



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement

Projet de Fin d'Etudes

CARTOGRAPHIE EFFICACE DES AMBIANCES SONORES URBAINES :

Évaluation des prototypes cartographiques par suivi oculaire (eye-tracking)



NAULLEAU Vianney

2015-2016

Directeur de recherche
SERRHINI Kamal

Cartographie efficace des ambiances sonores urbaines

Évaluation des prototypes cartographiques par suivi oculaire (eye-tracking) - Projet de Fin d'Études

Vianney NAULLEAU,

Département Aménagement et Environnement, École Polytechnique de l'Université de Tours

35 Allée Ferdinand Lesseps, 37200 Tours, France

vianney.naulleau@etu.univ-tours.fr

Directeur de recherche : Kamal Serrhini

Année 2015-2016

RESUME. Les cartes de bruit, outils de communication articulés entre techniciens et décideurs, permettent d'identifier les espaces soumis à des niveaux d'exposition sonore trop élevés afin de prévenir les risques relatifs aux bruits. Cependant, ces cartes n'effectuent pas la modélisation de l'environnement sonore et de sa perception par les populations. L'évaluation de l'efficacité de nouvelles cartes d'ambiances sonores en milieu urbain, étayée par l'émergence de la notion d'agrément sonore, s'appuie dès lors sur la participation de volontaires à l'amélioration des prototypes cartographiques. La technologie de suivi oculaire (eye-tracking) utilisée dans le cadre de cette recherche amorce un processus de réflexion à la fois pour le perfectionnement des cartes d'agrément sonore mais également pour une plus grande utilisation de cette technologie dans le milieu de la recherche en permettant de rapprocher des disciplines telle que la géomatique avec la psychologie humaine, afin d'optimiser les systèmes existants.

MOTS-CLES : agrément sonore, bruit, efficacité cartographique, eye-tracking, maîtrise d'usage, perception, suivi oculaire, stratégie visuelle.

INTRODUCTION

L'approche cartographique des ambiances sonores urbaines s'est jusqu'à lors concentrée autour de la problématique du bruit, dont l'étude se justifie à la fois par le besoin d'identifier et d'estimer la principale nuisance ressentie en ville par les populations (Martin-Houssart, 2002 ; Lambert 2007) mais également pour être un outil de décision et de planification relatif à l'amélioration de la qualité de vie urbaine par la réduction de situations d'exposition sonore excessives. Les cartes de bruit présentent des enjeux notables tant sur les plans sociaux, politiques et environnementaux et renvoie à la représentation de toute forme de son pouvant provoquer une gêne chez l'individu, au risque de nuire à son état de santé. Au cours du processus de recherche¹, une notion a été introduite pour enrichir et faire évoluer la terminologie employée pour décrire un son : l'agrément sonore.

L'agrément sonore et sa modélisation s'appuient sur plusieurs types de variables qu'elles soient de nature perceptive, ou établies par des mesures acoustiques, ce qui permet de développer une information plus proche du ressenti des usagers, les cartes de bruit actuelles restant des éléments relativement abstraits pour les populations dans la mesure où elles traduisent le niveau d'exposition au bruit exprimé par l'indicateur de bruit cumulé Lden². L'évolution de la cartographie sonore vers des fins d'estimation et de représentation de la qualité sonore d'un environnement urbain autour de la notion d'agréabilité indique une volonté de renforcer la dimension communicationnelle de ce type d'élément,

Au même titre que la mesure de la qualité de vie, la qualité sonore nécessite d'intégrer le fait que la donnée est une information qui se veut générale, et que l'on peut tout à fait remettre en question dans le sens où la perception d'un objet, et notamment d'un son, peut s'avérer drastiquement différente d'un individu à l'autre, un même son pouvant être à la fois considéré comme : « suffisamment étouffé pour pouvoir dormir » mais « trop fort pour avoir une discussion » (Guastavino, 2007:61). En ce sens, l'intégration de participants intervenant dans les processus de conception et de réalisation de cartes d'agrément sonore met en balance le rapport entre la préférence subjective et le rendement objectif de la carte de bruit (Mendonça et al., 2014) appuyant ainsi l'envie de se rapprocher au plus près du ressenti des populations sur le sujet.

L'article porte sur l'évaluation de prototypes cartographiques modélisant l'agrément sonore à travers une approche de suivi oculaire (eye-tracking). Si la cartographie du bruit s'avère à l'heure actuelle un champ de recherche très réduit et

¹ Le contenu de cet article s'inscrit dans un contexte de prolongement de la recherche et des travaux menés dans le cadre du contrat de recherche Cart-ASUR ayant pour intitulé de l'objet : « Représentations cartographiques de la qualité des ambiances sonores urbaines : Acceptabilité des cartes », cf Annexe 1. Contexte de rédaction de l'article.

² Cet indice Lden, issu des décrets rattachés à loi Bruit de 2002, est établi comme le niveau énergétique moyen sur la période de 24 heures, divisées en 3 sous-périodes pour lesquelles sont appliquées des « pénalités » (5 dB(A) pour la soirée, 10 dB(A) pour la nuit).

davantage positionné sur les dangers et les risques relatifs à une exposition sonore, l'évaluation de l'efficacité cartographique par un dispositif de suivi oculaire est également une démarche peu répandue et son apport au sein de l'évaluation des cartes de bruit et d'ambiances soutient le développement et l'initiation d'une réflexion autour des stratégies de perception cartographique. Comprendre la manière dont nous voyons la carte de bruit ou, dans une moindre mesure, observer les orientations générales des stratégies oculaires déployées, si celles-ci sont identifiables, permet de renforcer les divers systèmes paramétriques composant les modèles en incorporant une nouvelle composante jusqu'alors peut exploiter : la stratégie cognitive du destinataire.

Nous nous attacherons en premier lieu à effectuer un état de l'art de l'apport scientifique tant sur la question du bruit et de sa représentation cartographique que dans la perception sonore, afin d'étayer l'intérêt d'instaurer la prise en compte des destinataires dans la réalisation des cartes d'agrément sonore. Nous expliciterons également l'émergence récente du procédé eye-tracking, utilisé au cours de la recherche, et notamment son implication dans le processus d'aspiration à une meilleure efficacité cartographique. Appuyé par une présentation des principes et méthodologies se référant au dispositif de suivi oculaire, le propos détaillera le protocole opératoire et la structuration de l'enquête menée, avant de s'attacher à développer une réflexion autour des résultats et des discussions émergeant de celle-ci. Il est à noter que les annexes de l'article comportent de multiples figures présentant notamment supports et contenus analytiques illustrés de l'enquête.

I. ÉTAT DE L'ART

Les connaissances scientifiques évoquées au sein de l'amorce de cet article s'établissent autour de l'émergence des préoccupations relatives au bruit et à l'évolution de sa modélisation cartographique, de la perception sonore et de l'introduction d'un système participatif dès la conception de nouveaux prototypes, ainsi que les raisons de développer une enquête soutenue par un processus de suivi oculaire (eye-tracking).

1. Faire évoluer la cartographie du bruit, une évidence contemporaine

Le bruit est une gêne associée en premier lieu au secteur des transports (circulation automobile, ferroviaire ou aérienne). Il ne s'agit pas d'un phénomène nouveau, et l'on retrouve l'existence d'une culture d'appartenance, soumise aussi à notre rapport à l'environnement puisque un consensus existe pour s'accorder à dire que certaines sonorités sont indésirables (Rozec et Ritter, 2003). En ce sens, il faut évoquer les nombreux progrès acoustiques réalisés au sein des environnements urbains que ce soit au niveau des sources émettrices de nuisances sonores ainsi qu'aux structures réceptrices. Ces progrès ne sont que peu mis en avant, car l'augmentation significative du nombre d'activités et des déplacements multiplient les sources potentielles de nuisances sonores et donc de gênes.

La loi Bruit du 31 décembre 1992, principal outil législatif relatif à la maîtrise des nuisances sonores est issue de la volonté de rassembler tous les articles dispersés de la législation à ce sujet dans un même texte et de renforcer le cadre juridique. Cette loi intègre prévention, réduction et limitation de l'émission et de la propagation de bruits pouvant affecter la santé des individus. Par la suite, la «Nouvelle Réglementation Acoustique - NRA », arrêté du 30 juin 1999, relative à l'isolation acoustique des bâtiments d'habitation, la Directive européenne 2002/49/CE du 25 juin 2002, s'attachant à instaurer la cartographie du bruit comme outil de prévention et de décision à des fins de limiter et réduire la gêne due à l'exposition à des niveaux sonores excessifs, mais aussi la circulaire du 7 juin 2007 fixant des instructions pour la réalisation de plans de prévention du bruit dans l'environnement à travers la cartographie du bruit, affichent une évolution réelle en faveur d'une réglementation de la cartographie du bruit et d'une plus grande communication auprès des populations.

Il faut néanmoins relativiser l'impact de la législation sur les nuisances sonores et ses difficultés d'application appuyées par divers phénomènes comme la sensibilisation effectuée par les médias sur la question du bruit accentuant un retrait de la tolérance (Hugel, 2000), ou encore les problématiques liées à la communication, le civisme ou le stress. Il existe une réelle préoccupation des effets du son sur l'environnement, « le bruit dans l'environnement étant considéré comme l'un des principaux problèmes d'environnement qui se posent en Europe » (Directive 2002/49/CE le 25 juin 2002). La description et le lexique utilisés par chaque organisme impliqué ou intéressé par les travaux menés sur l'approche du phénomène sonore et de sa propagation pour qualifier les attributs sonores diffèrent en fonction des domaines, du type d'observation et l'on se retrouve alors avec une multiplicité de termes se rapportant à la qualification de l'environnement sonore sans pour autant disposer d'une base de travail commune (Kornfel et al., 2011). La problématique réside donc de brasser un éventail aussi large que le nombre de disciplines qui s'y intéresse tout en étayant un lexique, une représentation, une sémiologie qui sied à chaque expert, planificateur, mais aussi aux publics à qui sont destinés ces représentations cartographiques, l'article 6 III de l'arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit précisant que « les représentations graphiques doivent être claires, compréhensibles et accessibles par le public ».

La cartographie du bruit est donc un domaine particulier qui s'inscrit également depuis 1995 dans le processus de démocratisation des cartes et de leur utilisation massive dans tous les domaines, cette accessibilité s'accroissant chaque jour par les progrès et innovations issus des nouvelles technologies. La carte s'avère être un outil puissant car elle nous permet de voir un monde trop large et trop complexe pour être vu directement (MacEachren, 1995), cependant nous ne regardons pas réellement l'ensemble. Ce sont des habitudes que nous avons prises, concernant notre manière de voir une carte - y compris une carte de bruit - de lire et de regarder les détails (Bonin, 2000). L'amélioration de l'efficacité cartographique ne peut se nier, que ce soit à travers les médias et les outils informatiques dont nous disposons aujourd'hui et celle-ci se traduit par une simplification globale et une réduction significative des signes utilisés. En revanche, les cartes de bruit actuelles restent des éléments relativement abstraits pour les populations dans la mesure où elles

traduisent le niveau d'exposition au bruit exprimé par l'indicateur de bruit cumulé Lden.

L'exemple ci-contre représente une carte de bruit de la région de Bruxelles et utilise une sémiologie graphique éloignée des standards colorimétriques habituellement utilisés pour le confort des observateurs. Deux dégradés de couleurs représentent le bruit, pourtant unique variable visuelle, Pumain (1997) indiquant pourtant qu'un dégradé dans une seule couleur se révèle être plus approprié pour améliorer l'efficacité cartographique. Schiewe et Weninger (2013) ont en ce sens développé un nouveau modèle (cf Annexe 2. Travaux sur l'échelle colorimétrique de la représentation du bruit, Schiewe et Weninger, 2013) appuyé à la fois par les caractéristiques physiques de la perception de l'individu afin d'instaurer un confort visuel. Morel (2012) s'interroge également sur la nécessité de renforcer la production d'information et d'indicateurs pour parvenir à ériger de nouveaux modèles adaptés relatifs à la perception sonore, tels que la gêne.

