HAL
open science

Propositions pour une cartographie sonore, synesthésique et interactive

Saïdi Abdelbery, Olivier Bonin, Didier Josselin, Eitan Altman

To cite this version:

Saïdi Abdelbery, Olivier Bonin, Didier Josselin, Eitan Altman. Propositions pour une cartographie sonore, synesthésique et interactive. Spatial Analysis and GEOmatics (SAGEO 2014), Nov 2014, Grenoble, France. hal-01100499

HAL Id: hal-01100499

https://hal.science/hal-01100499v1

Submitted on 1 Dec 2016

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

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

Propositions pour une cartographie sonore, synesthésique et interactive

Saïdi Abdelbery[1], **Olivier Bonin**[3], **Didier Josselin**[1,2], **Eitan Altman**[1,4]

1. *Laboratoire d'Informatique d'Avignon, Université d'Avignon*
   abdelberysaidi@gmail.com
2. *UMR ESPACE 7300 CNRS, Université d'Avignon*
   didier.josselin@univ-avignon.fr
3. *IFSTTAR – LVMT UMR T 9403*
   olivier.bonin@ifsttar.fr
4. *INRIA Sophia-Antipolis*
   eitan.altman@inria.fr

ABSTRACT. *In this paper, we design a theoretical reflexion and an interactive exploration approach which joins maps and music to comprehend geographical space in a synesthesic way. Developed within Quantum GIS, the tool allows to extract spatial patterns of pixels on images and to sonorize space areas using soundscape signatures and musical compositions which suggest representations of real territories.*

RÉSUMÉ. *Nous proposons d'associer carte et musique pour une meilleure appréhension synesthésique de l'espace géographique et dessinons les contours théoriques de cette approche. Au sein du SIG Quantum GIS, l'outil cartographique interactif développé permet, en analysant la composition des couleurs sur des portions d'images, de sonifier la carte et de renvoyer des compositions d'ambiances sonores ou de discours musical qui suggèrent des représentations de différents espaces vécus.*

KEYWORDS: *sonorous cartography, image, relation between map and music, synesthesy, colors, interactivity, soundscape, composition*

MOTS-CLÉS : *cartographie sonore, image, relation carte et musique, synesthésie, couleurs, interactivité, paysage sonore, composition*

1. Positionnement

Depuis les travaux précurseurs de J. Bertin (Bertin, 1975) en sémiologie graphique, la cartographie a largement évolué (Escobar *et al.*, 2008) sur deux aspects en particulier : l'interactivité (Josselin, 2005) et l'accessibilité en ligne. On parle depuis quelques années de cartographie en mouvement (Mac Eachren, 1995), (Josselin *et al.*, 2003), c'est à dire animée, multimédia (notamment en ligne) ou interactive (Cartwright *et al.*, 2007). La cartographie peut être descriptive, dans le sens où elle sert à observer des phénomènes se déroulant dans le temps. Mais elle peut devenir rapidement exploratoire, voire se doter d'un pouvoir explicatif, par la capacité de ses outils à mettre en interaction différentes dimensions ou points de vue. À ce titre, l'analyse spatiale exploratoire (Andrienko, G., 2006) s'est largement développée et ouvre de vastes horizons scientifiques, technologiques et d'usage. En lien direct avec les cartes et la géographie, les graphiques et les indices statistiques constituent en effet autant de résumés des données, prises dans leur ensemble ou via des sélections appropriées. Ces méthodes d'analyse représentent de puissants outils d'investigation ou de fouille de données spatiales, sur des cartes comme sur des images.

Dans les outils de cartographie, le recours à la dimension visuelle des représentations statistiques reste prégnant. Cependant, d'autres voies complémentaires existent, tels que le son ou la musique. Par exemple, le mouvement du «soundscape» (paysage sonore) utilise les ambiances sonores pour donner du sens aux lieux et aux environnements (Schafer R., 1969). Un lien entre soundscape et SIG a par exemple été réalisé dans (Servigne, Laurini, 2000). D'autres auteurs proposent des cartographies des sons (Schiewe, Kornfeld, 2009). Dans ce cas, les «signatures sonores» marquent et caractérisent les lieux de façon explicite. Toutefois, elles ne sont pas utilisées pour mettre en évidence des discontinuités, des gradients ou des structures dans l'espace géographique observé. Pourtant, l'association des sens cognitifs, visuel et auditif notamment, ne peut qu'améliorer notre capacité à analyser les données géographiques, d'autant plus lorsqu'elles sont complexes.

