...)	Descriptions littérales
			Etude des paysages urbains japonais traditionnels et contemporains (Alessio, 2016)	Descriptions littérales

	ATOUTS	FAIBLESSES	EXEMPLES D'APPLICATION	SYSTÈMES DE CLASSEMENT, ESPACES CHROMATIQUES, APPAREILS ET OUTILS UTILISÉS
	PRÉLÈVEMENT IN SITU			
<ul style="list-style-type: none"> Adapté pour les approches patrimoniales (stratigraphie des surfaces murales). Pas d'altération de l'information "couleur" par traitement successif. 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'un travail minutieux entraînant une intervention délicate et parfois longue (bâtiment classé). Technique invasive avec risque de détérioration de la surface. Taille réduite de l'échantillon qui n'est pas forcément représentatif de l'entièreté de la façade. 	<ul style="list-style-type: none"> Charte chromatique pour la ville de Turin (Brino, 1980) "Géographie de la Couleur" (Lenclos and Lenclos) Etude du centre historique de la ville de Valence (Garcia-Codoner et al., 2009) Reconstruction chromatique du quartier de la Boca à Buenos Aires (De Mattiello and Rabuini, 2010) 	Prélèvement de matériaux	
			Prélèvement de matériaux	
			Prélèvement de matériaux	
			Prélèvement de matériaux	

	ATOUTS	FAIBLESSES	EXEMPLES D'APPLICATION	SYSTÈMES DE CLASSEMENT, ESPACES CHROMATIQUES, APPAREILS ET OUTILS UTILISÉS
	PHOTOGRAPHIE			
<ul style="list-style-type: none"> Accessibilité de la photographie numérique, due à sa démocratisation. Usage d'un appareil électro-mécanique réduisant l'intervention humaine dans l'interprétation et générant une reproduction assez fidèle du réel. 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'une standardisation des conditions d'éclairage lors du shooting <i>in situ</i> et de la mise au point d'un protocole dans le réglage de l'appareil. Capacité de synthèse de l'information "couleur" réduite, lorsque l'image n'est pas post-traitée. 	<ul style="list-style-type: none"> "Géographie de la Couleur" (Lenclos and Lenclos) Etude des paysages urbains japonais traditionnels et contemporains (Alessio, 2016) Etude des couleurs de la place Giovanni Bausan à Milan (Boeri, 2011) Application de la méthode des "Séquences Colorées" pour la ville de Nantes (Petit, 2015) 	Appareil photographique	
			Appareil photographique	
			Appareil photographique	
			Appareil photographique	

	ATOUTS	FAIBLESSES	EXEMPLES D'APPLICATION	SYSTÈMES DE CLASSEMENT, ESPACES CHROMATIQUES, APPAREILS ET OUTILS UTILISÉS
	DESSIN			
<ul style="list-style-type: none"> Simplicité et accessibilité de la méthode en termes d'instruments graphiques. Capacité synthétique permettant de produire une "hiérarchie" intelligible de l'information "couleur". Valeur expressive liée à la sensibilité du dessinateur. 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'une compétence technique dans la maîtrise des instruments graphiques. Subjectivité de la méthode liée au travail d'interprétation personnelle du dessinateur. 	<ul style="list-style-type: none"> "Géographie de la Couleur" (Lenclos and Lenclos) Application de la méthode des "Séquences Colorées" pour la ville de Nantes (Petit, 2015) 	Instruments graphiques traditionnels	
			Instruments graphiques traditionnels et numériques	
			Instruments graphiques traditionnels	

Chapitre 3

Implémentation d'un protocole de caractérisation chromatique – application et validations

« Non seulement une couleur que personne ne regarde est une couleur qui n'existe pas, mais une couleur que personne ne peut nommer n'a pas de réalité sociale et culturelle. » (Pastoureau, 1998) : p.11.



Figure 3-1. Protocole de caractérisation appliqué sur la rue Féronstrée à Liège : récolte des données photographiques avec usage d'une charte gris neutre.

© LEMA – ULiège (2012)

1. Introduction

Remarque préliminaire :

Les résultats de recherche des chapitres 3 et 4 ont été publiés dans la revue *Color Research & Application* sous le titre « Color in the urban environment: A user-oriented protocol for chromatic characterization and the development of a parametric typology (Nguyen and Teller, 2016a). Dans *Ambiances – Revue internationale sur l'environnement sensible, l'architecture et l'espace urbain*, nous avons exposé les procédures de validation de la méthode dans le cadre de l'article « La couleur dans l'environnement urbain – Validation d'un protocole de caractérisation chromatique » (Nguyen and Teller, 2013). Nos travaux ont en outre été présentés dans le cadre de conférences internationales :

- AIC 2011, Midterm Meeting of the International Color Association (7-10 juin 2011 à Zurich) : « Chromatic characterization of urban fragments: validation of a user-oriented protocol through the study of Hors-Château street (Liège, Belgique) » (Nguyen et al., 2011) ;
- AIC 2012, Interim Meeting of the International Color Association, (22-25 septembre 2012 à Taipei) : « Chromatic mutations in suburban areas » (Nguyen et al., 2012) ;
- XII Conferenza del colore (8-9 septembre 2016 à Turin) : « Colour in the urban environment: a tool for the chromatic analysis of spatial coherence » (Nguyen and Teller, 2016b).

1.1. Choix de l'approche dans la caractérisation

En réponse aux limites et aux faiblesses des outils existants que nous avons décrits dans le chapitre précédent, notre intention a consisté à construire une méthode permettant de générer des valeurs quantifiées de la couleur. Notre approche, dans l'implémentation d'un protocole, se veut la plus objective dans le sens où elle tente de limiter l'implication d'un jugement de la part de l'utilisateur. En d'autres termes, comme nous l'avons mentionné dans le premier chapitre, nous considérons que la gestion de la morphologie urbaine ne peut relever de jugements subjectifs et esthétiques, dans la perspective de pouvoir établir un consensus démocratique en ce qui concerne la caractérisation de l'attribut morphologique ici visé. Nous adoptons de ce fait une dynamique qui tend à développer une méthodologie d'objectivation du jugement en matière de morphologie de la ville [(Teller, 2001) : p.20]. Spécifiquement dans le cadre du développement de notre méthode de caractérisation basée sur cette recherche d'objectivation, nous avons de ce fait d'emblée écarté les nuanciers de couleurs comme outil de collecte de l'attribut chromatique, dont l'usage requiert un jugement de la part de l'utilisateur et, pour une raison équivalente, l'emploi du dessin traditionnel ou assisté. Ces outils se focalisent en outre sur l'évaluation de

la sensation de couleur (dans les domaines physiologique et perceptif) et non sur le stimulus de couleur (dans le domaine physique).

Nous avons considéré l'usage de la photographie numérique comme le meilleur compromis. En effet, la démocratisation de cette technologie rend accessible son usage¹³⁸ et nous avons constaté précédemment son caractère approprié dans le traitement du stimulus coloré, sa reproduction assez fidèle du réel étant générée par un mécanisme électronique. Aussi, nous avons, dans le cadre de l'usage de la photo, développé un protocole qui standardise les conditions d'éclairage. Cette standardisation permet à l'instrument, en termes métrologiques, de présenter un degré de fidélité acceptable dans les réponses qu'il fournit, en admettant qu'il demeure indubitablement une variabilité provenant des fluctuations environnementales. La standardisation a pour effet de limiter ces fluctuations. Nous verrons par ailleurs que le protocole reste sensible aux heures de prises de vues qui font apparaître des différences dans l'éclairage ambiant et dans les résultats générés. Il est clair qu'un appareil photographique n'affichera pas une exactitude équivalente à celle d'un appareil de mesure chromatique ; il possède néanmoins l'avantage, outre son prix plus accessible, de générer une image qui englobe l'entièreté d'une façade. Dans ce sens, nous acceptons et assumons les limites de l'appareil photographiques notamment dans le fait qu'il reste un médium capturant et reproduisant l'apparence de la réalité et non un appareil de mesure fiable tels les colorimètres et spectrophotomètres.

Aussi, l'accessibilité, dans l'exploitation de la photographie, semble adaptée dans le sens où nous avons ciblé comme utilisateurs finaux les autorités publiques et les professionnels de l'aménagement, en vue de fournir un instrument qui ne soit pas complexe au niveau opérationnel. L'appareil photo se substitue à l'œil dans la capture de l'information « couleur », cette dernière pouvant ensuite être traduite en données numériques. En d'autres termes, nous avons exploité des résultats non pas qualitatifs – comme c'est le cas pour les palettes de synthèse –, mais des valeurs quantitatives issues de l'extraction, en post-traitement, de données colorimétriques sur base des photographies numériques, en faisant appel à différents espaces chromatiques (RGB, TSL et CIELAB). Par la suite, l'établissement de données quantitatives nous a permis, d'une part de lancer des analyses statistiques en vue de fournir une interprétation la plus objective des résultats et, d'autre part, de générer un mode de présentation graphique qui se dote d'une capacité synoptique permettant de comprendre la distribution de l'attribut couleur dans un périmètre urbain. Nous

¹³⁸ Nous assistons, depuis quelques années, à la baisse du prix des appareils photos numériques. Cette baisse est à mettre en lien avec la chute du volume de vente des appareils photos (dans tous les segments, du compact grand public au reflex) qui s'explique par la forte concurrence des smartphones et des tablettes (source : [en ligne] et disponible sur [https://www.lesechos.fr/07/11/2015/lesechos.fr/021462131194_les-ventes-d-appareils-photo-en-forte-baisse.htm], consulté le 30/06/2017).

rappelons que notre méthode s'ancre dans une démarche de caractérisation ; elle englobe, comme nous l'avons vu au chapitre 1, à la fois une fonction de spécification (pour un élément bâti, pour un fragment urbain) et une fonction de comparaison de la couleur (évaluation des différences chromatiques entre les éléments étudiés, processus de catégorisation). Nous soulignons à nouveau que cette démarche de caractérisation par le biais d'une instrumentation basée sur la photographie, bien que s'alignant dans un processus d'objectivation, est pourvue de certains choix expérimentaux pouvant apparaître comme des faiblesses que nous développerons davantage plus loin (choix du type d'éclairage, degré d'objectivité de la couleur moyenne, affichage des résultats dans des espaces chromatiques non uniformes, ...). Il demeure que la méthode proposée apparaît à nos yeux comme un juste équilibre entre une proposition simple, cohérente et accessible à un large public malgré ses lacunes et approximations.

1.2. Choix et présentation de la zone d'investigation comprenant les fragments urbains analysés

Le contexte de l'agglomération de Liège – dont la superficie avoisine les 300 km² – nous a semblé fertile en vue de l'application de notre protocole de caractérisation de la couleur urbaine, et ce pour deux raisons majeures. Tout d'abord, l'accessibilité évidente en termes de localisation du périmètre d'étude qui nous a permis en outre d'effectuer plusieurs vérifications. Ensuite, la croissance urbaine de Liège est typique des villes européennes et englobe les grandes étapes de l'évolution morphologique à grande échelle : noyau historique du Moyen Âge construit sur un site primitif et entouré d'enceintes, période industrielle dans le tournant du 19^e-20^e siècle accélérant la construction de l'ossature viaire des quartiers mais aussi la densification du tissu urbain – cette période s'accompagnant de la construction de cités de logements sociaux due à la demande croissante en logements –, phénomène de périurbanisation après les années 50 caractérisée par la construction de zones destinées exclusivement à la résidence et au commerce en périphérie. La Figure 3-2 reprend les étapes dans l'évolution de l'agglomération liégeoise.

La ville de Liège a subi un processus de croissance complexe qui a généré un tissu urbain à la fois planifié, désordonné et diffus dans sa périphérie. Les étapes de cette évolution ont été jalonnées par le démantèlement des remparts aux 18^e et 19^e siècles, le comblement des voies d'eau (entre autres pour les quartiers d'Outremeuse, d'Avroy et des Vennes) et l'apparition du chemin de fer et de l'automobile (dont le tracé des voies a engendré une reconfiguration radicale de la structure urbaine et une nouvelle image de la ville à partir des années 50).

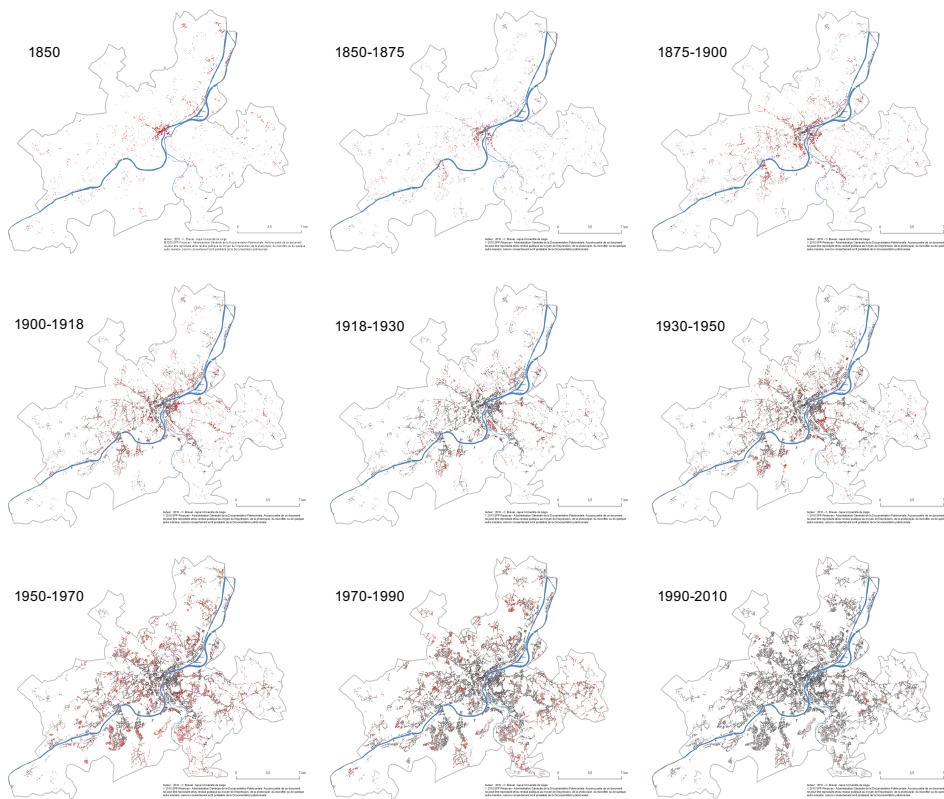


Figure 3-2. Croissance urbaine de l’agglomération liégeoise de 1850 à 2010, selon le cadastre. © Christophe Breuer (LEMA – ULiège) (2015)

La croissance urbaine a produit des aires urbaines caractéristiques, ou aires différenciées, répertoriées dans le *Guide de l’Urbanisme pour la Wallonie*¹³⁹ (MRW-DGATLP, 2004a), chaque aire présentant des caractéristiques morphologiques semblables au niveau de son tissu :

- 1) l’aire du centre de la ville en bâti continu, très forte densité ;
- 2) l’aire des premières extensions de la ville en bâti semi-continu, densité moyenne ;

¹³⁹ L’ouvrage publié en 2004 par la Direction générale de l’Aménagement et du territoire du Ministère de la Région wallonne avait pour objectif d’établir des principes généraux d’aménagement et de fournir un cadre d’accompagnement ; il avait pour vocation de constituer un outil d’aide à la décision et un instrument de dialogue entre les acteurs de l’aménagement du territoire (le grand public, les promoteurs, les auteurs de projet et l’autorité publique). En dépit de cette ambition, l’ouvrage offre une vision simplifiée et radicale dans la description du territoire wallon et apparaît au final comme un recueil de « recettes de cuisine » à appliquer pour le « bon aménagement des lieux ». Le guide segmente l’espace dans un esprit « moderniste » de séparation des activités (tel que le préconise le Plan de Secteur élaboré entre 1977 et 1987), en négligeant la complexité du tissu existant et l’évolution de la société qui apparaissait déjà à ce moment-là (défis énergétiques et climatiques, mutations de la cellule familiale, vieillissement de la population, politique en matière de mobilité, politique de reconstruction de la ville sur la ville, ... [CPDT, 2011]). Malgré tout, le *Guide de l’Urbanisme pour la Wallonie* a néanmoins pour grand mérite d’offrir une présentation à la fois didactique, pragmatique et claire, en termes de morphologie urbaine, des aires urbaines différencierées.

- 3) l'aire des dernières extensions de la ville en bâti discontinu, faible densité ;
- 4) l'aire de parc résidentiel en bâti continu, très faible densité ;
- 5) l'aire des ensembles bâtis homogènes ;
- 6) l'aire des voiries d'entrée dans les villes ;
- 7) l'aire de commerces de distributions.

Pour notre étude, nous avons regroupé les deux premières aires sous l'appellation « centre historique » (*historic centre*) qui reprend autant le noyau ancien (autour de la place Saint-Lambert) que les premiers faubourgs (les quartiers d'Avroy et Saint-Gilles par exemple). Les aires 3 et 4 sont reprises dans la catégorie « lotissements résidentiels périurbains » (*periurban housing districts*). Il nous a semblé intéressant de valider l'homogénéité chromatique pour les lotissements sociaux (aire 5), sous la catégorie « cités ouvrières » (*working class neighbourhoods*). Enfin, les entrées de ville et les aires de commerces de distributions sont réunis dans la catégorie « zones commerciales » (*commercial zones*).



Figure 3-3. Illustrations des quatre catégories d'aires urbaines étudiées : (1) le centre historique, (2) les lotissements résidentiels périurbains, (3) les cités ouvrières et (4) les zones commerciales. © LEMA – ULiège (2013)

Ces quatre catégories d'aires urbaines sont illustrées sur la Figure 3-3 ci-dessous. Les fragments urbains (rues, boulevards, nappes et places) que nous avons choisis pour appliquer notre protocole de caractérisation se répartissent parmi ces quatre catégories principales. Nous avons ciblé un total de 18 fragments urbains éparsillés sur l'ensemble de l'agglomération

liégeoise (Liège, Ans, Herstal, Ougrée et Boncelles). Sur base d'un examen visuel préliminaire focalisé sur la forme urbaine, et au regard des aires différencierées dont la description morphologique est fournie dans le *Guide de l'Urbanisme pour la Wallonie* (MRW-DGATLP, 2004a), les 18 fragments nous ont semblé représentatifs de chacune des quatre catégories principales ciblées. Aussi, dans cette sélection, nous avons veillé à faire apparaître une diversité suffisante dans les catégories d'aires urbaines.

En ce qui concerne l'attribut chromatique, nous avons vu chez Garcia-Codoner et al. l'établissement d'une structure chromatique de la ville, celle-ci se présentant comme une entité polychrome : « [...] each historical architectural epoch has its own chromatic ranges, derived ultimately from the dominant formal tastes and from the available construction techniques » (Garcia-Codoner et al., 2009) : p.253. Le schéma repris sur la Figure 3-4 constitue un modèle attribuant à chaque milieu une palette de couleurs génériques, déterminée de manière intuitive et sur base d'une observation visuelle du territoire liégeois, à savoir un centre historique constitué d'éléments bâtis de teinte minérale autour duquel s'additionnent les différentes couches urbaines caractérisées chacune par une gamme spécifique : la couronne des faubourgs avec un bâti en briques de tonalité brunâtre, la ceinture périurbaine composée d'une part de lotissement résidentiel avec des constructions en briques de tonalité pastel, et d'autre part de zones commerciales aux enseignes polychromes saturées. Il est évident que les villes européennes ne se développent pas toutes selon ce schéma rudimentaire. Cette représentation radioconcentrique permet tout au moins d'appréhender visuellement les objectifs de notre recherche : au travers de l'étude de différents fragments qui composent les milieux urbains ciblés, existe-t-il une convergence vers une tendance chromatique commune pour chacun de ces derniers (Nguyen and Teller, 2013) ? Une convergence entre l'examen visuel et les résultats des mesures réalisées se manifestera-t-elle ?

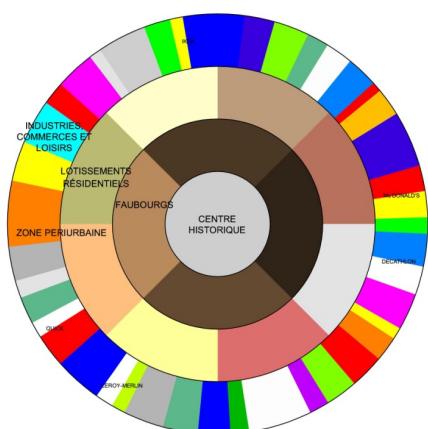


Figure 3-4. Modèle radioconcentrique simplifié de la ville. Chaque portion du disque représente une aire urbaine caractérisée par une palette chromatique spécifique (ici déterminée de manière intuitive) : centre historique (combiné ici avec la ceinture des faubourgs), couronnes périurbaines comprenant les lotissements résidentiels et les zones commerciales. © L. Nguyen (2010)

La carte de la Figure 3-5 indique la localisation géographique des 18 fragments urbains choisis dans l'agglomération de Liège. Le tableau 3-1 se présente comme un inventaire des fragments analysés, classés suivant les

quatre catégories d'aires urbaines ; ce tableau fournit des caractéristiques complémentaires : le nombre de façades relevées, le type d'affectation, la configuration du bâti (bâtiments mitoyens, semi-mitoyens, isolés) et la densité (ou taux d'occupation au sol, en pourcentage). Les Figures 3-6 à 3-23 détaillent davantage chacun des fragments étudiés (plan cadastral¹⁴⁰, vue aérienne, photographie d'ambiance).

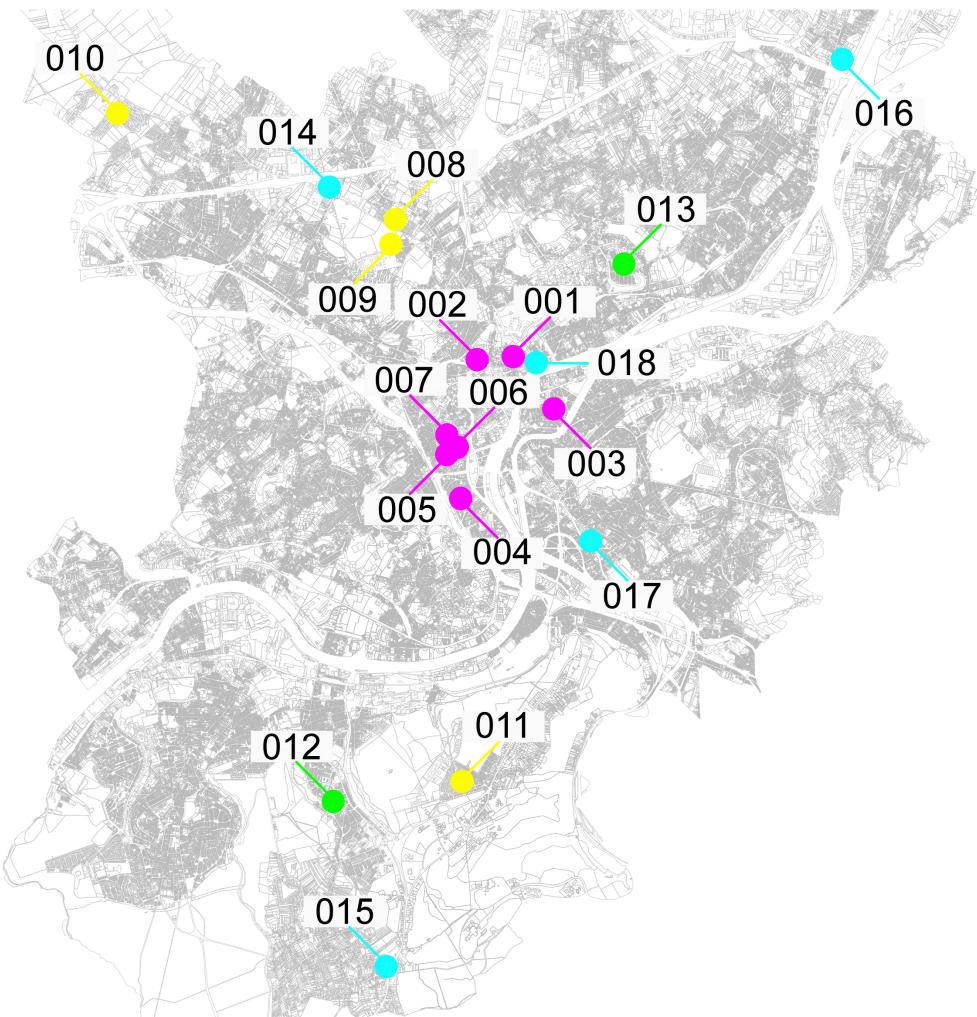


Figure 3-5. Localisation des 18 fragments urbains étudiés dans l'agglomération liégeoise. En magenta : fragments du centre historique ; en jaune : lotissements résidentiels ; en vert : citées ouvrières ; en cyan : zones commerciales. © L. Nguyen (2014)

¹⁴⁰ Base du plan cadastral : Plan de Localisation Informatisé (PLI) issu du MRW-DGO4.

Tableau 3-1. Inventaire des fragments urbains étudiés répartis suivant les quatre aires urbaines. Caractéristiques complémentaires : nombre de façades, type d'affectation, configuration du bâti et densité.

Area code	Area name	Number of facades	Type of functional mix	Type of building layout	Density (%) (Floor area ratio)
Historic center					
001	Rue Hors-Château	101	Mixed used	Terraced	57.27
002	Rue des Anglais	37	Mixed used	Terraced	64.14
003	Rue Jean d'Outremeuse	106	Predominantly residential	Terraced	60.72
004	Place Bronckart	33	Predominantly residential	Terraced	56.87
005	Rue du Jardin Botanique	44	Predominantly residential	Terraced	75.06
006	Rue Darchis	57	Predominantly residential	Terraced	75.06
007	Rue des Augustins	57	Predominantly residential	Terraced	75.06
Periurban housing districts					
008	La Closeraie	170	Residential	Detached	42.40
009	Clos des Chardonnerets	71	Residential	Semi-detached	36.17
010	Lotissement du Waroux	197	Residential	Detached	32.81
011	Lotissement du Sart-Tilman	190	Residential	Detached	51.17
Working-class neighbourhoods					
012	Cité Pirenne	81	Social housing	Semi-detached	45.00
013	Cité du Tribouillet	207	Social housing	Semi-detached	47.63
Commercial zones					
014	Ans-Rocourt	129	Predominantly commercial	Detached	42.40
015	Boncelles	71	Predominantly commercial	Detached	54.97
016	Herstal	125	Predominantly commercial	Detached	31.21
017	Boulevard Frankignoul	205	Mixed used	Semi-detached	68.11
018	Rue Féronstrée	71	Mixed used	Terraced	57.27



Figure 3-6. Fragment urbain 001 – Rue Hors-Château à Liège (centre historique).

Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-7. Fragment urbain 002 – Rue des Anglais à Liège (centre historique).

Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-8. Fragment urbain 003 – Rue Jean d'Outremeuse à Liège (centre historique). Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-9. Fragment urbain 004 – Place Bronckart à Liège (centre historique).
Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-10. Fragment urbain 005 – Rue du Jardin Botanique à Liège (centre historique). Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-11. Fragment urbain 006 – Rue des Augustins à Liège (centre historique). Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-12. Fragment urbain 007 – Rue Darchis à Liège (centre historique).

Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-13. Fragment urbain 008 – La Closeraie à Rocourt (lotissement résidentiel périurbain). Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-14. Fragment urbain 009 – Clos des Chardonnerets à Rocourt (lotissement résidentiel périurbain). Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-15. Fragment urbain 010 – Lotissement de Waroux à Ans (lotissement résidentiel périurbain). Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-16. Fragment urbain 011 – Lotissement du Sart-Tilman à Angleur (lotissement résidentiel périurbain). Source vue aérienne : Google (2016).

© L. Nguyen (2016)



Figure 3-17. Fragment urbain 012 – Cité Pirenne à Ougrée (cité ouvrière). Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-18. Fragment urbain 013 – Cité Tribouillet à Liège (cité ouvrière).
Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-19. Fragment urbain 014 – Zone commerciale à Ans-Rocourt.
Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-20. Fragment urbain 015 – Zone commerciale à Boncelles.
Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-21. Fragment urbain 016 – Zone commerciale à Herstal.

Source vue aérienne : Google (2016). © L. Nguyen (2016)



Figure 3-22. Fragment urbain 017 – Boulevard Frankignoul à Liège (zone commerciale : entrée de ville). Source vue aérienne : Google (2016).

© L. Nguyen (2016)



Figure 3-23. Fragment urbain 018 – Rue Féronstrée à Liège (zone commerciale : artère commerçante du centre-ville). Source vue aérienne : Google (2016).

© L. Nguyen (2016)

2. Protocole de caractérisation chromatique

2.1. Spécification de la variable mesurée

Nous avons procédé à une vaste campagne de relevés dans laquelle nous avons photographié un total de 1.952 façades de bâtiments répartis selon les 18 fragments urbains ciblés¹⁴¹. La lumière réfléchie par la façade d'un bâtiment, qui produit son apparence colorée, constitue le signal physique que nous avons mesuré.

Dans un premier temps, il a été nécessaire de procéder à une analyse typologique afin de révéler les composantes morphologiques de la façade. En effet, une façade-type, en particulier pour un bâtiment mitoyen à travées qui constitue l'individu le plus courant rencontré dans notre campagne de relevés, est généralement composée de différents constituants : un matériau principal de remplissage en fond – à savoir, comme nous l'avons vu plus haut, ce que Garcia-Codoner et al. (2009) nomment la composante « façade background » –, sur lequel se superposent les seuils et encadrements de fenêtres, le soubassement, la menuiserie extérieure et le chenal. La composante principale « façade background » (élément « Mr » sur la Figure 3-24) est considérée comme la plus représentative : nous nous centrerons dans notre étude sur cette composante dominante. Les autres composantes, secondaires, appartiennent au système ornemental. Notons que la chercheuse Th. F. Tosca dans son étude sur l'environnement urbain grec fait une distinction identique entre l'élément de couleur dominante qui forme la palette générale (*general palette*) et les autres éléments de couleurs secondaires formant la palette relative aux détails ornementaux (*detail palette*) (Tosca, 1994).

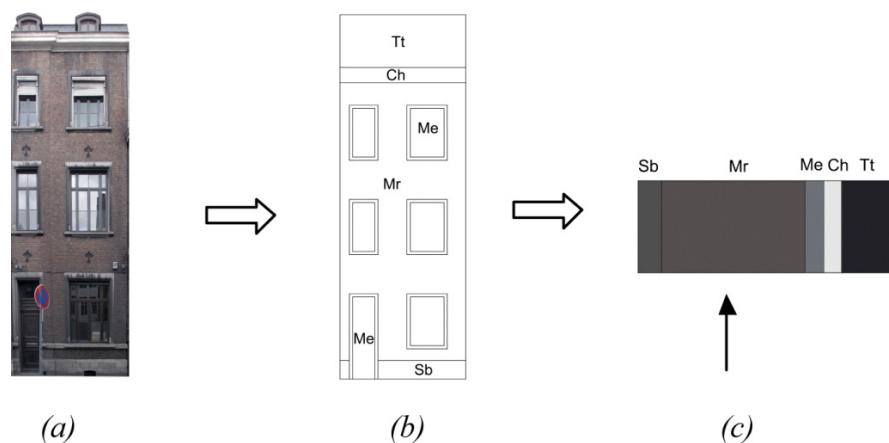


Figure 3-24. (a) Photographie de la façade ; (b) analyse typologique mettant en évidence les composantes de la façade : soubassement « Sb », matériau de remplissage « Mr », menuiserie extérieure « Me », chenal « Ch » et toiture « Tt » ; (c) vignette de couleurs (la flèche indique la composante dominante « façade background »). © (Nguyen and Teller, 2013)

¹⁴¹ En termes statistiques, nous pouvons considérer que nous avons collecté une population composée de 1.952 individus, répartis selon 18 échantillons.

La focalisation de notre étude sur la composante « façade background » nous permet dans un premier temps d'aborder la complexité issue de la multitude des signaux nous parvenant depuis un objet urbain coloré. Ensuite, cette composante nous apparaît comme la réponse qu'un « observateur standard » fournirait s'il devait spécifier une couleur dominante pour la façade. Pour illustrer cet argument, nous avons mené une expérience sur base d'un échantillon d'une trentaine d'étudiants de la section « ingénieur-architecte » de l'Université de Liège. Le plan d'expérience a été le suivant : à partir de plusieurs photos de façades (Figure 3-25), nous avons demandé à chaque étudiant de détourer ce qui pour lui apparaît comme étant la couleur principale caractérisant la façade : pour les deux photos, à l'unanimité, la couleur de la brique relative au matériau de remplissage « façade background », qui est la plus présente visuellement sur la façade et qui s'apparente à l'identité chromatique du bâtiment, s'est révélée comme étant la couleur dominante pour les sujets de l'expérience.

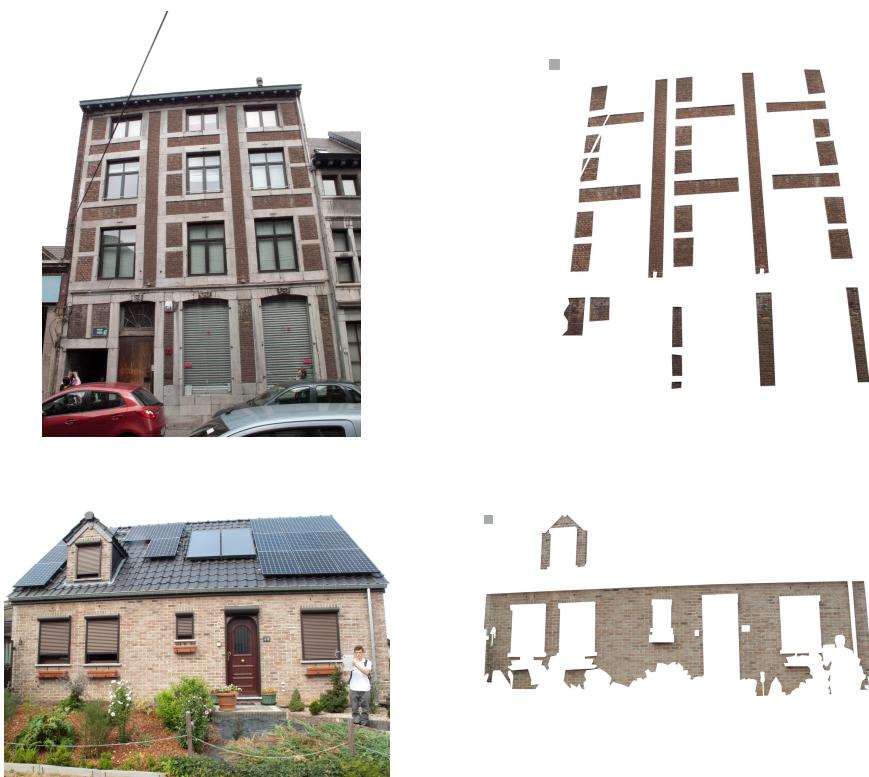


Figure 3-25. Expérience menée pour évaluer la couleur dominante. Pour les deux photos de façades, la couleur de la brique qui est relative au matériau de remplissage (composantes « façade background » ici détournées par un des sujets) s'est révélée comme étant la couleur dominante pour les sujets de l'expérience.