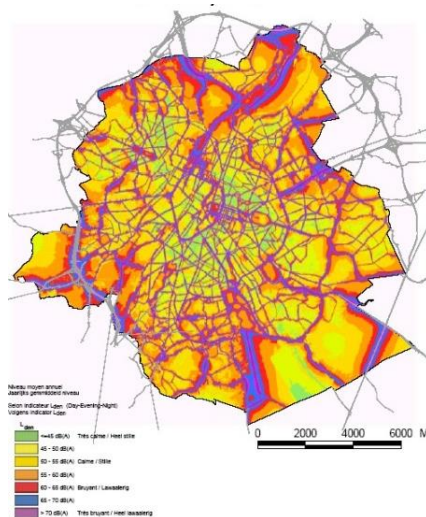


Figure 1. Exemple de carte de bruit de la région de Bruxelles-Capitale. (<https://rigolett.home.xs4all.nl/ENGELS/maps/brussel1.htm>)

L'évolution des modèles de carte de bruit s'accompagne d'une volonté et d'un besoin de communiquer l'information accentués à la fois par la demande sociale relative aux nouvelles possibilités technologiques notamment en termes de transparence et de spatialisation à travers les outils de géolocalisation, mais aussi dans cette nécessité croissante de mesurer, contrôler, déterminer et modéliser dans ses moindres singularités nos environnements. La cartographie intelligente nous amène par ailleurs à reconsidérer l'espace (V. Leite, 2010). Considérée par le passé comme un support impersonnel et ne faisant pas partie de l'héritage culturel, avec un lien vis-à-vis de l'utilisateur peu perceptible, l'avènement d'Internet et des nouvelles technologies a inscrit l'information géographique et les cartes comme un outil populaire et interactif, révélant notamment l'importance du concept d'esthétique en cartographie comme une propriété fonctionnelle des cartes (Wood, 1993). Face aux nouvelles possibilités d'acquisition et de diffusion d'information, l'accent est également porté sur une recherche d'adéquation entre ce que désire le destinataire de l'information et les modèles de transmission de l'information.

2. *La perception du son, phénomène complexe*

Lorsque notre système auditif entend un son, la première tâche effectuée par celui-ci est de parvenir à déterminer sa provenance (Schubert, 1975), d'où une importance de l'identification de ces sources dans les processus d'évaluation de la qualité des ambiances sonores (Dubois, 1998 ; Mzali, 2000). Le langage utilisé par les individus pour catégoriser leur environnement sonore dans leur vie quotidienne démontre une confusion entre le son et la source de celui-ci et suggère que le phénomène acoustique n'est pas dissociable de l'origine de sa production. De plus, la superposition des sons rend difficile leur identification (Guastavino, 2007). Pour qualifier un son, il existe un langage personnel et varié utilisé par les personnes, à l'inverse d'une approche visuelle d'un objet. Cela démontre un manque de termes basiques permettant de décrire un son, et donc de qualifier aisément un événement sonore ou un bruit ambiant. De Coensel (2007) énonce également le rôle essentiel de la prise en compte de la temporalité comme variable dans les recherches sur le paysage sonore. La description d'un son s'accompagne ainsi souvent d'éléments événementiels et situationnels comme par exemple « des enfants jouant dans un parc pendant les vacances scolaires ». Cela se justifie en partie par notre système auditif qui se focalise, pour percevoir au quotidien les sons, sur les événements contribuant à créer cette ambiance sonore, l'agrément visuel étant aussi une variable influant sur la qualité sonore (Viollon, 2002) ; le langage visuel approprié pour qualifier l'approche acoustique étant également manquant (Kornfel et al., 2011). Aucun n'espace n'est silencieux et aucun son n'est perçu sans un cadre culturel et l'interaction et donc l'audibilité que l'on a avec un son dépend de l'environnement et du contexte dans lequel l'acteur interagissant avec se situe (Klett, 2014). La question se pose alors sur l'approche qualitative des propriétés sonores. Bregman (1990) interpelle sur le fait que les propriétés sonores doivent forcément appartenir à « quelque chose », mais certains sons semblent uniquement exister de par la perception de leurs attributs (qualificatifs). En revanche, les propriétés quantitatives du son telles que le timbre, le tempo, l'intensité, la tessiture ont été longuement étudiées, approfondies et constituent un langage quasi-unique pour décrire le son, se rapportant alors à un système extensif presque désolidarisé du sens initialement rattaché au « son » sous une forme baptisée « musique ». Le reste de la propriété sonore devient ainsi un amas rassemblé sous l'étiquette de « bruit » (Klett, 2014).

Considérant le ressenti auquel se rattachent les ambiances urbaines sonores, celles-ci sont perçues généralement selon quatre catégories principales. Les sons humains et les sons naturels jouissent d'une considération positive tandis que le bruit dû au trafic routier se réfère davantage à une considération négative ; la musique, quant à elle, subit une considération plus complexe. Elle peut être vécue comme intrusive si elle est, par exemple, véhiculée par la technologie ou à l'inverse considérée comme agrémentant l'espace si celle-ci se retrouve directement produite par un musicien. Il est essentiel de garder à l'esprit que la plupart des sons que l'on entend le sont inconsciemment, entendre un son revenant à percevoir une différence physique (Evens, 2005). En ce sens, l'attention, la présence d'un événement sonore, mais aussi l'orientation de l'individu (les structures architecturales orientent notre spatialisation, la triangulation de la source sonore s'effectuant via notre première et

notre seconde oreille) indiquent qu'audibilité et spatialisation possèdent une étroite corrélation.

Le souhait de modéliser et de communiquer autour des ambiances sonores urbaines instaure donc à la fois une capacité d'adaptation et de variations face aux importantes différences en termes de structures et collectes de données mais aussi des composantes spécifiques ainsi matérialisées. Ainsi, l'évolution de la cartographie du bruit se traduit par un profond bouleversement à la fois dans le contenu modélisé et dans la forme se référant à la communication de l'information, La subjectivité de la perception anthropographique guidant donc la perception iconographique des cartes sonores. De plus, l'apport des nouvelles technologies permet d'envisager l'évolution même du support cartographique vers une interface multimédia et multimodale, transmettant dès lors une information sonore géolocalisée sur demande (MacEachren, 1995).

3. Introduire la maîtrise d'usage dès la conception des prototypes

Le terme de maîtrise d'usage très fortement rattaché à l'urbanisme peut être défini comme « la capacité reconnue aux habitants d'un territoire (immeuble, rue, quartier, ville, agglomération...) de participer à sa conception et son aménagement » (Fixot, 2014 : 157). Dans un contexte de modélisation cartographique des ambiances sonores, un parallèle peut être fait pour inclure dès la conception des prototypes les personnes considérées comme destinataires de ces outils. La maîtrise d'usage complète ainsi de façon participative maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage et permet d'associer aux recherches techniques sujettes par exemple au confort visuel ou au type d'information communiquée, les remarques, préférences et désirs des individus et populations à qui sont destinés ces objets cartographiques. Développer la participation des usagers au cœur de la conception d'un projet, notamment en urbanisme, s'avère à l'heure actuelle un processus relativement encouragé mais cependant encore peu appliqué (Palka, 2015). Au-delà de l'esthétique, c'est également la stratégie cognitive, étroitement corrélée aux habitudes d'utilisation, qui doit être prise en compte pour répondre aux enjeux d'efficacité et de performance des prototypes cartographiques. Sont également à inclure l'attractivité du cadre et notamment des interfaces dynamiques (type Web) qui se révèlent être l'un des meilleurs moyens pour amener l'utilisateur à l'information cartographique. Une carte adaptée est une carte plus efficace, au sens d'une compréhension rapide et aisée et la perspective se rattachant à la recherche réside dans l'objectif de faciliter l'utilisation cartographique en développant des modèles d'interaction entre prototypes cartographiques et spatialisation cognitive humaine pour identifier les plus importantes variables de la symbologie et du design cartographique.

Pour compléter la définition que l'on peut rattacher à la notion d'efficacité cartographique, celle-ci s'atteint lorsque la lecture, l'analyse et l'interprétation d'une information cartographique par un utilisateur, de la manière la plus rapide possible, est en adéquation avec ses besoins et que le message transmis en amont n'est pas déformé au cours du processus d'observation (Chesneau, 2006). Pour faire évoluer cette efficacité, l'une des perspectives est de considérer et de développer des

recherches autour de la psychologie et de la perception humaine. Le choix des symboles suit une logique objective à l'heure actuelle puisque ceux-ci sont standardisés, pour éviter la confusion, et appartiennent à une symbolologie aujourd'hui largement répandue, gravitant et évoluant autour des modèles d'interface numérique poursuivant une même quête d'efficacité, et d'esthétique. Robinson (1952), à travers les « functional maps » surlignait à l'époque l'orientation des objectifs des cartes, communiquant un message prédéterminé et présentant des liens étiqués avec la psychologie comportementale, considérant qu'il est possible d'établir une manipulation mentale lors de la manipulation des symboles. L'efficacité de ce type de cartes est uniquement basée sur une réponse de l'utilisateur aussi proche que possible de celle attendue (MacEachren, 1995). Il n'y a pas une unique et correcte approche (scientifique ou non) pour comprendre comment fonctionne une carte, Harley (1989) s'attachant même à déconstruire celle-ci. Cela démontre la nécessité de travailler l'efficacité cartographique comme un mécanisme s'appuyant sur l'interaction continue entre développeur cartographique et destinataire afin d'améliorer ces outils de communication.

L'amélioration concrète des cartes de bruit, passe par le fond et le développement d'une évolution des champs et du vocabulaire technique pour qualifier l'approche sonore, ce que nous avons vu à travers l'émergence au sein de cette étude de la notion d'agrément sonore, mais aussi sur la forme, et les travaux de Chesneau (2004 ; 2006) dans ce domaine permettent d'arborer diverses pistes de réflexion. L'esthétique, via une meilleure utilisation de la couleur peut permettre d'améliorer la lisibilité mais l'une des problématiques réside dans le cas de la carte numérique, où l'absence de travaux cartographiques d'ampleur, tels que ceux de Bertin (1967) ont pu l'être pour le monde de la modélisation de l'information géographique, laisse apparaître une faiblesse relative quant à la lisibilité d'une information traduite par les Systèmes d'Information Géographique. La légende, organisant les informations représentées sur la carte, la sémiologie graphique qui illustre relations et structures des signes utilisés, et la hiérarchie visuelle à travers le rôle majeur du contraste pour l'établir (Belbin, 1996) sont autant d'éléments cartographiques sur lesquels la modélisation de l'information peut s'appuyer. A cela, on peut rajouter des choix colorimétriques adaptés pour passer, par exemple, du signe à la signification ou suggérer une émotion qui peut différer d'un lecteur à un autre, une densité graphique influant sur visibilité et lisibilité, la présence d'un fond actif pour sa capacité à renforcer ou non la distinction avec les figures, mais aussi cette organisation entre les figures et le fond qui agit sur la perception humaine d'un environnement (Chesneau, 2006).

L'introduction de la maîtrise d'usage dès la conception des prototypes de cartographie du bruit ou d'ambiances sonores urbaines insère donc la possibilité de faire évoluer de nombreux paramètres suivant les préférences et la compréhension des volontaires se prêtant à l'exercice d'évaluation des supports visuels. L'accent autour du processus d'évaluation par le système de suivi oculaire (eye-tracking) est porté sur l'efficacité des prototypes, notamment via le choix et la représentation des divers paramètres cartographiques énoncés auparavant.

4. *L'eye-tracking, un processus expérimental prometteur*

Nous disposons d'une connaissance incomplète de la manière dont la vision humaine fonctionne et dont les cartes sont comprises. Le système est complexe entre l'image reçue par la rétine et la perception construite par le cerveau tout comme l'influence de la connaissance existante qui crée une interprétation de ce que l'on voit (MacEachren, 1995). L'aspect schématique sert d'interface entre la description visuelle et la représentation de la connaissance et ces schémas structurent ce que l'on voit en nous amenant à faire des groupes, des catégories.

Les recherches sur les mouvements oculaires se sont intensifiées au cours du XXe siècle. Von Helmholtz (1925) énonce que l'*attention* a tendance à se porter sur de nouvelles choses et peut aussi être consciemment contrôlée. James (1981), introduit l'importance des facteurs intentionnels sur l'attention, le système et la mécanique de celle-ci étant plus complexe et plus difficile à identifier que ceux de l'imagination ou de l'anticipation pour ne citer qu'eux. Au fur et à mesure les concepts et intérêts se portent sur divers objets, que ce soit la question de l'*intention* (Gibson, 1941), où la perception visuelle d'un sujet, par une stimulation, peut-être potentiellement influencée par les instructions données par l'expérimentateur, celle des *filtres sélectifs* (Broadbent, 1958) où les canaux sensoriels filtrent sélectivement l'information (repris par Kosslyn, 1994, qui ajoute la notion d'échelle de sélectivité), ou encore de l'*importance pondérée* (Deutsch et Deutsch, 1963) où la personne accorde un niveau d'importance à l'information qui en devient la causalité principale de l'attention. Face à cette multitude de théories sur le sujet, Treisman (et Gelade 1980 ; 1986) propose alors une théorie unifiée de l'attention convaincante mais présentant un problème majeur : l'intégration de la scène. Comment peut-on se créer une image d'une scène sans avoir pour autant vu chaque détail ? Cela nous renvoie à la théorie de la Gestalt, que nous aborderons davantage en explicitant la manière dont le dispositif expérimental fonctionne, l'une des lignes directrices étant que le tout n'est pas la somme de l'ensemble de ses parties. Treisman argue que la représentation mentale de la carte spécifie où les éléments sont mais pas ce qu'ils sont, ce qui renforce l'intérêt de comprendre la manière de détecter les objets.