La mise en perspective de la cartographie et de la musique renvoie de manière plus générale aux liens entre arts sonores et arts visuels. La musique, comme la peinture, obéit dans certains de ses éléments fondamentaux à des règles mathématiques, comme par exemple la relation entre la longueur d'une corde vibrante et le son émis, ou encore la position des couleurs sur le cercle chromatique. En outre, la perception des hauteurs des sons, comme celle des couleurs, est relativement bien partagée dans la population, bien qu'il existe naturellement des exceptions (qui correspondent souvent à des déficiences, comme le daltonisme). Les relations entre couleurs et notes sont donc anciennes : Newton (1675) introduisait déjà un système de correspondances, ouvrant la voie à des théories plus élaborées telle que celle de Castel, donnant naissance à un clavecin oculaire. Castel ouvra ainsi la voie à une série de réflexions et de

prises de position sur la synesthésie, qui est l'association neurologique de deux sens dans une même expérience.

La cartographie sonore interactive peut donc s'inscrire dans cette tradition de synesthésie (SYNAESTHESIA, 2006) : il s'agit de donner à voir et à entendre des phénomènes liés de manière cohérente, de manière analogue à ce qu'un personne douée de synesthésie ressentirait en étant soumis à l'exercice uniquement de l'un des deux sens en question. Notons que l'association entre les sens varie d'un individu à un autre, mais que cette association est généralement invariante au cours du temps. Pour une cartographie sonore, nous proposons donc de tenter d'établir une association d'un matériau cartographique et d'un matériau musical en établissant une correspondance au niveau approprié.

Il est possible d'établir des parallèles entre cartographie et musique à différents niveaux. Tout d'abord, une carte, tout comme une partition, est une représentation simplifiée et conventionnelle d'un certain nombre de phénomènes et destinée à être interprétée (dans tous les sens du terme). On établit donc un parallèle non pas entre les référents (c'est-à-dire la musique d'un côté, et la partie du monde représentée de l'autre côté), mais entre les signes. Ce type de représentation (Adhitya1, Kuuskankare, 2012) consiste à «sonifier» une carte et se situe directement dans la filiation des travaux de Newton ou de Castel. Il s'agit d'établir des règles de correspondance entre des éléments caractéristiques de la cartographie (par exemple la couleur des figurés) et des éléments constitutifs d'un élément musical (par exemple des notes, des durées, des accords).

Notons par ailleurs que l'utilisation de représentations spatiales et de calculs spatiaux pour les structures musicales est un domaine en plein essor (Bresson *et al.*, 2008). Se poser la question de la traduction d'une carte en partition revient à tenter d'utiliser une structure spatiale extraite d'une carte comme un ensemble de contraintes musicales (harmoniques, mélodiques, rythmiques). On est alors dans une démarche d'aide à la composition musicale.

Nous présentons dans cet article un prototype qui explore des pistes de cartographie sonore interactive, en exploitant la carte (présentement une image) pour en déduire des caractéristiques du système naturel qu'elle représente (un espace urbain, un paysage de forêt en bordure d'un fleuve, etc.) et en établissant des correspondances entre ces éléments du système naturel et des matériaux sonores. Une première version de ce prototype permet la sonification de cartes en associant à des contextes cartographiques des enregistrements sonores typiques des milieux que la carte décrit, dans la tradition du soundscape. La deuxième version utilise un matériau original composé pour l'occasion par les auteurs de cet article, cherchant à établir des correspondances synesthésiques, plus qu'une réelle illustration sonore évoquant une représentatioin explicite de l'espace.

Au-delà de l'objectif de production de cartographies sonores interactives, cette recherche a pour objectif d'enrichir le domaine de l'analyse spatiale par des

techniques issues de l'analyse musicale, dans un contexte où les représentations musicales mobilisent de plus en plus les représentations et les calculs spatiaux, et mettent en oeuvre des techniques mathématiques de pointe.

2. Objectifs

Le travail présenté dans cet article est développé dans le cadre du projet de recherche Cartomuse regroupant des chercheurs en informatique et en géographie qui partagent une passion commune pour la musique. Cartomuse vise à incorporer certaines dimensions sonores et musicales à l'analyse spatiale des données géographique, en évaluant l'apport de la musique à la carte et réciproquement.

L'analyse des structures géographiques et la cartographie numérique appartiennent au domaine de l'analyse spatiale, à la frontière de la géographie quantitative et de l'informatique. Si l'analyse spatiale est en lien avec des domaines techniques des mathématiques, comme la géométrie algorithmique ou encore les calculs qualitatifs, elle ne possède pas la proximité historique qui a pu se développer entre analyse musicale et mathématiques. En effet, l'analyse des structures musicales, et plus généralement des représentations musicales, est un domaine très ancien, mobilisant depuis longtemps des techniques mathématiques très variées, de la théorie des groupes aux mathématiques discrètes, en passant par le calcul des probabilités. L'analyse musicale fait appel également depuis fort longtemps à des structures spatiales (Bigo *et al.*, 2013), depuis Leonard Euler et son Tonnezt jusqu'à l'utilisation des treillis de Galois.