© LEMA – ULiège (2012)

2.2. Implémentation du protocole : standardisation des conditions d'éclairage, balance des blancs, mélange optique et espace chromatique TSL

Notre volonté étant de rendre le protocole accessible à un utilisateur final tel qu'une municipalité ou un professionnel de l'urbanisme, la méthode se singularise par l'emploi d'outils à usage répandu : un appareil photo numérique et un logiciel de traitement d'image, tel que Gimp ® ou Adobe Photoshop ®. L'essor considérable de la photographie numérique et des logiciels de retouche d'image au cours des vingt dernières années a permis de rendre cette technologie accessible auprès du public. Notre protocole se caractérise par cinq états successifs et six opérations permettant la transition d'un état à un autre. L'ensemble du protocole est synthétisé sur la Figure 3-26. Le protocole a été implémenté en langage de programmation Matlab ®, spécifiquement pour l'opération 2 « balance des blancs » couplée à l'opération 5 « couleur moyenne » et pour l'affichage des résultats (graphiques et tables)¹⁴².

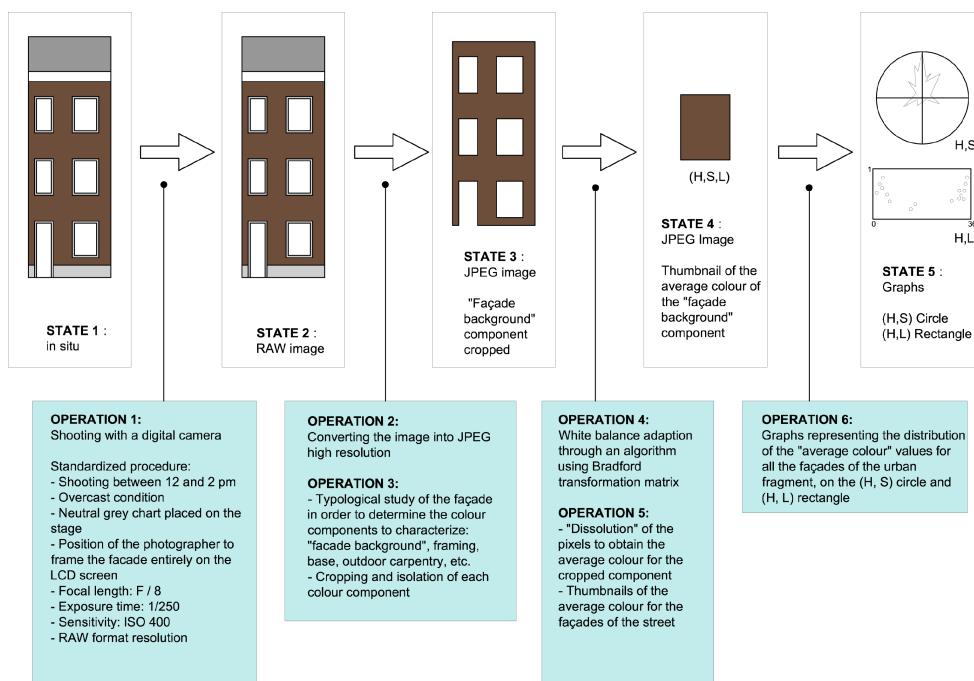


Figure 3-26. Schéma synthétisant le protocole de caractérisation chromatique.

© (Nguyen and Teller, 2016a)

L'opération 1 consiste à collecter les données chromatiques des individus de la population par une prise de vue photographique, selon une procédure standardisée. Dans une perspective de comparaison des différents fragments urbains, nous avons clairement constaté dans le chapitre précédent qu'il était nécessaire, dans le cadre de l'emploi de la photographie, de définir des conditions stables de prise de vue.

¹⁴² Les scripts implémentés sous Matlab ® sont en annexe du présent ouvrage.

En effet, la géométrie solaire ainsi que les conditions météorologiques font varier la distribution spectrale et l'intensité lumineuse produisant des fluctuations de l'éclairage naturel dans la scène visuelle. Le rendu des couleurs pour les matériaux en conditions extérieures est lié au spectre du rayonnement solaire qui varie en fonction de la position du soleil¹⁴³. Ainsi, si l'on observe les variations dans la journée, le spectre présente une dominante rouge lorsque le soleil est bas dans la voûte céleste (le matin et le soir) et une dominante bleue à midi lorsque le soleil est haut dans le ciel. En guise d'illustrations, nous reprenons un relevé effectué en 1980 à Uccle par la section de radiométrie de l'I.R.M. (Institut Royal Météorologique de Belgique) qui reprend la distribution spectrale du rayonnement solaire direct. La Figure 3-27 fournit ainsi les spectres de la lumière solaire pour la même journée (12 mai 1980) à des heures différentes (respectivement 12h00 et 18h00). Nous remarquons que le rayonnement global (en trait plein) est plus bleu à midi qu'en fin de journée où, par ailleurs, le rayonnement solaire direct (en trait alterné point-barre) tire légèrement vers le rouge.

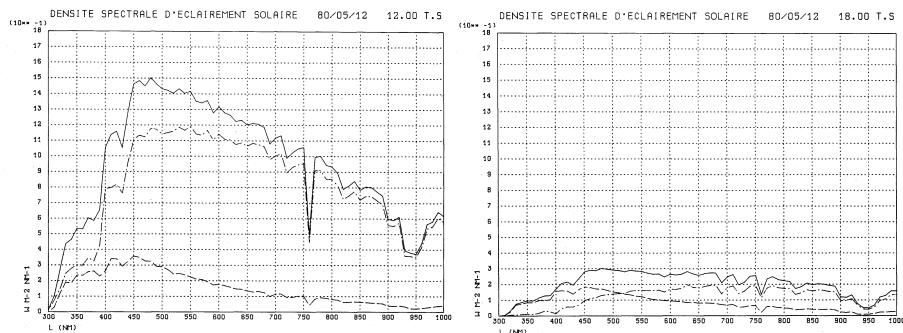


Figure 3-27. Graphiques reprenant la distribution spectrale de l'éclairement solaire pour le 5/12/1980 : rayonnement global (trait continu), composante diffuse (trait interrompu) et composante directe (trait alterné). © (I.R.M., 1981)

Aussi une lumière directe sur la façade provoque des écarts de couleurs assez importants par la surexposition du matériau et l'apparition d'ombres portées (Figure 3-28). Pour toutes ces raisons, les images ont de ce fait été capturées dans un intervalle de temps fixe, entre 12h et 14h, en conditions de ciel couvert de façon à bénéficier d'une lumière diffuse homogène sans

¹⁴³ Daniel Siret définit l'ensoleillement comme « l'ensemble des interactions entre la lumière naturelle directe, dans sa composante géométrique, et les objets d'un environnement architectural ou urbain localisé » [(Siret, 1997) : p.41]. Il précise que la « dynamique de l'ensoleillement induit donc une dynamique énergétique complexe de notre environnement » (Ibidem). Jean-François Augoyard parle de cette contextualité dynamique, en précisant que, dans l'environnement urbain, tout signal physique est instrumenté par un espace de propagation qui lui donne une certaine qualité *hic et nunc* : le « même » son, la « même » lumière ne sont jamais exactement les « mêmes », ni par ce qui est filtré du signal, ni par les connotations qui les chargent (Augoyard, 1998). Dans le cadre de notre approche comparative, il nous a été indispensable de « figer », ou du moins de stabiliser, cette dynamique de l'ensoleillement afin d'uniformiser au maximum les conditions d'éclairage lors du shooting photo.

ombre sur les objets éclairés, c'est-à-dire un éclairage formé par le rayonnement diffus, l'objectif étant d'établir des conditions d'éclairage similaires parmi les échantillons collectés. Nous insistons sur le fait qu'en pratique, on ne peut arriver à obtenir des conditions constantes étant donné les fluctuations provenant de la lumière naturelle qui ne sont pas maîtrisables (comme ce serait le cas dans un laboratoire). Les conditions d'éclairage extérieur choisies constituent en quelque sorte un compromis que l'on accepte au regard de la simplicité de la méthode basée sur l'usage d'un appareil photographique. Ces conditions d'éclairage sont en outre souvent rencontrées en Belgique.

Une charte gris neutre de type Scuadra ® TrueColors (Figure 3-29) est placée dans la scène visuelle en vue d'un post-traitement de l'image en termes d'uniformisation de l'éclairage via un réglage de la balance des blancs : nous expliquerons davantage l'utilité de la charte à l'étape suivante. L'appareil photo¹⁴⁴ a été paramétré de la même manière pour chaque prise de vue aux niveaux de la focale, du temps d'exposition et de la sensibilité. L'observateur se positionne à bonne distance par rapport à la façade pour cadrer l'entièreté de celle-ci.



Figure 3-28. Effet d'un rayonnement solaire direct sur la façade : la composante « façade background » présente des valeurs chromatiques hétérogènes.

© (Nguyen and Teller, 2013)



Figure 3-29. Utilisation d'une charte gris neutre de type Scuadra ® TrueColors en vue d'un réglage de la balance des blancs en post-traitement.

© LEMA – ULiège (2012)

Le fichier photographique est enregistré en haute résolution au format RAW¹⁴⁵ pour une image optimale sans perte de données initiales et une plus

¹⁴⁴ Pour notre campagne de relevé, nous avons utilisé le même appareil photo, un Canon ® Powershot G10, compact expert édité en 2008, bénéficiant des performances suivantes : grand angle 28 mm stabilisé, capteur CCD 14 Mpx 1/1.7, objectif 5 x F2,8 – F4,5 / 28 – 140 mm, sensibilité (plage ISO) 80 – 1600 ISO.

¹⁴⁵ Pour notre appareil photographique, l'enregistrement en format RAW présente un codage de 16 bits par couche. Souvent assimilé à un négatif, par analogie avec la photographie argentique, le RAW constitue un format de fichier utilisé en image numérique qui se caractérise par un faible traitement informatique. Le fichier contient toutes les données que le capteur de l'appareil photo a enregistrées, avant

grande souplesse dans le post-traitement (état 2). Sur base de l'image reconvertie en JPEG haute résolution¹⁴⁶ (opération 2), l'opération 3 consiste à détourer, à l'aide du logiciel de traitement d'images, la zone relative à la composante à étudier (encadrement, soubassement, menuiserie extérieure, matériau de remplissage, ...), selon l'analyse typologique de la façade. Dans notre application, nous isolons la composante « façade background » (état 3)¹⁴⁷.

La composante détourée subit par la suite une correction de la balance des blancs (opération 4). Cette action, réalisable grâce à la présence de la charte gris neutre¹⁴⁸ sur l'image, permet de corriger la dominante de couleur provenant de la lumière ambiante – qui peut présenter des variations sur les photos malgré les conditions stables de prise de vue –, ceci afin d'uniformiser davantage les conditions d'éclairage. Dans le chapitre précédent concernant la photographie, nous avons déjà abordé l'opération de balance des blancs liée au phénomène d'adaptation chromatique. Deux stimulus de mêmes composantes (X, Y, Z) peuvent générer des sensations

l'application d'une série d'opérations, telles que les corrections de balance des blancs, de contraste, de netteté ou encore la réduction du bruit, opérations réalisées par défaut par l'appareil. Le fait de travailler sur le fichier RAW a pour intérêt de permettre au photographe de post-traiter lui-même l'image. Chaque constructeur possède son propre format de fichier RAW ; il en existerait plus de 200 types actuellement.

(Source : Wikipedia, [en ligne] et disponible sur [[https://fr.wikipedia.org/wiki/RAW_\(format_d%27image\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/RAW_(format_d%27image))], consulté le 20/09/2014).

¹⁴⁶ La conversion de l'image RAW en image JPEG haute résolution a constitué une opération nécessaire en vue du détourage de la composante « façade background » (opération 3) par le biais du logiciel Gimp ® ou Adobe Photoshop ®. La conversion au format JPEG a été choisie par rapport à celle au format TIFF qui produisait des images de trop grande taille, ce qui avait pour conséquence de produire une certaine lenteur dans l'opération de détourage sur la plupart des plate-formes utilisées. Nous sommes conscient que cette conversion en JPEG à partir du fichier RAW produit une perte irréversible d'informations et constitue une inconnue en termes de « boîte noire » (taux et type de compression inconnus et passage non contrôlé de 16 bits à 8 bits pour la profondeur d'image). Nous avons par la suite comparé les deux résultats provenant d'une part d'une conversion RAW en JPEG haute résolution et d'autre part d'une conversion RAW en TIFF : l'écart entre les valeurs résultantes était très limité. Notons que l'application *Urba Khroma* (voir chapitre 5) résout la perte d'informations et le problème de la « boîte noire » : l'application gère sans soucis les images en format TIFF lors de l'opération de détourage.

¹⁴⁷ Notons que le détourage par le logiciel Adobe Photoshop ® produit une conversion du profil de couleur d'Adobe RGB 1998 en sRGB. Le moteur de conversion est celui du logiciel par défaut (moteur Adobe ACE, mode de conversion en colorimétrie relative).

¹⁴⁸ Un calibrage des couleurs plus efficace pourrait être obtenu en employant une charte de type X-Rite ColorChecker ® qui constitue la norme de référence pour les photographes professionnels qui ciblent un maximum de maîtrise dans la gestion des couleurs. Il reste que la charte gris neutre Scuadra ® TrueColors que nous avons utilisée propose des résultats satisfaisants dans le processus de balance des blancs pour lequel l'implémentation d'un algorithme est restée relativement simple (voir plus bas). Aussi la charte Scuadra ® TrueColors demeure assez abordable et répandue dans le milieu de la photographie « grand public », ce qui est en corrélation avec le caractère accessible de notre méthode.

de couleurs différentes, sous des conditions d'observations différentes. L'objet de l'adaptation chromatique consiste à mettre en œuvre une procédure mathématique permettant d'établir une relation entre le rendu des couleurs sous un éclairage donné et celui sous un éclairage de référence. La charte « TrueColors », en polymère haute densité stable aux UV, est teintée d'un gris neutre dans la masse. Les valeurs dans l'espace CIELAB pour la couleur grise de la charte sont mesurées par le fabricant à l'aide d'un spectrocolorimètre (intégrant un illuminant de référence) et sont indiquées au dos de la charte (70, -1.5, 0). Sur base d'une mesure réalisée sur la charte placée dans la scène urbaine sous un éclairage spécifique à « balancer » et connaissant la valeur colorimétrique du gris neutre sous un éclairage de référence, on peut déduire la déviation du gris de la charte. Cette déviation peut ensuite être appliquée sur l'ensemble de la photographie afin d'équilibrer l'image.

Après avoir d'abord effectué l'opération 4 de balance des blancs par le biais du logiciel de retouche d'images, ce qui avait pour inconvénient de constituer une « boîte noire » dont nous ne connaissons pas le fonctionnement, nous avons par la suite composé un script de balance des blancs sur base de l'algorithme d'adaptation chromatique de Bradford, dont le principe est donné par la relation suivante :

$$\begin{pmatrix} R^* \\ G^* \\ B^* \end{pmatrix} = M_{CAT} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad [3.1]$$

$$\text{où } M_{CAT} = \begin{pmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{pmatrix} \quad [3.2]$$

Il s'agit d'un des modèles d'adaptation chromatique les plus courants¹⁴⁹, basé sur l'équilibrage des coordonnées chromatiques non pas directement en XYZ mais par le biais d'un espace chromatique R*G*B* « virtuel » qui est obtenu à partir des valeurs XYZ selon une transformation linéaire [(Burger and Burge, 2009) : p.113]. Après implémentation de l'algorithme, les résultats visuels obtenus nous sont apparus des plus satisfaisants, en comparaison avec la balance des blancs générée à l'aide du logiciel Adobe ® Photoshop¹⁵⁰.

¹⁴⁹ Les trois méthodes d'adaptation chromatique les plus fréquentes sont « XYZ Scaling », « Bradford » et « Von Kries ». Malgré nos tentatives de prise de contact avec la firme Adobe ®, qui édite le logiciel de retouche d'images « Photoshop », nous n'avons pas pu déterminer l'algorithme de balance des blancs utilisé par l'application. Le site « Brucelindbloom.com » qui diffuse la majorité des équations mathématiques utilisées en colorimétrie mentionne que l'algorithme de Bradford, qui demeure la plus récente des trois méthodes citées plus haut, est celui utilisé par le logiciel « Photoshop ». (Source : [en ligne] et disponible sur http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_ChromAdapt.html, consulté le 31/05/2012)

¹⁵⁰ En vue de valider l'utilisation de l'algorithme de Bradford dans notre protocole, nous avons, à partir des 38 images de façades de la rue des Anglais, comparé les

A partir de la composante « façade background » détournée et balancée, nous déterminons ensuite la couleur moyenne de la portion d'image ainsi isolée par application d'une opération qui dissout les pixels (opération 5). Cette opération « couleur moyenne » consiste, dans le script « Matlab », à calculer la moyenne arithmétique des coordonnées (R, G, B) ; elle s'apparente au mélange optique effectué par l'œil en faisant intervenir un processus de synthèse additive tel que nous l'avons décrit dans le chapitre 2¹⁵¹. Une vignette indiquant la couleur moyenne est créée (état 4) : à chaque façade correspond ainsi une vignette de couleur moyenne pour la composante « façade background ». L'ensemble des vignettes mises côte à côte génère une palette chromatique synthétique qui offre une évaluation qualitative et synoptique de l'attribut chromatique pour le fragment urbain.

Les données chromatiques récoltées sont ensuite présentées sous forme graphique dans la dernière phase de la procédure (opération 6). En termes de système colorimétrique, le choix s'est porté sur l'espace (T, S, L)¹⁵², dans

résultats obtenus via le logiciel Adobe ® Photoshop à ceux générés par notre script « Matlab » intégrant l'algorithme de Bradford. Le calcul du coefficient de détermination R^2 , permettant de mesurer la qualité de la régression linéaire, a donné une valeur de 0,70. Nous avons pu déduire que notre script produit des résultats forts semblables par rapport au logiciel « Photoshop ». Par ailleurs, au niveau visuel, les images balancées issues de « Photoshop » nous ont semblé légèrement plus saturées que celles issues de notre script.

¹⁵¹ L'analogie de cette opération « couleur moyenne » avec la synthèse additive réalisée par l'œil à une certaine distance d'observation pourrait induire une focalisation de la méthode sur le traitement de la couleur « perçue » et non sur celui du stimulus coloré. De ce fait, ceci mettrait en doute le degré d'objectivité de la couleur moyenne comme mesure et affaiblirait la recherche d'objectivation menée. Nous assumons ce contre-sens à ce stade de la recherche. Nous pouvons néanmoins observer que la détermination de la couleur moyenne par dissolution des pixels est similaire à un relevé effectué à l'aide d'un colorimètre sur plusieurs points de la façade au terme duquel une valeur moyenne des mesures est établie (cette observation se justifie en outre au travers de la validation de la méthode que nous effectuerons plus tard à l'aide d'un colorimètre à filtres). Aussi, nous souhaitons conserver la caractéristique d'homogénéité/hétérogénéité de la façade en termes de matériaux avant l'opération de dissolution, par l'emploi d'un indicateur « écart-type ». Cet indicateur, comme nous le verrons plus loin, serait pertinent dans la comparaison de deux façades visuellement différentes en termes de matériaux et de couleurs (par exemple une façade en maçonnerie appareillée hétérogène et une autre en bardage métallique homogène) mais qui présentent, après l'opération « couleur moyenne », des valeurs de teinte très similaires.

¹⁵² Joblove and Greenberg, qui sont les pionniers dans la description et l'utilisation de l'espace TSL, proposent, dans un article publié en 1978 dans la revue *Computer Graphics*, l'utilisation d'espaces chromatiques (dont l'espace TSL) qui dans certains cas pratiques sont préférables à l'espace RGB, notamment dans le traitement d'images lorsqu'une spécification de la couleur est nécessaire : « *Because most people are not familiar with additive primary mixing, rgb space is not always suitable for application when user is composing color* » (Joblove and Greenberg, 1978) : p.21. Ils décrivent en outre dans cet article les équations permettant de transformer l'espace RGB en ces espaces cylindriques. Plus tard, le système TSL, de par sa portée perceptive, a été employé dans de nombreuses interfaces : dans la suite Adobe ®, dans le logiciel Autodesk ® Autocad, dans la suite Microsoft ® Office, pour les outils de sélection de couleur sur Apple ® MacOs, etc.

lequel la couleur est caractérisée par les valeurs teinte-saturation-luminosité ; ce système à coordonnées cylindriques est connu pour une correspondance avec le système de vision humaine, ce qui rend ses valeurs chromatiques perceptuellement plus pertinentes par rapport à l'espace cartésien (R, G, B) (Lefèvre and Vincent, 2006). Les trois valeurs T, S et L sont définies de la manière suivante :

- la teinte (T), varie de 0 à 360° : rouge=0° ou 360°, jaune=60°, vert=120°, cyan=180°, bleu=240°, magenta=300° ;
- la saturation (S), en pourcentage, exprime l'intensité ou la pureté de la teinte ;
- la luminosité (L), en pourcentage, traduit la clarté de la couleur.

On constate ainsi que la visualisation mentale de la couleur sur base des données numériques est plus simple en (T, S, L) qu'en (R, G, B). Sur la Figure 3-30, nous avons affiché les coordonnées colorimétriques (T, S, L) et (R, G, B) pour une couleur donnée. Une projection du double cône (T, S, L) sur deux dimensions permet une lecture aisée des valeurs via deux représentations graphiques : le cercle (T, S) et le rectangle (T, L). La représentation des valeurs T, S et L pour chaque individu sur ces deux graphiques constitue le cinquième état final du protocole.

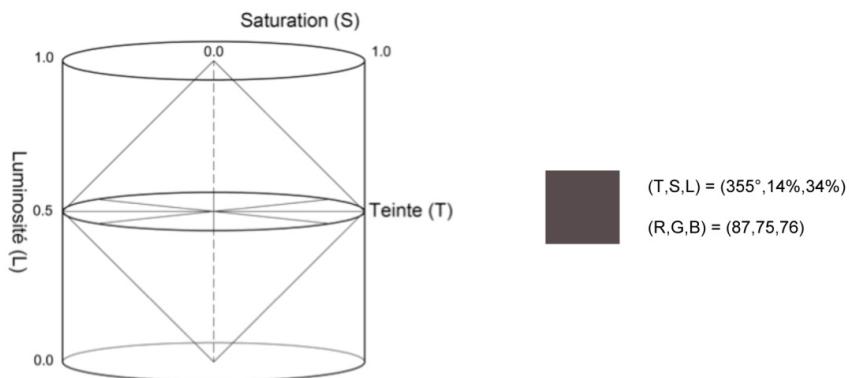


Figure 3-30. Espace chromatique (T, S, L). Les valeurs sont perceptuellement plus pertinentes que celles issues du système (R, G, B) : le triplet teinte, saturation et luminosité permet une visualisation mentale plus immédiate de la couleur. © (Nguyen and Teller, 2013)

2.3. Application du protocole pour la Rue des Anglais à Liège et validations de la méthode

2.3.1. Résultats détaillés pour la rue des Anglais

Dans ce paragraphe, nous appliquons le protocole de caractérisation chromatique développé pour la rue des Anglais (fragment 002) située dans le centre historique de Liège (Figure 3-31). La rue comporte un total de 37 façades à évaluer, 18 façades à droite et 19 à gauche (Figures 3-32 et 3-33). La rue telle qu'elle apparaît actuellement a été reconfigurée avec l'arrivée du chemin de fer de ceinture (Liège-Palais, Liège Jonfosse, 1871-1878) (Charlier and Moor, 2014). Avant 1900, un arveau, situé aux alentours de l'habitation n°42, coupait la rue des Anglais en deux tronçons, la partie haute menant vers le couvent des Jésuites anglais qui deviendra un hôpital en 1880 (Gobert, 1975-1978). Les bâtiments les plus anciens, datant du 17^{ème} siècle, sont localisés sur le bas de la rue ; on peut ainsi noter au n°36 (individu ANG-D11, voir Figure 3-33 plus bas) la présence de la porte de l'ancien couvent des Capucins, surmontée d'une niche (MRW-DGATLP, 2004b). A la fin du 19^{ème} siècle, la démolition de l'ancien couvent de Sainte-Claire qui est remplacé par l'Académie royale des Beaux-Arts marque la construction, dans la partie haute de la rue, de maisons mitoyennes bourgeoises de style néo-classique, en briques de terre cuite avec des ornements en pierre calcaire (encadrements, seuils et soubassements). Au niveau chromatique, un premier balayage visuel donne une idée de la teinte prédominante de la rue : celui-ci fait clairement apparaître une dominante au niveau des rouges pour la composante « façade background ».



Figure 3-31. La rue des Anglais dans le centre historique de Liège. Vue sur la partie haute. © (Nguyen and Teller, 2013)



Figure 3-32. Localisation des façades étudiées pour la rue des Anglais.

© (Nguyen and Teller, 2013)

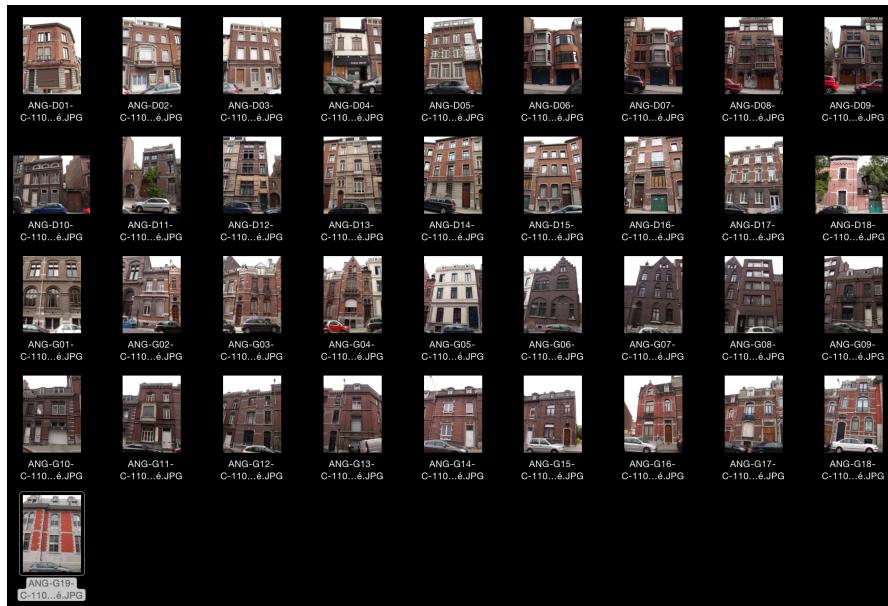


Figure 3-33. Photographies des 37 façades de la rue des Anglais selon les conditions de prises de vues du protocole. © LEMA – ULiège (2012)

En appliquant le protocole développé pour la rue des Anglais, nous obtenons les détournages de la composante « façade background » pour les 37 individus (Figure 3-34), les tableaux des valeurs de la couleur moyenne¹⁵³ (en RGB et TSL) pour chaque individu (côté gauche – côté

¹⁵³ En plus de la couleur moyenne, les tableaux de résultats affichent également pour chaque façade l'écart-type pour les valeurs T, S et L. Nous avons abordé

droit), la palette chromatique synthétique (Tableaux 3-2 et 3-3) ainsi que les deux graphiques finaux (T, S) et (T, L) (Figures 3-35 et 3-36).

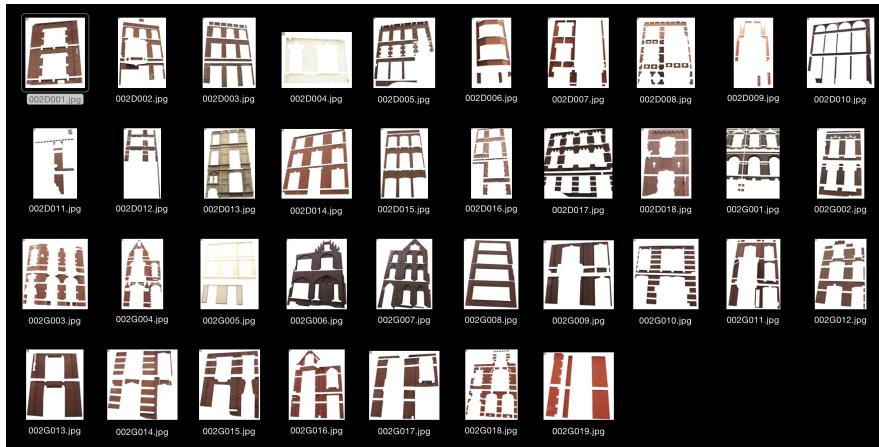


Figure 3-34. Détourages de la composante “façade background” pour les 37 individus de la rue des Anglais. © LEMA – ULiège (2012)

Tableaux 3-2 et 3-3. Tableaux de valeurs de la couleur moyenne et palette chromatique synthétique, pour la composante « façade background », des deux côtés de la rue des Anglais. © (Nguyen and Teller, 2013)

	Image	Teinte	Saturation	Luminosité	E.C. H	E.C. S	E.C. L	R	G	B
1	002G001	25.3846	16.0494	31.7647	115.3052	11.9319	9.0206	94	79	68
2	002G002	22.0000	19.2308	30.5882	123.4712	12.7335	9.3069	93	74	63
3	002G003	14.3284	28.5106	46.0784	129.5839	13.7565	10.5010	151	100	84
4	002G004	15.0000	30.1887	41.5686	125.9932	13.7705	10.5367	138	90	74
5	002G005	42.5806	43.6620	86.0784	45.8502	34.7807	11.1223	235	226	204
6	002G006	4.0000	11.2782	26.0784	136.2101	13.3883	8.6687	74	60	59
7	002G007	6.3158	12.2581	30.3922	134.5583	13.9896	9.5934	87	70	68
8	002G008	9.3750	20.2532	30.9804	147.3519	13.3448	8.6583	95	68	63
9	002G009	10.7143	21.2121	25.8824	142.2708	15.6052	8.7656	80	57	52
10	002G010	11.2500	23.8806	26.2745	143.7012	16.4700	9.1790	83	57	51
11	002G011	9.0000	25.6410	30.5882	148.1728	16.2233	11.1451	98	64	58
12	002G012	16.0976	21.2435	37.8431	138.3391	12.7719	9.4475	117	87	76
13	002G013	10.5000	26.6667	29.4118	148.0615	12.7792	8.3211	95	62	55
14	002G014	14.4828	27.8846	40.7843	135.2963	10.6076	9.2532	133	89	75
15	002G015	10.0000	25.3012	32.5490	147.5731	12.0767	8.5417	104	69	62
16	002G016	7.9412	35.7895	37.2549	149.2677	12.8414	8.6787	129	70	61
17	002G017	11.7073	25.4658	31.5686	143.5637	11.7188	8.7340	101	68	60
18	002G018	10.8333	37.5000	37.6471	135.5900	14.2713	7.3007	132	73	60
19	002G019	8.4211	48.3051	46.2745	127.6178	9.1730	6.1520	175	77	61

	Teinte	Saturation	Luminosité
Moyenne	13.6806	26.3327	36.8215
Ecart-Type	8.6584	9.7116	13.4727

précédemment l’écart-type dans le cadre de l’opération « couleur moyenne ». L’écart-type caractérise l’étalement des pixels de couleur autour d’une moyenne : un écart-type élevé indique un étalement important, ce qui se traduit par une façade hétérogène en termes de pixels colorés. Ainsi une façade composée de plusieurs matériaux de couleurs différentes ou composée d’un matériau très nuancé présentera un écart-type important par rapport à une façade chromatiquement homogène. Ce caractère d’homogénéité/hétérogénéité, en termes de matériaux et de teintes différents à l’échelle de la façade (ce qui se traduit par le nombre de pixels de couleurs différentes), s’apparente à une « granulosité » que l’on pourrait nommer « texture » chromatique.