L'eye-tracker est un dispositif très utilisé au sein de cet axe prépondérant de la recherche oculaire dont le nom anglophone est Feature Integration Theory (FIT). En termes de stratégies cognitives, les progrès se sont amorcés autour des travaux de Yarbus (1967), qui a mesuré les mouvements oculaires de sujets sur une image après leur avoir donné des instructions spécifiques, les résultats démontrant alors des séquences de motifs dans certains points de l'image. Noton et Stark (1971) reprennent cette idée et développent les *scanpaths*, chemins de balayage avec un fort taux de variabilité. A cela, on peut également nommer le concept du *spotlight* (Posner et al., 1980) évoquant que le mécanisme de l'attention fonctionne tel un projecteur, se basant sur l'orientation puis la détection. L'arrivée de nouvelles technologies comme l'eye-tracking révolutionne la manière de suivre le regard oculaire et permet d'accentuer et de faciliter les recherches dans le domaine de la perception visuelle. Il s'agit d'une technologie dont l'émergence est relativement récente et l'utilisation en conséquence s'avère encore faible.

La croissance de l'utilisation de l'eye-tracking s'appuie sur les progrès technologiques fleuves dans le perfectionnement du dispositif, notamment en termes de rapidité et de précision, et d'une plus grande accessibilité en termes de prix et d'exploitation du système. Tous ces éléments contribuent et incitent le monde scientifique à accentuer ses efforts sur la recherche oculaire. Cependant, le champ de recherche de la détection des mouvements oculaires, reste très spécifique et cela ne favorise pas sa démocratisation, rendant la technologie encore peu répandue à travers les laboratoires. De plus, un manque d'informations sur le sujet existe et bon nombre de chercheurs ne sont pas très encouragés par la perspective d'être en difficulté après l'achat du matériel, seules certaines disciplines comme la psychologie ou les sciences informatiques étant actuellement capables d'instruire ces chercheurs (Duchowski, 2007). En revanche, les moyens d'exploiter la technologie eye-tracking sont multiples et l'on assiste à un véritable déploiement de celle-ci dans des domaines divers et variés. En neuroscience et en psychologie, les études portent, entre autres, sur l'esthétique, la perception de l'art, des illusions, la manière dont les images sont construites par le cerveau, ou encore la lecture (Rayner, 1998). Dans le secteur des transports, le système permet pour l'aviation de développer de nouveaux simulateurs de vol sophistiqués, pour la conduite de travailler sur des stratégies d'apprentissage et des contre-mesures d'accident. Les médias ne sont pas en reste puisque l'objectif est de travailler sur un design optimal, particulièrement celui des pages Web, tandis que le monde de l'informatique renforce ses systèmes d'interaction entre l'homme et les machines, et perfectionne, entre autres, des technologies de réalité virtuelle. Enfin, la démarche menée par les recherches en marketing, qui se rattache d'une certaine manière à notre domaine d'étude en cartographie du bruit, s'accroît sur l'observation des désirs, comportement, actions du consommateur permettant de travailler sur l'efficacité de la publicité et des placements de produit.

L'utilisation de l'eye-tracking pour l'évaluation des prototypes cartographiques n'est pas une première. Afin de favoriser le pouvoir de communication des cartes d'inondation, et donc leur efficacité, Meyer et al., (2012) examinent ainsi comment peut être utilisée la participation des personnes à qui sont destinées ces modèles lors de la réalisation des prototypes cartographiques. L'un des éléments majeurs incorporé à la démarche n'est autre que décision et processus de réalisation se sont avérés équitablement répartis entre publics et professionnels qui ont alors bénéficié d'un poids décisionnel similaire. De plus, Serrhini et Palka (2011) déterminent que pour caractériser la stratégie visuelle, deux mouvements principaux des yeux (saccades, fixations) sont à la base des protocoles expérimentaux à développer en cartographie. Leurs travaux sur les variables sémiologiques telles que l'échelle, la position et la complexité des éléments d'habillage de la carte (titre, légende...) ou encore la présence des pictogrammes s'accompagnent d'une enquête cognitive évaluant les liens entre les critères étudiés (complexité, densité de l'information, aspect esthétique, innovation, utilité) et les préférences des volontaires intégrant le processus d'évaluation pour ces cinq paramètres suggérés. C'est dans ce type de démarche que le protocole expérimental dont a fait l'objet de l'enquête par eye-tracking s'insère.

II. PROTOCOLE OPÉRATOIRE

La méthode d'enquête s'est basée sur un dispositif eye-tracker couplé à un questionnaire intégré au processus d'enregistrement des mouvements oculaires, la réalisation s'effectuant donc par des entretiens menés en temps-réel entre un volontaire et l'expérimentateur, démarche également plébiscité par Palka (2015), dans le cadre de l'amélioration de l'efficacité des cartes de risques d'inondation.

1. Contexte et déroulé de l'enquête

L'utilisation conjointe d'un questionnaire et d'un dispositif eye-tracker répond à un double objectif. Les opinions recueillies via le questionnaire permettent de proposer des recommandations à la fois sur le contenu des cartes testées que sur les choix de représentation de l'information sonore tandis que l'enregistrement des mouvements oculaires instaure une nouvelle approche de la perception visuelle (Serrhini et al., 2008). Les sujets sont ainsi confrontés à différentes cartes représentant des ambiances sonores à travers la projection de diapositives, et répondent à un questionnaire intégré au cours du processus de suivi oculaire.

Les prototypes cartographiques - 17 cartes, la répétition de certains modèles permet notamment de repérer logique et stratégie oculaire une fois habitué à une structure générale - sont exposées pendant 15 secondes pour enregistrer les mouvements oculaires déployés par les sujets lors des premiers instants de l'exposition d'une carte, ce qui permet de « déterminer les éléments d'une carte qui attirent le regard en premier, d'identifier les composants d'une carte les plus attractifs visuellement et de mettre en évidence l'ordre temporel d'accès visuel aux différents éléments d'une carte » (Lavandier et al., 2014:16). Le questionnaire interroge les volontaires sur les niveaux de complexité (compréhension rapide), d'attractivité (relatif à sa valeur esthétique) et d'utilité renvoyant à son intérêt décisionnel, une carte efficace se devant d'être utile et attractive, en étant la moins complexe possible (Desmeth, 2015). Les questions portent également sur la vérification de la bonne transmission du message et de sa compréhension, les préférences de représentation de certains éléments cartographiques ainsi que sur leur éventuel apport.

L'entretien s'appuie sur deux phases d'observation. La première porte sur des prototypes cartographiques d'agrément sonore et d'intensité sonore ayant déjà été évalués par le biais d'un questionnaire³ et qui ont permis de générer via les résultats et remarques générés par les volontaires des supports et des indications quant à la réalisation de prototypes cartographiques d'ambiance sonore, présentés dans la seconde phase de test. Pour ceux-ci, le développement a été envisagé comme incorporables à une interface web, à des fins d'efficacité communicationnel (MacEachren, 1995). Pour préserver l'expérience de manipulations malencontreuses du volontaire et maintenir des conditions d'enquête similaires pour les sujets, le

³ Cf Annexe 1. Contexte de rédaction de l'article.

déroulé de l'entretien est exclusivement contrôlé par l'expérimentateur. Ainsi, suite à chaque projection de carte d'ambiance sonore, le volontaire bénéficie d'un temps de réponse pour compléter une partie indiquée du questionnaire, l'enquêteur s'assurant que le regard de l'enquêté se reporte bien sur l'écran projetant les diapositives pour permettre l'enregistrement des mouvements oculaires. En amont des phases d'observation, un test préliminaire basé sur les planches d'Ishihara (1972) et les niveaux de lectures cartographiques, permet à l'enquêteur de détecter une éventuelle cécité chromatique ou une incapacité à cerner certains éléments textuels des représentations cartographiques. Précédent ce test, une phase de calibrage du matériel eye-tracker reste nécessaire.

2. Principes de la vision et méthodologie eye-tracking,

La manière dont nous voyons s'établit sur trois niveaux selon Marr (1982). Le premier est basé sur la reconnaissance et l'identification des figures de la carte avec le monde réel, notamment via l'importance du contraste. Le second niveau réfère à la théorie de la Gestalt (ou psychologie de la forme) évoquant comment les composants d'une scène visuelle (ce que nous voyons de notre environnement) sont interprétés par le cerveau, qui les évalue comme un ensemble de forme se rapportant à notre environnement et qui les réarrangent pour créer des éléments d'un ordre supérieur, c'est-à-dire que le « tout » ainsi formé représente une valeur supérieure à celle de l'ensemble des parties qui le compose (cf Annexe 3. Illusions d'optique). Plusieurs composants d'une scène visuelle se distinguent davantage que d'autres, ce phénomène est appelée la saillance visuelle. Zender et al. (2013), Jégou et Deblonde (2012) démontrent alors que l'orientation du regard s'avère en partie déterminée par les écarts de saillances des différents objets. Il faut ajouter à ces éléments caractérisant les stratégies cognitives la notion de *chunk* qui se rapporte à un groupement d'objets visuels et qui joue un rôle décisif dans le processus de mémorisation puisqu'il s'agit d'une structure stockée dans la mémoire à long terme (Eastman, 1985).

L'approche classique de la communication, chaîne émetteur - message - récepteur, s'applique dans le cas de la transmission de l'information par le biais des cartes (cf Annexe 4. les niveaux multiples de la représentation cartographique, MacEachren 1995), celles-ci faisant la jonction entre le destinataire qui les observe et le réalisateur des modèles. Pour comprendre comment s'articule la perception des messages par ce type de support, il est nécessaire d'effectuer une brève analyse de la manière dont notre système visuel se comporte. La pupille, ouverture de faible taille capte les rayons lumineux et ceux-ci sont ensuite projetés sur la rétine. Via les divers muscles et composantes de l'œil, il est possible d'assurer une netteté de l'image qui devient alors une image visuelle. Le processus d'analyse par le cerveau est alors le suivant : observation de la scène visuelle, création d'une image visuelle, traitement de l'image visuelle, création d'une représentation mentale. C'est cette représentation mentale comparée à la scène visuelle initiale qui caractérise l'essentiel de l'étude de la perception visuelle. Pour voir nettement l'ensemble d'une carte, l'œil du destinataire doit adapter en permanence la zone fovéale. La fovéa est la zone de la

rétilne se situant dans le prolongement de l'axe optique de l'œil, où la vision des détails est la plus précise (cf. Annexe 5. Illusion fovéo-périphérique). Un lecteur perçoit alors mieux le point de fixation, détaillé ci-après, que la périphérie, ce qui influe la manière de construire les cartes (Palka, 2015). L'ajustement est réalisé soit par l'œil soit par des mouvements de tête et/ou du corps. Concernant les différents types de mouvements oculaires qui existent, fixations et saccades constituent les composantes majeures à observer⁴. Les fixations sont des mouvements oculaires qui stabilisent la rétilne sur un objet stationnaire d'intérêt. Les mouvements miniatures qui caractérisent les fixations peuvent être assimilés à du bruit, au sens parasite, présent dans le système de contrôle. Cela apparaît comme des fluctuations aléatoires. Les saccades sont des mouvements rapides utilisés pour reporter la fovéa sur un nouvel emplacement dans l'environnement visuel. Elles sont à la fois volontaires et réflexives, et d'une durée suffisante (10 ms à 100 ms) pour rendre l'exécutant effectivement aveugle pendant la transition (Shebilske & Fisher, 1983).