Etablir des ponts entre cartographie et musique nous donne également l'occasion d'établir des passerelles entre analyse spatiale et analyse musicale, *i.e* :

– évaluer en quoi et de quelle façon le son et les éléments du vocabulaire musical peuvent apporter une amélioration des méthodes d'analyse spatiale ;

– rechercher, dans la théorie de la musique, ce qui est mobilisable pour représenter des portions typiques et structurées (patterns) d'espaces géographiques ;

– appréhender l'aspect numérique et mathématique de la musique pour tenter de poser les bases d'une sémiologie sonore signifiante (pour une culture musicale donnée) ;

– réfléchir aux méthodologies informatiques permettant le dépôt ou l'exploration des cartes et images géographiques en ligne par les utilisateurs ;

– évaluer en quoi le support de la carte géographique peut constituer un vecteur d'aide à la création d'œuvres musicales.

À terme, le projet ambitionne de créer une véritable sémiologie sonore, basée sur la théorie de la musique dans ses différentes dimensions culturelles.

Dans cet article, nous présentons le développement d'un outil d'interaction entre l'image et la musique, correspondant au cas précédemment évoqué d'une mise en correspondance entre matériau visuel cartographique et un matériau sonore, voire musical. En effet, il s'agit à terme de mettre en correspondance le discours musical et l'exploration de cartes, de manière à pouvoir créer de nouveaux discours, musicaux ou cartographiques, dans une approche de synesthésie.

L'application nécessite dans tous les cas que l'on soit capable de quantifier, sous forme de vecteurs, des éléments caractéristiques de la carte ou de l'image, et des éléments caractéristiques d'un son. Nous commençons donc par présenter les différents vecteurs de description que nous utilisons, avant de présenter plus en détails notre prototype.

3. Différentes dimensions reliant la carte et la musique

3.1. Quelques caractères issus de la musique...

Les caractères utilisables du domaine musical sont nombreux. Concernant les partitions, nous nous limitons à l'utilisation du solfège, dans le cadre d'une pulsation rythmique. Ainsi, nous disposons d'une correspondance directe entre le temps de l'exploration dynamique dans la carte et le temps musical, et la notation du solfège qui repose sur un nombre très restreint de primitives pour décrire ce qui doit être exécuté par le musicien. On peut spécifier le tempo, qui donne le rythme plus ou moins élevé de la pulsation, la mesure, qui combine les pulsations en éléments cohérents, la hauteur des notes, le pas des symboles sur des portées, la durée de ces notes par rapport à la pulsation, par des notations conventionnelles (noires, blanches, croches, etc.), ainsi que des notes fictives non jouées (les silences). Ces éléments, du fait de l'approche temporelle qui les ordonne strictement dans le temps, se prêtent à une représentation informatique simple. La norme MIDI est ainsi un exemple de telle représentation numérique d'une partition encore extrêmement utilisée de nos jours.

Naturellement, la musique est une interprétation de cette partition (ou d'une «partition intérieure» dans le cadre d'une improvisation) : elle ne saurait se réduire à la stricte exécution d'un ensemble de sons en fonction d'un code prédéfini. Les notations de nuances, c'est-à-dire de variation d'intensité du son, donnent lieu à de très subtiles et continues variations de cette intensité tout au long d'une interprétation. De même que le timbre d'un instrument, lui aussi très complexe, ne cesse de varier au cours du temps. La description d'un son peut passer par une analyse de certaines de ses caractéristiques, comme la hauteur (qui est celle de l'harmonique principale du signal), l'intensité et l'analyse chromatique d'un son (en projetant le spectre sur les 12 demi-tons de la gamme chromatique), ou encore les coefficients dits MFCCs (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) qui sont une cepstrale (transformée de Fourier inverse du logarithme du spectre du signal), soit un spectre de spectre. Nous mobilisons

certaines de ces grandeurs dans notre application qui porte directement sur un matériau musical.

Enfin, les composants harmoniques (accords, gammes, tonalités, modes), et plus généralement le langage musical d'un compositeur, constituent des éléments clés pour la musicalité d'un morceau. Ces composants ne sont pas nécessairement instantanés, mais ont une durée et permettent de mobiliser aussi bien le passé que le futur du discours musical.

Le domaine des représentations musicales porte donc autant sur la modélisation informatique des signes conventionnels (les éléments de la partition), que sur la modélisation informatique du signal sonore qui est une réalisation possible de la partition à travers une exécution, une interprétation. Le domaine cartographique et l'analyse spatiale relèvent de logiques similaires.