	Image	Teinte	Saturation	Luminosité	E.C. H	E.C. S	E.C. L	R	G	B
1	002D001	17.3077	26.8041	38.0392	112.7418	9.8710	9.2239	123	86	71
2	002D002	18.8235	26.1538	38.2353	114.0197	11.4353	11.8885	123	88	72
3	002D003	18.4615	19.7970	38.6275	126.7170	11.9807	10.0334	118	91	79
4	002D004	44.2105	48.7179	92.3529	44.2674	43.3986	10.0066	245	240	226
5	002D005	20.5714	21.7391	31.5686	123.1338	13.8012	11.1649	98	75	63
6	002D006	16.7647	34	39.2157	124.5418	17.0448	16.5088	134	85	66
7	002D007	12.3810	39.6226	31.1765	138.3883	16.6925	12.6386	111	61	48
8	002D008	20.3774	26.3682	39.4118	128.5018	16.3868	17.1248	127	92	74
9	002D009	15.1807	49.1124	66.8627	138.8506	31.9267	17.2371	212	150	129
10	002D010	8.1818	16.6667	25.8824	138.8583	16.8301	11.0344	77	58	55
11	002D011	16.3636	21.5686	40	137.8011	13.9818	13.6149	124	92	80
12	002D012	15.4839	16.5775	36.6667	137.6667	11.1392	10.6253	109	86	78
13	002D013	36.9231	16.0494	52.3529	75.4340	13.2772	18.4978	153	138	114
14	002D014	16.2857	32.1101	42.7451	109.4177	11.6662	8.9129	144	93	74
15	002D015	20.8696	26.1364	34.5098	105.0757	11.0366	8.8019	111	81	65
16	002D016	16.4706	20.6478	48.4314	123.3535	11.2235	12.2402	149	112	98
17	002D017	20.0000	22.5806	18.2353	126.7054	13.3000	5.9419	57	43	36
18	002D018	12.2449	19.3676	49.6078	110.5997	6.5170	8.8446	151	112	102

	Teinte	Saturation	Luminosité
Moyenne	19.2723	26.8900	42.4401
Ecart-Type	8.4945	10.1728	16.3632

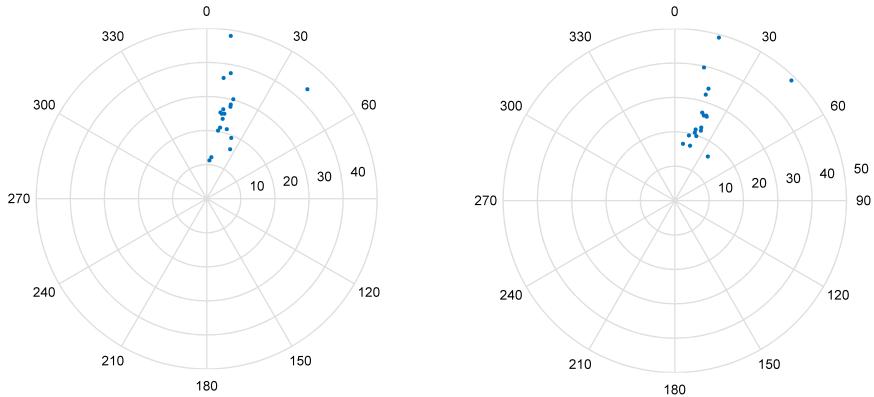


Figure 3-35. Rue des Anglais : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». © (Nguyen and Teller, 2013)

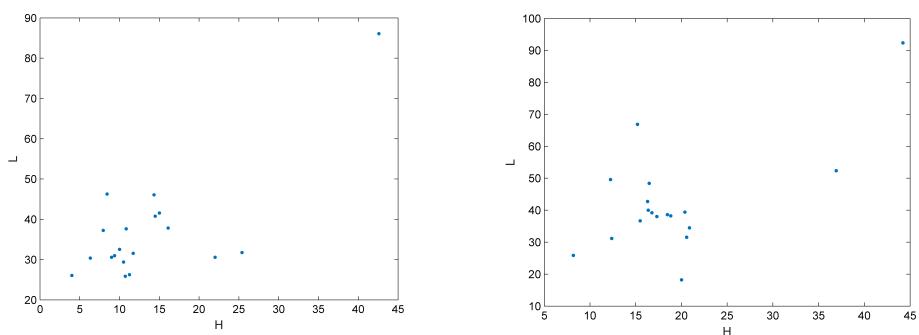


Figure 3-36. Rue des Anglais : rectangles (T, L) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». © (Nguyen and Teller, 2013)

Les graphiques révèlent clairement une distribution de valeurs dans l'intervalle de couleur [10°, 20°] pour les cercles (T, S), à savoir la zone des rouge-orangé, ce qui confirme notre estimation visuelle de départ. L'absence de valeurs dans la zone centrale à très faible saturation exprime une déficience d'éléments en pierre de taille pour la composante « façade background », matériau qui est par ailleurs beaucoup plus présent en façade dans d'autres fragments urbains historiques que nous avons également étudiés tels que la rue Hors-Château (fragment 001) (Nguyen et al., 2011). Nous notons ensuite quelques pics de saturation pour certaines façades dans le domaine des tons rouge-orange vif, ce qui s'explique par la présence d'une brique lisse de cette teinte, matériau de construction caractéristique de la fin du 19^{ème} et du début du 20^{ème} siècle pour les immeubles mitoyens.

Au niveau des graphiques de luminosité (T, L), nous apercevons une distribution marquée dans l'intervalle [20%, 70%] pour l'ensemble de la rue, avec une luminosité quelque peu plus accentuée pour les façades du côté droit, provenant de l'orientation des façades, malgré l'établissement de conditions standardisées sous ciel couvert pour les prises de vues.

2.3.2. *Validations du protocole*

2.3.2.1. Reproductibilité et répétabilité

A la suite de l'application du protocole pour la rue des Anglais, nous avons soumis ce dernier à des tests de validation selon un plan d'expérience qui se subdivise en deux volets au cours desquels nous isolons différents paramètres d'entrée – en l'occurrence le type d'appareil photo et le moment de la prise de vue – que nous faisons varier afin d'apprécier la stabilité des résultats à travers les trois valeurs T, S et L.

En premier lieu, nous aborderons la reproductibilité de la procédure en observant les variations des résultats pour la même rue, résultats obtenus lorsque nous employons différents appareils numériques dans le cadre de l'opération 1 « Prise de vue ». A cet effet, nous avons employé un appareil compact grand public de marque Panasonic ®, nommé appareil « A », l'appareil compact professionnel de marque Canon ® qui a servi au relevé des 18 fragments urbains, nommé appareil « B », et un appareil reflex professionnel de marque Nikon ®, nommé appareil « C ». Chaque façade est photographiée avec les trois appareils, enclenchés successivement.

Le coefficient de détermination R^2 est utilisé comme indicateur pour juger de la qualité de la régression linéaire, en d'autres termes la relation existante entre deux variables, ce qui permet d'évaluer, dans notre étude, l'adéquation entre les valeurs obtenues pour deux appareils photo. Le coefficient de détermination se situe dans l'intervalle [0,1] : plus R^2 se rapproche de 0, plus le nuage de points est diffus autour de la droite de régression. Un R^2 tendant vers 1 se traduit par un nuage de points qui se rapproche de la droite de régression. Les R^2 estampillés d'un astérisque

indique une valeur p (p-value) en dessous de 1%. La valeur p, utilisée dans un test statistique, est la probabilité qu'un événement quelconque soit le simple fait du hasard : les valeurs sont « hautement significatives » si la p-value est inférieure au seuil préalablement défini à 1%.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus pour les valeurs T, S et L entre les appareils A, B et C selon trois configurations de comparaison dans lesquelles les performances des appareils sont comparées deux à deux : A-B, A-C et B-C (Tableau 3-4). Nous apercevons tout d'abord que les valeurs relatives à la saturation S présentent, dans les trois cas de comparaison, très peu de dispersion (R^2 toujours supérieur à 0,9). Les valeurs T et L présentent une dispersion supérieure. La luminosité L est la variable qui subit le plus de variations, ce qui signifie, en d'autres termes, de plus grandes différences dans l'interprétation de l'intensité lumineuse pour les appareils. Dans les trois cas de comparaison, en ce qui concerne la valeur T, les écarts entre les résultats sont plus importants pour le côté gauche de la rue que pour le côté droit. Cela s'explique par le fait que les photos des façades du côté gauche furent prises en contre-jour, ce qui, cumulé à la couverture nuageuse variable masquant le soleil, a provoqué une modification des conditions d'éclairage durant le court laps de temps où les trois appareils sont enclenchés l'un après l'autre. Les résultats les plus dispersés pour la teinte T proviennent du couple B-C. On a également remarqué un écart important pour les deux appareils B et C lorsque l'appareil B se situe dans les rouges (T entre 0° et 10°). La comparaison A-B présente les meilleures valeurs du R^2 pour la teinte T : de manière relative, cela traduit des performances et des comportements plus proches pour ces deux appareils dans la restitution de la teinte, malgré un R^2 pour le côté gauche valant 0,505. A la suite de ce test de reproductibilité, l'usage d'un unique appareil photo au cours d'un relevé nous apparaît comme nécessaire afin de garantir une analyse cohérente des résultats.

Tableau 3-4. Comparaison des valeurs T, S et L obtenues avec les appareils A, B et C (rue des Anglais, composante « façade background », côté gauche et côté droit de la rue) à l'aide du coefficient de détermination R^2 . © (Nguyen and Teller, 2013)

	A-B			A-C			B-C		
	T	S	L	T	S	L	T	S	L
R^2 (left) n=19	0,505*	0,944*	0,486*	0,406*	0,916*	0,281	0,314	0,967*	0,661*
R^2 (right) n=18	0,834*	0,911*	0,743*	0,710*	0,902*	0,502*	0,757*	0,955*	0,583*

La répétabilité de la procédure est ensuite examinée en vue d'une deuxième validation dans laquelle les échantillons sont récoltés à des moments différents pour un même fragment urbain avec le même appareil photo (appareil A) :

- Moment M1 : 19/05/2011, prise de vue réalisée entre 13:44 et 14:09 ;
- Moment M2 : 15/06/2011, prise de vue réalisée entre 11:54 et 12:25 ;
- Moment M3 : 15/06/2011, prise de vue réalisée entre 13:44 et 14:12.

Les conditions de prise de vue sont les plus semblables ; elles respectent dans la mesure du possible les clauses du protocole de caractérisation établi. Notons que les moments M1 et M3 présentent une heure de début de prise de vue similaire, ce qui nous permet d'observer un lien éventuel entre la dispersion des résultats obtenus et les heures de prise de vue. La comparaison des valeurs (T, S, L), toujours à l'aide du coefficient de détermination R^2 , est reprise sur le Tableau 3-5.

Dans le cadre de cette deuxième validation, nous constatons en premier lieu que, à l'exception du cas de comparaison M1-M2, les façades du côté droit présentent à nouveau moins de dispersion au niveau de la valeur T que celles du côté gauche. On observe ensuite que la luminosité L est encore une fois la valeur qui subit le plus de variations et que la saturation S présente les coefficients R^2 les plus élevés.

La comparaison M1-M3 présente globalement le moins de dispersion : le fait que les prises de vue en M1 et M3 soient réalisées à la même heure diminue l'étalement des valeurs, ce qui met en évidence l'importance de la géométrie solaire dans le rendu des couleurs. Le maintien d'une plage horaire similaire pour les prises de vue confère une stabilité accrue dans les résultats : l'heure de la prise de vue doit donc être aussi similaire que possible.

Tableau 3-5. Comparaison des valeurs T, S et L obtenues lors de prises de vue se déroulant à trois moments différents M1, M2 et M3 avec le même appareil photo A (rue des Anglais, composante « façade background », côté gauche et côté droit de la rue) à l'aide du coefficient de détermination R^2 . © (Nguyen and Teller, 2013)

	M1-M2			M1-M3			M2-M3		
	T	S	L	T	S	L	T	S	L
R ² (left) n=19	0,503*	0,890*	0,534*	0,774*	0,880*	0,402*	0,425*	0,949*	0,130
R ² (right) n=18	0,361*	0,825*	0,751*	0,837*	0,964*	0,911*	0,959*	0,763*	0,579*

2.3.2.2. Comparaison avec les mesures d'un colorimètre à filtres

Les appareils de mesure chromatique permettant de réaliser les évaluations les plus objectives du stimulus coloré, il nous a semblé pertinent de comparer les résultats obtenus par l'application de notre protocole de caractérisation, avec les mesures effectuées à l'aide d'un colorimètre, à savoir le modèle « Micro Color » du fabricant Dr Lange ® que nous avons décrit au chapitre précédent. En termes métrologiques, il s'agit d'apprécier la qualité de justesse du protocole. Nous avons établi que l'une des faiblesses des appareils de mesure chromatique se situait dans l'évaluation des matériaux nuancés et des assemblages multi-matériaux, ce qui est le cas de la brique appareillée avec un joint de mortier, qui constitue le matériau majeur de la composante « façade background » pour la rue des Anglais. D'autre part, cette composante n'est pas toujours accessible ce qui rend impossible l'application du capteur sur la paroi du matériau. Dès lors, dans

le cadre de notre procédure de comparaison, nous nous sommes focalisés sur la composante « soubassement », en pierre calcaire d'aspect homogène, présente sur la totalité des façades de la rue (Figure 3-37). Pour chaque façade, nous avons procédé à trois mesures à l'aide du colorimètre, en différents points du soubassement ; sur base de ces trois mesures, nous avons déterminé la moyenne en coordonnées affichées dans l'espace CIELAB (qui est considéré comme un espace approximativement uniforme) ; les valeurs sont ensuite reconvertis en RVB.



Figure 3-37. Composante « soubassement » pour une façade de la rue des Anglais (entourée en rouge). © L. Nguyen (2015)

Le Tableau 3-6 indique les résultats issus du colorimètre à filtres (données RVB estampillées d'un « c ») et ceux générés par le protocole de caractérisation (données RVB estampillées d'un « p »).

Tableau 3-6. Composante « soubassement » : comparaison des résultats issus d'un colorimètre à filtres avec ceux générés par le protocole de caractérisation (ici pour les façades du côté gauche de la rue des Anglais). © L. Nguyen (2015)

	Rc	Rp	Vc	Vp	Bc	Bp
ANG-G01-SB	150	190	147	191	140	194
ANG-G02-SB	168	177	169	176	163	175
ANG-G03-SB	149	132	144	131	137	129
ANG-G04-SB	148	135	147	136	143	135
ANG-G05-SB	125	101	124	104	120	108
ANG-G06-SB	149	127	142	126	129	122
ANG-G07-SB	159	122	152	116	141	119
ANG-G08-SB	128	94	127	90	121	87
ANG-G09-SB	129	91	123	89	117	87
ANG-G10-SB	135	98	129	93	118	90
ANG-G11-SB	145	89	139	89	130	87
ANG-G12-SB	162	119	157	116	152	116
ANG-G13-SB	143	113	130	105	117	101
ANG-G14-SB	153	144	143	142	132	138
ANG-G15-SB	138	139	128	137	116	131
ANG-G16-SB	161	151	155	149	144	146
ANG-G17-SB	151	147	141	142	129	140
ANG-G18-SB	178	151	177	152	173	153
ANG-G19-SB	170	170	169	169	163	168

Nous sommes ici dans le cas d'une comparaison des résultats produits par deux méthodes de mesure différentes. Du point de vue de l'analyse statistique, l'objectif est d'évaluer la relation entre les observations d'une même variable faite sur 37 individus, à l'aide de deux méthodes différentes. Il s'agit dès lors d'un problème de corrélation pour lequel nous pouvons évaluer le coefficient de corrélation r (Albert, 2005). Le coefficient de corrélation r étant sensible aux valeurs aberrantes, nous avons dans un premier temps, après examen du graphique bivarié « valeurs colorimètre –

valeurs protocole », procédé à l'élimination d'un élément présentant une singularité, en vue d'améliorer les résultats de corrélation ; il s'agit ici d'un point présentant une mesure $(R_c, V_c, B_c) = (150, 147, 140)$ et $(R_p, V_p, G_p) = (190, 191, 194)$ (Figure 3-38). Cette disparité pourrait provenir d'un mauvais réglage ou d'une négligence humaine dans l'une des deux mesures.

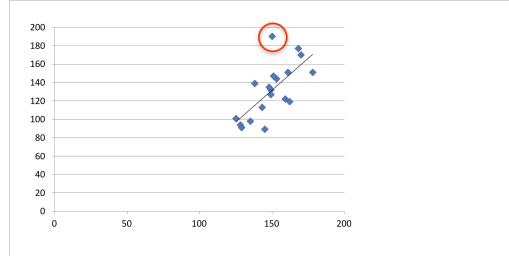


Figure 3-38. Evaluation du coefficient de corrélation r dans le cadre de la comparaison des résultats issus d'un colorimètre à filtres avec ceux générés par le protocole de caractérisation : élimination de valeurs aberrantes. © L. Nguyen (2015)

Les graphiques sur la Figure 3-39 fournissent la distribution des points le long de la droite de corrélation pour les trois valeurs (R, V, B) et donnent pour chacune de ces dernières le résultat du coefficient de corrélation r . A l'appréciation des résultats pour r (0.78, 0.77 et 0.76), nous pouvons conclure qu'il existe bien une corrélation positive entre les deux méthodes, c'est-à-dire une relation croissant (dans le cas d'une corrélation parfaite, $r=1$).

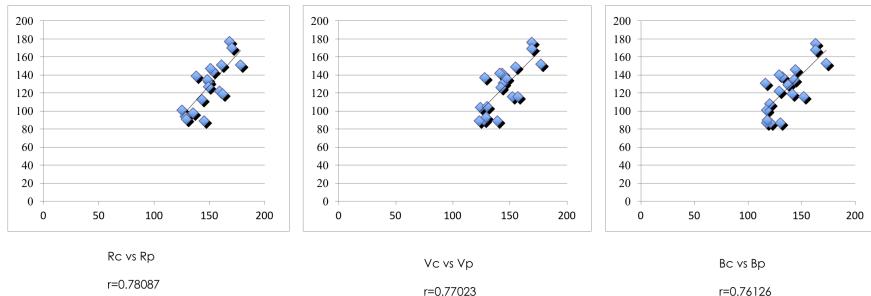


Figure 3-39. Evaluation du coefficient de corrélation r dans le cadre de la comparaison des résultats issus d'un colorimètre à filtres avec ceux générés par le protocole de caractérisation : valeurs du coefficient de corrélation r pour R , V et B . © L. Nguyen (2015)

En complément de l'évaluation du coefficient de corrélation r , nous pouvons procéder à un test de Pearson pour une corrélation nulle dans lequel nous souhaitons montrer qu'il existe une corrélation ρ entre les deux séries de résultats. Nous posons dans ce cas l'hypothèse nulle, c'est-à-dire l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de corrélation entre ces variables ($\rho=0$) : le rejet de l'hypothèse nulle conduit au résultat attendu et dans le cas contraire, nous ne pourrons pas affirmer que les deux variables sont

corrélées (Albert, 2005). Nous appliquons le test de Pearson pour la valeur R :

- 1) Les hypothèses nulle et alternative (bilatérale) s'écrivent :

$$H_0 : \rho = 0 \text{ vs } H_1 : \rho \neq 0$$

On rejette H_0 ($\rho = 0$) si $t_0 \geq Q_t(1-\alpha/2 ; n-2)$;

- 2) On calcule le test statistique suivant : $t = \frac{r \times \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$

Dans notre cas pour R_c et R_p :

$r = 0,78$ (calculé plus haut pour la composante R)

$$t(n-2) = t(16) = 0,78 \cdot \sqrt{18-2} / \sqrt{1-0,78} = 4,98 ;$$

- 3) On fixe un niveau d'incertitude $\alpha = 0.05$

- 4) En consultant la table du t de Student, on constate que :

$$Q_t(1-\alpha/2 ; n-2) = Q_t(0.975 ; 16) = 2.12 ;$$

- 5) Dès lors puisque $t(16) = 4.98 > 2.12$, on rejette l'hypothèse nulle H_0 ;

- 6) On peut dès lors conclure qu'il existe une corrélation positive significative entre le relevé à l'aide du colorimètre et le protocole développé, pour la valeur R. Les conclusions sont identiques pour les valeurs V et B.

2.4. Analyse des résultats pour les 18 fragments urbains

Sur les figures qui suivent (Figures 40 à 57), nous présentons les graphes (T, S) résultats du protocole de caractérisation chromatique appliqué sur les 18 fragments étudiés. Pour chacun des fragments, la détermination de l'écart-type σ^{154} pour T, S et L permet de caractériser la distribution et l'étalement des valeurs (σ pour la valeur T est affiché sur les Figures 39 à 56¹⁵⁵). En d'autres termes, l'écart-type donne une idée de l'homogénéité et de l'impression de cohérence pour le fragment urbain, de manière analogue à l'exploitation de σ pour caractériser chaque façade-individu (voir plus-haut). Nous voyons ainsi que les résultats pour les zones commerciales, localisées dans les zones périurbaines (fragments 014, 015 et 016), font apparaître une distribution plus diffuse, répartie sur l'ensemble des teintes du cercle et en lien avec une palette de couleurs saturées, radicalement en rupture avec les palettes plus traditionnelles du centre historique, des cités ouvrières et des lotissements résidentiels (Nguyen et al., 2012).

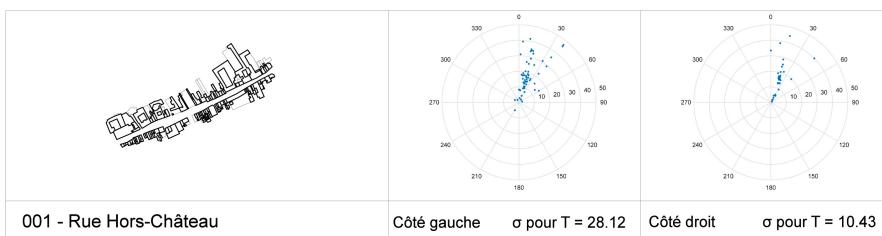


Figure 3-40. Rue Hors-Château (centre historique) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

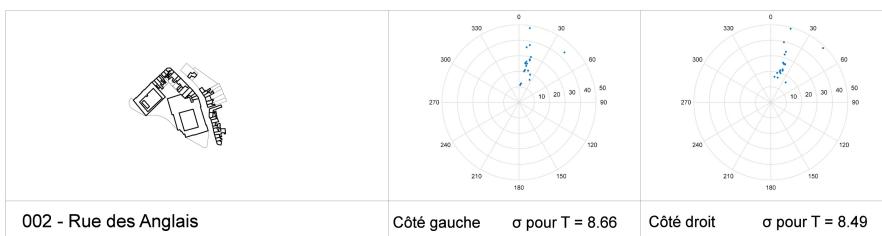


Figure 3-41. Rue des Anglais (centre historique) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

¹⁵⁴ L'espace TSL provient d'une transformation de l'espace RVB qui n'est pas uniforme, comme nous l'avons précisé dans le chapitre 2. Dès lors, autant l'écart-type que la moyenne arithmétique pour les valeurs T, S et L (voir Tableaux 3-2 et 3-3) doivent être considérés avec précaution : il n'y a pas de corrélation entre les distances mesurées dans le système TSL et la perception visuelle. Il reste que l'écart-type fournit une évaluation de l'étalement des valeurs par rapport à une moyenne et peut, dans le cadre de notre caractérisation, donner une interprétation de l'homogénéité/hétérogénéité pour l'échantillon étudié.

¹⁵⁵ Il est important de préciser que nous nous focalisons uniquement sur l'écart-type de la valeur T, ce qui dans les faits ne fournit qu'une information partielle de la distribution du stimulus coloré, ce dernier étant caractérisé également par les valeurs S et L.

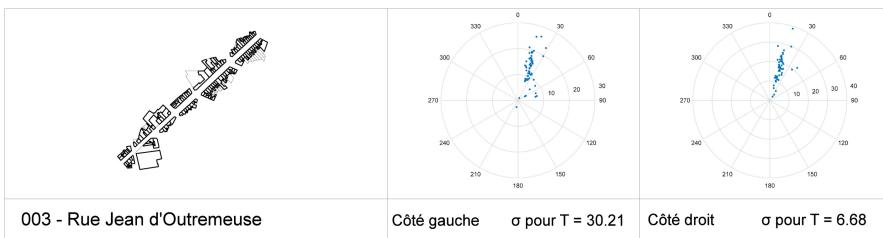


Figure 3-42. Rue Jean d'Outremeuse (centre historique) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

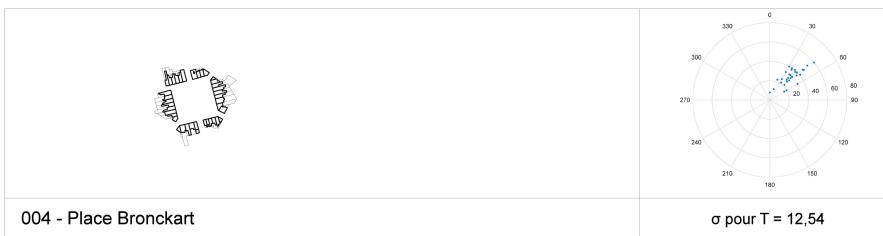


Figure 3-43. Place Bronckart (centre historique) : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

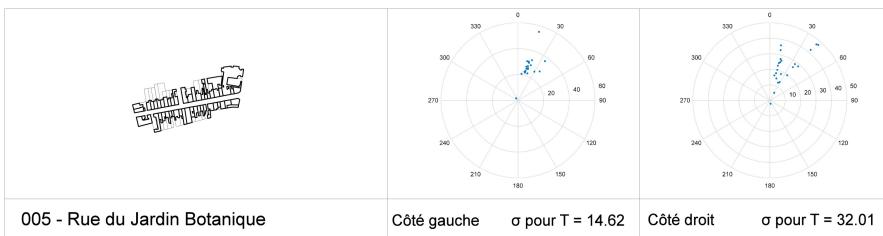


Figure 3-44. Rue du Jardin Botanique (centre historique) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

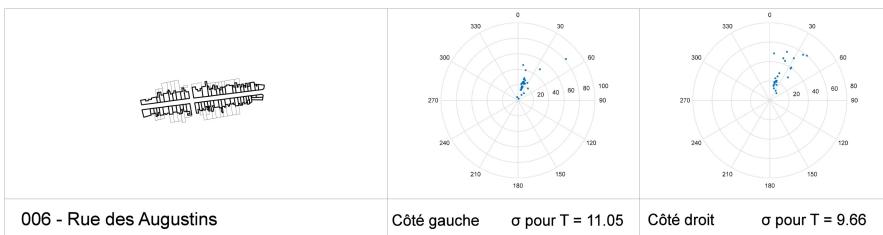


Figure 3-45. Rue des Augustins (centre historique) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

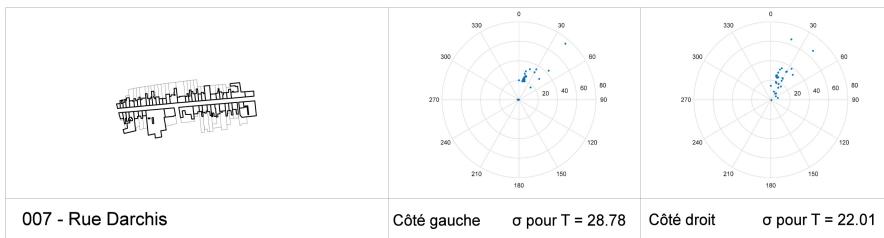


Figure 3-46. Rue des Augustins (centre historique) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

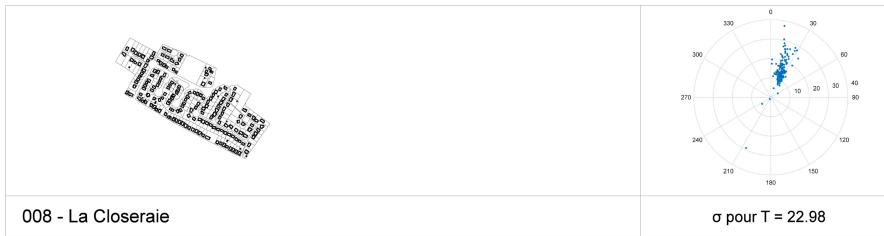


Figure 3-47. La Closeraie (lotissement résidentiel périurbain) : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

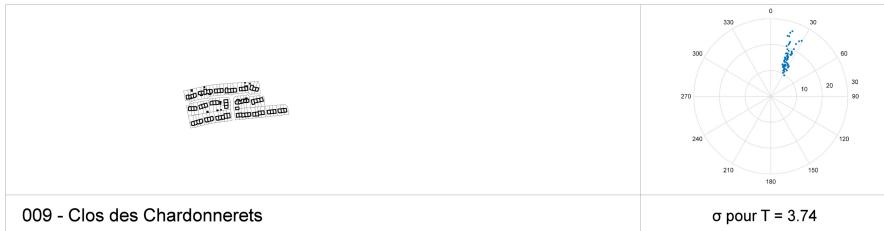


Figure 3-48. Clos des Chardonnerets (lotissement résidentiel périurbain) : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

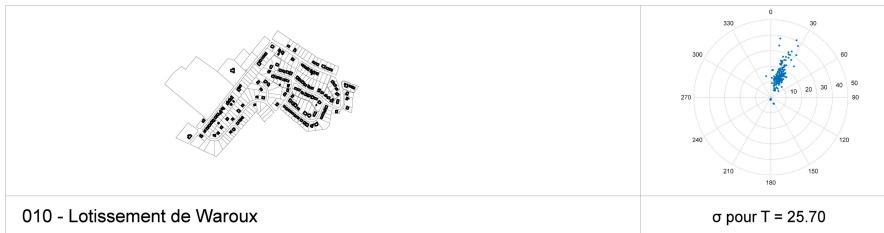


Figure 3-49. Lotissement de Waroux (lotissement résidentiel périurbain) : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

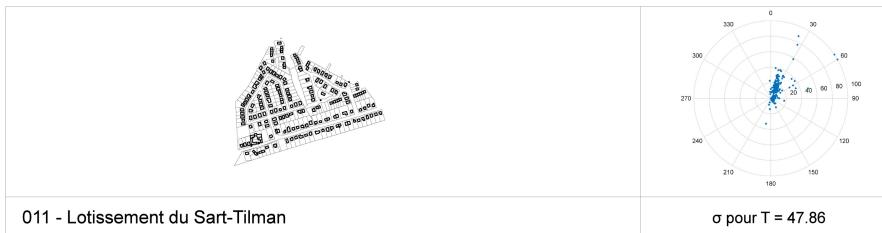


Figure 3-50. Lotissement du Sart-Tilman (lotissement résidentiel périurbain) : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

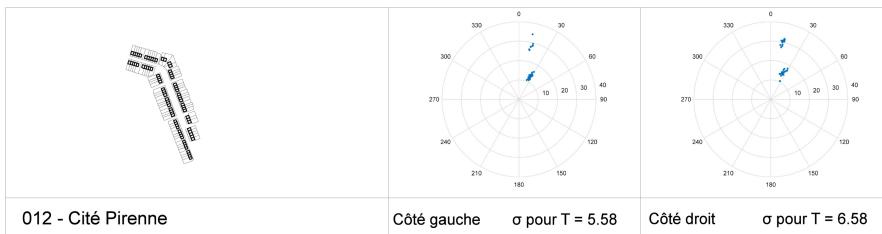


Figure 3-51. Cité Pirenne (cité ouvrière) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

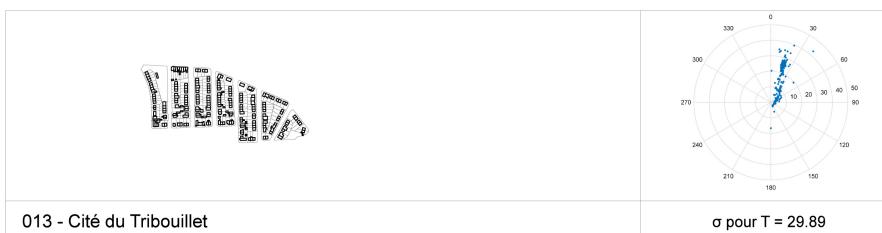


Figure 3-52. Cité du Tribouillet (cité ouvrière) : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

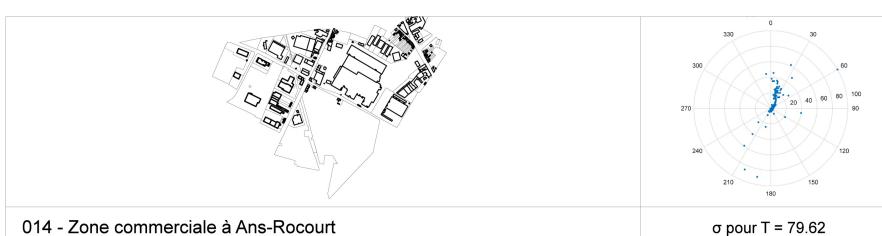


Figure 3-53. Zone commerciale à Ans-Rocourt : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

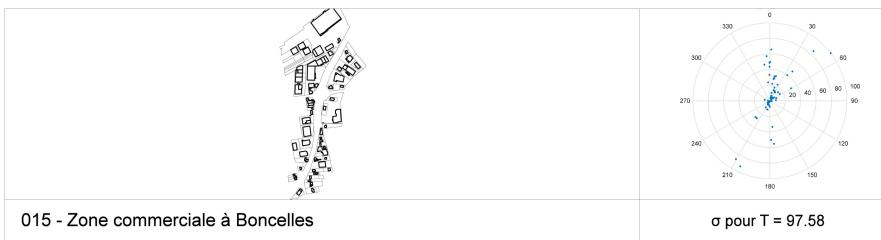


Figure 3-54. Zone commerciale à Boncelles : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

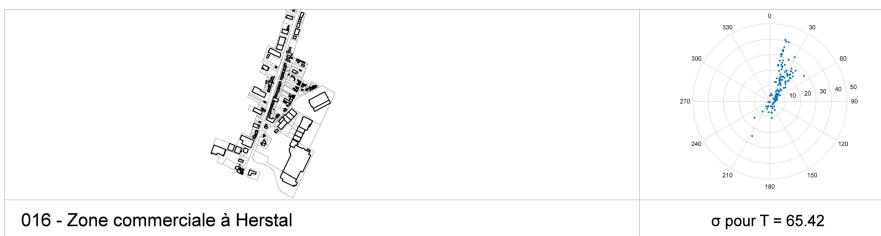


Figure 3-55. Zone commerciale à Herstal : cercle (T, S) pour les façades – composante « façade background ». Indication de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

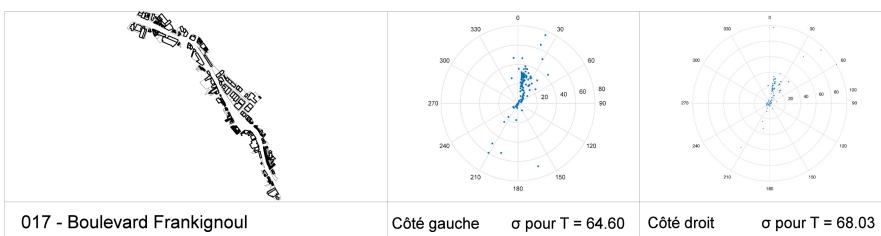


Figure 3-56. Boulevard Frankignoul (zone commerciale : entrée de ville) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

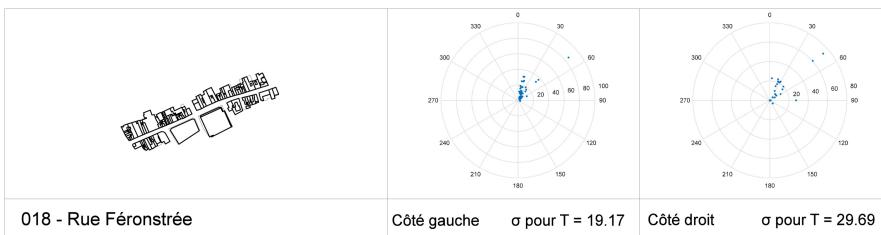


Figure 3-57. Rue Féronstrée (zone commerciale : artère commerçante du centre-ville) : cercles (T, S) pour les façades (côté gauche et côté droit) – composante « façade background ». Indications de σ pour la valeur T. © L. Nguyen (2015)

A l'examen des graphiques (T, S) et des valeurs pour l'écart-type σ ¹⁵⁶, nous constatons que de réelles différences apparaissent dans la distribution de l'attribut chromatique pour les quatre aires urbaines étudiées.