En conséquence, nous observerons :

- les fixations, que l'on peut assimiler à la volonté de poser son regard sur un objet présentant un intérêt ;
- les saccades, traduction de l'envie d'un sujet de modifier son centre d'attention ;

Le matériel eye-tracker dont nous disposons est un oculomètre à tête libre réalisant automatiquement la correction de l'ajustement de la fovéa. Celui-ci est basé sur la réflexion entre la pupille et la cornée. La réflexion sur la cornée d'une source lumineuse, ici infra-rouge, est mesurée relativement à localisation du centre de la pupille, connue sous le nom de réflexions de Purkinje (Crane, 1994). La réflexion de Purkinje, lors d'un test eye-tracking, est représentée par un cercle blanc relativement proche de la pupille (observée par un cercle noir). Il s'agit de l'observable avec le taux de variabilité la plus faible et donc le plus à même d'être mesurée. Ainsi, avec une calibration appropriée, l'eye-tracker s'avère capable de mesurer le « Point of Regard » (POF) sur un plan perpendiculaire (MacEachren, 1995). Pour séparer les mouvements oculaires des mouvements du corps et de tête, il y a nécessité d'instaurer au préalable deux points de référence sur l'œil. Lors d'une rotation effective de l'œil, il existe une différence de position entre le centre de la pupille et la réflexion de la cornée, cependant celle-ci se montre plutôt constante lorsqu'il s'agit de mouvements de têtes mineurs (Palka, 2015). Ainsi la réalisation d'un test par eye-tracking s'appuie sur une première phase de calibration permettant par la suite de disposer d'un suivi des fixations et des saccades réalisés par l'œil lors de l'observation d'une scène visuelle. Il est à noter que l'acuité visuelle seule n'est pas suffisante pour déterminer la résolution requise d'une image et qu'au cours du test la lecture de textes introducteurs peut guider la structure de l'observation. Cela signifie

⁴ Pour être complets, deux autres types de mouvements oculaires existent mais ne constituent pas d'intérêts dans notre étude dans la mesure où il s'agit de mouvements de poursuite, suivant donc une cible, et que les objets cartographiques soumis à notre évaluation par eye-tracking sont statiques.

que l'exploitation des résultats devra prendre en compte l'éventuelle influence des éléments textuels incorporés dans les diapositives.

3. Prototypes évalués

Deux cartes représentant l'agrément sonore et l'intensité sonore en des points spécifiques des XIII^{ème} et XIV^{ème} arrondissements de Paris⁵ (ci-dessous, un des deux prototypes utilisés, cf. Figure 2), ont été à la base de la conception des modèles soumis à l'évaluation de leur efficacité.

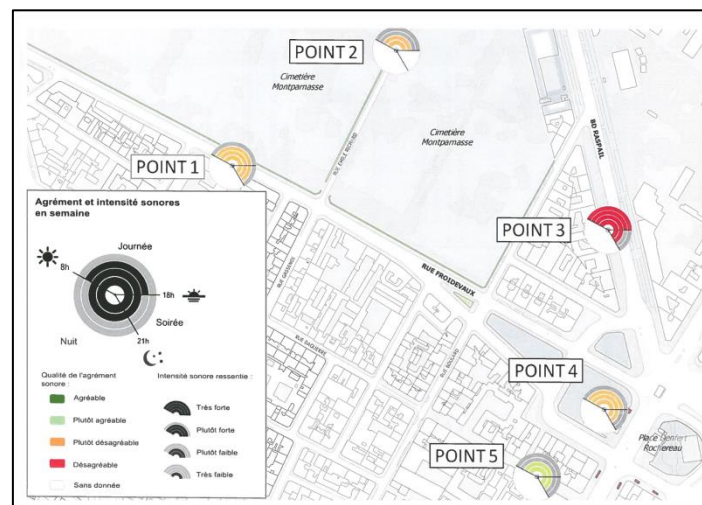


Figure 2. Représentation de l'agrément sonore et de l'intensité sonore en des points spécifiques (réalisation : COGIT IGN, 2015)

Les prototypes cartographiques de représentation des ambiances sonores urbaines soumis à l'évaluation de leur efficacité sont de trois types :

- cartes représentant l'agrément sonore ou l'intensité sonore à l'échelle de l'arrondissement ;
- cartes représentant l'agrément sonore à l'échelle du quartier (cf. Figure 3), présentant une information sur les sources sonores géolocalisée ;
- cartes représentant l'agrément sonore de manière détaillée à l'échelle du quartier présentant une information sur les sources sonores géolocalisée ;

⁵ Ces deux arrondissements présentent un fort intérêt d'étude car disposent de sources sonores diverses et variées s'appuyant à la fois sur une multitude de lieux différents, de la forte densité des infrastructures de transports et de la concentration importante de l'habitat de la ville de Paris.

La segmentation par niveaux d'échelles permet dans un premier temps d'observer la pertinence des éléments modélisés, l'adéquation de la représentation cartographique avec le besoin des utilisateurs et dans un second temps de s'intéresser à l'évolution des stratégies visuelles en fonction de l'échelle et du niveau d'information.



Figure 3. Représentation de l'agrément sonore à l'échelle du quartier, information concernant les sources sonores géolocalisée

4. Panel de l'enquête

Les intérêts des entretiens en temps-réel avec l'enquêté sont multiples, que ce soit par une implication plus longue et plus importante de la personne, la possibilité pour l'enquêteur d'intervenir pour apporter des éclaircissements, en s'exerçant à ne pas influencer l'entretien (la limitation des facteurs extérieurs est essentielle pour préserver la validité des résultats) mais également pour effectuer un retour sur expérience à la fin de l'entretien pour échanger sur le sujet. Ce protocole nécessite en revanche une trentaine de minutes, se déroule au sein des laboratoires de recherche, le matériel de suivi oculaire étant non mobile, sollicitant enquêteur et volontaires aussi bien en temps qu'en accessibilité du site. L'enquête étant menée conjointement par les laboratoires de l'Université François-Rabelais de Tours et l'Université de Cergy-Pontoise, questionnaire et protocole ont été développés en accord avec le contexte du projet de recherche, au sein duquel est intégré cet article⁶ et s'insèrent dans la trame calendaire du contrat. Il est donc à noter que le propos

⁶ Cf Annexe 1. Contexte de rédaction de l'article

s'articule autour des premiers résultats observables de l'enquête, celle-ci étant poursuivie par l'Université de Cergy-Pontoise au cours des mois d'avril et de mai.

L'échantillon observé dans cet article porte sur 15 personnes ayant répondu au questionnaire et nous disposons des enregistrements oculaires de 10 d'entre eux, une partie des résultats du questionnaire provenant des enquêtes menées à Cergy-Pontoise. Afin de distinguer les différentes stratégies visuelles potentielles suivant un regard exercé ou non à la lecture de cartes, nous distinguerons parmi les résultats enregistrés les catégories suivantes : les professionnels de la cartographie (personnes utilisant fréquemment les cartes dans leur milieu professionnel), les étudiants initiés à la cartographie ainsi que les personnes non initiées à celle-ci. L'hypothèse est ainsi qu'un professionnel peut avoir une stratégie visuelle pour la lecture de cartes différente de celle d'un étudiant ayant eu un apprentissage cartographique ou de celle d'une personne qui n'y ait confrontée qu'occasionnellement.

Tableau 1. Profils des volontaires (n : nombre de volontaires)

	Effectifs	Représentation dans l'échantillon
Sexe (n=15)		
Hommes	9	60%
Femmes	6	40%
Catégorie socio-professionnelle (n=15)		
Cadre, profession intellectuelle supérieure	6	40%
Profession intermédiaire	1	7%
Employé	1	7%
Etudiant	7	47%
Âge (n=15)		
18 - 29 ans	9	60%
30 - 39 ans	1	7%
40 - 49 ans	4	27%
50 - 59 ans	1	7%
Consultation de cartes de tout type (n=15)		
1 fois par an	1	7%
1 fois par mois	2	13%
1 fois par semaine	4	27%
Plusieurs fois par semaine	8	53%
Contexte de consultation de cartes de tout type (n=15)		
Milieu professionnel	5	/
Etudes	5	/
Temps libre	11	/
Consultation de cartes de bruit par les volontaires (n=15)		
1 fois ou plus	8	53%
Jamais	7	47%
Contexte de consultation de cartes de bruit (n=8)		
Milieu professionnel	6	/
Etudes	3	/
Temps libre	0	/
Enregistrements du suivi oculaire (eye-tracking) des volontaires disponibles pour analyses (n=10)		
Professionnels de la cartographie	2	20%
Étudiants initiés à la cartographie	6	60%
Personnes non initiées à la cartographie	2	20%

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

A la suite du test préliminaire permettant de détecter d'éventuelles cécités chromatiques (Ishihara, 1972), tous les sujets ont été déclarés sains⁷ et n'ont pas présenté de difficultés de lecture. Le temps d'enregistrement moyen par eye-tracking est de 28 min 13 s.

1. Compréhension

On note une amélioration effective des prototypes (cartes dynamiques) concernant la réduction de la confusion entre agrément sonore et intensité sonore générées par les cartes statiques (cf. Tableau 2). Il faut cependant relativiser les résultats dans la mesure où le repérage de l'information est introduit en amont de l'apparition des cartes dynamiques pour comprendre la structure de l'interface Web. L'affichage de l'information concernant l'intensité sonore ou de l'agrément sonore dépend dès lors de la sélectivité effectuée par l'utilisateur qui permet d'éviter les confusions repérées dans les précédents modèles.

Tableau 2. Confusion des informations sonores (n : nombre de volontaires)

	Nombre d'erreurs	Nombre de réponses correctes	Pourcentage d'erreurs
Confusion entre agrément sonore et intensité sonore pour chaque type de modèle (n=15)			
Carte statique 1 : Cônes en journée et en soirée	5	25	17%
Carte statique 2 : Cadran sur 24h	8	22	17%
Cartes dynamiques (à l'échelle de l'arrondissement)	0	30	0%
Confusion sur la typologie des sources sonores (n=15)			
Cartes dynamiques (à l'échelle du quartier)	3	42	7%
Confusion sur la situation spatiale (n=15)			
Cartes dynamiques (détaillées, à l'échelle du quartier)	4	41	9%

On note une compréhension générale de l'information pour les cartes issues de l'interface Web relativement bonne au vu des faibles pourcentages d'erreurs. L'identification par les volontaires de la source sonore dominante et du type de lieu relatif à la géolocalisation de l'information semble ainsi être correctement communiquée par les cartes dynamiques.

La compréhension de la typologie des sources sonores identifiées s'appuie sur les éléments suivants :

- la terminologie « Oiseaux » renvoie à une perception positive de l'ambiance sonore pour 100% des répondants ;
- la terminologie « Trafic » renvoie à une perception négative de l'ambiance sonore urbaine pour 93% des répondants ;

⁷ Un seul sujet a présenté une faible dyschromatopsie rouge-vert, sans incidence pour la réalisation du test et l'appréciation des cartes.

- la terminologie « Voix » ne permet pas d'identifier clairement le rôle de la source sonore dans le calcul de l'agrément sonore : (impact positif : 60% des répondants, impact nul : 20%, impact négatif : 7%, ne parviennent pas à se prononcer : 13%) ;

- le fond de cartes et ses pictogrammes présents dans les cartes détaillées de l'agrément sonore à l'échelle du quartier aident à la compréhension pour 78% des répondants, 18% considérant qu'il n'y a pas d'apport.

2. Efficacité

Tout au long du processus d'enquête, il a été demandé aux volontaires d'évaluer (de 1 à 5) la complexité, l'attractivité et l'utilité des cartes sonores proposées à l'étude. Ces variables permettent de déterminer l'efficacité des modèles de cartes à partir de la perception des volontaires. Une carte efficace obtient donc une valeur faible pour la complexité, et des valeurs fortes pour l'attractivité et l'utilité.

Tableau 3. Efficacité des modèles (n : nombre de participants)

	Complexité	Attractivité	Utilité
Cartes dynamique de l'intensité sonore à l'échelle de l'arrondissement (n=15)			
Moyenne	1,80	3,80	3,80
Ecart-type	0,75	0,53	0,59
Médiane	2,00	4,00	4,00
Autocorrélation des variables (R ²)			
Complexité	/	0,02	0,03
Attractivité	0,02	/	0,01
Utilité	0,03	0,01	/
Cartes dynamique de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement (n=15)			
Moyenne	2,13	3,93	3,80
Ecart-type	0,61	0,37	0,56
Médiane	2,00	4,00	4,00
Autocorrélation des variables (R ²)			
Complexité	/	0,06	0,00
Attractivité	0,06	/	0,08
Utilité	0,00	0,08	/
Cartes dynamique de l'agrément sonore à l'échelle du quartier (n=15)			
Moyenne	2,53	3,93	4,13
Ecart-type	0,83	0,62	0,46
Médiane	3,00	4,00	4,00
Autocorrélation des variables (R ²)			
Complexité	/	0,16	0,05
Attractivité	0,16	/	0,03
Utilité	0,05	0,03	/
Cartes dynamique détaillée de l'agrément sonore à l'échelle du quartier (n=15)			
Moyenne	2,73	3,80	3,67
Ecart-type	0,78	0,67	0,71
Médiane	2,00	4,00	4,00
Autocorrélation des variables (R ²)			
Complexité	/	0,00	0,00
Attractivité	0,00	/	0,01
Utilité	0,00	0,01	/

On observe une faible autocorrélation de ces variables, le potentiel explicatif des R^2 n'affiche pas de dépendance entre la complexité, l'attractivité et l'utilité dans le cadre de cette enquête. Les cartes de l'interface Web présentent des valeurs relativement élevées pour l'attractivité (entre 3,80 et 3,93). La carte modélisant l'information géolocalisée de l'agrément sonore à l'échelle du quartier est celle qui obtient la meilleure évaluation (4,13) en termes d'utilité, ce qui démontre un intérêt pour la représentation des sources sonores de la part des participants. Pour la carte détaillée de l'agrément sonore à l'échelle du quartier, l'utilité obtient une valeur moyennement élevée (3,67), et la complexité une valeur moyennement faible (2,73), le point de vue général est mitigé concernant la présence de certains éléments qui apportent peu ou gênent la compréhension (barre de seuil d'intensité dans la légende, fond de carte, pictogrammes). D'après ces résultats, l'utilité des cartes pour les volontaires ayant participé à l'enquête est réelle, l'attractivité des cartes reçoit également une considération positive. En revanche, si la complexité des cartes est un élément qui n'interfère pas dans l'efficacité des cartes à l'échelle de l'arrondissement, les modèles sont encore perfectibles lorsque l'on géolocalise l'information à l'échelle du quartier et particulièrement lorsque l'on souhaite apporter des détails. Les cartes développées sont ainsi, du point de vue de l'utilisateur, efficaces mais encore perfectibles.