3.2. ... mobilisables pour l'appréhension des représentations cartographiques

La carte, comme la partition, est un ensemble de signes conventionnels spécifiés par la légende, qui constitue en quelque sorte le solfège de la carte. Cependant, à la différence de la partition, ces éléments ne sont pas agencés tels quels sur un axe temporel, mais le cartographe leur donne une extension spatiale en les composant et en les déformant dans le plan. Pour des éléments ponctuels, comme des poncifs figurant un clocher par exemple, le seul degré de liberté est la position dans le plan, qui doit refléter, via les opérations de projection cartographique, la position du référent à la surface de la Terre. Mais ces poncifs peuvent également être dilatés (des cercles proportionnels à un phénomène par exemple), étendus dans une de leurs dimensions (pour figurer le tracé d'une route, dont la largeur du symbole reste constante) ou dans leurs deux dimensions (pour figurer le tracé d'une surface). Il est donc difficile d'imaginer une correspondance informatique directe entre ces figurés et une représentation symbolique comme l'exemple de la norme MIDI pour les partitions.

En revanche, la carte peut être considérée comme un objet graphique, de même qu'un tableau. On peut alors décrire différents éléments de cette composition, comme les couleurs, les contrastes colorés, les proportions des objets, les formes, les voisinages, etc. C'est le domaine de l'analyse spatiale, qui tente également d'introduire des contraintes issues de la connaissance qu'on a du référent qui est cartographié.

Nous proposons une correspondance assez naturelle entre les facteurs de l'analyse musicale et de l'analyse spatiale en procédant par analogie. D'une part, les composants sonores peuvent permettre la description des observations spatiales (type, nombre, densité). D'autre part, le temps qui s'écoule le long de la partition peut correspondre à l'observation d'un phénomène évoluant dans

l'espace ou à une séquence d'analyse spatiale exploratoire, dynamique (cartographie interactive) ou revisitée (cartographie animée). À ces deux dimensions s'ajoute la richesse de l'harmonie, assurant une description des éléments dans leur environnement. Un accord peut être, d'une certaine façon, considéré comme un pattern spatial, une composition organisée d'objets (géographiques, sonores, instrumentaux). Cet accord peut être dissonant ou bien renvoyer à une représentation particulière de l'espace, voire une émotion (accord majeur *vs* mineur). C'est également à ce niveau que l'organisation des éléments dans l'espace peut être prise en compte. Enfin, les composants libres de la musique correspondent à des cheminements possibles (festif ou flâneur) de l'explorateur dans l'espace géographique.

Dans cet article, nous nous focalisons sur l'interaction entre carte et musique, du point de vue de la composition des éléments observés sur la carte, en l'occurrence des pixels d'une image.

4. Interaction entre carte et sons

Nous proposons le développement d'un plugin directement intégré à un système d'information libre (Quantum GIS) et ainsi largement diffusable à terme :

4.1. Environnement QGIS

QGIS est un système d'information géographique OpenSource qui permet de représenter les données de type raster ou vecteur avec une interface graphique. Il est extensible en langage python (bien qu'il soit développé en C++). L'application Cartomuse est un greffon QGIS développé en python qui dote le SIG de capacités de sonification d'images au format raster.

Pour la sonification de cartes numérisées (images raster), on traduit une partie de l'information spatiale en son «ambiant» ou en «discours musical», en utilisant différents API de Python. Le diagramme de la Figure 1 décompose notre plugin QGIS en sous-modules et bibliothèques complémentaires :

– PyQt : module qui fait appel à la célébre bibliothèque Qt, édité par Nokia pour les GUI (Graphical User Interface) en langage Python ;

– Matplolib : module de visualistion des données qui utilise la syntaxe de Matlab ;

– PyDub : module de traitement de son qui permet en autre de fusionner des pistes ;

– OpenCV : bibliothéque de traitement et d'affichage des images ;

– K-d Tree : module qui facilite la création des arbres en K-dimensions.

L'utilisation de chaque module est illustrée dans le paragraphe suivant.