Tout d'abord, en ce qui concerne les fragments du centre historique (fragments 001 à 007, à l'exception du fragment 004), nous pouvons observer une distribution des points sur le cercle qui se localise dans le secteur-intervalle $[0^\circ, 30^\circ]$ à savoir la zone des teintes rouges-orangées. Ces fragments présentent globalement des étalements relativement faibles, en comparaison avec des fragments issus d'autres catégories comme nous le verrons plus loin : σ pour la valeur T varie de 6.68 (pour le côté droit de la rue Jean d'Outremeuse) à 32.01 (pour le côté droit de la rue du Jardin Botanique).

On remarque par ailleurs, pour chaque fragment historique, une particularité. Ainsi, la rue Hors-Château (fragment 001) se caractérise par un certain nombre de points dans la zone centrale du cercle, à très faible saturation, ce qui exprime l'usage de la pierre comme revêtement de façade ; ces points sont couplés à la présence de quelques éléments vifs de teintes affirmées, propres aux enduits appliqués sur des bâtiments nouvellement restaurés. La rue Jean d'Outremeuse (fragments 003), de manière assez similaire à la rue des Anglais (fragment 002) que nous avons étudiée en détails, voit des valeurs bien localisées dans la zone des rouge-orangé, avec une fréquence marquée d'éléments à faible saturation.

Les résultats pour les fragments du quartier « Botanique – Saint-Gilles » (à savoir les fragments 004 à 007 qui constituent des places et rues qui se sont développées en pleine période néo-classique du 19^{ème} siècle) font figurer des façades dans des tonalités claires, voire blanches. La Place Bronckart, développée à partir de 1866 (MRW-DGATLP, 2004b), constitue une trace du règlement d'urbanisme de la première moitié du 19^{ème} siècle à Liège qui prescrivait l'usage d'enduits blancs¹⁵⁷ ; les façades de couleur blanche pour la place sont représentées par des valeurs à luminosité L élevée (autour de 90% selon nos mesures) et à faible saturation (aux alentours de 30%).

Les lotissements résidentiels périurbains présentent des allures pour les graphiques (T, S) assez similaires aux fragments historiques, à savoir

¹⁵⁶ L'ensemble des résultats du protocole appliqué sur les 18 fragments, à savoir les images détournées de la composantes « façade background », les tableaux des valeurs (T, S, L) accompagnés des moyennes et écart-types, ainsi que les graphiques (T, S) et (T, L) sont disponibles [en ligne] sur [<https://www.dropbox.com/sh/b7a5y9p92jex5jl/AAB6loZ4K-xpXaFPhhrVDvIqa?dl=0>]

¹⁵⁷ Dans le « Règlement sur les bâtisses et constructions diverses » de Liège, approuvé le 30 août 1839 en pleine période néo-classique, l'article 86 préconisait l'usage d'un nuancier néo-classique d'une cinquantaine de blancs pour les enduits de façade, les deux extrémités de cette gamme étant la couleur pierre de sable et le vert réséda clair (source : numérisation du document envoyé par l'administration communale de la Ville de Liège, département de l'urbanisme, le 17/03/2017).

des tonalités rouge-brun compris dans le secteur-intervalle [0°, 30°]. La morphologie urbaine des lotissements résidentiels est dans la plupart des cas le résultat de facteurs socioculturels et économiques (Nguyen et al., 2012). Un type individuel « consacré », à savoir ce que l'on nomme péjorativement la fermette villageoise en briques, va se dupliquer et « déterminer la morphologie d'ensemble de manière pratiquement causale » [(Teller, 2002) : p.199].

Même si cela nous éloigne quelque peu de notre objet de recherche, nous pouvons constater qu'un grand nombre d'auteurs de projets à l'origine des plans de lotissement produisent des prescriptions sans risques et peu originales, en appliquant de manière machinale les définitions de matériaux et teintes données dans le Règlement Général des Bâtisses en Site Rural (RGBSR) selon la région agro-géographique. Le résultat qui en découle fait apparaître une banalisation dans la diffusion et la reproduction d'une palette locale et pittoresque, commercialement plaisante auprès du grand public, sans faire preuve d'une réelle expertise ni d'une recherche contextuelle ; comme le mentionne Mangin concernant les lotissements résidentiels, « les règlements et leurs interprétations [...] rendent extrêmement difficile le dépareillement » [(Mangin, 2004) : p.189]. Le paradoxe pour ces constructions périurbaines se situe dans la contradiction entre l'offre et la demande, dans la recherche d'individualité en contraste avec une offre de produits « pareillement différents »¹⁵⁸ (Ibidem).

On note par ailleurs que la réglementation propre au lotissement possède selon nous un impact sur l'allure de la distribution des points sur le graphique (T, S). Ainsi, dans le cas de prescriptions qui proposent une palette de matériaux et donc de teintes assez large¹⁵⁹, nous observons un nuage de points plus diffus autour du centre du cercle (T, S) : c'est le cas pour le lotissement du Sart-Tilman¹⁶⁰ (fragment 011) qui présente un écart-type 0 pour la valeur T assez élevé (47.86). Les lotissements « La Closeraie » (fragment 008) et de « Waroux » (fragment 010) présentent des prescriptions réglementaires qui se traduisent par l'emploi d'une palette de

¹⁵⁸ Mangin, à nouveau, relate cette contradiction : « Il suffit pour s'en convaincre de regarder les dizaines de revues consacrées à la maison individuelle et d'y observer la faiblesse des variations de modèles offerts dans une fourchette de 76 000 à 106 000 € » (Mangin, 2004) : p.189.

¹⁵⁹ Ces prescriptions plus libérales, qui induisent plus de latitude pour les candidats-bâtisseurs, sont assez typiques des lotissements dits de « standing » que l'on retrouve dans des zones boisées de l'agglomération liégeoise tels que le haut d'Angleur ou encore le secteur du bois de Rognac à Neuville-en-Condroz.

¹⁶⁰ Les prescriptions pour le lotissement du Sart-Tilman (approuvées le 09/11/1964) permettent une palette assez vaste : « Les murs de façade principaux, latéraux et postérieurs sont construits en matériaux naturels, et le choix de préférence en briques, pierre de taille, moellons, ou revêtu d'un enduit ou crépi pouvant aller du blanc à la teinte ocre » (source : SPW-DGO4, [en ligne] et disponible sur [http://spw.wallonie.be/dgo4/site_thema/index.php?thema=lot&details=62096-LTS-0092-00], consulté le 10/07/2017).

matériaux très limitée¹⁶¹ ; ces lotissement affichent des ensembles bâties de tonalité dominante rose-brun clair et apparaissent chromatiquement plus cohérents et homogènes que le fragment 011. Dans le cas d'un lotissement réalisé par un promoteur-constructeur, comme c'est le cas du « Clos des Chardonnerets »¹⁶² (fragment 009), la gamme pour les matériaux de parement présente deux ou trois variantes de briques mouchetées, ce qui produit une homogénéité très élevée¹⁶³ (on remarque dans ce cas que σ pour la valeur T vaut 3.74, ce qui est extrêmement faible, même en comparaison avec les fragments du centre historique).

Les fragments relatifs aux cités ouvrières (fragments 012 et 013) reflètent également une forte homogénéité chromatique dans l'intervalle $[0^\circ, 30^\circ]$, avec une présence plus marquée de points « gris » dans le cas de la « Cité du Tribouillet ». Pour la « Cité Pirenne », les graphiques (T, S) montrent clairement deux concentrations ponctuelles : la cité repose sur la répétition de deux types de logements de teinte brun foncé. Aussi, ces deux couleurs sont graphiquement identifiables, ce qui indique dans ce sens une stabilité apparente en termes de fidélité métrologique pour notre protocole de mesure.

Concernant, les zones commerciales étudiées, revenons tout d'abord un instant sur notre modèle intuitif représentant les palettes chromatiques pour les différentes aires urbaines (Figure 3-4). Nous avons caractérisé dans ce modèle les zones commerciales périphériques avec une gamme de couleurs saturées. Ce type d'équipement se localise à proximité des voies de circulation (route du Condroz pour la zone commerciale de Boncelles, autoroutes pour les zones commerciales d'Ans-Rocourt et d'Herstal). « Les archipels commerciaux se développent le long des autoroutes, à proximité des échangeurs, ce qui permet une double accessibilité, d'une part pour les livraisons et les relations quotidiennes avec les grands entrepôts, et d'autre part, pour la clientèle se déplaçant en voiture. » (Fellmann and Morel, 1997) : p.23. Cette localisation, en ce qui concerne l'implantation, induit

¹⁶¹ Construit au début des années 90 par la s.a. Solico (qui est promotrice du projet), le lotissement « La Closeraie » à Rocourt présente les prescriptions réglementaires suivantes, pour les matériaux de parement : « En façade : maximum trois matériaux différents ; briques de campagne, de remploi, briques de parement de tonalité rouge brun » (source : SPW-DGO4, [en ligne] et disponible sur [\[http://spw.wallonie.be/dgo4/site_thema/index.php?thema=lot&details=62063-LTS-0478-00\]](http://spw.wallonie.be/dgo4/site_thema/index.php?thema=lot&details=62063-LTS-0478-00), consulté le 10/07/2017).

¹⁶² Le « Clos des Chardonnerets » a été réalisé par le promoteur-constructeur « Général Construction s.a. » au début des années 90. (source : SPW-DGO4, [en ligne] et disponible sur [\[http://spw.wallonie.be/dgo4/site_thema/index.php?thema=lot&details=62063-LTS-0480-00\]](http://spw.wallonie.be/dgo4/site_thema/index.php?thema=lot&details=62063-LTS-0480-00), consulté le 10/07/2017).

¹⁶³ La couleur joue dans ce contexte un rôle fédérateur : on observe pour le fragment 009 que la couleur regroupe visuellement les bâtiments. Ces derniers sont caractérisés par une « très forte cohésion qui repose essentiellement sur leur unité chromatique » (Collette and Nguyen, 2006b). Cette homogénéité chromatique renforce l'appartenance sociale liée au sentiment pittoresque de « village » ou, pour reprendre les termes de Mancebo (2007), d'atmosphère de « petite ville ».

une facilité en termes d'accès. En vue de garantir la visibilité des bâtiments franchisés, les zones commerciales sont marquées par la présence de dispositifs fortement colorés à la fois pour le bâti et les enseignes¹⁶⁴. L'usage de ces dispositifs se justifie au travers d'une perspective commerciale de marketing : chaque commerce franchisé doit être, vis-à-vis de la concurrence, plus présent et plus visible (si possible à grande distance) afin d'attirer les consommateurs.

Nos résultats pour les fragments commerciaux convergent avec les caractéristiques formelles décrites dans la littérature. Les fragments 014 et 015 (Ans-Rocourt et Boncelles) montrent des distributions tout autour du cercle (T, S), avec de nombreux points dans la région des gris et un nombre remarqué de valeurs dans les teintes rouges et bleues à forte saturation¹⁶⁵. L'hétérogénéité observée pour ces deux fragments est caractérisée par des écart-types σ pour la valeur T respectivement égaux à 79.62 et 97.58 (il s'agit des σ les plus élevés parmi nos 18 fragments urbains).

Pour la zone commerciale à Herstal et le boulevard Frankignoul (fragments 016 et 017), on observe également ce type de distribution au niveau du nuage de points (valeurs dans les gris et valeurs saturées dans les rouges, bleus et même verts pour le boulevard Frankignoul), qui se retrouve néanmoins, dans ces cas-ci, mêlé avec un ensemble de points localisés dans le secteur-intervalle $[0^\circ, 30^\circ]$, configuration caractéristique des fragments du centre historique. Cette hybridation s'interprète par l'enchevêtrement de constructions traditionnelles en briques avec des bâtiments commerciaux monochromes et saturés¹⁶⁶, l'ensemble apparaissant désordonné comme le montre les valeurs de l'écart-type σ pour T (64.6 pour le côté gauche, 68.03 pour le côté droit).

¹⁶⁴ Robert Venturi, dans son ouvrage « *Learning from Las Vegas* » (L'Enseignement de Las Vegas, en version française, [Venturi et al., 2007]), décrit deux types de bâtiments commerciaux : le « hangar décoré » (*decorated shed*) et le bâtiment « canard » (*duck* building). Les constructions de type « hangar décoré » se présentent comme des volumes parallélépipédiques monochromes avec une très faible variabilité morphologique, implantés de manière libre, recouverts de pancartes aux couleurs criardes, et séparés par des espaces de parking (Gibout, 2007). Pour les bâtiments « canard », les couleurs saturées recouvrent l'entièreté des volumes : l'enveloppe extérieure représente la franchise et réciproquement, la marque est identifiée à la façade. Ces « canards » constituent des symboles.

¹⁶⁵ Ces deux catégories de valeurs (T, S) correspondent aux deux types de bâtiments relatés par Robert Venturi : des bâtiments « hangar » gris et des bâtiments « enseignes » (ou « canards ») fortement colorés.

¹⁶⁶ Dans l'étude réalisée sur le boulevard Poincaré-Frankignoul, Dupagne et al. relatent les étapes du développement urbain de cette entrée de ville et mentionnent son aspect hybride : « Il faut sans doute voir, dans cette affectation et les bouleversements qu'elle a connus (à savoir l'affectation en artisanat et en petites industries pour cette zone au 19^{ème} siècle, N.d.A.), la raison du curieux « mélange de styles » que l'on observe aujourd'hui : constructions assez anciennes, développements continus du début de siècle et développements discontinus très récents. » (Dupagne et al., 1997) : p.117.

Enfin, concernant la rue Féronstrée, l'ordonnancement des valeurs chromatiques pour la composante « façade background » suit une configuration fort similaire avec la rue Hors-Château qui lui est parallèle, avec légèrement plus d'éparpillement au vu des valeurs de σ pour T. On dénote ainsi une présence prépondérante de façades de tonalité grise provenant des matériaux minéraux mis en œuvre pour la composante « façade background », tant pour les anciens bâtiments que pour les plus récents tels que la cité administrative et des immeubles mixtes en parement de béton. L'apparence visuelle colorée de la rue provient de l'abondance d'enseignes aux teintes saturées, qui ne font bien sûr pas l'objet de nos mesures chromatiques. La rue, qui se présente comme une artère commerciale localisée dans le cœur historique, conserve donc, de manière sous-jacente, les propriétés chromatiques de la première catégorie d'aire urbaine différenciée (centre historique).

Pour terminer cette analyse des 18 fragments urbains, nous pouvons observer les valeurs et les graphiques pour T, S et L par rapport aux 1.952 individus de la population prise dans sa globalité, ce qui permettrait d'avoir une vision à l'échelle de l'agglomération liégeoise.

Nous reprenons plus bas les graphiques (T, S) et (T, L) (Figures 3-58 et 3-59) qui décrivent la distribution des valeurs pour l'ensemble de la population des façades étudiées. Les graphiques révèlent une concentration de points dans laquelle les valeurs évoluent dans l'intervalle $[0^\circ, 30^\circ]$ pour la teinte (à savoir les rouge-orange) et présentent une saturation et une luminosité en dessous de 60%.

Le Tableau 3-7 fournit, pour T, S et L, les moyennes arithmétiques, les écart-types ainsi que les valeurs minimales et maximales. On voit que pour T, la moyenne se situe sur 35° , avec un écart-type relativement significatif (50.68). La saturation moyenne est relativement faible, soit 18.57% et la luminosité moyenne s'affiche à 50.96%. En ce qui concerne les valeurs minimales et maximales¹⁶⁷, elles sont peu pertinentes étant donné qu'elles traduisent une évolution des mesures sur l'entièreté du domaine de variation.

¹⁶⁷ D'un point de vue métrologique, les valeurs minimales et maximales traduisent les étendues de mesure de l'instrument pour l'usage spécifique ciblé sur la population étudiée.

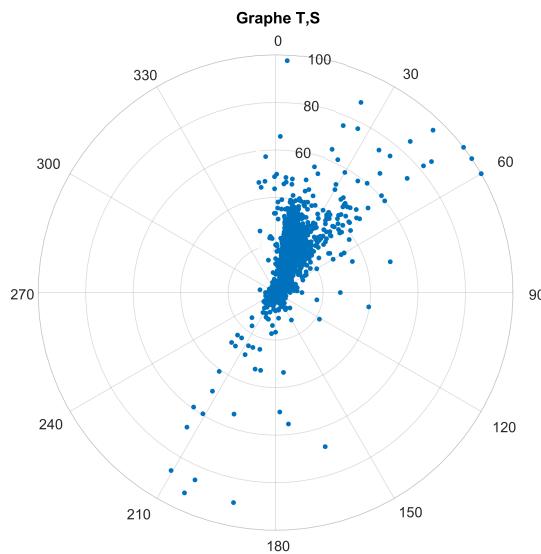


Figure 3-58. Cercle (T, S) pour les 1.952 individus de la population relevée dans l'agglomération liégeoise – composante « façade background ». © L. Nguyen (2017).

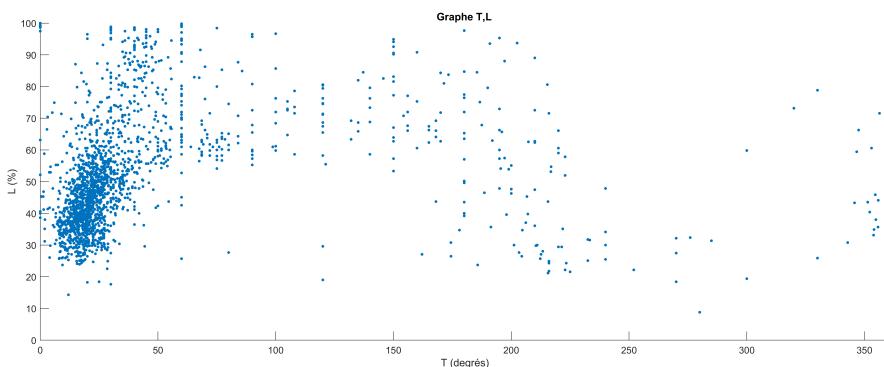


Figure 3-59. Rectangle (T, L) pour les 1.952 individus de la population relevée dans l'agglomération liégeoise – composante « façade background ». © L. Nguyen (2017).

Tableau 3-7. Moyennes arithmétiques, écart-types et valeurs minimales et maximales pour T, S et L relatifs aux 1.952 individus de la population relevée dans l'agglomération liégeoise – composante « façade background ». © L. Nguyen (2017).

	Teinte	Saturation	Luminosité
Moyenne	34.7239	18.0700	50.9639
Ecart-Type	50.6808	12.3368	17.4975
Valeur min.	0°	0%	8.8235%
Valeur max.	359.4828°	97.6608%	100%

3. Observations, critiques et perspectives de développement du protocole mis en œuvre

Le protocole proposé donne une visualisation à la fois synthétique et synoptique de la distribution chromatique dans un fragment de tissu urbain. Sur base d'un long relevé de près de 2.000 façades, l'approche que nous avons développée permet de synthétiser l'attribut « couleur » du bâti localisé dans une rue, une place ou une nappe, par l'intermédiaire de plusieurs outils visuels : la palette reprenant les vignettes de couleur moyenne, ainsi que les graphiques (T, S) et (T, L). Notre instrumentation a permis de déceler une allure spécifique dans la répartition des valeurs sur le cercle (T, S) et le rectangle (T, L). Par l'établissement de l'écart-type σ , nous avons pu évaluer le caractère homogène et cohérent du fragment lié à l'étalement du nuage de points sur les graphiques. En particulier pour l'étude de la rue des Anglais que nous avons détaillée, les résultats de mesure indiquent un attribut chromatique distribué dans la zone des rouge-orange.

L'étape de validation permettant de tester la stabilité du protocole a révélé une sensibilité au niveau de la valeur de luminosité L ainsi que très peu de dispersion en ce qui concerne la valeur de saturation S. Nous avons en outre mis en évidence les réponses différentes provenant de trois appareils photos, ce qui nous a conduit à prescrire l'usage d'un unique appareil pour notre campagne de relevé. Aussi, le problème d'une prise de vue en contre-jour, sous couverture nuageuse variable, provoquant dans la plupart des cas des résultats plus dispersés pour la valeur de teinte T a également été abordé. L'homogénéité du ciel couvert permet d'assurer une stabilité accrue du protocole pour les situations de contre-jour. L'usage d'un luxmètre, au moment de la prise de vue pourrait permettre de réduire les variations de la luminosité, d'autant plus que le prix d'un tel appareil reste abordable. Enfin, l'importance d'une plage horaire la plus similaire possible a été soulevée lors des prises de vue. La troisième validation a mis en avant la corrélation des résultats générés par le protocole avec ceux issus d'un colorimètre à filtres, ce qui renforce davantage la robustesse de notre instrument, en termes de justesse. La comparaison des résultats avec ceux provenant de mesures issues d'un colorimètre permet également de valider la légitimité de la couleur moyenne générée par notre script dans l'opération de dissolution des pixels. Aussi, nous envisageons par la suite, comme validation complémentaire, de comparer nos mesures avec celles provenant d'un spectroradiomètre, appareil qui offre une détermination plus fiable et plus précise en colorimétrie.

Le choix de l'appareil photographique comme « bon compromis » dans le cadre de la collecte du signal à étudier est bien entendu affecté d'une série de limites et d'approximations que nous rappelons ici : sensibilité aux conditions contextuelles, réponses différentes selon le type d'appareil numérique, cadrage pouvant sensiblement différer d'un utilisateur à l'autre (ce qui atténue davantage l'objectivation recherchée), défaut de contrôle et

perte d'informations en ce qui concerne la gestion des couleurs dans la chaîne de conversion des formats d'image. Nous notons qu'une gestion des couleurs rigoureuse dans le cadre du traitement d'images tout au long du protocole nécessite une expertise poussée liée à des domaines de connaissance qui dépassent sans doute notre compétence focalisée prioritairement sur le champ du diagnostic urbain : c'est dans ce sens que nous assumons en partie les limitations relatives à notre protocole de caractérisation qui, bien que soumis à plusieurs validations, ne peut aboutir à une parfaite objectivité.

Nous soulignons que nous avons opté, dans le cadre de l'affichage des résultats, pour RGB et TSL qui ne constituent pas des espaces chromatiques uniformes ; les distances entre les points représentés sur les graphes (T, S) et (T, L) n'ont pas de corrélation avec la perception visuelle. Les valeurs de moyennes et d'écart-types sont à considérer en tenant compte de cette faiblesse ; nous restons bien sûr persuadé que ces valeurs restent pertinentes en termes de compréhension de la distribution de l'attribut chromatique afin de caractériser la tendance et l'homogénéité/hétérogénéité pour un fragment urbain.

Jusqu'ici, nous n'avons pris en considération qu'une seule composante de la façade, à savoir le matériau de remplissage ou « façade background ». Le protocole de caractérisation reste bien entendu applicable pour les autres composantes secondaires (les seuils et les encadrements de fenêtre, le soubassement, la menuiserie extérieure et le chenal). Au moment de la rédaction de cette dissertation, nous étudions la manière de combiner ces différentes informations dans une approche plus complète. Cette démarche, qui met également en évidence la complexité dans la maîtrise des ambiances due au foisonnement des signaux perceptibles, sont de ce fait au cœur de nos travaux actuels.

Nous rappelons que l'objet de l'étude pour ce chapitre demeure la mise en évidence et la constatation de tendances chromatiques pour différents milieux urbains. Au travers de l'étude des fragments urbains qui composent ces milieux urbains ciblés, la métrique que nous avons développée a permis de déceler des rapprochements/distinctions entre les échantillons de la population ; elle a également permis de mettre en évidence une convergence de la distribution chromatique dans chacune des quatre catégories qui est liée à une allure spécifique des résultats quantitatifs et graphiques obtenus. Aussi, nous avons pu observer une convergence entre l'examen visuel et les résultats générés, renforcée par une mise en parallèle avec des constations concordantes puisées dans la littérature. Dans notre démarche d'instrumentation, qui s'établit via la construction d'un outil de caractérisation adopté pour la phase de diagnostic urbain, nous n'avons pas envisagé, pour l'heure, la mise en place d'un outil de régulation morphologique, même s'il pourrait s'agir d'une application possible de la méthode. Dans ce sens, une conversation des résultats en coordonnées (T, S, L) dans des valeurs issues de systèmes de classification standards (Munsell et NCS) plus répandus auprès des auteurs de projet en

architecture et en urbanisme est tout à fait envisageable afin d'élargir davantage la portée de la recherche.

Il est par ailleurs important de rappeler que nous faisons correspondre à chaque façade une valeur pour la couleur moyenne, visuellement représentée par des vignettes de taille unique dont l'ensemble fournit la palette de synthèse. La couleur, en ce qui concerne son affichage graphique pour les résultats, est considérée ici comme une information « adimensionnelle ». Afin de prendre en considération la quantité surfacique de la couleur d'une façade de manière relative avec les autres individus de la rue, nous envisageons d'améliorer l'affichage visuel de la palette de synthèse en y imputant un réglage permettant de fournir une dimension adaptée de chaque vignette de couleur¹⁶⁸ ; ceci permettra de spécifier le poids chromatique de la façade à l'échelle du fragment urbain étudié.

Dans le développement de l'instrumentation, afin de pouvoir le transmettre à un « utilisateur final », une automatisation de la procédure via une interface plus intégrée a été développée, notamment en ce qui concerne le détourage de la composante « façade background » qui, dans l'étude des 18 fragments présentée dans ce chapitre, a été effectuée de manière manuelle¹⁶⁹. L'interface intégrée et la méthode de segmentation automatisée sera abordée dans le cadre du chapitre 5 qui exposera l'application « Urba Khroma » que nous avons développée et qui englobe le protocole de caractérisation.

L'instrument fournissant une image chromatique d'une façade et d'un fragment urbain à un moment donné, il serait envisageable, dans une autre perspective d'exploitation de la méthode, de caractériser l'évolution de l'attribut chromatique dans le temps. En étudiant sa variation à deux moments distincts qui définissent un intervalle temporel, nous pourrions étudier les effets du vieillissement, de la pollution de l'air ou encore des processus d'embellissement issus d'initiatives publiques et privées. Dans la même optique que l'évolution de la morphologie urbaine produisant des déformations formelles des objets architecturaux et urbains (Borie et al., 2006), il serait ainsi possible, à l'aide de l'instrument dans le cadre d'une analyse à long terme, d'étudier l'évolution chromatique d'un tissu qui fait apparaître de multiples transformations sur les façades.

¹⁶⁸ De manière similaire au paramètre surfacique présent dans les palettes chromatiques du projet *Farbraum Stadt* développé par Sibiliano (2011) : voir chapitre 2.

¹⁶⁹ Dans la même expérience menée sur la trentaine d'étudiants de la section ingénieur-architecte de l'Université de Liège en vue de déterminer la couleur dominante pour plusieurs façades, nous leur avons également demandé de détourer la composante « façade background » sous un chronométrage. Le temps mis pour exécuter le détourage d'une façade varie de 5 à 20 secondes selon la complexité de l'image. Le temps consacré à l'opération de détourage, lorsqu'elle est réalisée manuellement, a constitué l'une des principales faiblesses du protocole de caractérisation, en particulier dans le cas où un fragment urbain se compose de plusieurs centaines d'individus à traiter.

Notre méthode de caractérisation semble être éloignée d'une approche sensible et ambiantale d'un environnement urbain étant donné qu'elle uniformise les conditions perçues et vécues par l'usager telles que les variations d'intensité lumineuse, le changement spectral de la source lumineuse, l'hétérogénéité visuelle de l'élément coloré due à la texture et à la géométrie solaire, ou encore les sensations se manifestant durant le parcours visuel. Il est courant d'opposer une approche objective, liée à la métrologie et à la maîtrise des ambiances, à une approche subjective, orientée du côté de la perception et de l'expérience sensible (Thibaud, 1998). Nous considérons que ce protocole de caractérisation chromatique est en définitive complémentaire à une approche plus sensorielle basée notamment sur la dynamique du parcours : une forme architecturée implique nécessairement du quantitatif, du physique et de l'humain, du conçu et du vécu, du théorique et du pratique (Augoyard, 1998).

Sur base des résultats que nous avons générés dans l'analyse des 1.952 individus collectés, la prochaine étape de notre recherche, exposée dans le chapitre 4, se situe dans le traitement de ces informations en vue d'une catégorisation qui révélera l'existence de types chromatiques stables pour l'ensemble de la population étudiée.

Chapitre 4

Développement d'une typologie paramétrique et évaluation de la cohérence spatiale

« But Sorry, Colin (Colin Rowe, N.d.A.), you got it all wrong – the Domino is neither a symbol nor an icon. As Peter (Peter Eisenman, N.d.A.) himself would say about the Domino, it's an index. In other word, what is important about the Domino is precisely that it's a self-conscious system, a notational system, an index of the design process that created it. » (Kipnis and Somol, 2010) : p.48.



Figure 4-1. La Maison Domino de Le Corbusier construite lors de la Biennale de Venise en 2014, près de l'entrée de l'exposition réalisée par Rem Koolhaas, « Elements of Architecture ». © Flickr – Duur-architect¹⁷⁰ (2014)

¹⁷⁰ Image en [en ligne] et disponible sur [<https://www.flickr.com/photos/durr-architect/>], téléchargée le 01/07/2017.

1. Introduction

1.1. Tentatives de catégorisation via l'usage de tests statistiques

Sur la base des résultats que nous avons générés pour les 18 fragments urbains – qui fournissent les valeurs chromatiques quantitatives (T, S, L) pour chaque façade –, il nous semble important à ce stade de structurer l'ensemble de ces informations par la construction de catégories caractérisées par un trait identique, permettant ainsi une compréhension accrue de la population. Idéalement pour notre étude, chaque aire urbaine différenciée devrait correspondre à une catégorie présentant une distribution similaire commune de l'attribut chromatique.

Dans cette perspective, une première approche réside dans l'usage de tests statistiques. Nos données (T, S, L) sont liées à des variables quantitatives discrètes continues, en d'autres termes des variables qui peuvent prendre toutes les valeurs possibles dans un intervalle (ou continuum) donné (Albert, 2005). Dans ce cadre, on peut définir un certain nombre de classes définies par des limites inférieures et supérieures, de manière à couvrir l'ensemble du domaine des valeurs de la variable continue (Ibidem). Dans ce paragraphe, comme hypothèse de départ afin d'aborder la complexité du problème, nous isolons et étudions spécifiquement la variable de teinte T : nous ne tenons donc pas compte des variables S et L (une approche similaire pourrait être appliquée pour celles-ci).

Le cercle chromatique peut se décomposer en secteurs d'ouverture angulaire égale de 30° représentant douze classes chromatiques pour la teinte T : rouge-orange $[0^\circ, 29^\circ]$, orange $[30^\circ, 59^\circ]$, jaune $[60^\circ, 89^\circ]$, vert-jaune $[90^\circ, 119^\circ]$, vert-bleu $[120^\circ, 149^\circ]$, cyan $[150^\circ, 179^\circ]$, cyan-bleu $[180^\circ, 209^\circ]$, bleu $[210^\circ, 239^\circ]$, violet-bleu $[240^\circ, 269^\circ]$, violet-magenta $[270^\circ, 299^\circ]$, magenta $[300^\circ, 329^\circ]$ et rouge-magenta $[330^\circ, 359^\circ]$ (Figure 4-2).

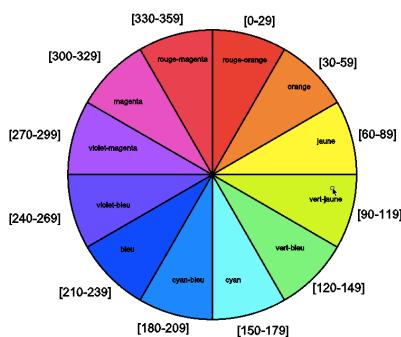


Figure 4-2. Cercle (T, S) divisé en secteurs représentant 12 classes chromatiques.
© L. Nguyen (2014)

Sur base de ces classes, nous pouvons construire un histogramme des fréquences pour chaque fragment urbain, où nous reportons en abscisse les classes chromatiques et en ordonnée la fréquence correspondante. La Figure 4-3 reprend les histogrammes pour des fragments pris dans chacune des

quatre aires urbaines différencierées : fragment 002 (rue des Anglais), fragment 008 (La Closerie), fragment 012 (Cité Pirenne) et fragment 015 (zone commerciale de Boncelles). L'allure des histogrammes confirme les observations formulées dans le chapitre précédent : d'une part, une tendance de la distribution des points dans la classe $[0^\circ, 29^\circ]$ pour les fragments relatifs au centre historique, aux lotissements résidentiels périurbains et aux cités ouvrières (centrée sur 0° , la courbe adopte une allure gaussienne), et d'autre part, une hétérogénéité pour les zones commerciales (la courbe adopte une allure sinusoïdale).