Tableau 4. Efficacité des symboles et de l'interface Web (n : nombre de participants)

		Complexité	Attractivité	Utilité
 Icône Trafic (n=15)				
	Moyenne	1,47	3,73	4,47
	Ecart-type	0,56	1,12	0,64
	Médiane	1,00	4,00	5,00
 Icône Voix (n=15)				
	Moyenne	1,93	3,67	4,00
	Ecart-type	0,87	0,93	1,07
	Médiane	2,00	4,00	5,00
 Icône Oiseaux (n=15)				
	Moyenne	1,27	4,27	4,33
	Ecart-type	0,39	0,88	0,71
	Médiane	1,00	5,00	5,00
 Interface Web (n=15)				
	Moyenne	2,73	4,07	4,27
	Ecart-type	0,76	0,50	0,59
	Médiane	3,00	4,00	4,00
 Autocorrélation des variables (R^2 moyen)				
 Icônes (n=15)				
	Complexité	/		
	Attractivité	0,15	/	0,17
	Utilité	0,17	0,24	/
 Interface Web (n=15)				
	Complexité	/	0,00	0,00
	Attractivité	0,00	/	0,47
	Utilité	0,00	0,47	/

Le système d'interface Web proposant la modélisation des informations relatives à l'ambiance sonore urbaine apparaît comme un système très attractif et utile pour les volontaires, dont les mécanismes s'accordent avec ceux que l'on acquiert par la navigation Web. La complexité du système reste améliorable notamment au niveau du choix de la couleur noire des boutons sélectionnés qui reste déprécié par plusieurs volontaires (60% des commentaires sur l'interface). Au niveau des icônes de la légende, les icônes relatives au « Trafic » et aux « Oiseaux » obtiennent de bons résultats, et donc s'avèrent efficace du point de vue de la perception. L'icône « Voix » est un peu plus complexe, subit davantage de critiques notamment sur la pertinence du symbole et de l'appellation. Sont suggérés par les volontaires l'appellation « activité humaine » ou encore le choix d'un autre symbole

de type haut-parleur. Néanmoins les icônes semblent faciles à comprendre et rapidement identifiables.

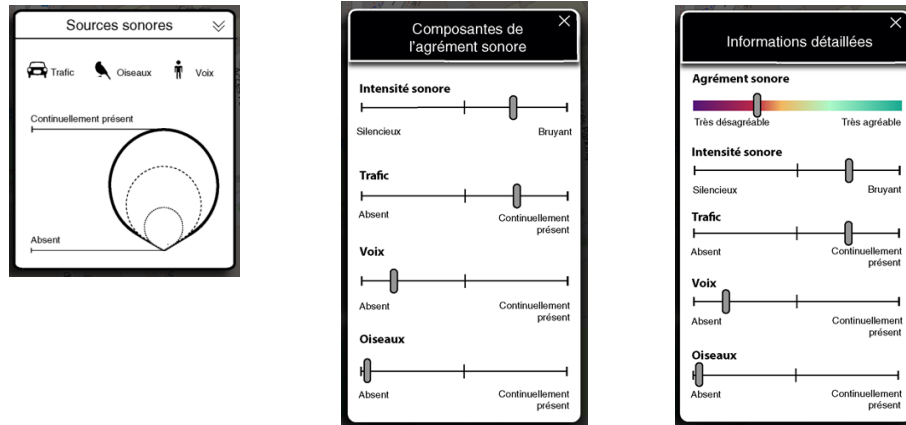


Figure 4. Légendes proposées pour la carte détaillée de l'agrément sonore à l'échelle du quartier (la légende actuellement utilisée est celle du milieu)

Trois alternatives de légendes pour la carte détaillée de l'agrément sonore à l'échelle du quartier ont également été soumises à l'évaluation par les participants qui devaient les classer de 1 à 3 suivant leur préférence. Il apparaît que la légende actuellement utilisée est celle qui a été la moins plébiscitée (jamais citée en premier). Le panel interrogé est ainsi partagé entre une amélioration de cette légende avec l'ajout de l'information relative à l'agrément sonore et le maintien de la légende apparaissant sur les cartes non détaillées à la même échelle.

Tableau 5. Classements des légendes pour la carte détaillée de l'agrément sonore à l'échelle du quartier suivant la préférence (n : nombre de répondants)

Légendes alternatives pour la carte détaillée (n=15)	Ordre de préférence			Moyenne
	Premier	Deuxième	Troisième	
Bulles concentriques, icônes (légende similaire à la carte non détaillée)	7	3	5	1,9
Barres de seuil "intensité", "trafic", "voix", "oiseaux" (légende utilisée)	0	8	7	2,5
Barres de seuil "intensité", "trafic", "voix", "oiseaux" et barre de niveau de l'agrément sonore	8	4	3	1,7

Il n'existe pas de consensus sur les remarques effectuées (la rapidité de compréhension ou l'évidence des informations détaillées divergent selon les profils) ce qui démontre la difficulté d'établir une légende plus détaillée satisfaisant tous les destinataires potentiels des cartes d'agrément sonores. On peut néanmoins s'appuyer sur l'établissement de la préférence des légendes basées sur les variables « facilité de compréhension » « quantité des informations » et « qualité de l'information » respectivement pour 67%, 53% et 33% des répondants.

3. *Stratégies visuelles*

Nous disposons de dix enregistrements oculaires venant des répondants :

- 2 de professionnels de la cartographie (personne utilisant fréquemment les cartes dans son milieu professionnel) ;
- 6 d'étudiants initiés à la cartographie ;
- 2 de personnes non initiées à la cartographie ;

Nous étudions ici l'hypothèse qu'un professionnel peut avoir une stratégie visuelle pour la lecture de cartes différente de celle d'un étudiant ayant eu un apprentissage cartographique ou de celle d'une personne qui n'y ait confrontée qu'occasionnellement. L'étude de cette hypothèse permettra d'initier des réflexions sur la manière d'améliorer l'efficacité des cartes et donc des cartes d'agrément sonore. Tous les résultats analysés par la suite sont disponibles en annexe de cet article.

3.1. *Zones d'intérêts*

Les cartes de chaleur (*heat maps*) sont des visualisations qui révèlent l'objet d'une attention visuelle pour plusieurs participants et montrent la densité des fixations du regard pendant les 15 secondes durant lesquelles les cartes sont projetées. La comparaison des cartes de chaleur issues de l'enregistrement par eye-tracking est effectuée pour chaque type de cartes et catégorie de volontaires.

3.1.1. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement

On repère sur les cartes de chaleur distinguées selon les profils (cf Annexe 6. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Heat map) que quatre zones se distinguent :

- la zone centrale où l'agrément sonore est le plus désagréable (rouge), observée intensément par toutes les classes de participants ;
- la zone centrale où l'agrément sonore est agréable (bleu-vert), observée plus particulièrement par les étudiants initiés à la cartographie et par les personnes non initiées ;
- l'habillage de la carte englobant tous les éléments structurant l'interface (boutons, curseurs, échelle, flèche du nord) observé par tous les participants mais de manière plus intense par les professionnels de la cartographie ;
- le reste de la carte, délaissé par tous les participants à l'exception des personnes non initiées à la cartographie ;

On observe ainsi une tendance à une lecture stratégique par les professionnels de la cartographie, fixant tous les paramètres pour prendre la pleine mesure de l'information principale parcourue rapidement, à l'inverse d'une lecture d'ensemble effectuée par les personnes non initiées où les fixations sont équitablement réparties sur la carte. Le regard des étudiants se concentre sur les mêmes zones que les professionnels avec une recherche plus faible des paramètres et donc du contexte dans laquelle la carte s'insère.

3.1.2. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier

On repère sur les cartes de chaleur distinguées selon les profils (cf Annexe 7. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier - Heatmap) que cinq zones se distinguent :

- on retrouve l'habillage de la carte observé avec insistance par les professionnels et dans une moindre mesure par les étudiants ;
- les icônes, fixées intensément par tous les participants ;
- la légende haute relative aux icônes, fixée intensément par tous les participants ;
- la légende basse relative au niveau d'agrément sonore, fixée partiellement par les étudiants ;
- le reste de la carte, délaissé par tous les participants ;

La vérification du contexte de la carte par la recherche des paramètres effectuée par les professionnels se confirme, et les étudiants adoptent une lecture qui se rapproche de celle que ceux-ci mènent. Les personnes non initiées à la cartographie se sont concentrées exclusivement sur les symboles et leur compréhension, ce qui semble se ramener à un temps de compréhension de ces éléments plus long.

3.1.3. Carte d'agrément sonore détaillé à l'échelle du quartier

On repère sur les cartes de chaleur distinguées selon les profils (cf Annexe 7. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier - Heat map) que quatre zones se distinguent :

- l'habillage de la carte est observé avec insistance par les professionnels et les personnes non initiées et dans une moindre mesure par les étudiants ;
- les icônes, fixées intensément par toutes les personnes non initiées et les étudiants et dans une moindre mesure par les professionnels ;
- la légende détaillée de l'agrément sonore, fixée intensément par tous les participants ;
- le reste de la carte, délaissé par tous les participants ;

Il ressort que le halo lumineux guide le regard accentuant le contraste entre l'information géolocalisée, et le reste de la carte. En conséquence, la légende et les éléments structurant la carte ressortent davantage ce qui permet d'orienter les fixations vers les éléments principaux et donc de permettre aux personnes non initiées à la cartographie d'avoir davantage de temps pour analyser l'information communiquée.

3.2. Stratégies cognitives

Les *gaze plots* indiquent l'emplacement, l'ordre et le temps passé à la création de la scène visuelle en recherchant des endroits de la carte. Ils révèlent la séquence temporelle de la stratégie visuelle indiquant où, quand et combien de temps nous fixons un élément. Le diamètre des cercles de fixation expriment le temps consacré à cette recherche (en durée de fixation), plus le regard s'attarde et plus le diamètre du

cercle s'avère important. La comparaison des *gaze plots* est effectuée pour chaque type de cartes et suivant chaque catégorie de volontaires. En complément et pour enrichir l'analyse de la stratégie oculaire, la carte de chaleur des cinq premières secondes d'observation permet d'identifier rapidement les premiers éléments attirant le regard. Nous utiliserons les *gaze plot* d'un même sujet de chaque catégorie pour pouvoir observer l'évolution de la stratégie cognitive.

3.2.1. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement

Le profil de l'étudiant initié à la cartographie (cf. Annexe 9. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie) initie le chemin oculaire suivant. Pendant les cinq premières secondes, un balayage vertical du centre de la carte, où figure l'information de couleur foncée relative à un agrément sonore désagréable, précède un regard porté sur la légende accompagné d'une fixation plus longue. Par la suite, le regard revient sur l'intérieur de la carte, détecte les boutons de contexte⁸ ce qui instaure une recherche des autres boutons, se reconcentre sur la légende avant de parcourir de nouveau la carte. La stratégie visuelle diffère partiellement pour un professionnel (cf. Annexe 10. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Gaze plot d'un professionnel de la cartographie) dans la mesure où celle-ci se caractérise par un seul passage avec des fixations longues sur la légende et les boutons de contexte recherchés après avoir observé expressément l'information principale. La lecture de l'information s'effectue par de multiples fixations courtes en balayant la carte et des fixations plus longues sur les éléments qui apportent un complément d'information. Enfin, pour une personne non initiée à la cartographie (cf. Annexe 11. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Gaze plot d'une personne non initiée à la cartographie), on observe l'absence de fixations longues et de multiples balayages, les cinq premières secondes d'enregistrement captant un balayage centre-droit de la carte auquel se succèdent de multiples fixations courtes sur les boutons de contextes, la légende avant de définir une forme de balayage circulaire aléatoire qui semble permettre de recréer la scène visuelle.