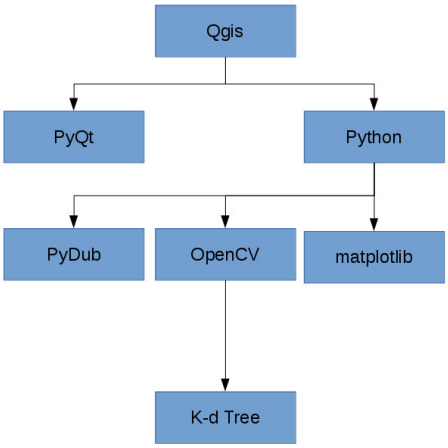

Figure 1. Modules de Python utilisés

4.2. Processus de sonification des rasters

Quand on parle de (groupes de) pixels, il nous vient automatiquement à l'esprit la dualité des couleurs et de leurs positions relatives. La question qui se pose alors est : comment peut-on exploiter ces données afin de fournir une information sonore qui est conforme à cette fréquence des couleurs et qui apporte une autre dimension, d'ordre sonore ou musical ? Les travaux déjà réalisés sur ce sujet se fondent surtout sur la préservation de l'information contenue dans la matrice, qui correspond à une fenêtre mobile se promenant sur l'image, au gré de l'utilisateur (Josselin, 2011). Cette matrice est en une seule dimension si les pixels sont colorés par une palette en dégradé de gris, en trois dimensions pour la couleur (soit 65536 couleurs, voire plus, si on utilise plus de 16 bits d'information).

En fait, parmi les techniques de sonification réussie mathématiquement parlant, on trouve l'approche bijective entre les espaces de l'image et du son(Adhitya1, Kuuskankare, 2012). Ce lien est établi par la correspondance entre les valeurs des couleurs qui varient entre 0 et 255 pour les images 8 bits (ou entre 0 et 65535 pour les images 16 bits), et l'intervalle [-1 1]. On procède ensuite à une interpolation pour reconstruire une onde aux caractéristiques suivantes (cf. Figure 2) : l'amplitude du signal est caractérisée par l'image de la couleur RVB dans l'intervalle [-1 1] et sa fréquence est axée sur le vitesse d'extraction des pixels ainsi que le sens de lecture. Ces approches se concentrent sur la

préservation des données pour établir une dualité sans prendre compte la qualité du rendu d'un point de vue cognitif et auditif, encore moins musical. On peut ainsi aboutir à des fortes dissonnances.

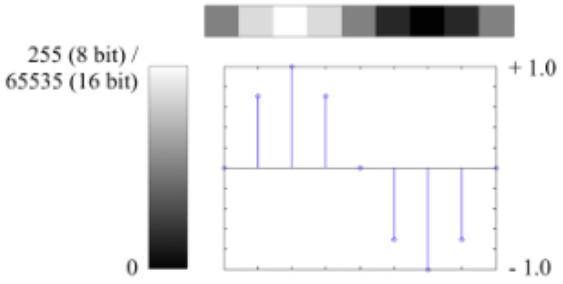

Figure 2. Tanscripteur de l'image vers le son

Notre approche est sensiblement différente. Elle applique une perte de données par un passage surjectif du tridimensionnel (couleurs du pixel) au monodimensionnel (le son). Un retour est ainsi impossible sans perte d'information. L'objectif est de rester proche des capacités perceptives de l'auditeur (en quelque sorte «user-friendly»), en produisant des son et des compositions sonores audibles, représentatives ou suggestives d'un environnement particulier.

5. Proposition et premiers résultats

5.1. Traitement des couleurs

5.1.1. De QGIS vers OpenCV

QGIS traite les images rasters sous formes de 3 blocs mémoire, un bloc pour chaque couleur du modèle BVR. Pour pouvoir traiter ces données, il faut reconstruire l'information en un seul bloc et écrire chaque pixel en triplet RVB.

Pour approximer les couleurs perçues par l'utilisateur, il est ainsi nécessaire de passer du modèle RVB en un modèle Luminance/Chrominance ou la distance entre des couleurs voisines est minimale. Parmi les modèles existants, nous avons choisi le modèle CIE L^*a^*b, où le L représente la clarté, le a la position sur un axe allant du rouge au vert et le b la position sur un axe allant du jaune au bleu.

5.1.2. Algorithme de calcul de la couleur la plus proche

Notons tout d'abord que le choix d'une carte numérisée à la colorimétrie contrôlée permet d'avoir une variation limitée des applats de couleur sur l'ensemble

de la carte. Il est néanmoins nécessaire de calculer des classes de couleurs identiques, dont les variations de valeurs ne sont pas significatives. Par souci de simplicité, on a choisi d'utiliser un arbre *kd* plutôt que des distances euclidiennes. L'utilisation de cet arbre permet de rechercher rapidement le voisin le plus proche de la couleur Lab d'un pixel, ce qui est utile dans notre application qui vise la plus grande interactivité possible. Ainsi, on reconstruit l'image extraite non plus avec les pixels d'origine, mais seulement avec une palette simplifiée de couleurs de notre choix.

5.2. Traitement des sons

Nous proposons de sonifier la carte de deux façons différentes : par les ambiances sonores et par des discours musicaux créés à façon.

5.2.1. Ambiances de paysages sonores

La première approche consiste à générer des sons évocateurs qui se comprennent sans légende sonore. On associe ainsi des sons représentatifs des couleurs de la carte, c'est à dire des ambiances sonores. Ces sons proviennent d'échantillons issus de bibliothèques publiques de sons, pré-enregistrés dans des lieux typiques des paysages qu'on cherche à illustrer.