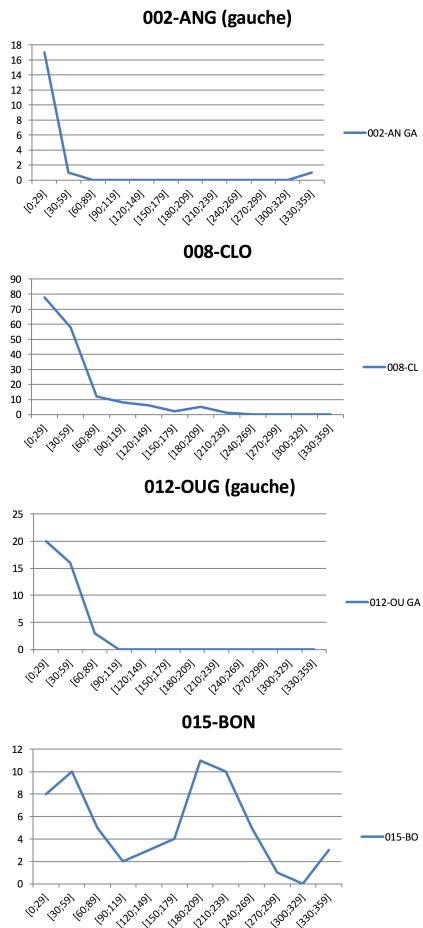


Figure 4-3. Histogrammes des fréquences pour les fragments 002, 008, 012 et 015 relatifs aux quatre aires urbaines différencierées © L. Nguyen (2014)

Notre première tentative impliquant des outils statistiques a été d'effectuer un test d'homogénéité pour les sept premiers fragments relatifs au centre historique. Le test d'homogénéité permet de fournir une réponse à la question selon laquelle on cherche à savoir si la distribution de la variable T (qui prend ici 12 modalités relatives aux classes chromatiques) est la même dans chaque fragment : on parle d'homogénéité des distributions. Dans le cas contraire, la distribution de la variable T varie selon les fragments, et on dit alors qu'il y a hétérogénéité (Albert, 2005). Les données de base sont reprises dans le Tableau 4-1 qui affiche les fréquences pour chaque classe chromatique selon les sept fragments du

centre historique (le tableau comprend 14 entrées relatives aux 7 fragments décomposés en côté gauche et droit¹⁷¹).

Tableau 4-1. Tableau de classes pour les 7 fragments du centre historique.

© L. Nguyen (2014)

	1-G	1-D	2-G	2-D	3-G	3-D	4-G	4-D	5-G	5-D	6-G	6-D	7-G	7-D
[0;29]	51	32	17	15	46	47	3	9	20	21	29	23	23	28
[30;59]	4	4	1	2	8	4	6	9	0	0	1	1	2	2
[60;89]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[90;119]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[120;149]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[150;179]	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
[180;209]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[210;239]	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
[240;269]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[270;299]	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
[300;329]	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
[330;359]	3	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	1	0
Variable T														

Le test statique est le suivant :

- 1) On oppose les deux hypothèses H0 et H1 :

H0 : La répartition de la variable T dans les 12 classes chromatiques ou modalités (r) est la même pour les 14 fragments (c)

vs H1 : La répartition entre les 14 fragments est différente

- 2) On fixe un niveau d'incertitude : $\alpha = 0.05$

- 3) Test statistique :

On détermine les valeurs attendues $(E_{ij}) = R_i \cdot C_j / n$ et ensuite la table des résidus $e_{ij} = (O_{ij} - E_{ij}) / \sqrt{E_{ij}}$

Finalement $X^2_{\text{obs}} = \sum \sum (e_{ij})^2 = 185$ à partir des données du Tableau 4-1.

- 4) Seuil de décision :

Le nombre de degré de liberté $v = (r-1) \cdot (c-1) = 11 \cdot 13 = 143$

et $QX^2(0.95; 143) = 172$

- 5) Décision :

Puisque $X^2_{\text{obs}} > QX^2$, on rejette l'hypothèse H0.

Suite à l'échec du test d'homogénéité, nous pouvons conclure que la répartition des classes chromatiques n'est pas homogène pour les 7 fragments urbains du centre historique. En d'autres termes, des différences significatives dans la distribution de la teinte T sont observables dans les fragments de l'aire du centre historique ; celle-ci ne peut dès lors se

¹⁷¹ Notons, qu'au moment de cette analyse statistique, nous avons également divisé la Place Bronckart en une partie gauche et une partie droite.

présenter comme une catégorie possédant une tendance spécifique regroupant les 7 premiers fragments.

Avec une conclusion identique, nous avons procédé à un test de Fischer pour lequel nous effectuons une comparaison des variances entre des fragments urbains pris deux par deux : le rapport entre celles-ci ne doit pas dépasser une certaine valeur théorique issue de la table de Fisher (Albert, 2005). Le test de Fischer s'écrit :

$$F = S_x^2 / S_y^2 \quad [4.1]$$

Si le test est accepté, on peut affirmer que les distributions de la variable T autour de la moyenne des deux échantillons-fragments sont similaires. Dans le cas où le test est refusé, cela indique que les deux variances sont significativement différentes. Sur une matrice « idéale » reprenant des indices « acceptation » (A) et « rejet » (R) du test, dans laquelle on compare deux par deux les variances des fragments urbains, nous devrions nous attendre à une allure symétrique des indices (A) le long de la diagonale, ce qui indiquerait des variances similaires pour les fragments d'une même aire urbaine et donc une similarité dans la distribution de la variable T (Figure 4-4). Après calcul, nous obtenons une matrice « résultat » qui affiche une répartition des indices (A) des plus éparpillées autour de la diagonale, ce qui, à nouveau, ne nous permet pas à première vue d'établir une quelconque forme de catégorisation pour les 18 fragments (Figure 4-5).

	1-HCH	2-ANG	3-JDM	4-BRO	5-JAR	6-DAR	7-AUG	8-CLO	9-CHA	10-WAR	11-SAR	12-OUG	13-TRI	14-ANS	15-BON	16-HER	17-FRA	18-FER
1-HCH	1	A	A	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
2-ANG	A	1	A	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
3-JDM	A	A	1	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
4-BRO	A	A	A	1	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
5-JAR	A	A	A	A	1	A	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
6-DAR	A	A	A	A	A	1	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
7-AUG	A	A	A	A	A	A	1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
8-CLO	R	R	R	R	R	R	R	1	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R
9-CHA	R	R	R	R	R	R	R	R	1	A	A	R	R	R	R	R	R	R
10-WAR	R	R	R	R	R	R	R	R	A	1	A	R	R	R	R	R	R	R
11-SAR	R	R	R	R	R	R	R	R	A	A	1	R	R	R	R	R	R	R
12-OUG	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	1	A	R	R	R	R	R	R
13-SAR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	1	R	R	R	R	R	R
14-ANS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	1	A	A	R	R	R
15-BON	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	1	A	R	R	R
16-HER	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	A	1	R	R	R
17-FRA	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	1	A	R
18-FER	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	1	R

Figure 4-4. Matrice de Fischer « idéale » : la répartition des indices (A) est symétrique. © L. Nguyen (2014)

	1-HCH	2-ANG	3-JDM	4-BRO	5-JAR	6-DAR	7-AUG	8-CLO	9-CHA	10-WAR	11-SAR	12-OUG	13-TRI	14-ANS	15-BON	16-HER	17-FRA	18-FER
1-HCH	1	R	R	A	A	R	R	R	R	R	R	R	R	A	R	A	R	R
2-ANG	R	1	R	R	A	A	R	R	R	A	R	R	A	R	A	R	A	R
3-JDM	R	R	1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
4-BRO	A	R	R	1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R
5-JAR	A	A	R	R	1	A	R	R	R	R	R	R	R	A	R	A	A	R
6-DAR	R	A	R	R	A	1	R	R	R	R	R	R	R	R	A	R	A	R
7-AUG	R	R	R	R	R	R	1	A	R	A	A	R	R	R	R	R	R	A
8-CLO	R	R	R	R	R	A	1	R	R	A	R	R	R	R	R	R	R	R
9-CHA	R	R	R	R	R	R	R	1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
10-WAR	R	R	R	R	R	A	A	R	1	R	R	R	R	R	R	R	R	R
11-SAR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	1	R	R	R	R	R	R	R	R
12-OUG	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	1	R	R	R	R	R	R	R
13-SAR	R	A	R	R	R	A	R	R	R	R	R	1	R	R	R	R	R	A
14-ANS	R	A	R	R	A	A	R	R	R	R	R	R	1	R	R	A	R	R
15-BON	A	R	R	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	1	R	R	R	R
16-HER	R	A	R	R	A	A	R	R	R	R	R	R	R	R	1	R	A	R
17-FRA	A	R	R	R	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	1	R	R
18-FER	R	A	R	R	R	R	A	R	R	R	R	R	R	R	A	R	1	R

Figure 4-5. Matrice de Fischer « résultat » : l'éparpillement des indices (A) ne permet pas d'établir une catégorisation des fragments.

© L. Nguyen (2014)

1.2. L'approche typologique appliquée à l'entièreté de la population

1.2.1. Reformulation de notre objectif de recherche

Les résultats peu concluants dans l'approche mettant en jeu des tests statistiques, dans la perspective de l'établissement d'une catégorisation des fragments urbains, nous ont conduit à reformuler notre objectif de recherche. A cet effet, nous avons emprunté à la théorie de l'architecture et de l'urbanisme le concept de typologie que nous avons appliqué à notre population.

Dans un premier temps, nous mettons entre parenthèse la division des fragments en quatre groupes d'aires urbaines différenciées pour nous focaliser sur la totalité des 1.952 individus dont les valeurs (T, S, L) converties en (R, V, B) peuvent être représentées dans un espace orthonormé à trois dimensions (Figure 4-6). Le challenge consisterait à faire émerger, en partant de notre population qui prend la forme d'un grand nuage de points, un nombre fini de types stables qui se définiraient comme des catégories chromatiques distinctes, par regroupement des points en sous-ensembles (Figure 4-7).

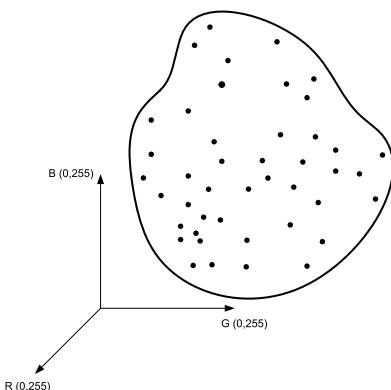


Figure 4-6. La population composée de 1.952 individus peut être représentée dans un espace orthonormé à trois dimensions. © (Nguyen and Teller, 2016a).

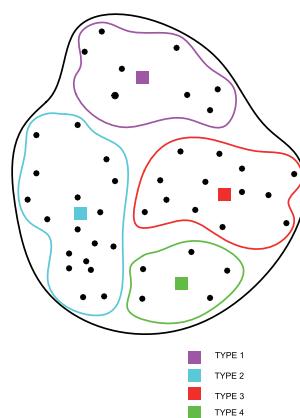


Figure 4-7. Schéma traduisant notre objectif reformulé : regrouper les 1.952 individus en un nombre limité de types. © (Nguyen and Teller, 2016a).

1.2.2. Parenthèse sur la notion de typologie dans la théorie de l'architecture et de l'urbanisme

Dans le champ de la recherche en morphologie urbaine, il est fréquent de comprendre, de décrire et de conceptualiser les villes au travers de l'établissement d'une typologie¹⁷², en faisant émerger des types (Lee and Jacoby, 2011). Le type se définit comme un objet abstrait construit par l'analyse qui comprend les propriétés essentielles d'un ensemble d'objets réels (Lathouri, 2011). Selon Aldo Rossi, la recherche typologique est en mesure d'identifier les régularités dans la masse confuse urbaine et peut mettre en évidence l'homogénéité induite dans les formes complexes générées par différentes périodes morphologiques¹⁷³ (Rossi, 2001).

La reconnaissance des types permet d'établir un index tangible¹⁷⁴, un répertoire fini d'éléments synthétiques caractérisant un tissu urbain et contribuant à la construction de ce dernier au cours du temps. En d'autres termes, le type constitue « un produit social complexe qui renvoie à une compréhension des conditions de la production du cadre bâti, donc à une conception plus large, urbanistique de l'histoire de l'architecture » (Allain, 2005).

Dans un positionnement similaire à Rossi, Panerai et al. (2005) mentionnent que la typologie permet de comprendre l'organisation de la production architecturale d'un tissu et peut de ce fait étudier le rapport entre les types construits et la forme urbaine comme moyen de compréhension de la structure de la ville. C'est pourquoi l'usage de la typologie apparaît comme essentiel pour classer et comprendre un large ensemble d'objets construits qui sont les constituants d'un tissu urbain étendu. La définition suivante de Panerai résume la vocation donnée au type :

« [...] Un type est un objet abstrait, construit par l'analyse, qui rassemble les propriétés essentielles d'une catégorie d'objets réels et permet d'en rendre compte avec économie. L'analyse typologique peut s'appliquer à des ensembles d'objets très variés au sein de la même ville. On pourra mesurer comment chaque objet concret procède par variation sur le type, éventuellement par croisement de deux types, et ayant ordonné l'ensemble, comprendre la logique des variations, les lois de

¹⁷² Il s'agit bien entendu de typologie de la forme urbaine ou architecturale. En ce qui concerne la couleur, à notre connaissance, seul Giovanni Brino mentionne dans ses travaux une notion de typologie chromatique (Brino and Rosso, 1987).

¹⁷³ Ceci trouve bien entendu un écho avec nos travaux de recherche qui tentent de mettre à la lumière l'homogénéité/hétérogénéité chromatique dans les tissus urbains.

¹⁷⁴ Cornesse and Prégardien précise que le type s'implante dans un contexte spatial, temporel et humain défini : « le type a une image bien réelle qui appartient à l'imaginaire social des habitants. » (Cornesse and Prégardien, 2010) : p12.

passage d'un type à l'autre, bref établir une typologie. » (Panerai et al., 2005) : p.120.

Panerai fait également une distinction entre la typologie analytique, qui révèle les schémas de base organisant les propriétés géométriques, et la typologie générative¹⁷⁵, qui vise un objectif de production architecturale et urbaine dans un souci d'efficacité et d'économie¹⁷⁶ (Ibidem).

La recherche typologique relève d'une longue tradition et bénéficie d'une fortune assez considérable dans le milieu de l'urbanisme. Au début du 20^{ème} siècle, sous l'impulsion de Le Corbusier et du mouvement moderne, le type devient un « standard » reproductible rapidement, une sorte de produit industriel, une fusion des formes antérieures les plus optimales telle que le revendiquait Walter Gropius (Lathouri, 2011) ; le type est vidé de sa signification originel dans laquelle il est construit par l'héritage. Dans le milieu du 20^{ème} siècle, en contre-réaction avec la pensée du Modernisme, l'Ecole italienne – que nous avons déjà abordée dans le premier chapitre –, conduite par Saverio Muratori¹⁷⁷ tente de redéfinir la dialectique entre les types et la ville. Dans les années 60, Carlo Aymonino s'appuie sur les travaux de Muratori et expérimente les études de ce dernier sur d'autres villes :

« Parallèlement et en complicité avec Rossi, Carlo Aymonino (1926), au sein de l'Institut universitaire d'architecture de Venise, développe des études urbaines. Il étudie Padoue, puis les cas exemplaires de villes capitalistes que sont les capitales du XIX^e siècle, Paris et Vienne, et il donne pour objectif d'énoncer une « théorie de la ville », retenant l'hypothèse rossienne de la permanence, théorie qui établirait le rapport entre forme de la ville et caractéristiques de l'architecture. » (Lucan, 2009) : p.517.

Malgré la reconnaissance de l'apport de la typologie et de son regain d'intérêt actuel dans la littérature scientifique (Lee and Jacoby, 2011), force est de constater l'aspect limité de ses applications concrètes. Les chercheurs

¹⁷⁵ L'attribut « génératif » est remplacé par « opératoire » chez Teller (2001). Notons que pour Lucan, le ressort du travail architectural réside dans le fait de « s'échapper de la typologie, c'est-à-dire rechercher des dispositifs nouveaux » [(Lucan, 2015) : p.17]. Le type opératoire semble dès lors fondamentalement insuffisant pour concevoir un dispositif architectural pour lequel il n'existe pas de type ; à cet effet, Lucan substitue le type opératoire par le concept de « diagramme » (Ibidem).

¹⁷⁶ Panerai, dans le cadre de la typologie générative, se réfère à J.N.L. Durand (1760-1834), Professeur à l'Ecole Polytechnique. Confronté à l'urgence de réorganiser économiquement et politiquement la France dans un contexte qui nécessitait la construction rapide de bâtiments publics et particuliers, Durand transforme le principe de typologie en un mode de composition dans lequel « un souci de simplification et de systématisation est permanent » [(Lucan, 2009) : p.33].

¹⁷⁷ Avec l'aide de ses étudiants, Muratori s'attela, pendant dix ans, à relever et à analyser, sur base de la méthode typologique, un vaste ensemble de données morphologiques caractérisant les constructions de Venise (Panerai et al. 2005).

Gil et al. (2012)¹⁷⁸ pointent plusieurs causes majeures : premièrement, le processus analytique demeure laborieux et non entièrement objectif. Ensuite, il serait nécessaire d'intégrer de nouvelles approches morphologiques afin d'obtenir un ensemble de résultats plus complets au niveau des attributs de l'environnement urbain. Enfin, la cause la plus importante réside dans la difficulté d'appliquer une approche typologique sur des quartiers étendus, complexes et informels pour lesquels il ne correspond pas vraiment de typologies adaptées.

Le nombre élevé de données de terrain à collecter et le traitement fastidieux qui s'en suit via l'analyse typologique traditionnelle, basée sur la méthodologie développée par l'Ecole italienne et qui met en jeu essentiellement une appréciation visuelle de type qualitative dans le choix des critères morphologiques, constitue également à nos yeux un obstacle majeur¹⁷⁹. Dès lors, l'usage de l'outil informatique semble être une approche réaliste et efficace (Van Leusen, 1994).

¹⁷⁸ Les chercheurs Gil et al. de la TU de Delft font la jonction entre les théories sur la typomorphologie en architecture et l'exploitation de techniques statistiques pour le processus de sélection des types. Dans une approche fort identique à la nôtre, ils exploitent l'algorithme de partitionnement K-means en vue de faire émerger des types pour le corpus de relevés. Ils fournissent une caractérisation typologique de la forme urbaine, spécifiquement de deux composantes du tissu, les îlots et les rues, qu'ils analysent suivant plusieurs caractéristiques : la dimension, le gabarit, la densité, l'affectation, etc. (Gil et al., 2012).

¹⁷⁹ Le rejet d'une approche mettant en jeu le jugement de l'observateur permet de garantir l'objectivation dont nous nous sommes efforcé d'appliquer dans le cadre du développement de notre méthode.

2. Usage d'un algorithme de partitionnement en vue d'établir une typologie paramétrique de la couleur

2.1. Définition et usage de l'algorithme K-means

Nous présentons dans la présente section le développement qui a permis de générer des catégories chromatiques (ou types) en vue de « rendre compte avec économie » – en reprenant les termes de Panerai et al. (2005) –, de l'attribut chromatique pour la population ciblée. Se basant sur des valeurs paramétriques, la typologie chromatique mise en œuvre, dont la portée est purement analytique, permettra dans cette logique de compréhension de la masse étendue de façades, de fournir une expertise sur le rôle de la couleur dans la structuration de l'environnement visuel.

Nous avons vu plus haut que chaque individu de la population possède une coordonnée colorimétrique qui peut être représentée spatialement ; il est donc relativement simple d'appliquer un processus de partitionnement (*clustering*) pour générer une catégorisation à l'aide de grappes de points (*clusters*), dans un raisonnement identique au schéma de la Figure 4-7. Pour se faire, nous avons exploité l'algorithme de partitionnement en K-moyennes (*K-means*) qui est une méthode d'analyse par clusters se présentant comme une technique de clustering itérative simple et efficace¹⁸⁰ (Gil et al., 2012).

L'algorithme divise un ensemble de n observations en k partitions (ou *clusters*) dans lesquelles chaque observation appartient à la partition présentant la moyenne la plus proche (ou *centroid*) au niveau de sa distance euclidienne, selon le processus décrit ci-dessous (Bach, 2010) :

On utilise les notations suivantes :

- Les $x_i \in \mathbb{R}^p, i \in \{1, \dots, n\}$ sont les points à séparer.
- Les z_i^k sont des variables indicatrices associées aux x_i telles que :

$$z_i^k = 1 \text{ si } x_i \text{ appartient au cluster } k,$$

$$z_i^k = 0 \text{ sinon. } z \text{ est la matrice des } z_i^k.$$

- μ est le vecteur des $\mu_k \in \mathbb{R}^p$, où μ_k est le centre du cluster k .

On définit la mesure de ditorsion $J(\mu, z)$ par :

¹⁸⁰ On retrouve l'utilisation du K-means dans les travaux de Gil et al. (2012) que nous avons cités plus haut, mais également chez Yendrikhovskij (2001) dans le domaine du traitement d'image s'appuyant sur la catégorisation de la couleur. Dans le champ de la recherche relative à la caractérisation de la forme urbaine, Owen et al. (2006) exploite un traitement en clusters pour classer les terrains urbanisés des West Midlands au Royaume-Uni. Schwarz (2010) utilise également une analyse en partitionnement pour grouper les villes européennes selon des indicateurs morphologiques.

$$J(\mu, z) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n z_i^k \| x_i - \mu_k \|^2 \quad [4.2]$$

Le but de l'algorithme est de minimiser $J(\mu, z)$, il se présente sous la forme d'un algorithme de minimisation alternée :

- Etape 0 : « choisir le vecteur μ »
- Etape 1 : on minimise J par rapport à z :

$z_i^k = 1$ pour $k \in \arg \min \| x_i - \mu_k \|$,
ie on associe à x_i le centre μ_k le plus proche.

- Etape 2 : on minimise J par rapport à μ : $\mu_k = \frac{\sum_i z_i^k x_i}{\sum_i z_i^k}$ [4.3]
- Etape 3 : retour à l'étape 1 jusqu'à convergence.

Remarque :

- L'étape de minimisation par rapport à z revient à répartir les x_i selon les cellules de Voronoï dont les centres sont les μ_k .
- Dans l'étape de minimisation selon μ , μ_k est obtenu en annulant la k -ième coordonnée du gradient de J selon μ .

La convergence est atteinte lorsqu'il n'y a plus de changement. La Figure 4-8 montre le processus itératif qui génère les clusters et les centroids.

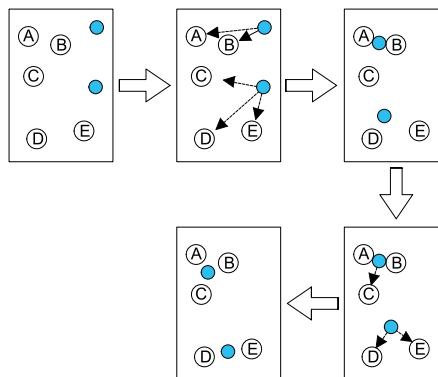


Figure 4-8. Schéma de fonctionnement du processus itératif K-means générant les clusters et les centroids (points bleus). © (Nguyen and Teller, 2016a)

Un cluster peut être assimilé à une classe d'individus caractérisés par leur appartenance à un même type, représenté par le centroid (élément barycentre du cluster) (Gil et al., 2012). Dans notre application de l'algorithme K-means, nous avons délibérément choisi un nombre de quatre clusters ; ce nombre nous semble assez significatif et pertinent dans notre analyse typologique.

La méthode a été appliquée sur les 1.952 individus pour lesquels les valeurs initiales (T , S , L) ont été converties en coordonnées CIELAB¹⁸¹. Nous avons vu, en effet, que le modèle colorimétrique CIELAB a été

¹⁸¹ L'algorithme K-means, appliqué à notre population, sur base des résultats de la couleur moyenne pour la composante « façade background » issus de la phase de caractérisation, a été implémenté en langage de programmation Matlab ®. Le script est repris dans les annexes du présent ouvrage.

développé dans une perspective de linéarité vis-à-vis de la perception de la couleur chez l'humain. Ainsi, les distances euclidiennes calculées dans l'algorithme de partitionnement correspondent aux différences visibles perçues par l'œil, ce qui n'est pas le cas pour les systèmes RVB et TSL. Etant donné que la visualisation et la lecture dans l'espace CIELAB nous sont moins familières, les résultats (clusters de points et centroids) sont convertis et affichés dans les espaces RVB et TSL déjà exploités dans le cadre de notre instrumentation.

2.2. Résultats et discussions

Nous pouvons voir sur les graphiques de la Figure 4-9 les clusters de points (en rouge, vert, bleu et cyan) ainsi que leurs centroids (points noirs), affichés dans les espaces RVB et TSL, suite à l'exécution de l'algorithme K-means.

Les centroids étant localisés par des coordonnées colorimétriques, leurs couleurs apparentes peuvent être affichées. Ces couleurs sont reprises sur la Figure 4-10 : on peut ainsi observer 4 centroids de tonalités « rouge peu saturé » (type 1), « gris clair » (type 2), « beige moyennement saturé » (type 3) et « rouge-orangé peu saturé » (type 4). Nous utilisons le vocable « types chromatiques » pour désigner ces centroids.

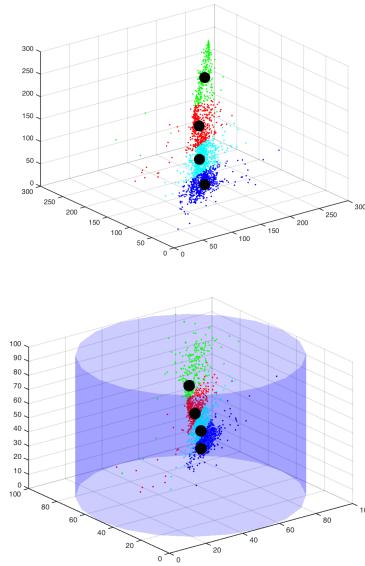


Figure 4-9. Application du K-means sur la population. Représentation des 4 clusters (en vert, rouge, cyan et bleu, les couleurs affichées étant choisies arbitrairement) munis de leurs centroids (points noirs) dans l'espace cartésien RVB et dans l'espace polaire TSL. © L. Nguyen (2017)



Figure 4-10. Couleurs apparentes pour les quatre centroids (ou types chromatiques) générés par l'exécution du K-means. On peut ainsi observer un centroid « rouge peu saturé » (type 1), un « gris clair » (type 2), un « beige moyennement saturé » (type 3) et un « rouge-orangé peu saturé » (type 4). © L. Nguyen (2017)

Dans l'affichage final, nous avons fourni pour chacun des 18 fragments urbains la distribution en pourcentage des quatre types chromatiques, sous la forme d'un graphique circulaire de type camembert où les portions apparaissent selon les couleurs relatives aux types (Figure 4-11). Ainsi, chaque fragment est caractérisé par une palette particulière de couleurs, en d'autres termes par une combinaison spécifique des types chromatiques. Pour chaque zone, l'homogénéité (ou l'hétérogénéité) est identifiable par le nombre et la proportion (en pourcentage relatif) des types constitutifs. Via ce raisonnement, les caractéristiques liées à la cohérence spatiale sont clairement perçues (Nguyen et Teller, 2016a). Notons que cette nouvelle donnée relative à l'homogénéité pour un fragment complète l'écart-type σ que nous avons déterminé dans le cadre du protocole de caractérisation chromatique au chapitre 3.

Sur la Figure 4-11, on peut constater que le camembert n°4, relatif à la Place Bronckart (centre historique), est composé d'un seul type chromatique : nous avons, au chapitre 3, mis en évidence le caractère homogène de cette place composée de bâtiments classés présentant des façades de couleur blanche. Le protocole de caractérisation avait révélé des écart-types σ pour T, S et L particulièrement faibles (respectivement 12.54, 11.25 et 7.39) ce qui confirmait bien la cohérence et l'homogénéité de la place. Il n'est donc pas étonnant que l'application du K-means ait généré un seul type, le type 2 « gris clair », pour synthétiser l'attribut chromatique du fragment. L'homogénéité chromatique, combinée à la forme urbaine cohérente des bâtiments, confère à cet espace tout son caractère uniforme (Figure 4-12). On peut également constater un caractère homogène pour le camembert n°12 relatif à la Cité Pirenne (cité ouvrière). Les graphiques (T, S) du protocole de caractérisation avaient montré deux concentrations de points bien ciblés, la cité présentant la répétition de deux modèles de logement : les deux types chromatiques les identifient ici sans ambiguïté.

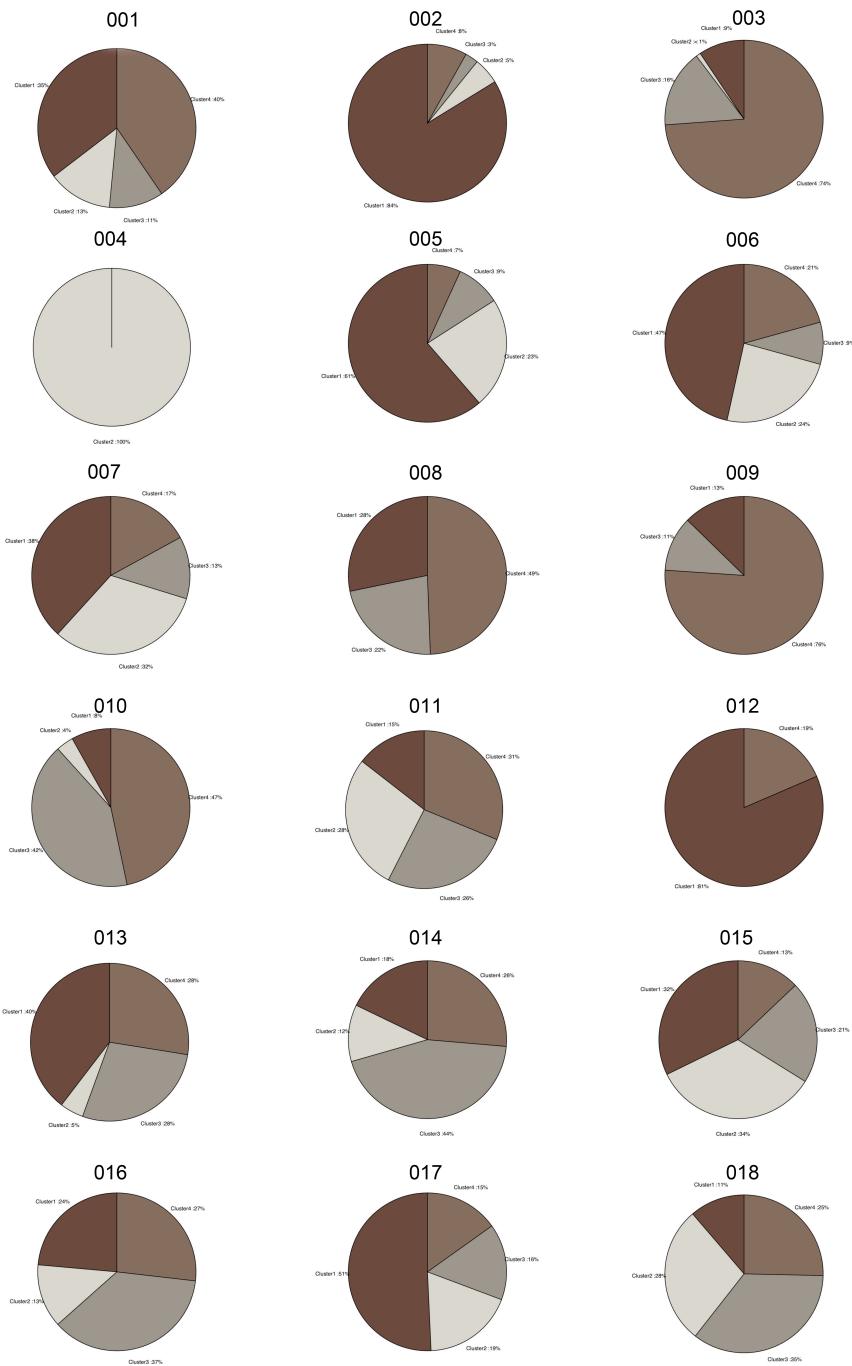


Figure 4-11. Application du K-means sur les 18 fragments urbains. Graphiques-camemberts affichant la configuration et la proportion des types chromatiques.

© L. Nguyen (2017)



Figure 4-12. L'application du K-means confirme l'homogénéité chromatique apparente de la Place Bronckart. © L. Nguyen (2017)

Les autres fragments, plus hétérogènes, sont composés de trois ou quatre types dans des proportions diverses, avec la prédominance d'un type chromatique. On remarque que les catégories chromatiques prédominantes pour les fragments du centre historique (camembert n°1 à 7, à l'exception du n°4) sont de type 1 « rouge peu saturé » et de type 4 « rouge-orangé peu saturé ». Les lotissements résidentiels périurbains présentent une répartition similaire des types, à l'exception du camembert n°11 relatif au « lotissement du Sart-Tilman » qui montre ici le plus haut niveau d'hétérogénéité chromatique se traduisant par la présence des quatre types dans des proportions presque similaires. Cette hétérogénéité vient renforcer le constat visuel et les résultats issus du protocole de caractérisation.

Pour les zones commerciales en périphérie (camemberts n°14, 15 et 16), le type 2 « gris clair » et le type 3 « beige » sont dominants. Ce qui n'est pas le cas pour le camembert n°17 relatif à l'entrée de ville « boulevard Frankignoul », assimilée à une configuration urbaine où les anciennes constructions en briques rouge foncé, synthétisées par le type 1, se mélangent à des équipements commerciaux (selon l'hybridation décrite dans le chapitre 3) ; l'ensemble se présente comme le témoin de l'évolution « anarchique » le long de cet axe (Dupagne et al., 1997).

2.3. Résultats détaillés de l'exécution du K-means pour la rue des Anglais

Comme dans le cadre de la présentation du protocole de caractérisation chromatique au chapitre 3, nous présentons dans cette section les résultats détaillés pour la rue des Anglais composée de 37 individus, suite à l'exécution de l'algorithme de partitionnement K-means. Le Tableau 4-2 fournit pour chaque façade les valeurs (T, S, L) et (R, V, B) de la couleur moyenne pour la composante « façade background » déterminées sur base du protocole de caractérisation, la distance euclidienne dans l'espace CIELAB par rapport au centroid (3D) et le type chromatique auquel appartient la façade (Type). La Figure 4-13 ci-dessous répartit les 37 individus de la rue selon les quatre catégories représentées par les types chromatiques. A l'examen visuel, nous pouvons constater que le partitionnement chromatique réalisé par l'algorithme a donné des résultats des plus satisfaisants : les façades de tonalité rouge-brun (selon le type 1), de tonalité claire (selon le type 2), de tonalité beige (selon le type 3) et de tonalité rouge-orangé (selon le type 4) sont explicitement catégorisées.