Pendant les 15 secondes d'enregistrement, l'étudiant a effectué 50 fixations, le professionnel 44 et la personne non initiée 54. En effet, il semble que pour analyser et comprendre la carte les personnes usent davantage de fixations avec des temps de durée plus longs notamment sur les éléments de légendes avant de mettre en application ce qu'ils ont compris en observant ensuite l'intérieur de la carte ; les personnes non initiées à la cartographie usant davantage de fixations de même durée pour assimiler l'ensemble de la carte traitant la légende sur un plan similaire sur le plan de la compréhension. La création de la scène visuelle (représentation mentale de la carte) par les personnes non initiées à la cartographie semble ainsi être la préoccupation majeure, ce qui ne semble pas être le cas pour les personnes initiées qui consacrent davantage d'intérêt pour la signification immédiate de l'information principale modélisée. Ces premières hypothèses d'analyses peuvent également se

⁸ L'appellation « boutons de contexte » réfère aux boutons de l'interface semaine/weekend, jour/soirée/nuit, agrément sonore/intensité sonore.

justifier par le choix d'une échelle colorimétrique appropriée rendant la compréhension de l'information intuitive, nécessitant alors moins de temps de focalisation du regard sur la signification de la légende.

3.2.2. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement

A l'échelle du quartier, les objets visuels sont multiples et les icônes forment un *chunk* (groupement d'objets visuels), une structure qui se stocke dans la mémoire à long terme (Eastman, 1985). L'identification des icônes s'appuie pour tous les participants sur de multiples fixations courtes (cf. Annexes 12, 13, 14. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier - Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie (12) / d'un professionnel de la cartographie (13) / d'une personne non initiée à la cartographie (14)). La compréhension s'effectue par de multiples allers-retours (saccades) entre les icônes et la légende. Le professionnel (45 fixations) et l'étudiant (44 fixations) adoptent une même stratégie cognitive avec une recherche de compléments d'information succédant à la compréhension des icônes et de la nouvelle légende. Le profil de la personne non initiée à la cartographie se distingue par l'absence de fixations plus longues (51 fixations) et un balayage des icônes de la légende et un épisode de recherche de compléments d'information.

Les éléments ciblés par les différentes catégories de volontaires sont les mêmes et cela s'appuie par la présence d'écarts de saillances entre différents objets formant des *chunks* (icônes, légendes, boutons de contexte) orientant le regard en direction de ces éléments structurant la carte (Zender et al., 2013 ; Jégou et Deblonde, 2012).

3.2.3. Carte d'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier

La carte d'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier se caractérise de la carte précédente par le halo renforçant le contraste, le fond de cartes illustré de pictogrammes et l'évolution de la légende vers des barres de seuil ou apparaît en plus l'information relative à l'intensité sonore. Toutes les catégories de participants effectuent toujours de multiples saccades entre les icônes et la légende, mais cette fois-ci tous effectuent des fixations plus ou moins longues sur la légende. Les fixations du regard des trois participants représentatifs de leur catégorie respective sont moins dispersées, notamment pour la personne non initiée à la cartographie. La même caractéristique se dégage pour tous les participants, ceux-ci réalisent davantage de temps de fixations sur la légende, la compréhension de celle-ci semblant moins intuitive. L'étudiant (46 fixations) a effectué pour les cinq premières secondes un balayage vertical de la légende après avoir furtivement parcouru les icônes alors que pour la seconde carte, il a consacré davantage son intérêt pour les icônes, le processus de mémorisation de la légende semblant se confirmer avec le partage de cette démarche par la personne non initiée à la cartographie (53 fixations). En revanche, le professionnel (50 fixations), a adopté dans les cinq premières secondes la même démarche pour les cartes successives en observant rapidement les icônes, la légende mais aussi les paramètres. Cette démarche semble confirmer que la compréhension de la carte par le professionnel ne peut s'effectuer sans inclure au plus vite les différents paramètres qui interviennent davantage comme éléments complémentaires pour les deux autres catégories.

Tableau 6. *Tableau récapitulatif de la stratégie cognitive des représentants des trois catégories de volontaires*

	Stratégie cognitive du volontaire		
	Etudiant initié à la cartographie	Professionnel de la cartographie	Personne non initiée à la cartographie
Nombre de fixations			
Carte de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement	50	44	54
Carte de l'agrément sonore à l'échelle du quartier	44	45	51
Carte de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier	46	50	53
Types de fixations			
Carte de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement	courtes/longues durées	courtes/longues durées	courtes durées
Carte de l'agrément sonore à l'échelle du quartier	courtes/longues durées	courtes/longues durées	courtes durées
Carte de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier	courtes/longues durées	courtes/longues durées	courtes/longues durées
Particularité de la stratégie visuelle			
Carte de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement	balayage vertical du centre de la carte, recherche du contexte non intuitive	Un seul passage sur la légende, intérêt pour les boutons de contexte	nombreux balayages circulaires et aléatoires
Carte de l'agrément sonore à l'échelle du quartier	multiples allers-retours icônes/légende, intérêt pour les boutons de contexte	multiples allers-retours icônes/légende, intérêt pour les boutons de contexte	balayages icônes/légende, intérêt pour les boutons de contexte
Carte de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier	temps de fixation de la légende plus long, évolution des premières zones d'intérêt	temps de fixation de la légende plus long	temps de fixation de la légende plus long, évolution des premières zones d'intérêt
Interprétation de la stratégie visuelle			
Carte de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement	compréhension de l'information principale échelonnée	recherche d'une compréhension complète de l'information principale	temps de création de la scène visuelle plus long
Carte de l'agrément sonore à l'échelle du quartier	recherche de compléments d'information après maîtrise de la symbologie	recherche de compléments d'information après maîtrise de la symbologie	recherche de compléments d'information après découverte d'une symbologie intuitive
Carte de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier	symbologie peu intuitive, évolution de la stratégie cognitive grâce à la mémorisation	symbologie peu intuitive, rigueur professionnelle de vérification du contexte	symbologie peu intuitive, évolution de la stratégie cognitive grâce à la mémorisation

A l'échelle de l'arrondissement, l'acquisition des paramètres permettant de comprendre l'information globale de la carte semble directe pour les professionnels de la cartographie, s'effectuer au fur et à mesure du repérage de nouveaux éléments pour les étudiants initiés à la cartographie et ne s'avère pas être l'objet principal de l'attention des personnes non initiées à la cartographie, qui paraissent accorder plus de temps à la création de la scène visuelle et à découvrir l'information modélisée sur l'ensemble de la carte. Ceci renforce le postulat d'une lecture stratégique par les personnes initiées à la cartographie qui se différencie d'une lecture d'ensemble adopté par les volontaires non-initiés à celle-ci. Le peu de temps passer à décrypter la légende, les couleurs utilisées, ainsi que les zones d'intérêts repérées permet d'affirmer une efficacité des choix effectués tant sur la structuration du mécanisme de l'interface Web que dans l'approche colorimétrique.

A l'échelle du quartier, pour les cartes d'agrément sonores non détaillées, le système d'icônes regroupées créé un objet visuel pour lequel le regard est naturellement attiré, ce qui structure la carte en *chunks* et renforce l'attention des volontaires sur les éléments d'intérêts. La communication du message est efficace et s'avère intuitive, ce qui permet à tous les participants de rechercher les autres éléments complétant l'information (boutons de contexte). Les allers-retours entre les icônes et la légende montrent pour les personnes initiées une volonté de maîtriser complètement la symbologie.

Pour les cartes d'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier, le halo et la maîtrise du contraste confirme la possibilité de restreindre le champ de l'attention aux éléments que l'on souhaite valoriser (Belbin, 1996 ; Chesneau 2006), et s'accorde avec une légende plus complexe à comprendre pour tous les participants. On repère alors que le processus de mémorisation définit une différence majeure entre les professionnels de la cartographie et les autres classes de volontaires : une forme de rigueur et de besoin de comprendre le contexte dans lequel l'information est modélisée, est inhérente à ces individus tandis que la maîtrise de la symbologie permet aux autres classes d'accorder davantage de temps à observer l'information.

3.3. Évolution des prototypes cartographiques - Suivi oculaire

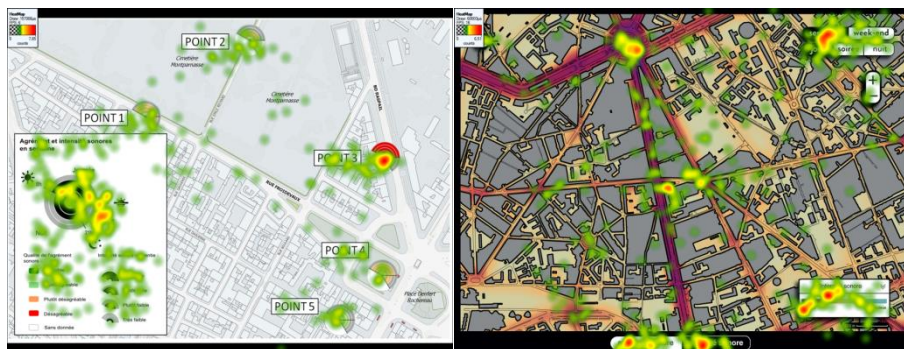


Figure 5. Comparaison des heat maps de deux prototypes cartographiques successifs développés dans le cadre du contrat de recherche Cart-ASUR ($n=10$, n : nombre de participants)

La segmentation de la légende permise par le mécanisme de l'interface Web génère une attention qui n'est plus uniquement centrée sur la compréhension d'une légende complexe. La multiplication de boutons de contexte offre une lecture simple permettant l'acquisition successive d'information complémentaire à la carte. En ce sens la légende est beaucoup moins mise en avant que l'information, ce qui semble permettre aux participants de disposer de davantage de temps d'observation pour assimiler l'information principale (zones foncées attractives et relayant l'information d'un agrément sonore désagréable, et zones claires traduisant l'information inverse).

CONCLUSION

Le premier bilan à dresser concerne l'évolution des prototypes cartographiques de modélisation des ambiances sonores urbaines à travers la représentation de l'agrément sonore et de la distinction avec l'intensité sonore. La confusion entre agrément sonore et intensité sonore a été considérablement réduite par la non-représentation de ces éléments à un même niveau à travers une symbologie unique. Le mécanisme de l'interface Web permet à la fois de segmenter l'information sonore et de géolocaliser le type de sources composant l'agrément sonore. Les premiers résultats d'analyses confirment la pertinence de ce choix mais aussi de l'efficacité de certains éléments. L'échelle colorimétrique, le type de symbologie, la maîtrise du contraste et les outils de navigation sont des éléments qui apparaissent coordonnés à la fois pour les personnes initiées à la cartographie comme pour ceux qui n'y sont pas. En revanche de multiples pistes d'amélioration sont à relever, que ce soit au niveau de l'appellation « Voix », de son pictogramme et de l'information qu'elle véhicule, du fond de cartes et de la légende relative aux cartes détaillées, ou encore de la couleur relative aux différents boutons de sélection. Le travail sur ces éléments devrait permettre de faire diminuer le niveau de complexité des cartes et d'augmenter leur attractivité. Cette amélioration de l'efficacité cartographique se révèle néanmoins davantage accentuée sur la forme que sur le fond, au sens que la transmission d'une information subjective comme peut l'être la perception du son ne fera jamais consensus. Cependant, le travail mené ouvre la perspective de définir des outils d'analyses et d'intérêt général relatifs à la perception sonore pouvant permettre aux décideurs comme aux populations de disposer d'un système de communication commun et intelligible par tous.