Via le module PyDub, cette étape consiste en la réalisation d'un «color matching», qui associe des couleurs aux ambiances sonores (extraits musicaux) comme suit, en lien direct avec la carte à explorer (cf. Figure 3) :

– la couleur verte est associée à la couleur des arbres, du gazon, des forêts ; ce qu'on pense écouter en voyant un arbre c'est le son du vent qui souffle sur ses branches et/ou le son de quelques oiseaux ;

– la couleur bleue est liée à la couleur de la mer, de la rivière et plus généralement de l'eau ; on associe à cette couleur le son qu'un individu peut écouter lorsqu'on entend de l'eau couler ;

– le gris/noir dénote des sons urbains, des bâtiments, de voitures et des maisons et de jardins d'enfants ;

– le orange suggère des sons de voitures en pleine rue.

5.2.2. Discours musical

La seconde approche consiste à s'appuyer sur un discours musical évoquant, mais ne cherchant pas à traduire strictement les paysages associés aux couleurs. Dans cette proposition, le bleu de l'eau est associé à une harpe jouant en arpèges, le vert à un chant de flûte accompagné au piano, le gris/noir de l'urbain à un mélange entre des accords pulsés à la guitare et une mélodie de grande ambitus avec des intervalles variés. Ces échantillons sonores ont été créés par les auteurs de cet article à l'occasion de sa soumission. Le mélange des enregistrements se fait sur le même principe que celui des échantillons sonores.

Figure 3. Carte à explorer avec notre méthode de sonification

5.2.3. Méthode de composition des sons

Le facteur variable en jeu est le volume de chacune des couleurs. Ainsi, la piste finale comporte toutes les pistes de référence, mais le volume de chacune est determiné par la présence de la couleur associée dans l'image extraite : plus elle est visuellement importante, plus on l'entendra dans la composition sonore.

Etant donné que PyDub régule le volume des piste en dB, il faut calculer ce gain par rapport à une référence qui est la plus grande couleur en nombre de pixels. De ce fait, on applique la formule suivante:

$$Gain(c) = 20 * Log(d/Dmax) \tag{1}$$

avec c représentant la piste d'une couleur de la palette de référence,
d le nombre de pixel de cette couleur,
$Dmax$ le plus grand nombre de pixels appartenant à une même couleur.

Cette méthode s'applique de la même façon pour les paysages sonores, comme pour les discours musicaux.

5.3. Trois exemples de scènes sonores

Pour tester notre approche, nous avons exploré l'image de la Figure 4 pour en extraire des fenêtres de 100×100 pixels et les sonifier. Il est possible d'écouter l'ambiance sonore sur :

http://belgrand-gebd.ifsttar.fr/fileadmin/Cartomuse/00.mp3

et le discours musical correspondant sur :

http://belgrand-gebd.ifsttar.fr/fileadmin/Cartomuse/OB00.mp3.

Ce premier extrait est pris dans une région dominée par un fleuve avec un peu de vedure. Le résultat correspondant est dominé par un son d'écoulement d'eau (bleu) mais on peut quand même discerner un léger bruit urbain (noir), et du vent qui souffle et des oiseaux qui chantent (vert). L'extrait musical fait entendre principalement les arpèges de harpe, qui dominent en arrière plan la mélodie de flûte associée au vert.

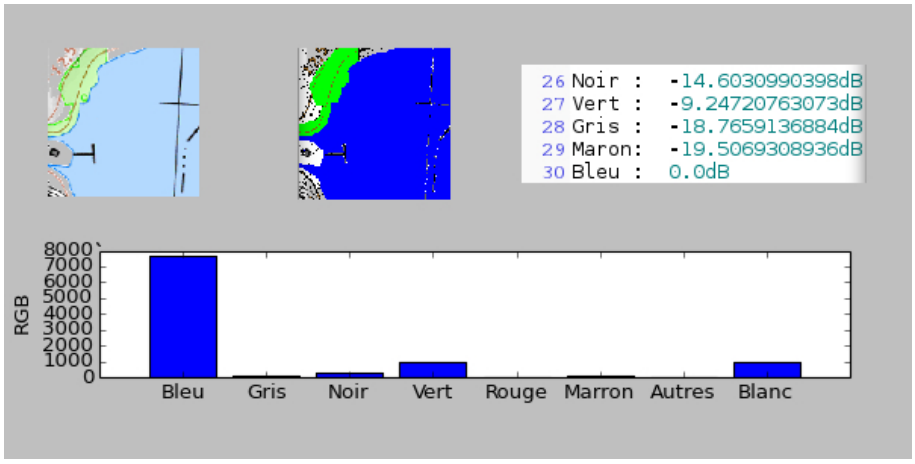

Figure 4. Une scène aquatique de l'image ; en haut à gauche, on voit l'extrait de l'image (100 par 100 pixels) ; au centre la réduction de la palette de couleurs ; à droite le volume en db de chaque couleur en lien avec la fréquence des pixels observés ; en bas, se trouve l'hiostogramme des couleurs de la palette simplifiée, où le bleu (l'eau) est dominant.