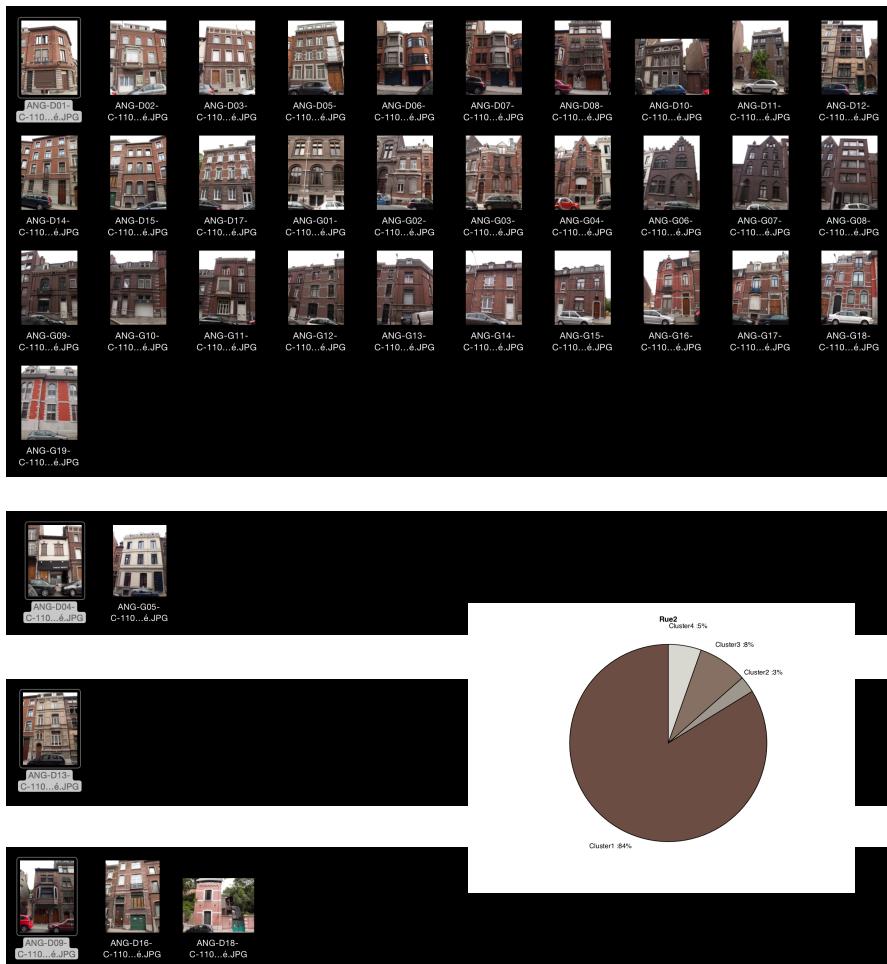


Figure 4-13. Résultat du partitionnement des façades de la rue des Anglais, suite à l'application du K-means. © L. Nguyen (2017)

Tableau 4-2. Application du K-means pour la rue des Anglais. Indications de la distance euclidienne par rapport au centroid et du type chromatique auquel appartient la façade. © L. Nguyen (2017)

	T	S	L	R	V	B	3D		Type	
002-G001	25.3846	16.0494	31.7647	94	79	68	57.2499	53.4401	31.7647	1
002-G002	22	19.2308	30.5882	93	74	63	58.9152	53.602	30.5882	1
002-G003	14.3284	28.5106	46.0784	151	100	84	63.8119	53.5279	46.0784	1
002-G004	15	30.1887	41.5686	138	90	74	64.58	53.9067	41.5686	1
002-G005	42.5806	43.662	86.0784	235	226	204	66.0747	64.7714	86.0784	4
002-G006	4	11.2782	26.0784	74	60	59	55.6254	50.3934	26.0784	1
002-G007	6.3158	12.2581	30.3922	87	70	68	56.0919	50.6742	30.3922	1
002-G008	9.375	20.2532	30.9804	95	68	63	59.9913	51.6496	30.9804	1
002-G009	10.7143	21.2121	25.8824	80	57	52	60.4211	51.9718	25.8824	1
002-G010	11.25	23.8806	26.2745	83	57	51	61.7109	52.3294	26.2745	1
002-G011	9	25.641	30.5882	98	64	58	62.6627	52.0056	30.5882	1
002-G012	16.0976	21.2435	37.8431	117	87	76	60.2053	52.9451	37.8431	1
002-G013	10.5	26.6667	29.4118	95	62	55	63.1101	52.4298	29.4118	1
002-G014	14.4828	27.8846	40.7843	133	89	75	63.4993	53.4868	40.7843	1
002-G015	10	25.3012	32.549	104	69	62	62.4584	52.1968	32.549	1
002-G016	7.9412	35.7895	37.2549	129	70	61	67.7231	52.4723	37.2549	1
002-G017	11.7073	25.4658	31.5686	101	68	60	62.468	52.5837	31.5686	1
002-G018	10.8333	37.5	37.6471	132	73	60	68.4158	53.5241	37.6471	1
002-G019	8.4211	48.3051	46.2745	175	77	61	73.8921	53.5371	46.2745	1
002-D001	17.3077	26.8041	38.0392	123	86	71	62.7952	53.9872	38.0392	1
002-D002	18.8235	26.1538	38.2353	123	88	72	62.3775	54.2193	38.2353	1
002-D003	18.4615	19.797	38.6275	118	91	79	59.3891	53.1345	38.6275	1
002-D004	44.2105	48.7179	92.3529	245	240	226	67.4601	66.9854	92.3529	4
002-D005	20.5714	21.7391	31.5686	98	75	63	60.1765	53.8193	31.5686	1
002-D006	16.7647	34	39.2157	134	85	66	66.2775	54.9035	39.2157	1
002-D007	12.381	39.6226	31.1765	111	61	48	69.3506	54.2478	31.1765	1
002-D008	20.3774	26.3682	39.4118	127	92	74	62.359	54.5907	39.4118	1
002-D009	15.1807	49.1124	66.8627	212	150	129	73.6993	56.4304	66.8627	3
002-D010	8.1818	16.6667	25.8824	77	58	55	58.2485	51.186	25.8824	1
002-D011	16.3636	21.5686	40	124	92	80	60.3475	53.0383	40	1
002-D012	15.4839	16.5775	36.6667	109	86	78	57.9879	52.2128	36.6667	1
002-D013	36.9231	16.0494	52.3529	153	138	114	56.4153	54.8208	52.3529	2
002-D014	16.2857	32.1101	42.7451	144	93	74	65.4108	54.5023	42.7451	1
002-D015	20.8696	26.1364	34.5098	111	81	65	62.2108	54.6554	34.5098	1
002-D016	16.4706	20.6478	48.4314	149	112	98	59.9003	52.9271	48.4314	3
002-D017	20	22.5806	18.2353	57	43	36	60.6094	53.8615	18.2353	1
002-D018	12.2449	19.3676	49.6078	151	112	102	59.4635	52.0538	49.6078	3

3. Evaluation de la cohérence spatiale

3.1. Complexité des tissus urbains actuels et cohérence spatiale

A partir de nos résultats, il apparaît visiblement une distinction entre fragments urbains homogènes et fragments urbains hétérogènes. Nous avons débuté notre dissertation en évoquant, dans le champ de la recherche en morphologie urbaine, la comparaison entre la « ville compacte » et la « ville étalée », mise en évidence notamment chez Dieleman and Wegener (2004) et Frenkel and Ashkenazi (2008).

Dans la littérature, la ville traditionnelle européenne apparaît dans la plupart des cas comme finie, compacte, structurée, organisée, continue et cohérente ; ses limites spatiales sont en outre bien définies et les formes clairement perceptibles (Dupagne et al. 1997). L'espace urbain de la ville historique se caractérise par ailleurs très souvent par des ensembles constitutifs harmonieux, dépourvus de dissonances et homogènes (Corboz, 2001). Ces ensembles nous apparaissent dès lors comme cohérents morphologiquement, tant du point de vue de la forme que de la couleur. Ainsi les fragments du centre historique que nous avons étudiés sont des figures représentatives de la ville traditionnelle.

L'urbanisation des cinquante dernières années a engendré un territoire urbain hétérogène, déstructuré, diffus, aux limites floues, qui se compose de fragments très différents des configurations issues de la ville ancienne ; cette mutation a produit une dislocation des structures pérennes mises en place dans le passé et qui soutenaient la cohérence des paysages (Collette and Nguyen, 2006b). Nous avons évoqué Merlin and Choay (2000), qui décrivent la ville contemporaine comme une entité « infinie parce qu'indéfinie » composée de fragments hétérogènes et d'ensembles hétéroclites, peu lisibles d'un point de vue morphologique.

La ville d'aujourd'hui se caractérise ainsi par deux phénomènes concomitants, sous l'effet d'une croissance rapide et peu contrôlée : l'étalement et l'éclatement urbain (Hanin, 2007). L'étalement urbain (*urban sprawl*) produit des nouveaux espaces périphériques où se localisent des nouvelles formes urbaines tels les lotissements résidentiels et les aires commerciales. L'éclatement urbain se caractérise par un morcellement, une fragmentation de la ville, dans lequel s'infiltrent et se superposent de nouvelles structures dans le tissu existant, générant des environnements visuels complexes où l'« ancien » cohabite avec le « nouveau », tel le boulevard Frankignoul (fragment 017) dont la mixité morphologique patente a été mise en avant par nos outils d'analyse.

Ces phénomènes se sont généralisés de plus en plus et ne sont pas appelés à ralentir. Certains auteurs utilisent, dans une attitude quelque peu

provocatrice¹⁸², le terme d'un « urbanisme du chaos ». « Ainsi le chaos, la tension ne sont plus la condition minimale de l'expérience urbaine, ils en sont devenus la norme et cette fragmentation en cours intervient à toutes les échelles et à tous les niveaux » [(Mongin, 2005) : p.155]. Il va sans dire que ce processus chaotique produit une perte de cohérence spatiale, cette perte étant le signe d'une disparition de liens entre les éléments constitutifs du tissu urbain (Bruyns, 2005). A cet effet, le géographe Rémy Allain parle de « relations entre éléments bâtis décousues et distendues » pour décrire ces tissus discontinus (Allain, 2005). Inversement, la cohérence dans la fabrique urbaine s'opère lorsqu'une certaine « connectivité » est établie entre ses éléments constitutifs (Salingaros, 2000).

En dépit de ces changements profonds qui génèrent un aspect entropique et fragmenté du tissu et qui induisent une perte de sens, de lisibilité et d'esthétique (Gibout, 1997), Mangin (2004) fait le constat que peu de travaux en morphologie urbaine se sont focalisés sur la description de ces nouvelles formes d'urbanisation apparues dans les années 60. Leur aspect complexe constitue sans aucun doute une difficulté dans une perspective de caractérisation morphologique, tant dans un point de vue de la forme que de la couleur.

3.2. Couleur et information

Dans le cadre de notre analyse, nous avons déjà pu déceler des caractéristiques liées à la cohérence spatiale au travers de l'établissement des graphiques (T, S) et (T, L) qui décrivent la distribution de l'attribut chromatique, de l'écart-type σ comme indicateur chiffré pour cette distribution et des graphiques-camemberts indiquant la configuration des types chromatiques.

Les graphiques présentent malheureusement l'inconvénient de ne fournir qu'une lecture visuelle du caractère d'homogénéité/hétérogénéité sans pour autant en préciser quantitativement sa teneur, ce qui rend délicate toute approche comparative objective. L'écart-type σ a été utilisé séparément pour les valeurs T, S et L : il ne fournit donc qu'une indication partielle de la distribution de la couleur scindée en ses trois valeurs de teinte, de saturation et de luminosité qui sont relativement difficiles à combiner. Ce sont ces raisons qui nous ont poussé à développer un autre indicateur spécifique, quantifiable et permettant la comparaison effective des fragments en termes de cohérence spatiale. Nous nous sommes appuyé à cet effet sur la théorie de l'information.

¹⁸² En termes de provocation dans la rhétorique, on songe surtout à l'architecte néerlandais Rem Koolhaas qui, dans trois écrits devenus iconiques, « Bigness », « La Ville Générique » et « Junkspace », dresse un portrait de ces nouvelles configurations spatiales « ayant grandi de façon spectaculaire au cours des dernières années » [(Koolhaas, 2011) : p.49]

Rappelons-nous : nous avons débuté notre dissertation en mentionnant que la couleur possède un rôle fondamental à caractère informatif dans la lecture et la compréhension de notre environnement visuel. Le *Dictionnaire des termes de la couleur* (Sève et al., 2007) stipule qu'en sciences de la couleur, cette dernière est définie autant comme un « caractère de la perception visuelle » qu'une « spécification d'un stimulus visuel » ou encore qu'une « caractéristique d'un rayonnement visible ». La couleur fournit bien dans ce sens une information¹⁸³.

Il est communément admis que l'architecture est un vecteur de communication et un moyen d'écriture. Ainsi, décrivant le travail de l'architecte James Stirling pour le Leicester University Engineering Building, Manfredo Tafuri déclarait que « Stirling a révélé la manipulation sans fin de la grammaire et de la syntaxe du signe architectural » (Tafuri, 1974, cité par Lucan, 2009).

Nous pouvons parler un langage architectural et comparer la ville à une langue ; cette approche donne aux objets construits un statut spécifique de signes avec des significations et selon Christian Norberg-Schultz, l'architecture est un langage basé sur des archétypes éternels qui se manifestent selon le lieu et le temps (Shirazi, 2014). Dans cette logique, Summerson (1966) annonce un « langage classique de l'architecture », tandis que Zevi (2015) formule un « langage moderne de l'architecture » ; dans les deux cas, le vocabulaire architectural considéré comme un index est converti en un langage codé, comprenant ses propres règles de composition et de syntaxe.

Dans le domaine qui nous intéresse, et en toute analogie au discours sur le langage de l'architecture et de la ville, nous pouvons assimiler les quatre types chromatiques à des éléments d'un vocabulaire permettant de décrire le tissu urbain sous l'angle de l'attribut de couleur. Cette conception trouve un écho avec la théorie des « *Color Grammars* » développée par Knight, qui a proposé un vocabulaire composé d'éléments de couleur pour construire des dispositifs architecturaux (Knight, 1994).

Les fragments urbains étudiés apparaissent comme des séquences d'éléments issus d'un index, d'un vocabulaire fini et discret¹⁸⁴, à savoir les

¹⁸³ L'information est souvent considérée comme l'une des trois composantes de l'univers, à côté de la matière et de l'énergie (Durand, 2008). Pour le neurobiologiste Henri Laborit (1914-1995), la notion d'information est fondamentale, notamment en cybernétique et dans les sciences de la vie ; en reprenant les arguments de Wiener (1894-1964), Laborit parle d'une « mise en forme » de l'énergie qui constitue ce que le tout peut avoir en plus de la somme des parties, de l'information qui n'est ni masse ni énergie, mais « seulement information » (Laborit, 1971).

Le développement de la théorie de l'information a été amorcé suite aux travaux de Claude Shannon (1916-2001) qui en 1948, alors qu'il était employé pour le laboratoire Bell géré par AT&T (Isaacson, 2015), formula son exposé synthétique. La théorie a d'abord été appliquée à la transmission des signaux artificiels, ensuite à la linguistique et aux recherches sur le système nerveux (Durand, 2008).

¹⁸⁴ Par analogie, cette affirmation trouve un écho avec le statut d'« index » endossé par la Maison Domino de Le Corbusier (voir Figure 4-1 en première page du

types chromatiques. En théorie de l'information, les fragments urbains peuvent être considérés comme des messages pour lesquels il est possible de mesurer la quantité d'information (Moles, 1963).

3.3. Application de l'entropie de Shannon

La quantité d'informations donne une idée de la complexité de la structure du message. Cette mesure repose sur le fait que la notion d'information possède une valeur statistique des éléments d'un répertoire dressé et lorsque les probabilités d'occurrence de ces éléments sont connues, le calcul de l'information est possible.

On peut montrer que l'information augmente avec l'improbabilité du message. Dans le cas particulier où un message est constitué d'une suite de N éléments puisés dans un index (ou un vocabulaire) – chacun de ces éléments ayant une probabilité d'occurrence $p(i)$ dans l'index considéré –, Shannon a montré que la quantité d'information est bien représentée par l'équation suivante :

$$H = -N \sum p(i) \log_2 p(i) \quad [4.4]$$

Cette valeur H , appelée entropie de Shannon, est en outre souvent utilisée dans les sciences de la biodiversité comme variable pour quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité dans un environnement (Gotelli and Chao, 2013). Ainsi, lorsque $H = 0$, l'ensemble contient une seule espèce (c'est-à-dire un seul type chromatique dans notre cas) et lorsque $H = H_{\max}$, toutes les espèces contiennent le même nombre d'individus (ce qui correspond à une configuration où tous les types chromatiques possèdent une distribution similaire sur les camemberts).

En appliquant la formule [4.4] aux 18 fragments urbains, nous obtenons les valeurs correspondantes pour l'entropie H dans le Tableau 4-3. Nos observations précédentes, selon lesquelles les fragments 004 et 012 (Place Bronckart et Cité Pirenne) sont les plus homogènes (ce qui correspond à la valeur la plus faible 0.49 voire nulle pour H) et le fragment 011 (Lotissement du Sart-Tilman) le plus hétérogène (c'est-à-dire présentant la valeur la plus élevée pour H), sont ici confirmées numériquement par le biais de l'indice d'entropie de Shannon.

chapitre) que le critique Robert Somol décrit comme étant un « artefact » qui a permis d'établir une rupture avec les styles classiques ; dans ce sens, la Maison Domino doit être considérée comme une matrice pour la production architecturale chez les architectes modernes (Kipnis and Somol, 2010). C'est dans cette idée similaire que nous pouvons considérer les types chromatiques – être virtuels sous-jacents construits par la pensée –, comme les « briques » produisant la structure chromatique de la ville.

Tableau 4-3. Valeurs de l'entropie de Shannon H pour les 18 fragments urbains, calculées à partir des résultats de l'analyse typologique. © L. Nguyen (2017)

Urban fragments	H (Shannon Entropy)
Historic centre	
001 – Rue Hors-Château	1.25
002 – Rue des Anglais	0.60
003 – Rue Jean d'Outremeuse	0.78
004 – Place Bronckart	0.00
005 – Rue du Jardin Botanique	1.04
006 – Rue Darchis	1.24
007 – Rue des Augustins	1.30
Periurban housing districts	
008 – La Closeraie	1.04
009 – Clos des Chardonnerets	0.72
010 – Lotissement du Waroux	1.05
011 – Lotissement du Sart-Tilman	1.35
Working-class neighbourhoods	
012 – Cité Pirenne	0.49
013 – Cité du Tribouillet	1.23
Commercial zones	
014 – Ans-Rocourt	1.27
015 - Boncelles	1.32
016 - Herstal	1.33
017 – Boulevard Frankignoul	1.24
018 – Rue Feronstrée	1.32

4. Synthèse et discussions complémentaires

Dans ce chapitre, notre étude a établi une typologie des couleurs, à l'aide de l'application de l'algorithme de partitionnement K-means qui a mis à jour quatre clusters liés à des centroids pouvant être associés à des types. L'analyse typologique des 18 fragments urbains a révélé des configurations spécifiques pour les graphiques-camemberts, ce qui permet d'expliquer comment la couleur s'organise et comment elle développe sa structure autonome dans notre périmètre d'étude. On notera également que notre typologie paramétrique fait un lien pertinent avec les concepts traditionnels de type et de typologie développés dans la théorie de l'architecture et de l'urbanisme. Enfin, la cohérence spatiale est mesurée à l'aide de l'indicateur d'entropie de Shannon. Pour développer et compléter l'interprétation de nos résultats à travers la théorie de l'information, nous mentionnons que l'entropie de Shannon est fondamentalement une mesure de la quantité d'information. Sous cette considération, l'information est synonyme d'imprévisibilité : un message totalement imprévisible et original possède un maximum d'informations (soit une valeur élevée pour H) mais apparaît désordonné, complexe et inintelligible. À l'inverse, un message avec peu d'informations (soit une valeur faible pour H) apparaît comme prévisible, répétitif, ordonné et intelligible (Moles, 1963). La première catégorie de message trouve une analogie avec les fragments urbains les moins cohérents (tels que le fragment n°11 correspondant au lotissement hétérogène périurbain), et la seconde catégorie avec les fragments qui apparaissent comme homogènes et cohérents (rues et places qui ne contiennent qu'un ou deux types chromatiques)¹⁸⁵.

On peut remarquer que certains fragments urbains du centre historique présentent une valeur élevée pour H . C'est le cas par exemple du fragment 001 (rue Hors-Château). La restauration des façades de cette rue a nécessité l'utilisation d'enduits de plusieurs nuances associés à la pierre naturelle, ce qui multiplie le nombre de couleurs apparentes. Dans ce cas particulier, la cohérence spatiale perçue provient principalement de l'homogénéité de la forme urbaine des bâtiments qui présentent des gabarits similaires. Cette considération est également valable pour les rues localisées dans le quartier « Botanique – Saint-Gilles » (fragments 005, 006 et 007) dans lesquelles des façades en briques s'alternent avec des façades en enduit clair ; ces rues apparaissent toutefois visuellement homogènes du point de vue du gabarit pour le bâti. Pour toutes ces raisons, il serait donc pertinent de développer une approche globale de la cohérence spatiale qui intègre aussi l'homogénéité/hétérogénéité de la forme urbaine.

¹⁸⁵ Ce raisonnement est basé sur une analogie directe avec la définition probabiliste de l'information chez Shannon (reprise ici par Moles). Aussi, cette analogie s'applique et s'adapte spécifiquement aux fragments urbains ici étudiés. Nous ne pouvons prétendre généraliser cette approche à d'autres cas ; c'est pourquoi le lien entre théorie de l'information et cohérence chromatique doit être davantage approfondi.

Chapitre 5

Conclusions générales et perspectives de développement

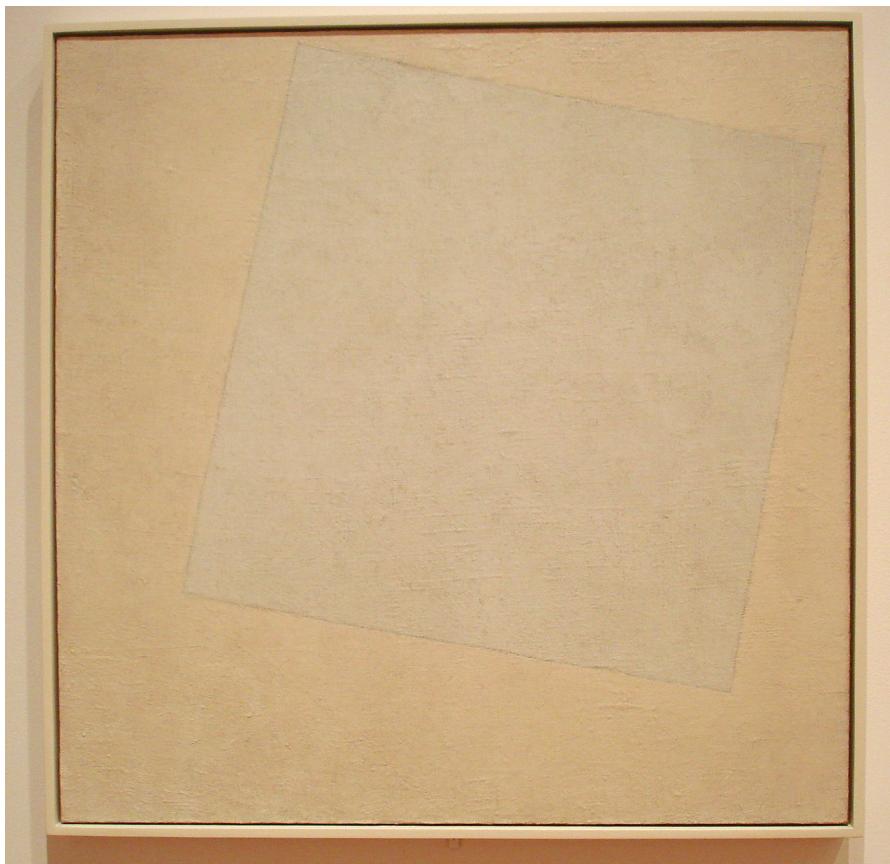


Figure 5-1. Carré blanc sur fond blanc. Malevitch se focalise sur la matérialité de la couleur et libère la peinture de toute référence au monde réel.

© L. Nguyen (2004)

Au terme de cette thèse, deux notions fondamentales qui ont sous-tendu l'instrumentation développée se dégagent : l'objectivation dans la caractérisation de la couleur au travers de l'élaboration d'une métrique d'une part, et l'établissement d'une base conceptuelle tangible permettant l'argumentaire et la culture commune de la couleur urbaine, d'autre part.

La recherche d'une évaluation la plus objective fut l'une des priorités de notre approche expérimentale. Dans le chapitre 2, nous avons décrit les principaux outils de caractérisation chromatiques et avons pu mettre en évidence la faiblesse majeure parmi ces méthodes qui réside dans l'implication du jugement mettant l'observateur face à des choix. Le fait que la plupart de ces méthodes de gestion de la couleur se basent sur l'évaluation de la sensation colorée et non du stimulus physique constituait une lacune à nos yeux. C'est pour pallier à cet inconvénient que nous nous sommes tourné, d'une part, vers la photographie dans le relevé du signal à étudier – à savoir le stimulus coloré issu de la composante « façade background » converti sous forme de coordonnées colorimétriques – et d'autre part, vers l'emploi de traitements et d'analyses statistiques des mesures. Aussi, il nous semble important de préciser que la taille du corpus de relevés, qui comporte près de 2.000 individus représentatifs, fournit une valeur fiable et pertinente en termes de résultats et d'interprétations. Nous tenons à souligner à nouveau que notre instrumentation ne peut prétendre à une parfaite objectivité étant donné les choix et les limitations qui ont été largement exposés.

A travers l'analyse des 18 fragments urbains, nous avons pu mettre en avant le caractère d'homogénéité/hétérogénéité chromatique à l'aide de plusieurs indicateurs graphiques et numériques. Dans la construction de ces « marqueurs », nous nous sommes référé au concept de typologie issu de la théorie en architecture et en urbanisme, ce qui a permis de faire émerger les types chromatiques. L'imbrication et la configuration de ces types à l'intérieur des fragments urbains ont permis de démontrer qu'il existe une logique structurale en ce qui concerne la distribution des palettes de la couleur urbaine. Dans la dernière étape de l'instrumentation, nous nous sommes basé sur le concept d'information, ce qui nous a permis de quantifier le désordre, l'entropie des tissus urbains. En termes épistémologiques, notre étude a montré que la recherche en morphologie urbaine constitue une discipline non autonome mais hybride, qui se nourrit de l'apport d'autres secteurs de la connaissance.

La modélisation de l'attribut chromatique, par le biais du protocole de caractérisation et de l'analyse typologique, a permis de confirmer des distributions spécifiques pour les données colorimétriques relatives à chacune des quatre aires différencierées étudiées. Les résultats concordent bien entendu avec l'examen visuel de l'attribut chromatique ; leur contenu quantitatif permet néanmoins d'établir une posture d'expertise dans le cadre d'une comparaison la plus objective des fragments urbains.

De ce fait, ce qui nous amène à la deuxième notion fondamentale de notre thèse, la recherche, à travers son champ expérimental, fournit une base scientifique et théorique de référence pour aborder la problématique de la couleur urbaine, dans le but de favoriser le consensus entre acteurs, tant professionnels que privés et publics, de l'aménagement du territoire. Le fait de pouvoir mener un discours raisonné, par l'emploi d'une terminologie précise en termes de caractérisation de la couleur, contribue à l'intérêt collectif dans un souci de développement participatif et soutenable. La préservation de la qualité du cadre environnemental via la gestion, le maintien et la valorisation des spécificités paysagères urbaines en ce qui concerne la couleur, spécificités mises en avant dans le cadre de l'analyse de nos résultats en particulier pour les fragments du centre historique, converge assurément avec les objectifs visés par la Convention Européenne du Paysage.

C'est dans cette perspective d'accessibilité de notre instrument auprès d'un large public, que nous travaillons sur le développement d'une application baptisée *Urba Khroma* (actuellement en version beta¹⁸⁶), un software "end-user" qui dispose d'une interface graphique intégrée permettant de générer les résultats du protocole de caractérisation chromatique et d'établir l'analyse typologique. La valeur didactique et l'exécution rapide du traitement pour un fragment urbain sont les deux objectifs qui sous-tendent le développement d'*Urba Khroma*. L'application améliore en effet le processus de détourage de la composante « façade background » dont le temps consacré pour cette opération constituait l'une des faiblesses du protocole. Pour ce faire, l'application combine plusieurs algorithmes de segmentation d'images de type semi-automatique dans un but d'optimisation du détourage (notamment dans la reconnaissance des portions d'images relative aux diverses composantes de la façade) et du temps de traitement (L'hoest, 2015). En outre, comme nous l'avons déjà soulevé, l'application *Urba Khroma* pallie le défaut de contrôle issu des conversions de formats d'images qui est présent dans le protocole initial.

Nous avons débuté la dissertation en mettant en parallèle la recherche de la couleur urbaine avec celle focalisée sur la forme urbaine. Au terme de notre étude, nous pensons avoir pu démontrer l'autonomie de la couleur comme objet de recherche spécifique et légitime¹⁸⁷. Dans ce cadre, nous rappelons que nous avons analysé l'apparence de la couleur « *as found* », dans une perspective purement descriptive sans tenir compte des causes sociales, économiques ou culturelles qui ont configuré l'image colorée de la ville, bien qu'immanquablement, nous avons quelquefois cherché à fournir une

¹⁸⁶ La version beta est disponible [en ligne] sur support Windows et Mac : [<http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/205483>].

¹⁸⁷ Cette approche visant à démontrer l'autonomie de la couleur vis-à-vis de la forme, à se focaliser sur son aspect primaire sans aucune autre référence, résonne avec l'attitude picturale des peintres du début de 20^e siècle, tel Malevitch qui, à travers ses expérimentations qui ont conduit au suprématisme, a cherché à donner une nouvelle dimension à la couleur, à la faire échapper du monde réel (Figure 5-1).

information explicative des dispositifs chromatiques en termes d'aménagement du territoire. Comme nous l'avons soulevé au vu des résultats relatifs à la cohérence spatiale et générés par l'application de l'indicateur d'entropie de Shannon, il nous paraît opportun de coupler l'analyse de la couleur urbaine avec celle de la forme urbaine, en vue d'une appréciation globale de la morphologie d'un fragment urbain.

Nos travaux s'intègrent par ailleurs dans la recherche sur les ambiances urbaines. Notre démarche scientifique a permis d'aborder le traitement de la multiplicité des signaux d'une ambiance existante, qui apparaît comme « une entité homogène éminemment complexe » (Woloszyn and Siret, 1998). A cet effet, dans un but de simplification, nous rappelons que nous nous sommes focalisé sur la composante « façade background » et que les travaux actuellement en cours ont pour vocation d'étudier les autres composantes de la façade (encadrement, soubassement, menuiserie extérieure, ...) dans une perspective holistique de l'attribut couleur.

Nous avons toujours considéré notre démarche comme complémentaire vis-à-vis d'une approche plus sensorielle. Ainsi, il serait intéressant de croiser nos résultats quantitatifs avec ceux qui seraient issus d'une approche sensible et qualitative, afin d'enrichir notre travail sur la perception chromatique d'un lieu. Dans ce sens, nous pourrions confronter nos résultats (qui induisent une certaine image chromatique de la ville) avec ceux provenant d'enquêtes susceptibles de révéler la perception et la sensibilité d'un échantillon constitué de différents usagers de la ville, en vue de compléter, confirmer ou contredire nos observations, en particulier en ce qui concerne l'homogénéité/hétérogénéité des tissus.

Une des issues possibles en termes d'exploitation de notre instrument réside dans une approche de simulation dynamique permettant d'englober la complexité de la ville (White et al., 2015). L'instrument fournissant une caractérisation à un moment donné, il serait envisageable d'élaborer une modélisation pouvant offrir des perspectives importantes en termes d'aide à la décision (Antoni, 2011) ; le modèle faisant émerger des « états » chromatiques, il permettrait d'aboutir à des scénarios prospectifs traitant de la transformation de l'attribut chromatique au cours du temps.

Les données chromatiques du tissu urbain peuvent également s'intégrer dans un système d'information géographie (SIG) dans la perspective de croiser ces données avec d'autres caractéristiques morphologiques et géographiques en vue d'établir de nouvelles connaissances et conclusions : gabarit, affectation, localisation, implantation, densité, ... Cette perspective de développement, couplée à l'usage de notre application *Urba Khroma*, permettrait en outre de s'intégrer dans des investigations plus étendues, à l'échelle d'un quartier, voire à l'échelle d'une ville.

Notre étude, in fine, ne permet pas de répondre à la question quelque peu candide à savoir, « quelle est la couleur de la ville de Liège ? ». Elle permet néanmoins d'établir certaines constatations. Au terme du chapitre 3, nous

avons appliqué le protocole sur les 1.952 individus de l'ensemble de l'agglomération : la distribution a montré une concentration remarquée des points dans l'intervalle de teinte rouge-orangé, ce qui pourrait esquisser une première tendance. Ensuite, l'analyse typologique a fait surgir des entités stables à la base de la structure chromatique urbaine : rouge-brun, rouge-orangé, gris clair et beige. Comme nous l'avons observé, selon les aires urbaines différenciées, plusieurs dispositifs chromatiques spécifiques caractérisent le tissu urbain liégeois. L'attribut chromatique, vu comme un vecteur de structuration, s'organise tantôt de manière homogène, traduisant ainsi une tendance monochromatique, tantôt dans une distribution plus hétérogène, faisant apparaître un caractère polychrome. Aussi, nous avons brièvement introduit la notion de « texture » chromatique à l'échelle de la façade provenant d'une « granulosité » formée par des pixels de couleurs différentes, et qui a été révélée par des valeurs spécifiques d'écart-type. La détermination de l'écart-type, à l'échelle d'un fragment urbain, pouvait également révéler une polychromie apparente. L'analyse de l'écart-type, traduisant cette « texture » selon plusieurs échelles d'observation, pourrait nous amener à adopter une vision en termes d'objets fractals présentant des structures similaires à diverses échelles (Mandelbrot, 1984).

Nous tenons bien sûr à bien préciser que nous avons choisi initialement les 18 fragments urbains qui nous semblaient les plus représentatifs des aires différenciées, inspectés sous l'angle de leur morphologie, afin de déceler des convergences dans la distribution de la couleur. Le corpus ne possède donc pas une représentabilité exhaustive de l'attribut chromatique à l'échelle de l'agglomération liégeoise, bien que, selon nous, il en esquisse les tendances.