RÉFÉRENCES

- Belbin, J.A. (1996). Gestalt Theory Applied to Cartographic Text. In: C.H. Wood & C.P. Keller (eds.), *Cartographic Design: Theoretical and Practical Perspectives*. Chichester : John Wiley, 253–269.
- Bertin, J. (1967). *Sémiologie graphique : Les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris : E.H.E.S.S.
- Bregman, A.S. (1990). *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. Oxford : Perfamon Press.
- Bonin, S. (2000). Le développement de la graphique de 1967 à 1997. In *Cybergeographie : European Journal of Geography* [En ligne], Dossiers, Colloque "30 ans de sémiologie graphique", 144. (URL : <<http://0-cybergeographie.revues.org.sso.scd.univ-tours.fr/490>>. Dernier accès en février 2016.)
- Chesneau, E. (2004). Propositions pour une cartographie du risque. In *Bulletin du Comité Français de Cartographie*, 181, 50–70.
- Chesneau, E. (2006). *Modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur en cartographie – application aux cartes de risque*. Thèse en Sciences de l'Information Géographique, IGN & Université de Marne-la-Vallée.
- Crane, H. D. (1994). The Purkinje Image Eyetracker, Image Stabilization, and Related Forms of Stimulus Manipulation. In D. H. Kelly (Ed.), *Visual Science and Engineering : Models and Applications* (pp. 13-89). New York : Marcel Dekker.
- De Coensel, B., Botteldooren, D., Berglung, B., Nilsson, M. E., De Muer, T., & Lercher P. (2007). *Experimental investigation of noise annoyance caused by high-speed trains*. Soumis à Acta Acustica united with Acustica, 2007, chapitre 11 de B., De Coensel. (2007). *Introducing the temporal aspect in environmental soundscape research*. Thèse, Université de Gent,
- Desmeth, T. (2015). *Cartographie du bruit : Vers une cartographie efficace du bruit en milieu urbain*. Projet de Fin d'études en Génie de l'Aménagement et de l'Environnement, Ecole Polytechnique de l'Université de Tours.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention : Some Theoretical Considerations. In *Psychological Review*, 70(1), 80–90.
- Dubois, D., & Maffiolo, V. (1998). *Etude de la qualité sonore des espaces verts de la Ville de Paris*. Rapport d'étude pour la Mairie de Paris, 1998.
- Duchowski, A.T. (2007). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London: Springer-Verlag, Second Edition.
- Eastman, J. R. (1985). Cognitive models and cartographic design research. In *The Cartographic Journal*, 22(2), 95–101.
- Evens, Aden. 2005. *Sound Ideas: Music, Machines, and Experience*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Fixot, A.-M. (2014). Vers une ville conviviale. Introduction de la maîtrise d'usage. In *M.A.U.S.S.* [En ligne], 43, 154–168. (URL : <www.cairn.info/revue-du-mauss-2014-1-page-154.htm>. Dernier accès en mars 2016.)
- Gibson, J. J., (1941). A Critical Review of the Concept of Set in Contemporary Experimental Psychology. In *Psychological Bulletin*, 38(9), 781–817.
- Guastavino, C. (2007). Categorization of environmental sounds. In *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 54–63.
- Hugel, F. (2000). *Les bruits de voisinage et les communes : prise en charge, difficulté et propositions d'actions*. Rapport présenté à Madame Dominique Voynet, Paris.
- Ishihara, S. (1972). *Tests for Colour-Blindness*. 24 plates. Tokyo : Kanehara Shuppan Co.

- James, W. (1981). *The Principles of Psychology (Vol. I)*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- Jégou, L., & Deblonde, J.-P. (2012). Vers une visualisation de la complexité de l'image cartographique. *Cybergeo : European Journal of Geography*, [En ligne], Cartographie, Imagerie, 600. (URL : <<http://cybergeo.revues.org/25271>>. Dernier accès en février 2016.)
- Klett, J. (2014). Sound on Sound: Situating Interaction in Sonic Object Settings. In *Sociological Theory*, 32(2), 147–161.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and Brain*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Lambert J., Trindade, C., & Philipps-Bertin, C. (2007). *Enquêtes sur les nuisances environnementales des transports*. Rapport INRETS-LTE 0713, 2007.
- Lavandier, C & Al. (2014). *Représentations cartographique de la qualité des ambiances sonores urbaines : acceptabilité des cartes*. Rapport d'avancement de contrat de recherche PREDIT : Cart-ASUR, juillet 2014.
- MacEachren, A. M. (1995). *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design. Front Cover*. New York: The Guilford Press.
- Marr, D. (1982). *Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco : W. H. Freeman.
- Martin-Houssart, G. (2002). Mesurer la qualité de vie dans les grandes agglomérations. In *INSEE PREMIERE*, 868 1–4.
- Mendonça, A., & Delazari, K. (2014). Testing Subjective Preference and Map Use Performance: Use of Web Maps for Decision Making in the Public Health Sector. In *Cartographica*, 49(2), 114–126.
- Meyer, V., Kuhlicke, C., Luther, J., Fuchs, S., Priest, S., Dorner, W., Serrhini, K., Pardoe, J., McCarthy, S., Seidel, J., Palka, G., Unnerstall, H., Viavattene, C., & Scheuer, S. (2012). Recommendations for the user-specific enhancement of flood maps. In *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 1701–1716.
- Morel, J. (2012). *Caractérisation physique et perceptive du bruit routier urbain pour la définition d'indicateurs de gêne sonore en situation de mono-exposition et de multi-exposition en présence de bruit industriel*. Thèse en Science de l'Acoustique, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.
- Mzali, M., & Dubois, D. (2000). *The acoustical comfort inside trains: the passengers' point of view*. Actes du Congrès Internoise, France.
- Noton, D., & Stark, L. (1971). Scanpaths in saccadic eye movements while viewing and recognizing patterns. In *Vision Research*, 11, 929–942.
- Palka, G. (2015). *Amélioration de la cartographie du risque d'inondation par l'intégration des besoins et préférences des destinataires*. Thèse en Génie de l'Aménagement et de l'Environnement, Ecole Polytechnique de l'Université de Tours.
- Pumain, D., & Saint-Julien, T. (1997). *L'analyse spatiale. Localisations dans l'espace*. Paris : Armand Colin (Collection Cursus).
- Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing : 20 Years of Research. In *Psychological Bulletin*, 124 (3), 372–422.

- Robinson, A. H. (1952). *The Look of Maps*. Madison. University of Wisconsin Press.
- Rozec, V. & Ritter, P. (2003). Les avancées et les limites de la législation sur le bruit face au vécu du citoyen. In *Géocarrefour* [En ligne], 78(2). (URL : <<http://geocarrefour.revues.org/196>>. Dernier accès en février 2016.)
- Schubert, E. D. (1975). The role of auditory perception in language processing. In D. D. Duane & M. B. Rawson (Eds.), *Reading, perception, and language*, (pp. 97-130). Baltimore, MD: York Press.
- Schiewe, J. & Weninger, B. (2013). Visual encoding of acoustic parameters - Framework and application to noise mapping. In *The Cartographic Journal*, 50(4), 332–344
- Serrhini, K., Rochman, J., Fuchs, S., Dorner, W., & Spachinger, K. (2008). Sémiologie graphique expérimental et cartographie du risque d'inondation. Proc. XXVIème Congrès INFORSID CEMAGREF – Fontainebleau (27.-30 Mai 2008).
- Serrhini, K., & Palka, G. (2011). *Improving Flood Risk Maps as a Means to Foster Public Participation and Raising Flood Risk Awareness: Toward Flood Resilient Communities*. RISKMAP. ERA-NET CRUE Funding Initiative.
- Shebilske, W. L., & Fisher, D. F. (1983). Understanding Extended Discourse Throught the Eyes : How and Why. In R. Gromer, C. Menz, D. F. Fisher, & R. A. Monty (Eds.), *Eye Movements and Psychological Functions : International Views* (pp. 303-314). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Treisman, A. (1986). Features and Objects in Visual Processing. In *Scientific American*, 255(5), 114B–125, 140.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A Feature Integration Theory of Attention. In *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Viollon, S., Lavandier, C., & Drake, C. (2002). Influence of visual setting on sound ratings in an urban sound environment. In *Applied Acoustics*, 63(5), 93–511.
- V. Leite, J. M. de (2010). Médiations technologiques dans la ville : de la notion d'espace urbain augmenté aux formes d'expérience collectivement partagées. In *ESSACHESS - Journal for Communication Studies*, 3(6), 1–15.
- Von Helmholtz, H. (1925). *Handbuch der Physiologischen Optik (Treatise on Physioclogical Optics)* (Vol. III, Translated from the Third German ed.). Rochester, NY : The Optical Society of America.
- Weninger, B. (2015). A Color Scheme for the Presentation of Sound Immission in Maps: Requirements and Principles for Design. In *EuroNoise*, Maastricht, 439–444.
- Wood, M. (1993). The Map-Users' Response to Map Design. In *Cartographic Journal*, 30(2), 149–53.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press.
- Zender, R., Metzmer, R., & Lucke, U. (2013). FreshUp - A pervasive educational game for freshmen. In *Pervasive and Mobile Computing*, 14.

ANNEXES

Annexe 1. Contexte de rédaction de l'article

Cet article s'inscrit dans le cadre du contrat de recherche Cart-ASUR portant sur « La représentation cartographique des Ambiances Sonores Urbaines » d'une durée de 50 mois et financé par l'ADEME. Ce projet de fin d'études (PFE) survient après deux travaux de recherche sur le sujet menés en 2013-2014 et 2014-2015 par trois étudiants en Génie de l'Aménagement et de l'Environnement de l'École Polytechnique de l'Université de Tours. La coordination des différents partenaires est effectuée par le laboratoire MRTE de l'Université de Cergy-Pontoise.

Sont investis dans le projet : les laboratoires COGIT de l'IGN, UMR CITERES de l'Université de Tours, ETIS UMR de l'Université de Cergy-Pontoise, Intelligence Artificielle de « Vrije Universiteit » de Bruxelles, l'association Bruitparif ainsi que la mairie de Paris.

Le projet est décomposé en 4 sous-projets :

- sous-Projet 0 : Coordination des partenaires ;
- sous-Projet 1 : Caractérisation de la qualité de l'environnement sonore ;
- sous-Projet 2 : Conception d'un prototype cartographique ;
- sous-Projet 3 : Évaluation du prototype-cartes ;

Tableau 7. Tableau détaillé du projet Cart-ASUR (adapté et extrait du rapport d'avancement de contrat de recherche PREDIT : Carte_ASUR, juillet 2014)

SP1 : Caractérisation de la qualité de l'environnement sonore	T1 : Recueil des données acoustiques et perceptives (durée : 1 an)
	T2 : Recueil des autres données géo référencées - (durée : 1 an)
	T3 : Intégration des données dans des indicateurs perceptifs de qualité sonore (durée : 1an)
SP2 : Conception d'un prototype cartographique	T4 : État des lieux sur les cartes de bruit (durée : 6 mois)
	T5 : Élaboration de représentations cartographiques et analyses sémiologiques - Durée : 2 ans
SP3 : Évaluation du prototype-cartes	T6 : Évaluation de l'acceptabilité et de la lisibilité des cartes prototypes (durée : 2 fois 6 mois)
	T7 : Évaluation de la lisibilité des cartes : suivi oculaire (durée : 6 mois)

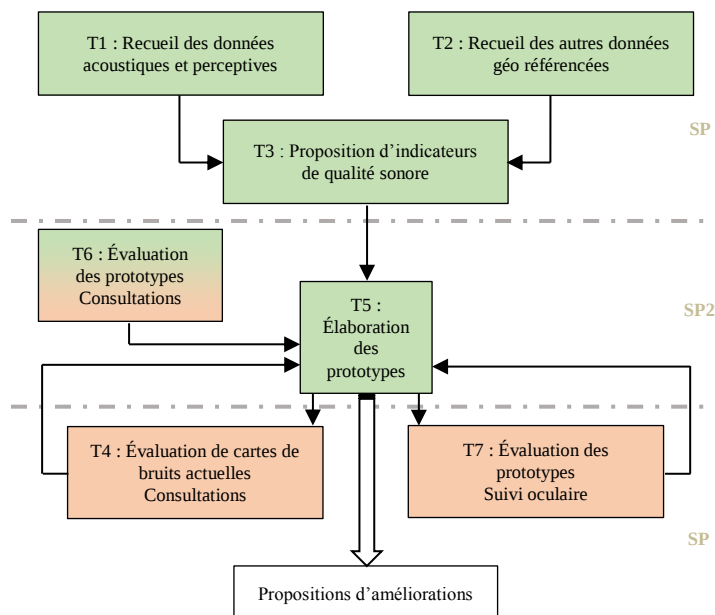


Figure 6. Organigramme simplifié du projet Cart-ASUR (source : rapport d'avancement de contrat de recherche PREDIT : Cart-ASUR, juillet 2014)

Tableau 8. Chronogramme du projet Cart-ASUR (source : rapport d'avancement de contrat de recherche PREDIT: Cart-ASUR, juillet 2014)

	Partenaires							Chronogramme																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	C.	1	2	3	-	-	ST	Année 1						Année 2						Année 3						Année 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
								2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	MRTE - UCP	BruiParif	CITERES	COGIT	Mairie de Paris	ETIS - UCP	AI - LAB																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

Annexe 2. Travaux sur l'échelle colorimétrique de la représentation du bruit par Schiewe et Weninger, 2013



Figure 7. Exemple de cartes simplifiant la lecture, ici la représentation du niveau d'exposition sonore des façades de bâtiment (extrait et adapté de Schiewe et Weninger, 2013, p.341).