Le deuxième extrait est pris en plein milieu d'un rond point au centre ville (cf. Figure 5) et le son généré est dominé par les cris d'enfant (gris) et des bruits de voiture (noir et marron). Les sons résultants peuvent être écoutés respectivement sur :

http://belgrand-gebd.ifsttar.fr/fileadmin/Cartomuse/01.mp3

et

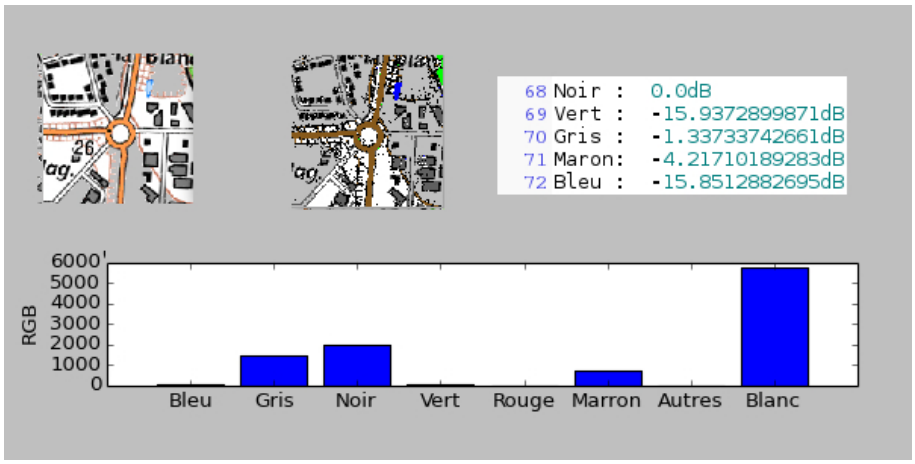

Figure 5. Une scène de carrefour routier urbain

http://belgrand-gebd.ifsttar.fr/fileadmin/Cartomuse/OB01.mp3.

On entend une suite d'accords rythmiques à la guitare et une mélodie aux intervalles variés que nous avons associés à un environnement urbain dense, où l'on imagine une vie plutôt trépidante.

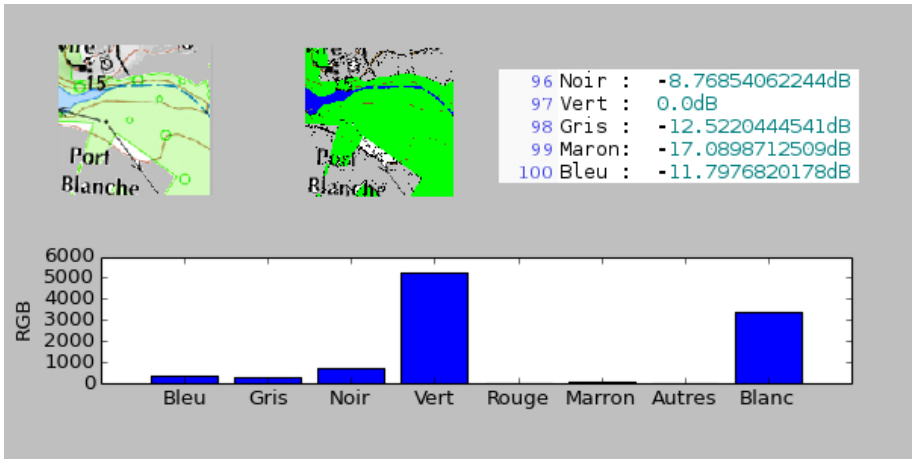

Figure 6. Une scène de verdure

Le dernier extrait est pris dans un milieu de verdure avec un peu d'eau (cf. Figure 6). On peut l'entendre sur :

http://belgrand-gebd.ifsttar.fr/fileadmin/Cartomuse/02.mp3

et

http://belgrand-gebd.ifsttar.fr/fileadmin/Cartomuse/OB02.mp3

Dans ce milieu, la mélodie de flûte accompagnée au piano prend nettement le pas sur les mélodies et rythmes urbains. On entend la harpe dans les moments de silence.