L'une de nos aspirations est de sensibiliser le public sur la question de la couleur urbaine, notamment par la mise en valeur des spécificités morphologiques de notre territoire. Notre environnement urbain, sous l'effet de grands changements sociétaux, subit des mutations qui modifient profondément son image. De manière concrète, l'application des nouvelles réglementations basées sur la performance énergétique des bâtiments aboutit à des mises en œuvre d'isolation des façades qui peuvent menacer la pérennité d'une structure chromatique. Les processus d'embellissement de façades, qui sont entrepris via des mécanismes d'octroi de primes communales, doivent également être régulés par une conscientisation de la structure chromatique des quartiers, dans une perspective d'identité collective, identité qui est souvent menacée par des interventions individuelles amplifiant le caractère hétérogène des tissus urbains.

Le défi que nous nous sommes lancé, à savoir construire un instrument original et accessible permettant la caractérisation la plus objective de l'attribut chromatique, n'avait pas encore été, à nos yeux, véritablement relevé dans le champ de la recherche en morphologie urbaine. Au terme de notre dissertation, de nombreuses connaissances restent encore à construire tant dans l'instrumentation que dans l'interprétation de nos

résultats. Le croisement de notre travail avec d'autres domaines de recherche, en particulier celle basée sur la forme urbaine, envisage des perspectives fertiles et productives en particulier dans l'analyse de la cohérence spatiale.

Remerciements

Pour clôturer cette dissertation, je vais me permettre d'abandonner l'emploi de la première personne du pluriel, utilisée de manière quelque peu protocolaire dans le cadre de cet exposé scientifique. Il me semble en effet pertinent de relater les différentes étapes qui ont jalonné ma carrière professionnelle. Ces données autobiographiques permettront certainement au lecteur de comprendre davantage l'évolution de ma réflexion sur la couleur urbaine qui a permis d'aboutir à l'instrumentation proposée.

J'ai d'abord expérimenté la couleur au cours de mes études à l'Académie des Beaux-Arts de Verviers, sous l'encadrement de professeurs-artistes, tels que Michel Barzin, Serge Gangolf ou Roland Materne. Leurs enseignements m'ont permis de me sensibiliser assez tôt aux formes et aux couleurs d'un point de vue pictural¹⁸⁸. Plus tard, pendant mes études universitaires, aucun enseignement sur la couleur, autant à l'échelle de l'architecture qu'à l'échelle de l'urbanisme n'avait été transmis¹⁸⁹. C'est sans doute pour pallier cette lacune que mon mémoire de fin d'études, sous la direction des Professeurs Jean-Claude Cornesse, Jean-Pierre Collette et Jean-Jacques Embrechts, abordait les problématiques liées à la couleur à l'échelle architecturale : le travail dressait un inventaire des facteurs modifiant le rendu d'un objet architecturé et abordait les fonctions liées à l'usage de la couleur en architecture (fonctions plastique et esthétique, socioculturelle, économique, ...) (Nguyen, 2002).

Durant mes premières années comme chercheur au CRAU (Centre de Recherche en Aménagement et Urbanisme) à l'Université de Liège, j'ai pu amorcer, sous la supervision du Professeur Collette, une recherche sur les systèmes visuels dans l'organisation spatiale, qui consistait à répertorier les modes de configuration des composantes physiques urbaines, à différentes échelles. Cette étude présentait une première réflexion sur le statut de la couleur, liée à la texture des matériaux.

¹⁸⁸ De manière un peu paradoxale, j'ai choisi dans mes dernières années aux Beaux-Arts l'option « dessin en noir et blanc » au fusain, ce qui m'éloignait de la couleur, bien que Roland Materne, mon professeur pour ce cours, répétait aux étudiants que l'approche du noir et blanc, la maîtrise du clair-obscur englobait les mêmes problématiques picturales que pour la couleur.

¹⁸⁹ Le thème de la couleur n'était pas abordé durant le cursus, tant dans ses bases théoriques (phénomène physique de la couleur, classification, harmonie, ...) que dans ses applications chez les grands architectes. Ainsi, aucun cours n'avait relaté par exemple le travail de Le Corbusier pour le couvent de la Tourette, ou encore la palette des couleurs naturelles employée par Frank Lloyd Wright dans son concept d'architecture organique.

La thématique de ma recherche a néanmoins été catalysée dans le cadre de la pratique d'architecte que j'exerce depuis plus de dix ans, parallèlement à ma carrière universitaire. C'est dans ce contexte plus pragmatique que la couleur a suscité une série de questions notamment dans le constat concernant l'absence d'expertise chez les différents acteurs de l'aménagement du territoire, mais aussi en ce qui concerne le niveau déficient des instruments de caractérisation et de gestion de la couleur.

A mon entrée au LEMA, j'ai pu formaliser mon sujet de thèse et développer mes travaux de recherche, orientés dans le champ de la morphologie urbaine. L'approche basée sur l'analytique et le quantitatif, qui demeure une spécificité du laboratoire, a donné une orientation et un essor inédits à mes travaux.

C'est donc naturellement que je souhaiterais, en premier lieu, remercier le Professeur Jacques Teller, directeur du LEMA et promoteur de cette thèse, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et sa patience.

Je remercie également les membres de mon comité d'accompagnement, Les Professeurs Sigrid Reiter et Jean-Jacques Embrechts, pour leurs expertises qui ont permis d'enrichir ce travail.

Mes échanges avec Madame Anne Petit et Monsieur Daniel Siret, chercheurs à l'ENSA de Nantes, m'ont donné l'opportunité de découvrir d'autres approches valables dédiées à l'analyse de la couleur urbaine ; je leur adresse mes plus vifs remerciements.

Je souhaite remercier Monsieur Juan Serra Lluch, chercheur à l'Universitat Politècnica de València, pour les précieux commentaires qui m'ont permis de prendre du recul et de nuancer les conclusions de ma recherche.

Mes remerciements sont également destinés à tous les étudiants, diplômés pour la majorité, qui ont participé à la campagne de relevés et à l'élaboration des algorithmes de traitement. Je remercie en particulier Raphael Jouretz, Gaetan L'Hoest et Dong-Dang Nguyen.

Annexes

1. Script « Bradford – couleur moyenne » (sous Matlab ®)

```
disp('-----')
disp('|')
disp('| Correction chromatique par Bradford & ')
disp('| Calcul de la couleur moyenne sur un lot d''image |')
disp('|')
disp('-----')

disp('Pour continuer et choisir les images à traiter, appuyer sur une touche')
pause
%-----
% Choix des images à traiter
%-----

[FileName,PathName] = uigetfile('*.tif','Sélectionnes les fichiers','MultiSelect','on');
cd (PathName) % se placer dans le répertoire des images
clear PathName

%-----
% Création du répertoire contenant les images balancées
%-----

num_lot = input('Entrez le numéro du lot: ','s');
if length(num_lot) < 2
    num_lot = strcat('00', num_lot);
elseif length(num_lot) < 3
    num_lot = strcat('0', num_lot);
end
num_lot = strcat('résultats_', num_lot);
mkdir(num_lot)
%mkdir 'images_balancees'

%-----
% Initialisation des colonnes d'affichage des résultats
%-----

tic % Démarrage chrono

HSL_n = cell(0,0); % HSLG_n = tableau contenant le nom des fichiers des façades
HSL_v = []; % HSLG_v = tableau contenant les valeurs HSL des façades
RGB_v = []; % RGBG_v = tableau contenant les valeurs RGB des façades
STD_v = []; % STDG_v = tableau contenant les valeurs des Ecart Type HSL des façades

%-----
% PARTIE I : Correction colorimétrique par Bradford
%-----
%-----

% Calcul des composantes R* G* B* pour le gris de référence
%-----

L = 70;
a = -2;
b = 0;
```

```

[X_w2 Y_w2 Z_w2] = Lab2XYZ(L,a,b);
[Rs_w2 Gs_w2 Bs_w2] = XYZ2RsGsBs(X_w2,Y_w2,Z_w2);
clear L a b X_w2 Y_w2 Z_w2

%-----
% Import de l'image
%-----

% I_sRGB = imread('018G029.TIF');
for l = 1:length(FileNames)
    img_file = char(FileNames(l)); % Récupérer le nom de l'image
    I_sRGB = imread(img_file); % Importer l'image à partir du nom
    % I_sRGB = imread('018D009.tif');

%-----
% Mesure du gris moyen et calcul des composantes R*G*B*
%-----

% Méthode à revoir p-e avec un flou gaussien ?
R_mes_moy = double(I_sRGB(10,10,1))/255; % Dimensionnement des composantes RGB
[0,1]
G_mes_moy = double(I_sRGB(10,10,2))/255;
B_mes_moy = double(I_sRGB(10,10,3))/255;

% 1. Correction Gamma (= conversion sRGB en RGB linéaire)
%-----

% Calcul de la composante R linéaire
R_mes_RGB = (R_mes_moy > 0.03928) * (((R_mes_moy + 0.055) / 1.055) ^ 2.4);
R_mes_RGB = R_mes_RGB + (R_mes_moy <= 0.03928) * (R_mes_moy / 12.92);
% Calcul de la composante G linéaire
G_mes_RGB = (G_mes_moy > 0.03928) * (((G_mes_moy + 0.055) / 1.055) ^ 2.4);
G_mes_RGB = G_mes_RGB + (G_mes_moy <= 0.03928) * (G_mes_moy / 12.92);
% Calcul de la composante B linéaire
B_mes_RGB = (B_mes_moy > 0.03928) * (((B_mes_moy + 0.055) / 1.055) ^ 2.4);
B_mes_RGB = B_mes_RGB + (B_mes_moy <= 0.03928) * (B_mes_moy / 12.92);

clear R_mes_moy G_mes_moy B_mes_moy

% 2. Conversion RGB linéaire vers CIE XYZ
%-----

X_mes = 0.412453 * R_mes_RGB + 0.357580 * G_mes_RGB + 0.180423 * B_mes_RGB;
Y_mes = 0.212671 * R_mes_RGB + 0.715160 * G_mes_RGB + 0.072169 * B_mes_RGB;
Z_mes = 0.019334 * R_mes_RGB + 0.119193 * G_mes_RGB + 0.950227 * B_mes_RGB;

clear R_mes_RGB G_mes_RGB B_mes_RGB

% 3. Conversion CIE XYZ vers R* G* B*
%-----

Rs_w1 = 0.8951 * X_mes + 0.2664 * Y_mes - 0.1614 * Z_mes;
Gs_w1 = -0.7502 * X_mes + 1.7135 * Y_mes + 0.0367 * Z_mes;
Bs_w1 = 0.0389 * X_mes - 0.0685 * Y_mes + 1.0296 * Z_mes;

clear X_mes Y_mes Z_mes

%-----
% Calcul de la matrice de Bradford
%-----

M_A = [0.8951000 0.2664000 -0.1614000
       -0.7502000 1.7135000 0.0367000

```

```

0.0389000 -0.0685000 1.0296000];
M_CAT = M_A\diag([Rs_w2/Rs_w1 Gs_w2/Gs_w1 Bs_w2/Bs_w1])*M_A;

%clear Bs_w1 Gs_w1 Gs_w2 Rs_w1 Rs_w2

%-----
% Traitement de l'image
%-----

I_RGB = sRGB2RGB(I_sRGB); % Conversion de l'image sRGB -> RGB linéaire
I_XYZ = RGB2XYZ(I_RGB); % Conversion de l'image RGB linéaire -> CIE XYZ
clear I_RGB

% Détection des pixels du mur et carré 100x100 = On détermine quels
% pixels seront traités

[i,n] = find(I_sRGB<255);
siz = [size(I_sRGB,2) 3];
[j,~] = ind2sub(siz,n);
clear n siz

I_corr_XYZ = I_XYZ;
for s=1:size(i,1)
    I_corr_XYZ(i,s),j(s),1) = M_CAT(1,1)*I_XYZ(i,s),j(s),1) +
M_CAT(1,2)*I_XYZ(i,s),j(s),2) + M_CAT(1,3)*I_XYZ(i,s),j(s),3);
    I_corr_XYZ(i,s),j(s),2) = M_CAT(2,1)*I_XYZ(i,s),j(s),1) +
M_CAT(2,2)*I_XYZ(i,s),j(s),2) + M_CAT(2,3)*I_XYZ(i,s),j(s),3);
    I_corr_XYZ(i,s),j(s),3) = M_CAT(3,1)*I_XYZ(i,s),j(s),1) +
M_CAT(3,2)*I_XYZ(i,s),j(s),2) + M_CAT(3,3)*I_XYZ(i,s),j(s),3);
end

clear I_XYZ

% Conversion XYZ -> sRGB
%-----

I_corr_RGB = XYZ2RGB(I_corr_XYZ);
I_corr_sRGB = RGB2sRGB(I_corr_RGB);

clear M_CAT I_corr_XYZ I_corr_RGB

% Calcul d'une image réduite pour sauvegarde en JPG
%-----

I_corr_JPEG = imresize(I_corr_sRGB, 1, 'bicubic');
imwrite(I_corr_JPEG, strcat(num_lot,'/img_file(1:length(img_file)-4), char('.jpg')), 'jpg');
clear I_corr_JPEG

% Fin de la balance des blancs
%-----

% On retire le carré gris de 100x100 pixels en le mettant à blanc
% Ainsi, on fait la moyenne uniquement sur les pixels qui composent le
% mur.
I_corr_sRGB(1:100, 1:100, :) = 255;

%-----
% Calcul de la moyenne
%-----

% Créer une "image colonne" ne contenant que les pixels du mur
mur_RGB = zeros(size(i,1),3);

```

```

for s = 1:size(i,1)
    mur_RGB(s,1) = double(I_corr_sRGB(i(s),j(s),1));
    mur_RGB(s,2) = double(I_corr_sRGB(i(s),j(s),2));
    mur_RGB(s,3) = double(I_corr_sRGB(i(s),j(s),3));
end

% calcul de la moyenne de tous les pixels RGB
R_moy = round(mean(mur_RGB(:,1)));
G_moy = round(mean(mur_RGB(:,2)));
B_moy = round(mean(mur_RGB(:,3)));

% conversion de la moyenne RGB en HSL
[H_moy,S_moy,L_moy] = rgb2hsl_pixel(R_moy, G_moy, B_moy);

mur_HSL = rgb2hsl( mur_RGB / 255 );

H_std = std(mur_HSL(:,1)) * 360;
S_std = std(mur_HSL(:,2)) * 100;
L_std = std(mur_HSL(:,3)) * 100;

%-----
% Ajout du nom de l'image et des valeur HSL moyenne aux vecteur et matrice
% existants.
%-----

HSL_n = cat(1,HSL_n, img_file(1:length(img_file)-4));
HSL_v = cat(1,HSL_v, [H_moy S_moy L_moy]);
RGB_v = cat(1,RGB_v, [R_moy G_moy B_moy]);
STD_v = cat(1,STD_v, [H_std S_std L_std]);

end

% A ce stade-ci du programme, on a les valeurs HSL, RGB pour tous les
% fichiers.

% Affichage des graphes
% ----

% Coté Droit
% ----

t = HSL_v(:,1); % Remarque: On multiplie par 360 et 100 car
t = t + (t>180) * (-360);
s = HSL_v(:,2); % les valeur HSL dans MATLAB sont dans l'intervalle
l = HSL_v(:,3); % [0,1]

% Calcul des Écarts-type
% ----

ecart_type_H = std(t); % Ecart-type teinte côté droit
ecart_type_S = std(s); % Ecart-type saturation côté droit
ecart_type_L = std(l); % Ecart-type luminosité côté droit
ecart_type = [ecart_type_H ecart_type_S ecart_type_L];

% Calcul des moyennes
% ----

moyenne_H = mean(t); % Moyenne teinte côté droit
moyenne_S = mean(s); % Moyenne saturation côté droit
moyenne_L = mean(l); % Moyenne luminosité côté droit
moyenne = [moyenne_H moyenne_S moyenne_L];

% Décalage de 360° pour les valeurs de plus de 180°

```

```

%t_D2 = t_D + (t_D>180) * (-360);
% Conversion en radian pour le tracÈ du diagramme polaire
t_rad = t * (2*pi/360);
% TracÈ des diagrammes
%x = -180:0.0001:180;
HS = figure('Name','(H,S)'); polar(t_rad,s,'.')., view([90 -90]);
saveas(gcf, strcat(num_lot,'/','HS'), 'fig')
saveas(gcf, strcat(num_lot,'/','HS'), 'bmp')
HL = figure('Name','(H,L)'); plot(t,l,'.')., xlabel('H'), ylabel('L');
saveas(gcf, strcat(num_lot,'/','HL'), 'fig')
saveas(gcf, strcat(num_lot,'/','HL'), 'bmp')

%-----
% PrÈsentation des rÈsultats
%-----

% Enlever l'extension .TIF
%-----

HSL_n = char(HSL_n); % Transformer en chaÓne de caractÈres
HSL_n = HSL_n(:,1:length(img_file)-4); % Enlever l'extension .TIF
HSL_n = cellstr(HSL_n); % Re-convertir sous forme de cellules

%-----
% CrÈation des cellules
%-----

cel = cell(size(HSL_v,1),11); % CrÈation d'un tableau de cellule vide

moy_cell = num2cell(moyenne);
ectyp_cell = num2cell(ecart_type);
mec_cell = cat(1,moy_cell,ectyp_cell);

% Remplissage des cellules
%-----

cel(1:size(HSL_v,1),1) = HSL_n; % Importer les noms (gauche)
cel(1:size(HSL_v,1),2:4) = num2cell(HSL_v); % Importer les valeurs HSL (gauche)
cel(1:size(HSL_v,1),5:7) = num2cell(STD_v); % Importer les ecart types HSL g
cel(1:size(HSL_v,1),8:10) = num2cell(RGB_v); % Importer les RGB g

% colorer les cases en fonctions des valeurs RGB
for cur = 1 : size(HSL_v,1)
    cel(cur,11) = {strcat('<html><table border=0 width=400 bgcolor=rgb(',
        int2str(RGB_v(cur,1)),',',int2str(RGB_v(cur,2)),',',int2str(RGB_v(cur,3)),...
    ')><TR><TD></TD></TR> </table></html>')};
end

% header pour exportation GUI
col_val = {'Image', 'Teinte', 'Saturation', 'LuminositÈ', 'E.C. H', 'E.C. S', 'E.C. L' 'R', 'G', 'B'};
col_moy = {'Teinte', 'Saturation', 'LuminositÈ'};
row_moy = {'Moyenne', 'Ecart-Type'};

figu = figure('Position', [100 100 880 650],...
    'Name', 'RÈsultats');
t_val = uitable('Parent',figu, ...
    'Position',[10 78 860 562],...
    'Data', cel, ...
    'ColumnName', col_val);

t_mec = uitable('Parent',figu, ...

```


2. Script « K-means » (sous Matlab ®)

```
disp('-----')
disp('|')
disp('| Import de donnees d"un fichier Excel & |')
disp('| Groupement en cluster via l"algorithme K-Means |')
disp('|')
disp('-----|')

disp('Pour continuer et choisir la base de donnee en .mat a importer, appuyer sur une touche')

% Choix du fichier .mat pour l'import de donnees :
[FileName,PathName] = uigetfile('*.mat','Selectionner les fichiers', 'MultiSelect', 'on');
cd (PathName) % Se placer dans le repertoire du fichier Excel
load(FileName);

% Initialisation des parametres
prompt = 'Nombre de clusters: ';
nbrClusters = input(prompt);
prompt = 'Nombre d iterations maximum de l algorithme de clustering: ';
maxIter = input(prompt);
prompt = 'Seuil d elimination des elements tendencieux: ';
precision = input(prompt);

% Conversion des donnees TSL en donnees RVB
ARGB = zeros(size(A));
for i = 1:1:size(A,1)
    [ARGB(i,1), ARGB(i,2), ARGB(i,3)] = tsl2rvb(A(i,1),A(i,2),A(i,3));
end

% Mise a l'echelle des donnee RGB [0-1]

ARGB = ARGB / 255;

lab = zeros(size(A));
for i = 1:1:size(A,1)
    [lab(i,1), lab(i,2), lab(i,3)] = rvb2lab(ARGB(i,1),ARGB(i,2),ARGB(i,3));
end

% Conversion des donnees TSL en coordonnees geometrique
for i=1:1:size(A)
    A3D(i,1) = 50 + (cos(toRadians('degrees',A(i,1)))*(A(i,2)/100)*50);
    A3D(i,2) = 50 + (sin(toRadians('degrees',A(i,1)))*(A(i,2)/100)*50);
    A3D(i,3) = A(i,3);
end

% Calcul des donnees avec Kmeans en CIE-lab
opts = statset('MaxIter', maxIter);
[IDXlab,Clab,sumdlab,Dlab] = kmeans(lab,nbrClusters,'option' , opts);
Crgb = Clab;
Ctsl = Clab;
C3D = Clab;

for i = 1:1:size(Clab,1)
    [Crgb(i,1), Crgb(i,2), Crgb(i,3)] = lab2rvb(Clab(i,1),Clab(i,2),Clab(i,3));
end
```

```

% Conversion des centroides en donnees TSL
for i = 1:1:nbrClusters
    [Ctsl(i,1), Ctsl(i,2), Ctsl(i,3)] = rvb2tsl(Crgb(i,1), Crgb(i,2), Crgb(i,3));
end
Crgb = Crgb * 255;
for i=1:1:nbrClusters
    C3D(i,1) = 50 + (cos(toRadians('degrees',Ctsl(i,1)))*(Ctsl(i,2)/100)*50);
    C3D(i,2) = 50 + (sin(toRadians('degrees',Ctsl(i,1)))*(Ctsl(i,2)/100)*50);
    C3D(i,3) = Ctsl(i,3)*240;
end

% Determiner les distances
for i = 1:1:size(A,1)
    for j = 1:1:nbrClusters
        Dlab(i,j) = sqrt(((lab(i,1)-Clab(j,1)) ^ 2) + ((lab(i,2)-Clab(j,2)) ^ 2) + ((lab(i,3)-Clab(j,3)) ^ 2));
    end
end

minDist = zeros(1930,1);

for i = 1:1:size(A,1)
    min = 1000;
    for j = 1:1:nbrClusters-1
        for k = j+1:1:nbrClusters
            if (abs(Dlab(i,j)-Dlab(i,k)) < precision)
                minDist(i) = 1;
            end
        end
    end
end

count1 = 1;
count2 = 1;
newB1 = B(1);
newB2 = B(1);

for i = 1:1:size(A,1)
    if(minDist(i) == 0)
        newB1(count1) = B(i);
        count1 = count1 + 1;
    else
        newB2(count2) = B(i);
        count2 = count2 + 1;
    end
end

newB1 = newB1';
newB2 = newB2';

ARGB = ARGB * 255;
% Definir les couleurs qui seront affichees dans le graphe des clusters
color = ['b', 'g', 'r', 'c', 'm', 'y', 'k'];

figure('name','Cluster sur lab en RGB');
% Affichage des points du cluster 1
plot3(ARGB(IDXlab==1,1),ARGB(IDXlab==1,2),ARGB(IDXlab==1,3),'b.');
hold on
% Affichage des points du cluster 2
plot3(ARGB(IDXlab==2,1),ARGB(IDXlab==2,2),ARGB(IDXlab==2,3),'g.');
hold on
% Affichage des points du cluster 3
plot3(ARGB(IDXlab==3,1),ARGB(IDXlab==3,2),ARGB(IDXlab==3,3),'r.');
hold on
% Affichage des points du cluster 4

```

```

plot3(ARGB(IDXlab==4,1),ARGB(IDXlab==4,2),ARGB(IDXlab==4,3),'c. ), hold on
% Affichage des centres de gravite des clusters
plot3(Crgb(:,1),Crgb(:,2),Crgb(:,3), 'x','markersize',12, 'linewidth', 2)
%legend('Cluster1','Cluster2','Cluster3', 'Cluster4', 'Centroids')
grid on

figure('name','Cluster sur RGB en TSL');
% Affichage des points du cluster 1
plot3(A3D(IDXlab==1,1),A3D(IDXlab==1,2),A3D(IDXlab==1,3),'b. ), hold on
% Affichage des points du cluster 2
plot3(A3D(IDXlab==2,1),A3D(IDXlab==2,2),A3D(IDXlab==2,3),'g. ), hold on
% Affichage des points du cluster 3
plot3(A3D(IDXlab==3,1),A3D(IDXlab==3,2),A3D(IDXlab==3,3),'r. ), hold on
% Affichage des points du cluster 4
plot3(A3D(IDXlab==4,1),A3D(IDXlab==4,2),A3D(IDXlab==4,3),'c. ), hold on
% Affichage des centres de gravite des clusters
plot3(C3D(:,1),C3D(:,2),C3D(:,3), 'x','markersize',12, 'linewidth', 2)
%legend('Cluster1','Cluster2','Cluster3', 'Cluster4', 'Centroids')
grid on

% Affichage du cylindre TSL
[X_cyl,Y_cyl,Z_cyl]=cylinder(1);
% Mise a l'echelle des cônes
X_cyl = 50*X_cyl;
X_cyl = 50+X_cyl;
Y_cyl = 50*Y_cyl;
Y_cyl = 50+Y_cyl;
Z_cyl = 100*Z_cyl;
mesh(X_cyl,Y_cyl,Z_cyl,'EdgeColor','none','facecolor', 'blue');
alpha(0.2), hold on

% Creation des vecteurs pour les graphes en tarte RGB
graph1 = zeros(nbrClusters,1);
graph2 = zeros(nbrClusters,1);
graph3 = zeros(nbrClusters,1);
graph4 = zeros(nbrClusters,1);
graph5 = zeros(nbrClusters,1);
graph6 = zeros(nbrClusters,1);
graph7 = zeros(nbrClusters,1);
graph8 = zeros(nbrClusters,1);
graph9 = zeros(nbrClusters,1);
graph10 = zeros(nbrClusters,1);
graph11 = zeros(nbrClusters,1);
graph12 = zeros(nbrClusters,1);
graph13 = zeros(nbrClusters,1);
graph14 = zeros(nbrClusters,1);
graph15 = zeros(nbrClusters,1);
graph16 = zeros(nbrClusters,1);
graph17 = zeros(nbrClusters,1);
graph18 = zeros(nbrClusters,1);

% Determination des clusters par rue
for i = 1:1:1930
    if (i > 0 && i < 101)
        graph1(IDXlab(i)) = graph1(IDXlab(i)) + 1;
    elseif (i > 100 && i < 137)
        graph2(IDXlab(i)) = graph2(IDXlab(i)) + 1;
    elseif (i > 136 && i < 242)
        graph3(IDXlab(i)) = graph3(IDXlab(i)) + 1;
    elseif (i > 241 && i < 274)

```

```

graph4(IDXlab(i)) = graph4(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 273 && i < 317)
    graph5(IDXlab(i)) = graph5(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 316 && i < 373)
    graph6(IDXlab(i)) = graph6(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 372 && i < 429)
    graph7(IDXlab(i)) = graph7(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 428 && i < 599)
    graph8(IDXlab(i)) = graph8(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 598 && i < 670)
    graph9(IDXlab(i)) = graph9(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 669 && i < 867)
    graph10(IDXlab(i)) = graph10(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 866 && i < 1074)
    graph11(IDXlab(i)) = graph11(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 1073 && i < 1155)
    graph12(IDXlab(i)) = graph12(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 1154 && i < 1341)
    graph13(IDXlab(i)) = graph13(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 1340 && i < 1470)
    graph14(IDXlab(i)) = graph14(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 1469 && i < 1532)
    graph15(IDXlab(i)) = graph15(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 1531 && i < 1655)
    graph16(IDXlab(i)) = graph16(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 1654 && i < 1860)
    graph17(IDXlab(i)) = graph17(IDXlab(i)) + 1;
elseif (i > 1859 && i < 1931)
    graph18(IDXlab(i)) = graph18(IDXlab(i)) + 1;
end
end
graphs =
[graph1,graph2,graph3,graph4,graph5,graph6,graph7,graph8,graph9,graph10,graph11,graph
12,graph13,graph14,graph15,graph16,graph17,graph18];
graphs = graphs';

for i = 1:1:18
    pieGraphs(Crgb, graphs(i,:),i);
end

disp('Les donnees suivantes sont accessible:')
disp('A: Ensemble des donnees TSL des 1930 individus')
disp('B: Nom des 1930 individus')
disp('ARGB: Conversion des 1930 individus en RVB')
disp('Crgb: Coordonnees des centroides en RVB')
disp('Clab: Coordonnees des centroides en Lab')
disp('A3D: Conversion des 1930 individus en coord geometrie basee sur les donnees TSL')
disp('Ctsl: Coordonnees des centroides en tsl')
disp('C3D: Coordonnees des centroides en xyz')
disp('IDXlab: Index du centroide auquel appartient 1 element')
disp('Clab: Coordonnees des centroides rgb')
disp('Dlab: Distance de chacun des 1930 individus a chacun des centroides')
disp('minDist: Vecteur binaire, valeur de 1 si 1 element est tendencieux')
disp('newB1: Liste des elements qui ne sont pas tendencieux')
disp('newB2: Liste des elements tendencieux')
disp('graph1')
disp('..')
disp('..')
disp('..')
disp('graph18: Nombre d elements de la rue par cluster')
disp('graphs: ensemble des donnees de graph1...graph18')

clear i;
clear j;

```

```
clear k;
clear maxIter;
clear min;
clear nbrClusters;
clear opts;
clear precision;
clear prompt;
clear FileName;
clear PathName;
clear X_cyl;
clear Y_cyl;
clear Z_cyl;
clear color;
clear count1;
clear count2;
```

Bibliographie

ALBERT, A. 2005. Biostatistique, Université de Liège, Faculté de Médecine, Liège, coédition Céfal – EULg.

ALESSIO, L. 2016. Contemporary residential streetscape: how colors and material differ from the traditional streetscape. A case study in Tokyo, Proceedings of the 12th Conferenza del Colore, Colour and Colorimetry. Multidisciplinary Contributions Vol. XII B, Turin, Italy, 8-9 September 2016, edited by Davide Gardia, 231-242. [En ligne] et disponible sur : [http://www.gruppodelcolore.it/Docs/AttiGdC_ENG_Torino2016_pro.pdf], consulté le 24/05/17.

ALLAIN, R. 2005. Morphologie urbaine – Géographie, aménagement et architecture de la ville, Paris, Armand Colin.

AMERI, A. 2008. Architecture Pedagogy, Cultural Identity, and Globalization. The International Journal of the Arts in, Society 2(6), 45-54.

ANTONI, J.-P. 2011. Modéliser la ville – Formes urbaines et politiques de transport, Paris, Economica.

ASAMI, Y., ISTEK, C. & KUBAT, A.S. 2001. Characterization of the street networks in the traditionnal Turkish urban form, Environment and Planning B: Planning and Design, 28, 777-795.

ATLAN, H. 1979. Entre le cristal et la fumée, Paris, Editions du Seuil.

AUGOYARD, J.-F. 1998. Eléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines, Les Cahiers de la Recherche Architecturale : ambiances architecturales et urbaines, 42-43(3), 13-23.

AUPA, sprl. 2010. Lotissement du Pré-Aily - prescriptions écrites. 59p.

AVILA, M.M., POLO, M., INCATASCIATO, A., GIRELLI, I., MARICONDE, M., SUAREZ, D. & OLGUIN, G. 2004. Colour and the design of urban image, AIC 2004, Color and Paints, Proceedings of the Interim Meeting of the International Color Association, Porto Alegre, Brazil, 3-5 November 2004, edited by José Luis Caivano in electronic format. [En ligne] et disponible sur [<http://www.aic-color.org/congr.htm>], consulté le 30/06/15.

AVILA, M.M., POLO, M., INCATASCIATO, A., GIRELLI, I., MARICONDE ; M., SUAREZ, D. & OLGUIN, G. 2005. The daylight and the perceived colour appearance in the design of urban image, AIC Color 2005, Proceedings of the 10th Congress of the International Color Association, Granada, Spain, 8-13 May 2005, edited by Juan L. Nieves and Javier Hernández-Andrés, 2 vols. and a CD-ROM (Granada, Spain: Comité Español del Color, 2005). [En ligne] et disponible sur [<http://www.aic-color.org/congr.htm>], consulté le 30/06/17.

AYMONINO, C. 1977. Lo studio dei fenomeni urbani, Roma, Officina Edizioni.

AZZOUZ, K. 2013. Esthétique et poïétique dans l'architecture traditionnelle et contemporaine dans les villes du sud tunisien. Thèse de doctorat, Architecture, Aménagement de l'espace, Université Toulouse le Mirail – Toulouse II.

BACH, F. 2010. K-means, EM, Mélanges de Gaussiennes, Théorie des graphes. Cours 3, Paris, Centre de recherche INRIA, Département d'Informatique de l'Ecole Normale Supérieure.

BERLIN, B. & KAY, P. 1969. Basic Color Terms: their universality and evolution. Califonia, University of California Press.

BOERI C. 2010. A perceptual approach to the urban colour reading, Colour & Light in Architecture, International Conference, Venezia 11-12 November 2010, Knemesi, Verona, edited by P. Zennaro, 459-463.

BOERI C. 2011. A perceptual approach to the chromatic complexity of contemporary city, AIC 2011, Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences, Midterm Meeting of the International Color Association, Zurich, Switzerland, 7-10 June 2011. Book of Abstracts, edited by Schindler V.M. and Kuber S. Conference Proceedings on CD (Zurich: International Color Association (AIC): Zurich University of the Arts), 276-279, 288p.

BORIE, A., MICHELONI, P. & PINON, P. 2006. Forme et déformation des objets architecturaux et urbains, Marseille, Editions Parenthèses.

BRINO, G. 1980. Colore e Torino (Colour in Turin), Domus, numero 602, 22-24.

BRINO, G. 1986. Colore e Territorio. La banca dati dei colori del Piemonte, Milano, Idea Books Edizioni.

BRINO, G. & ROSSO, F. 1987. Colore e citta. I colori di Torino, 1801-1863, Milano, Idea Books Edizioni.

BRINO, G. 1987. Image de la ville et décoration urbaine. Modernité d'un patrimoine ?, Urbanisme, n° 220, 147-149.

BRINO, G. 1998. La signification urbaine : dichotomie entre centre-ville et périphérie en Italie, Les langages de la ville, sous la direction de : Bernard Lamizet et Pascal Sanson, Paris, Editions Parenthèses, 55-61.

BRUSATIN, M. 2002. Histoire de la ligne, traduction française de *Storia delle linee*, Paris, Flammarion.

BRUYNS, G. 2005. Urban fragmentation vs. Spatial Coherences, paper delivered at the World Congress on Housing, XXXII IAHS, Transforming Housing Environments through Design, September 27-30 2005, Pretoria, South Africa.

BUETHER, A. 2014. The function of colour - an introduction to colour theory and a definition of terms, Detail Practice, Colour - Design principles, Planning strategies, visual communication, Munich, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, An Edition DETAIL book, 7-19.

BURGER, W. & BURGE, M.J. 2009. Principles of Digital Image Processing – Core algorithms, Hagenberg, Austria /Washington DC, USA), Undergraduate Topics in Computer Science, Springer.

CAIVANO, J.L. 2005. The research on environmental color design: Brief History, current developments, and possible future, AIC Color 2005, Proceedings of the 10th Congress of the International Color Association, Granada, Spain, 8-13 May 2005, edited by Juan L. Nieves and Javier Hernández-Andrés, 2 vols. and a CD-ROM (Granada, Spain: Comité Español del Color, 2005). [En ligne] et disponible sur [<http://www.aic-color.org/congr.htm>], consulté le 30/06/15.

CAIVANO, J.L. 2006. Research on Color in Architecture and Environmental Design: Brief History, Current Developments, and Possible Future, Color Research & Application, 31(4), 350-363.

CALDAS, S., BISSAU, L. & SIMOES, Z. 2008. Colour in urban image revitalization : Paia - Brandoa, a “squat” neighborhood in Lisbon’s border, AIC Color 2008, Proceedings of the Interim Meeting in Stockholm, June 15-18 2008. Proceedings, Paper no 141.

CAUE de l’Oise 2001. Le Pays Compiégnois : recommandations architecturales. Plaquette réalisée à la demande de l’ABC par Jean-Pierre BETEGNIE et Carole DAUPHIN.

CHARLIER, S. & MOOR, T. 2014. Guide d’architecture moderne et contemporaine - Liège, Bruxelles, Ed. Mardaga et Cellule Architecture de la Fédération Wallonie-Bruxelles.

CHIN, S. 2010. Colour Scheme Supporting Technique Based on Hierarchical Scene Structure for Exterior Design of Urban Scenes in 3D. Color Research & Application, 37(2), 134-147.

CHING, F. D. K. 1996. Architecture: Form, Space and Order (Second Edition), New York, Van Nostrand Reinhold.

C.I.E. 1987. Publication n° 17.4, Vocabulaire international de l’éclairage, 4ème édition, Paris, Bureau central de la C.I.E.

COLLETTE, J.-P. 1983. Etude des variables de planification spatiale exploitable dans l’élaboration des plans d’urbanisme. Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Liège.

COLLETTE, J.-P. & NGUYEN, L. 2006a. Le trinôme lumière – couleur – texture. Les Cahiers de l’Urbanisme, 59-60, 7-10.

COLLETTE, J.-P. & NGUYEN, L. 2006b. Couleur et pratiques urbanistiques. Les Cahiers de l’Urbanisme, 59-60, 70-75.

CONSEIL DE L’EUROPE 2000. Convention Européenne du Paysage, Série des traités européens n°176.

[En ligne] disponible sur [<http://www.coe.int/fr/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/176>], consulté le 21/08/2015.

- CONZEN, M.R.G. 1960. Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis, London, Institute of British Geographers, Publication No. 27.
- CORBOZ, A. 2001. L'urbanisme du XXe siècle : esquisse d'un profil. Le territoire comme palimpseste et autres essais, Paris, Les Editions de l'Imprimeur.
- CORNESSE, J.-C. & PREGARDIEN, M. 2010. Villas du XXe siècle – Evolution et intéraction de schèmes de composition, Liège, Les Editions de l'Université de Liège.
- CPDT (Conférence Permanente du Développement Territorial). 2011. Diagnostic territorial de la Wallonie, Namur, éditeur responsable : Ghislain Géron (Service Public de Wallonie).
- DASTON, L. & GALISON, P. 2012. Objectivité, Paris, Les Presses du Réel, 582p.
- DE BIOURGE, T. & PACCO, M. 2006. Une charte chromatique à Dinant – Oser la couleur dans un centre protégé. *Les Cahiers de l'Urbanisme*, 59-60, 82-84.
- DEGEIMBRE, R. 1999. Matériaux de construction non métalliques (annexe aux notes de cours), Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées.
- DE MATTIELLO, M. L. F. & RABUINI, E. 2011. Colours in La Boca: Patrimonial identity in the Urban landscape, *Color Research & Application*, 36, 222–228, DOI:10.1002/col.20612.
- DERIBERE, M. 1968. La couleur dans les activités humaines, Paris, Dunod.
- DIELEMAN, F. & WEGENER, M. 2004. Compact City and Urban Sprawl, *Built Environment*, Vol. 30, No. 4, 308-323.
- DOGNIAUX, R. & DOYEN, P. 1968. Analyse statistique du trouble atmosphérique à Uccle à partir d'observations radiométriques (période de référence 1951-1965), *Publications de l'Institut Royal Météorologique de Belgique*, série A, n°65.
- DR LANGE. (Année inconnue). *Micro Color – Operating Instructions*.
- DURAO-BENITO, A., HERRERA-QUINTERO, L.K., ROBADOR-GONZALEZ, M.D. & PEREZ-RODRIGUEZ, J.L. 2007. Color study of Mudejar paintings of the pond found in the palace of « Reales Alcazares » in Seville, *Color Research & Application*, 32, 6, 489-495.
- DUPAGNE, A., JADIN, M., TELLER, J. & LECLERCQ, P. 1997. L'espace public de la modernité, Jambes, éditeur responsable : Danielle Sarlet, publié par le Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine, Division de l'Aménagement et de l'Urbanisme.
- DURAND, D. 2008. La systémique, dixième édition mise à jour, Paris, Presse Universitaires de France.

- EMBRECHTS, J.-J. 1988. Développement d'une nouvelle approche paramétrique du rendu des couleurs. Application à l'analyse et à la conception d'ambiances colorées. Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Liège, Collection des publications n° 116.
- EMBRECHTS, J.-J. 1995. La colorimétrie et ses applications. Notes de cours. Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Service d'acoustique, électroacoustique, éclairage.
- ENBERG, K. 2010. Guide pour NCS EXTERIOR, en collaboration avec la société NCS COLOUR AB, Stockholm, NCS.
- FELIU, M.J., EDREIRA, M.C., MARTIN, J., CALLEJA, S. & ORTEGA, P. 2005. Study of various interventions in the façades of historical building – Methodology, proposal, chromatic and material analysis, *Color Research & Application*, 30, 5, 380-390.
- FELDMAN, J. 2002. Objectivité et subjectivité en science. Quelques aperçus, *Revue européenne des sciences sociales*, DOI: 10.4000/ress.577. [En ligne] et disponible sur [<http://ress.revues.org/577>], consulté le 12/09/17.
- FELLMANN, T. and MOREL, B. 1997. Métropolisation et archipels commerciaux – Le grand Marseille et ses enseignes, *Les Annales de La Recherche Urbaine*, 78, 21-27.
- FORTIS, J.M. 2010. De l'hypothèse de Sapir-Whorf au prototype : sources et genèse de la théorie d'Eleanor Rosch, *Corela*, DOI : 10.4000/corela.1243. [En ligne] et disponible sur [<http://corela.revues.org/1243>], consulté le 12/05/17.
- FRENKEL, A. & ASHKENAZI, M. 2008. Measuring urban sprawl: how can we deal with it?, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 35, 56-79.
- FRIDELL ANTER, K. & BILLGER, M. 2010. Colour Research with Architectural Relevance: How Can Different Approaches Gain from each Other?, *Color Research & Application*, 35, 2, 145-152.
- GARCIA-CODONER, A., LLOPIS VERDÚ, J., TORRES BARCHINO, A., VILLAPLANA GUILLÉN R., SERRA LLUCH J. 2009. Colour as a Structural Variable of Historical Urban Form, *Color Research & Application*, 34(4), 253-265.
- GIBOUT, C. 1997. Les entrée de villes : une affaire de commerce ou d'hospitalité, *Les Annales de La Recherche Urbaine*, 78, 109-113.
- GIL, J., BEIRAO, J.N., MONTENEGRO, N. & DURATE, J.P. 2012. On the discovery of urban typologies: data mining the many dimensions of urban form, *Urban Morphology* 16(1), 27-40.
- GOBERT, T. 1975-1978. Liège à travers les âges : les rues de Liège, Bruxelles, Culture et Civilisation.
- GOMBRICH, E.H. 2006. Histoire de l'art, Paris, Phaidon.

- GOTELLI, N.J. & CHAO, A. 2013. Measuring and Estimating Species Richness, Species Diversity, and Biotic Similarity from Sampling Data, Encyclopedia of Biodiversity, second edition, 5, 95-211, Waltham, MA, Levin S.A. ed. Academic Press.
- GOU, A. & WANG, J. 2008. Research on the Localisation Characters of Urban Color Plan in China. *Color Research & Application*, 33(1), 68-76.
- GOU, A. & WANG, J. 2010. The Development of Roof Color in Ancient China, *Color Research & Application*, 35(4), 246-266.
- GOU, A. 2011. Method of Urban Color Plan Based on Spatial Configuration, *Color Research & Application*, 38(1), 65-72.
- GUIINET, C.E. 1889. *Les couleurs*, Paris, Librairie Hachette et Cie.
- GUILD, J. 1926. A critical survey of modern developments in the theory and technique of colorimetry and allied sciences, *Proc. Opt. Convention*, 61-146.
- HANIN, Y. 2007. De la ville étalée à la ville éclatée, *Les Cahiers de l'Urbanisme*, 63, 32-36.
- HILLIER, B., HANSON, J., PEAPONIS, J., HUDSON, J. & BURDETT, R. 1983. Space syntax: a different urban perspective, *The Architects' Journal*, 178(48), 47-67.
- HUANG, J., LU X.X. & SELLERS, J.M. 2007. A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing, *Landscape and Urban Planning*, 82, 184-197.
- IBELINGS, H. 2003. *Supermodernisme, l'architecture à l'ère de la globalisation*, Paris, éditions Hazan, 160p.
- IES 1984. *IES Lighting Handbook: 1984 Reference volume*, New York, Edited by Kaufman J.E. and Christensen J.F.
- I.R.M. (Institut Royal Météorologique de Belgique) 1981. *Distribution spectrale du rayonnement solaire à Uccle, 1er et 2ème semestre 1980*, Bruxelles, édité par l'I.R.M.
- ISAACSON, W. 2015. *Les Innovateurs – Comment un groupe de génies, hackers et geeks ont fait la révolution numérique*, traduction française de “The Innovators” (2014), Paris, Editions Jean-Claude Lattès.
- JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology). 2012. *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*, 3e édition, version 2008 avec corrections mineures. [En ligne] et disponible sur [https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2008.pdf], consulté le 21/06/2017.
- JENCKS, C. 1977. *The Language of Post-Modern Architecture*, New York, Rizzoli.
- JIAO, L. 2015. Urban land density function: A new method to characterize urban expansion, *Landscape and Urban Planning*, 139, 26-39.

JOBLOVE, G.H. & GREENBERG, D. 1978. Color spaces for computer graphics, *Computer Graphics*, 2 (3), 20-25. doi:10.1145/965139.807362. [En ligne] et disponible sur [<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=807362>], consulté le 12/06/2012.

JRAISSATI, J. 2008. Philosophie, lexique et universalité de la couleur – la théorie des termes basiques : son évolution, ses ouvertures possibles, Ecole thématique interdisciplinaire du CNRS, Couleur et mouvement, Ecole de Printemps, Roussillon, 17-21 mars 2008. Textes des rencontres, éditeur : ôkrha SCIC SA, 68-74, 211p.

KADINSKY, V. 1991. Point et ligne sur plan : contribution à l'analyse des éléments de la peinture, traduction française de *Punkt und Linie zu Fläche*, Paris, Gallimard, Folio Essai.

KAHN, G. 1901. L'esthétique de la rue, Paris, Eugène Fasquelle Editeur.

KIPNIS, J. & SOMOL, R. 2010. Two views: Koolhaas and Eisenman, Jeffrey Kipnis & Robert Somol, in a conversation moderated by Mark Cousins, in *Architecture Words I, Supercritical* – Peter Eisenman & Rem Koolhaas, London, AA Publications.

KNIGHT, T.W. 1994. Shape grammars and color grammars in design, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21, 705-735.

KOOLHAAS, R. & MAU, B. 1998. SMLXL, New York, The Monacelli Press.

KOOLHAAS, R. 1999. OMA 30: 30 colours, Blaricum, The Netherlands, V+K Publishing, 188p.

KOOLHAAS, R. 2011. Junkspace : repenser radicalement l'espace urbain, traduit de l'anglais par Daniel Agacinski, Paris, Editions Payot & Rivages.

KUO, M. & TSEN, Y.-C. 2011. Reasearch on integration of meteorological landscape and environmental colour changes – a case study of the Yangmingshan National Park, Taiwan, AIC 2011, Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences, Midterm Meeting of the International Color Association, Zurich, Switzerland, 7-10 June 2011. Book of Abstracts, edited by Schindler V.M. and Kuber S. Conference Proceedings on CD (Zurich: International Color Association (AIC): Zurich University of the Arts), 501-505, 288p.

LABORIT, H. 1971. L'homme et la ville, Paris, Editions Flammarion, collection « Nouvelle Bibliothèque Scientifique », 215p.

LAMIZET, B. & SANSON, P. 1998. Les langages de la ville, Paris, Editions Parenthèses, 197p.

LATHOURI, M. 2001. The City as a Project: Types, Typical Object and Typologies, *Architectural Design*, 81(1), 24-31.

LAVEDAN, P. 1926. Histoire de l'urbanisme, Tome I « Antiquité, Moyen Âge », Paris, Henri Laurens.

- LAVEDAN, P. 1941. *Histoire de l'urbanisme*, Tome II « Renaissance et Temps modernes », Paris, Henri Laurens.
- LAVEDAN, P. 1952. *Histoire de l'urbanisme*, Tome III « «Époque contemporaine », Paris, Henri Laurens.
- LE CORBUSIER 1965 (Éd. orig. 1937). *Quand les cathédrales étaient blanches*, Paris, Editions Gonthier.
- LEE, C.C.M. & JACOBY, S. 2011. Typological Urbanism and the Idea of the City, *Architectural Design*, 81(1), 14-23.
- LEFEVRE, S. & VINCENT, N. 2006. Apport de l'espace Teinte-Saturation-Luminance pour la segmentation spatiale et temporelle, *Traitement du Signal*, vol 23, n°1, 59-77.
- LEGER, F. 2004 (Éd. augmentée). *Fonctions de la peinture*, Paris, Editions Gallimard.
- LENCLOS, J.-P., LENCLOS, D., PASTOUREAU, M. & RIVIÈRE, G.-H. 1982. *Couleurs de la France : géographie de la couleur*, Paris, Le Moniteur, 272p.
- LENCLOS, J.-P. 1990. *La géographie de la couleur*, Etudes rurales, *Architecture rurale : questions d'esthétique*, n°117, 137-138.
- LENCLOS, J.-P. & LENCLOS, D. 1990. *Couleurs de la France. Maisons et paysages*, Paris, Le Moniteur, 272p.
- LENCLOS, J.-P., LENCLOS, D., PASTOUREAU, M. & PORTER, T. 1995. *Couleurs de l'Europe : géographie de la couleur*, Paris, Le Moniteur, 271p.
- LENCLOS, J.-P. & LENCLOS, D. 1999. *Couleurs du monde : géographie de la couleur*, Paris, Editions du Moniteur, 288p.
- LENNEBERG, E.H. & ROBERTS, J.M. 1956. The language of experience: a study in methodology, *International Journal of American Linguistics*, 22(2), Memoir 13.
- LE RIDER J. 1998. Ligne et couleur : histoire d'un différend, *Revue germanique internationale*, [en ligne] disponible sur [<http://rgi.revues.org/694>], consulté le 26/02/16.
- LÉVY, A. 1999. Urban morphology and the problem of the modern urban fabric: some questions for research, *Urban Morphology*, 3(2), 79-85.
- LÉVY, A. 2005. Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine, *Espace et sociétés* 2005/3, n° 122, 25-48.
- L'HOEST, G. 2015. Semi-automatic clipping facade components in the perspective of a color analysis, travail de fin d'études, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.
- LONGLEY, P.A. & MESEV, V. 2000. On the measurement and generalisation of urban form, *Environment and Planning A*, volume 32, 473-488.

- LUCAN, J. 2009. Composition, non-composition – Architecture et théories, XIXe et XXe siècles, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 607p.
- LUCAN, J. 2015. Précisions sur un état présent de l'architecture, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 259p.
- LYNCH, K. 1999. L'image de la Cité , Paris, Dunod. Traduction de l'ouvrage publié en langue anglaise sous le titre : The Image of the City (1960), Cambridge, MA, The MIT Press.
- MAÏZA, M. 1999. Régularité(s) urbaine(s) : l'écart morphologique, une tentative de systématisation. Thèse de doctorat, Université Paris I, 328p.
- MANCEBO, F. 2007. Accompagner les turbulences : une périurbanisation durable, priorité aux cheminements des habitats, Les Annales de La Recherche Urbaine, 102, 51-57.
- MANDELBROT, B. 1984. Les objets fractals - Forme, hasard et dimension, deuxième édition, Paris, Flammarion.
- MANGIN, D. 2004. La ville franchisée. Formes et structures de la ville contemporaine, Paris, Editions de la Villette.
- MERLEAU-PONTY, M. 1964. Le Visible et l'invisible, Paris.
- MERLEAU-PONTY, M. 1971. Phénoménologie de la perception (1945), Paris.
- MERLIN, P. & CHOAY, F. 2000. Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, 3ème édition revue et augmentée, Paris, Presses Universitaires de France - PUF.
- MINAH, G. 2008. Colour as Idea: The Conceptual Basis for Using Colour in Architecture and Urban Design. Colour: Design @ Creativity (2,) 3, 1-9.
- MINISTÈRE DE LA COMMUNAUTE FRANCAISE – ADMINISTRATION DU PATRIMOINE CULTUREL. 1974. Le patrimoine monumental de Belgique, volume 3 – Province de Liège, arrondissement de Liège, Ville de Liège, Liège, Pierre Mardaga éditeur.
- MOLES, A. 1963. Théorie de l'information et sémantique, Les cahiers de la publicité, 5, 15-36. [En ligne] et disponible sur [http://www.persee.fr/doc/colan_1268-7251_1963_num_5_1_4795], consulté le 30/04/2016.
- MONGIN, O. 2005. La condition urbaine. La ville à l'heure de la mondialisation, Paris, Editions du Seuil.
- MOORE, G. 1991. Architectural-rendering – A role for computers, Architects Journal, vol. 194, no 13, 45-51.
- MRW-DGATLP (Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Aménagement du territoire, du Logement et du Patrimoine). 2004a. Guide d'urbanisme pour la Wallonie, Namur, édité par le MRW - DGATLP. 227 pages.

MRW-DGATLP (Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l’Aménagement du territoire, du Logement et du Patrimoine). 2004b. Patrimoine architectural et territoires de Wallonie - Liège, Liège, édité par le MRW – DGATLP – Pierre Mardaga. 447 pages.

NATHANS, J., THOMAS, D. & HOGNESS, D.S. 1986. Molecular Genetics of Human Color Vision: The Genes Encoding Blue, Green, and Red Pigments, *Sciences*, 232 (4747), 193-202.

NBN L 02-002. 1986. Vocabulaire de colorimétrie, Bruxelles, Institut Belge de Normalisation.

NGUYEN, L. 2002. L’architecture des couleurs, travail de fin d’études, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.

NGUYEN, L., TELLER, J. & REITER, S. 2011. Chromatic characterization of urban fragments: Validation of a user-oriented protocol through the study of Hors-Château street (Liège, Belgium), AIC 2011, Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences, Midterm Meeting of the International Color Association, Zurich, Switzerland, 7-10 June 2011. Book of Abstracts, edited by Schindler V.M. and Kuber S. Conference Proceedings on CD (Zurich: International Color Association (AIC): Zurich University of the Arts), 605-608, 288p.

NGUYEN, L., TELLER, J. & REITER, S. 2012. Chromatic mutations in suburban areas, AIC 2012, Color & Environment: In Color We Live, Interim Meeting of the International Color Association, Taipei, Taiwan, 22-25 September 2012. Book of Abstracts, edited by Lee T.R. and Shyu J. Conference Proceedings on CD (Taipei: Color Association of Taiwan), 20-23.

NGUYEN, L. & TELLER, J. 2013. La couleur dans l’environnement urbain – Validation d’un protocole de caractérisation chromatique, *Ambiances* [online], Environnement-Modélisation-Caractérisation. [En ligne] et disponible sur [<http://ambiances.revues.org/365>], consulté le 15/07/13.

NGUYEN, L. & TELLER, J. 2016a. Color in the urban environment: A user-oriented protocol for chromatic characterization and the development of a parametric typology, *Color Research & Application*, 42 (1), 131-142.

NGUYEN, L. & TELLER, J. 2016b. Colour in the urban environment: a tool for the chromatic analysis of spatial coherence, XII Conferenza del colore, Torino, Italy, 8-9 September 2016. Conference Proceedings : Colour and Colorimetry Multidisciplinary Contributions, Vol. XII B, edited by Davide Gadia, 219-220.

NOURY, L. 2004. Rôle de la polychromie dans l’environnement spatial et architectural de la ville. Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3, UFR des Sciences de l’Information, de la Communication et des Arts, Bordeaux.

NOURY, L. 2008. La couleur dans la ville, Tours, Editions Le Moniteur, 167p.

- NOURY, L. 2010. *Symbolique : la Ville en Couleurs*, Paris, Les Editions du Huitième Jour, 160p.
- O'CONNOR, Z. 2010. Colour Harmony Revisited. *Color Research & Application*, 35(4), 267-273.
- OWEN, S.M., MACKENZIE, A.R., BUNCE, R.G.H., STEWART, H.E., DONOVAN, R.G., STARK, G. & HEWITT, C.N. 2006. Urban land classification and its uncertainties using principal component and cluster analyses: A case study for the UK West Midlands, *Landscape and Urban Planning*, 78, 311-321.
- PANERAI, P. & LANGÉ, J. 2001. *Formes urbaines, tissus urbains. Essai de bibliographie raisonnée*, MELT-DGUHC, Centre de Documentation de l'Urbanisme.
- PANERAI, P. , DEPAULE, J.-C. & DEMORGON, M. 2005. *Analyse urbaine*, Marseille, Editions Parenthèses.
- PARRA, F. 1978. Les bases physiologiques de la vision des couleurs. In Tornay, S. *Voir et nommer les couleurs*, Laboratoire d'ethnologie et de sociologie comparative, Paris.
- PASTOUREAU, M. In MOLLAR-DESFOUR, A. 1998. *Le dictionnaire des mots et expressions de couleur*. Le bleu, Préface, Paris, CNRS Editions.
- PETIT, A. 2015. Effets chromatiques et méthodes d'approche de la couleur dans la démarche de projet architectural et urbain. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes.
- PINON, P. 1994. *Composition urbaine I, II*, Paris, DAU-STU.
- PINSON, J.-C. 2011. *Habiter la Couleur*, suivi *De la Mocheté*, Nantes, Editions Cécile Defaut.
- PORTOGHESI, P. 1980. *Colore e Città (Colour in Town)*, Domus, numero 602, 20-21.
- PRETTE, M.C. & DE GIORGIS, A. 2001. *Qu'est-ce que l'art ?*, Paris, Editions Gründ.
- RAY, V. 1952. Techniques and problems in the study of human color perceptions, *Southwestern Journal of Anthropology*, 8(3), 251-259.
- REGIER, T., KAY, P. & KHETARPAL, N. 2007. Color naming reflects optimal partitions of color space, *PNAS*, 104(4), 1436-1441.
- REITER, S. 2007. *Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes*. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Faculté des Sciences Appliquées, Louvain-la-Neuve.
- RICHTER, M. 1984. The development of color metrics, *Color Research & Application*, 9(2), 69-83.

- ROSSI, A. 2001. L'Architecture de la Ville, Gollion, InFolio éditions. Traduction de l'édition originale, 1966, L'Architettura della Città, Padova, Marsilio Editori.
- SALINGAROS, N.A. 2000. Complexity and Urban Coherence, *Journal of Urban Design*, 5(3), 291-316.
- SCIRN – PRN (Service Commun Informatique et Ressources Numériques) de l'Université du Maine. 2009. Optique pour l'ingénieur – ressources numériques, module : colorimétrie. [En ligne] et disponible sur : [http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M07_C02/co/Contenu_07.html], consulté le 21/09/16.
- SCHMITT, E.-E. 2001. La part de l'autre, Paris, Albin Michel.
- SCHWARZ, N. 2010. Urban form revisited - Selecting indicators for characterizing European cities, *Landscape and Urban Planning*, 96, 29-47.
- SERRA, J. 2013. Three Color Strategies in Architectural Composition, *Color Research & Application*, 38(4), 238-250.
- SÈVE, R., INDERGAND, M. & LANTHONY, P. 2007. Dictionnaire des termes de la couleur, Avalon, Terra Rossa.
- SHIRAZI, R. 2014. Towards an Articulated Phenomenological Interpretation of Architecture – Phenomenal Phenomenology, Oxon, Routledge (Taylor & Francis Group).
- SIBILLANO, L. 2011. The colour space of Zurich. An exemplary research on colour, texture and light in urban Space, AIC 2011, Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences, Midterm Meeting of the International Color Association, Zurich, Switzerland, 7-10 June 2011. Book of Abstracts, edited by Schindler V.M. and Kuber S. Conference Proceedings on CD (Zurich: International Color Association (AIC): Zurich University of the Arts) ,70-77, 288p.
- SIBILIANO, A. & WETTSTEIN, S. 2014. Colour in the city – colour in the countryside. Consultation and planning instruments for colour in public spaces, Detail Practice, Colour - Design principles, Planning strategies, visual communication, Munich, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, An Edition DETAIL book, 61-69.
- SIRET, D. 1997. Proposition d'une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'ensoleillement. Thèse de doctorat, Université de Nantes, ISITEM, Ecole d'Architecture de Nantes, Nantes.
- SOARES, H.T.C. & DURAO, M. J. 2008. Porto: Chromatic harmonies and cultural identity, AIC 2008, Colour – Effects & Affects, Interim Meeting in Stockholm, Proceedings, Paper no 039.
- SUMMERSON, J. 1966. The Classical language of Architecture, Cambridge, MA, The MIT Press.

- TAFURI, M. 1974. L'Architecture dans le Boudoir : The Language of Criticism and Criticism of Language, *Oppositions*, 3.
- TAILLADE, F. 2005. Notions de métrologie. 3rd cycle. [En ligne] et disponible sur [<https://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00564306>], consulté le 28/06/2017.
- TELLER, J. 2001. La régulation morphologique dans le cadre du projet urbain. Spécification d'instruments informatiques destinés à supporter les modes de régulation performantiels. Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Liège, Collection des publications n° 208.
- TELLER, J. 2003. A spherical metric for the field-oriented analysis of complex urban open spaces, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, 339-356.
- THIBAUT, J.-P. 1998. Comment observer une ambiance ?, *Les Cahiers de la Recherche Architecturale : ambiances architecturales et urbaines*, n°42/43, 3ème trimestre, 77-89.
- THIBAUD, J.-P. 2001. Les parcours commentés, in Grosjean, M. & Thibaud, J.-P. (dir.), *L'espace urbain en méthodes*, Marseille, Parenthèses, 79-99.
- TOSCA, T.F. 1990. Coexisting or Mingling: The Visual Aspect of the Problem in the Urban Context, *Color Research & Application*, 15(3), 129-150.
- TOSCA, T.F. 1994. Dreams of Light for the City, *Color Research & Application*, 19(3), 155-170.
- TOSCA, T.F. 1997. In the Name of Light, Come to Life: Reviving a City by Colour. [En ligne] et disponible sur : [http://www.academia.edu/562247/In_the_Name_of_Light_come_to_Life_Reviving_a_City_by_Colour], consulté le 21/07/14.
- VAN LEUSEN, M. 1994. A system of types in the domain of residential buildings, Delft, The Netherlands, Publikatieburo Bouwkunde.
- VARICHON, A. 2013. Le nuancier, de l'outil pratique de communication de gammes colorées à la palette de signifiés, Actes du colloque international ORC IARSIC-ESSACHESS, Communication du symbolique et symbolique de la communication dans les sociétés modernes et postmodernes, 8 - 9 novembre 2012, 69-87.
- VELOSO, I. 2002. Le discours esthétique dans les romans d'Emile Zola, *Cahiers de l'Association internationale des études françaises*, n°54, 417-434, doi : 10.3406/caief.2002.1474. [En ligne] et disponible sur [http://www.persee.fr/doc/caief_0571-5865_2002_num_54_1_1474], consulté le 10/09/2016.
- VENTURI, R., SCOTT BROWN, D. & IZENOUR, S. 2007. L'Enseignement de Las Vegas, traduction française de *Learning from Las Vegas* (1972), Wavre, Editions Mardaga.

VON GOETHE, J.W. 1995. *Traité des Couleurs*, 3e édition revue (6e tirage), Paris, Triades S.A. Textes originaux : 1790-1823).

VON MEISS, P. 2012. *De la forme au lieu + de la tectonique. Une introduction à l'étude de l'architecture*. 3ème édition entièrement revue et augmentée, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires.

WHITE, R., ENGELEN, G. & ULJEE, I. 2015. *Modeling cities and regions as complex systems – From theory to planning applications*, Cambridge, London, The MIT Presse.

WHORF, B.L. 1956. *Language, thought and reality: selected writings*, New York, Edited by J. Carroll, Free Press.

WOŁOSZYN, P. & SIRET, D. 1998. Du complexe au simplexe – Le modèle des objets ambients, *Les Cahiers de la Recherche Architecturale: ambiances architecturales et urbaines*, 42-43(3), 49-62.

WYSZECKI, G. & STILES, W.S. 2000. *Color Science: Concepts and methods, quantitative data and formulae (Second Edition)*, New York, J. Wiley and Sons.

YENDRIKHOVSKIJ, S.N. 2001. A Computational Model of Colour Categorization, *Color Research & Application*, Supplement Volume 26, S235-S238.

ZEVI, B. 2015. *Langage moderne de l'architecture*, nouvelle édition basée sur l'édition originale (1991), Paris, Editions Pocket Agora.

ZOLA, E. 1906. *Germinal*, Paris, Bibliothèque-Charpentier, Eugène Fasquelle, Editeur. Version numérique, collection A tous les vents, publiée par la Bibliothèque électronique du Québec. [En ligne] et disponible sur [<https://beq.ebooksgratuits.com/vents/zola-13.pdf>], consulté le 10/09/16.

Table des matières

<i>Abstract (fr)</i>	3
<i>Abstract (en)</i>	5
Chapitre 1	7
Introduction générale	7
1. <i>Contexte de la recherche : la couleur dans le champ de la morphologie urbaine</i>	8
2. <i>La « couleur urbaine » comme objet de recherche par l'établissement d'une métrique</i>	20
2.1. Hypothèses dans le cadre de la recherche	22
3. <i>Structure de la thèse</i>	28
Chapitre 2	30
Inventaire des outils existants dans l'évaluation de la couleur	30
1. <i>Introduction</i>	31
2. <i>Les nuanciers et palettes de couleurs</i>	35
2.1. Précisions terminologiques	36
2.2. La perception des couleurs dans le domaine subjectif	41
2.3. Applications des nuanciers et palettes de couleurs	47
3. <i>Les appareils de mesure chromatique</i>	70
3.1. Notions de base en colorimétrie	70
3.2. Description du colorimètre à filtres tri-stimuli	75
3.3. Applications des techniques spectrocolo-rimétriques dans la caractérisation chromatique	77
3.4. Avantages et inconvénients des appareils de mesure chromatique	83
4. <i>Les descriptions verbales</i>	85
4.1. Désigner la couleur par les mots	85
4.2. « Relativisme linguistique » vs « universalisme perceptuel »	88
4.3. Les limites du verbe dans la description de la couleur urbaine	91
5. <i>Les méthodes de caractérisation complémentaires</i>	93
5.1. Les prélèvements <i>in situ</i>	93
5.2. La photographie	94
5.3. Le dessin traditionnel et assisté par logiciel	98
6. <i>Conclusions</i>	104
Chapitre 3	108
Implémentation d'un protocole de caractérisation chromatique – application et validations	108
1. <i>Introduction</i>	109
1.1. Choix de l'approche dans la caractérisation	109
1.2. Choix et présentation de la zone d'investigation comprenant les fragments urbains analysés	111
2. <i>Protocole de caractérisation chromatique</i>	123
2.1. Spécification de la variable mesurée	123
2.2. Implémentation du protocole : standardisation des conditions d'éclairage, balance des blancs, mélange optique et espace chromatique TSL	125
2.3. Application du protocole pour la Rue des Anglais à Liège et validations de la méthode	132
2.4. Analyse des résultats pour les 18 fragments urbains	142
3. <i>Observations, critiques et perspectives de développement du protocole mis en œuvre</i>	153

Chapitre 4	157
Développement d'une typologie paramétrique et évaluation de la cohérence spatiale	157
1. <i>Introduction</i>	158
1.1. Tentatives de catégorisation via l'usage de tests statistiques	158
1.2. L'approche typologique appliquée à l'entièreté de la population	162
2. <i>Usage d'un algorithme de partitionnement en vue d'établir une typologie paramétrique de la couleur</i>	166
2.1. Définition et usage de l'algorithme K-means	166
2.2. Résultats et discussions	168
2.3. Résultats détaillés de l'exécution du K-means pour la rue des Anglais	172
3. <i>Evaluation de la cohérence spatiale</i>	174
3.1. Complexité des tissus urbains actuels et cohérence spatiale	174
3.2. Couleur et information	175
3.3. Application de l'entropie de Shannon	177
4. <i>Synthèse et discussions complémentaires</i>	179
Chapitre 5	180
Conclusions générales et perspectives de développement	180
Annexes	187
1. <i>Script « Bradford – couleur moyenne » (sous Matlab ®)</i>	187
2. <i>Script « K-means » (sous Matlab ®)</i>	193
Bibliographie	198
Table des matières	212