6. Conclusion

Les travaux que nous avons entrepris sur la relation entre la carte et la musique dans le cadre du projet Cartomuse nous ont amenés, tout d'abord, à développer un prototype de cartographie sonore que nous exposons dans cet article. Cet outil est directement intégré à un SIG sous forme de greffon. Il permet d'explorer des fenêtres dans des images et de traduire la composition des couleurs dominantes en une composition sonore. La fréquence mesurée des classes de couleurs donne le volume respectif de chaque ambiance sonore dans la composition. Cette méthode est appliquée à deux types de compositions, à partir de sons pré-enregistrés et de séquences musicales créées par les auteurs de l'article.

Au-delà de ces premiers résultats prometteurs, nous envisageons de développer l'approche dans plusieurs directions parallèles. D'une part, l'utilisabilité d'un tel outil des points de vue perceptif et cognitif, reste à vérifier. La composition entendue renvoie-t-elle la bonne image de la portion d'espace explorée ? A ce titre, nous préparons un questionnaire auprès d'un échantillon d'utilisateurs pour valider cette fonctionnalité. D'autre part, en fonction des profils, des histoires et des cultures de chacun(e)s, le solfège cartographique peut varier. Non seulement, on peut jouer sur ce qu'on entend dire par les couleurs, mais aussi, on peut interférer pour donner à façon la dimension sonore à quelques élements de la carte en question. L'idée de cet apprentissage ouvre l'horizon du «machine learning» ou «deep learning», qui permettra, à terme, d'adapter la fonction de correspondance entre son et image selon l'utilisateur. Enfin, en l'état actuel de nos travaux, la synesthésie reste quelque peu incomplète, car appréhendée préférentiellement dans une seule direction : de la carte vers la musique. Les relations inverse et réciproque sont potentiellement riches d'avancées scientifiques et culturelles : enrichissement de la sémiologie des cartes, nouveaux espaces de création et d'improvisation musicales par la géovisualisation, modes de représentation d'espaces ou de construction de cartes mentales pour les personnes mal-voyantes, par exemple.

7. Remerciements

Nous remercions la SFR Agor@ntic de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse d'avoir financé le stage de fin d'étude de Master en ingéniérie informatique de Abdelbery Saïdi, ainsi que le CNRS et le GDR Magis pour son soutien dans l'organisation du séminaire Cartomuse, ayant eu lieu à Avignon, le 28 janvier 2014.

References

Adhitya1 S., Kuuskankare M. (2012). Sum: from image-based sonification to computeraided composition. In *Cmmr, london.*

Andrienko N., G. A. (2006). *Exploratory analysis of spatial and temporal data: A systematic approach.* Springer Verlag.

Bertin J. (1975). *La graphique et le traitement graphique de l'information.* Flammarion, Paris.

Bigo L., Andreatta M., Giavitto J.-L., Michel O., Spicher A. (2013, January). Computation and visualization of musical structures in chord-based simplicial complexes. In J. Yust, J. Wild, J. A. Burgoyne (Eds.), *Mathematics and computation in music*, pp. 38–51. Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-39357-0_3

Bresson J., Agon C., Assayag G. (2008). *The om composer's book 2.* Editions Delatour/IRCAM.

Cartwright W., Peterson M., Gartner G., (Eds). (2007). *Multimedia cartography.* Springer Verlag.

Escobar F., Cauvin C., Serradj A. (2008). *Des voies nouvelles à explorer. les révolutions technologiques et leurs conséquences conceptuelles et pratiques). volume 5.* Hermès-Lavoisier, Traité IGAT Série Aspects fondamentaux de l'analyse spatiale.

Josselin D. (2005). Interactive geographical information system using lispstat : prototypes and applications. *Journal of Statistical Software*, Vol. 13(6).

Josselin D. (2011). Spatial analysis using sonorous cartography. some propositions,. In *Proceedings of icc'2011, paris, 3-8 july 2011.*

Josselin D., Fabrikant S., (eds). (2003). *Cartographie animée et interactive* (R. I. de Géomatique, Ed.). Hermès, Lavoisier, Paris.

Mac Eachren A. (1995). *How maps work: Representation, visualization, and design.* Guilford Press, NY.

Schafer R. M. (1969). *The new soundscape.* Don Mills, Toronto.

Schiewe J., Kornfeld A.-L. (2009). Framework and potential implementations of urban sound cartography. In *12th agile international conference on geographic information science 2009.*

Servigne K. M.-A., S AND, Laurini R. (2000). Gis for urban soundscape : from static maps to animated cartography. In *Proceedings of second international conference on decision making in urban and civil engineering, november 20-22, 2000, lyon, france.*

SYNAESTHESIA S. (2006). Jamie ward, brett huckstep and elias tsakanikos (department of psychology, university college london, london, UK). *Cognitive neuroscience perspective on synaesthesia*, Vol. 42, pp. 264–280.