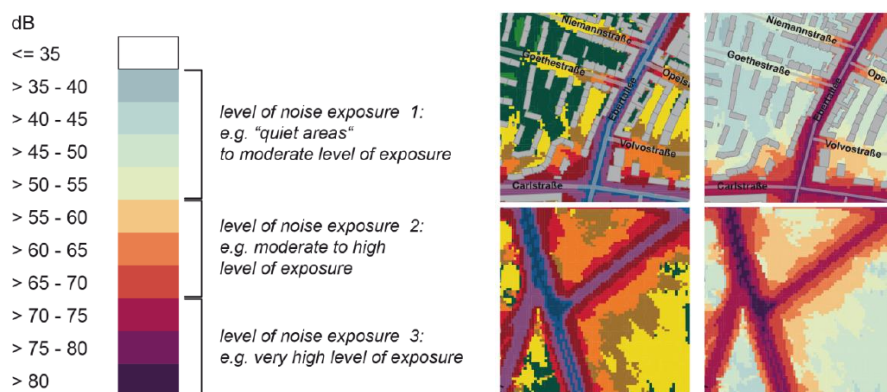


Figure 8.

(à gauche) Échelle colorimétrique de la représentation du niveau sonore développée par le laboratoire de Beate Weninger

(à droite) Comparaisons des échelles colorimétriques sur le même objet d'étude. Échelle colorimétrique classique ISO/DIN et prototype développé par le laboratoire de Beate Weninger (extrait et adapté de Weninger, 2015, p.442)

Annexe 3. Illusions d'optique

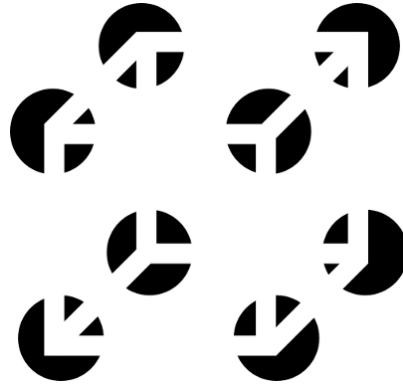


Figure 9. Exemple d'un cube inexistant mais perçu par le cerveau : <http://glossaire.infowebmaster.fr/gestalt>



Figure 10. Osez dire que vous n'avez rien lu, Emilie Rigaud, 2008, «Nothing, really matters », diploma project, ENSAD <http://mangetasoup.blogspot.fr/2009/11/nothing-really-matterscreation-dun.html>

Annexe 4. Les niveaux multiples de la représentation cartographique

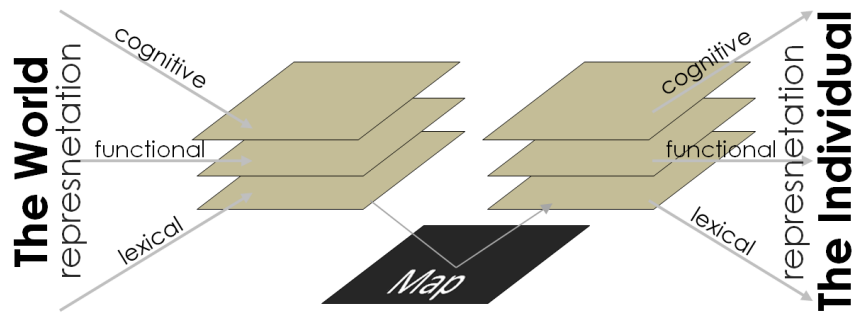


Figure 11. Les niveaux multiples de la représentation cartographique, (extrait et adapté de MacEachren, 1995)

Annexe 5. Illusion fovéo-périphérique

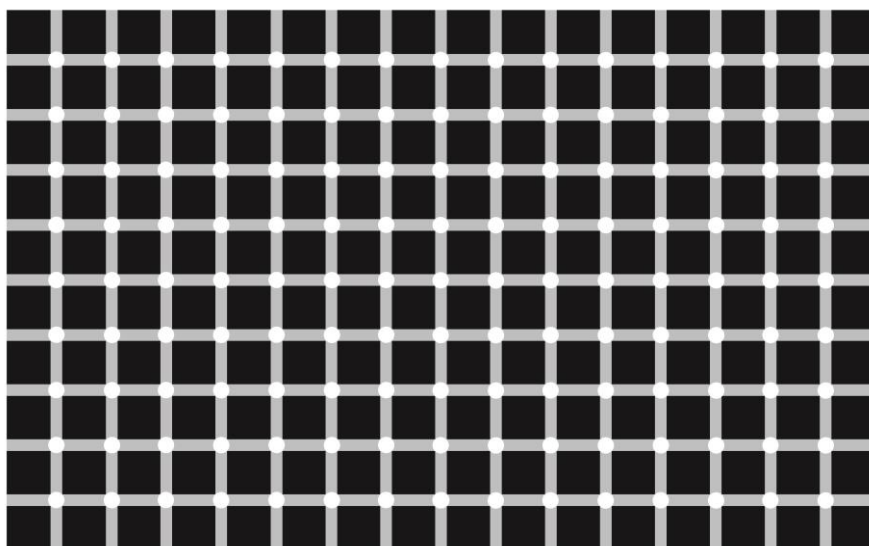


Figure 12. Illusion fovéo-périphérique : effet de scintillation produit par la variation de la grille standard d'Hermann (attribuée à Hermann en 1870, première découverte par Elke Lingelbach (source : www1.appstate.edu)).

Vous devriez percevoir des cercles blancs à l'intersection des lignes grises dans la région fovéale, mais ceux-ci devraient vous apparaître noirs dans les croisements en périphérie.

Annexe 6. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Heat map

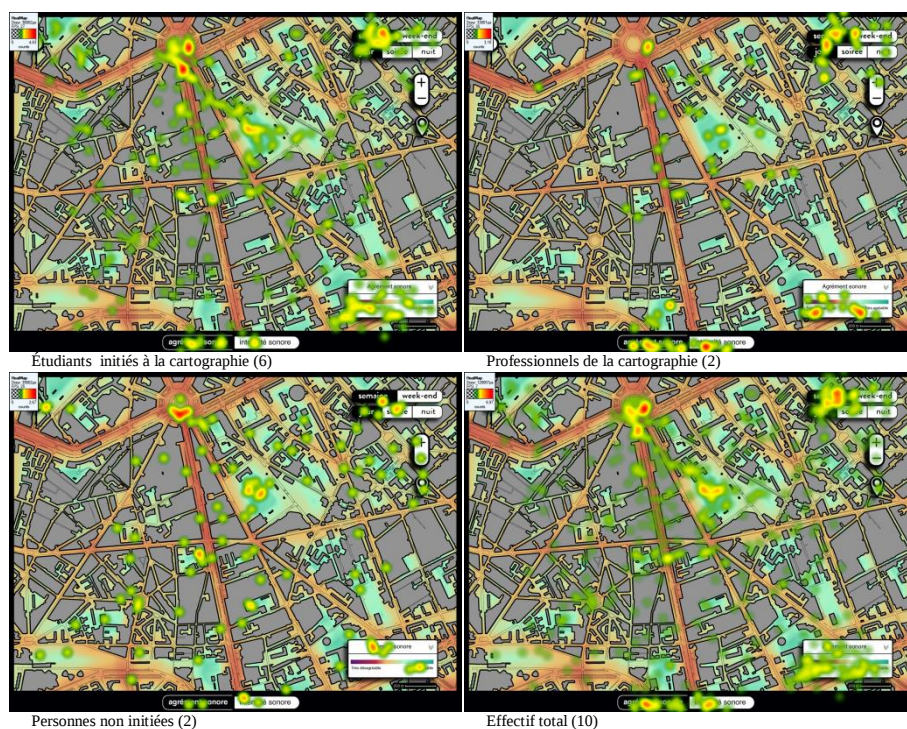


Figure 13. Comparaison des cartes de chaleur eye-tracking portant sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement suivant les profils de volontaires

Annexe 7. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier - Heat map



Figure 14. Comparaison des cartes de chaleur eye-tracking portant sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle du quartier suivant les profils de volontaires

Annexe 8. Carte d'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier - Heat map

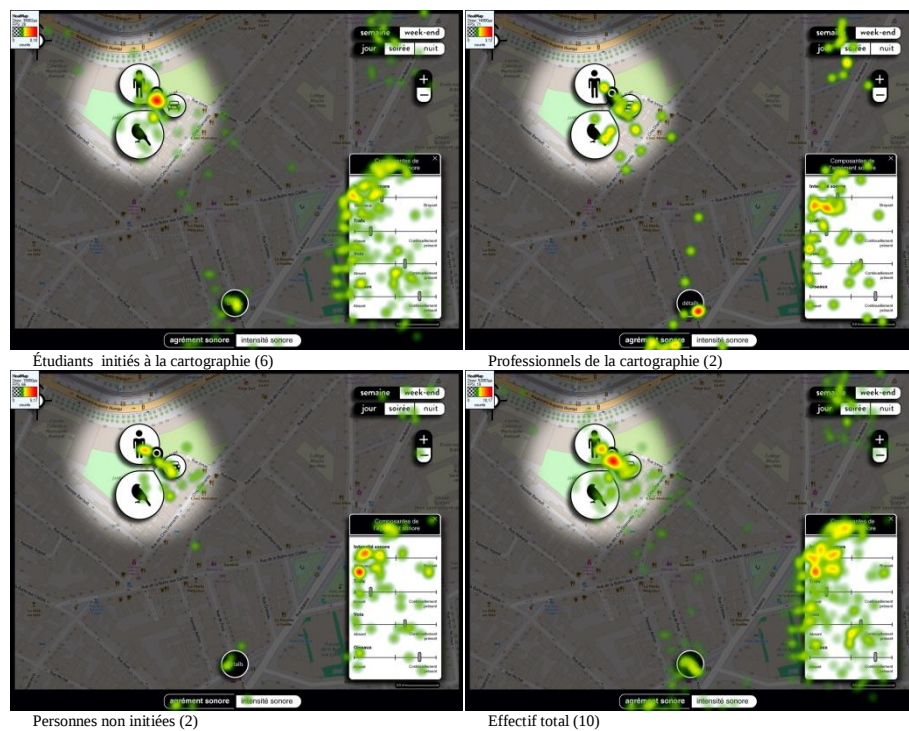


Figure 15. Comparaison des cartes de chaleur eye-tracking portant sur la représentation de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier suivant les profils de volontaires

Annexe 9. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie



Figure 16. Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement

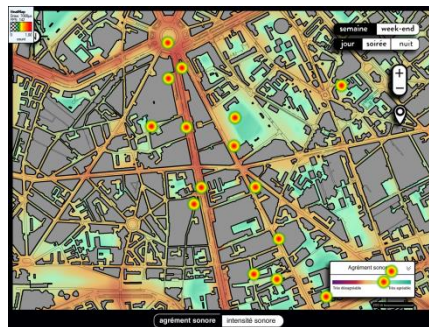


Figure 17. Heat map des cinq premières secondes d'observation (1)

Annexe 10. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Gaze plot d'un professionnel de la cartographie



Figure 18. Gaze plot d'un professionnel de la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement



Figure 19. Heat map des cinq premières secondes d'observation (2)

Annexe 11. Carte d'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement - Gaze plot d'une personne non initiée à la cartographie



Figure 20. Gaze plot d'une personne non initiée à la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle de l'arrondissement



Figure 21. Heat map des cinq premières secondes d'observation (3)

Annexe 12. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier - Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie



Figure 22. Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle du quartier



Figure 23. Comparaison des heat maps des cinq premières secondes d'observation d'un étudiant initié à la cartographie pour deux cartes d'agrément sonore à l'échelle du quartier

Annexe 13. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier - Gaze plot d'un professionnel de la cartographie



Figure 24. Gaze plot d'un professionnel de la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle du quartier



Figure 25. Comparaison des heat maps des cinq premières secondes d'observation d'un professionnel de la cartographie pour deux cartes d'agrément sonore à l'échelle du quartier

Annexe 14. Carte d'agrément sonore à l'échelle du quartier - Gaze plot d'une personne non initiée à la cartographie



Figure 26. Gaze plot d'une personne non initiée à la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore à l'échelle du quartier



Figure 27. Comparaison des heat maps des cinq premières secondes d'observation d'une personne non initiée à la cartographie pour deux cartes d'agrément sonore à l'échelle du quartier

Annexe 15. Carte d'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier - Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie

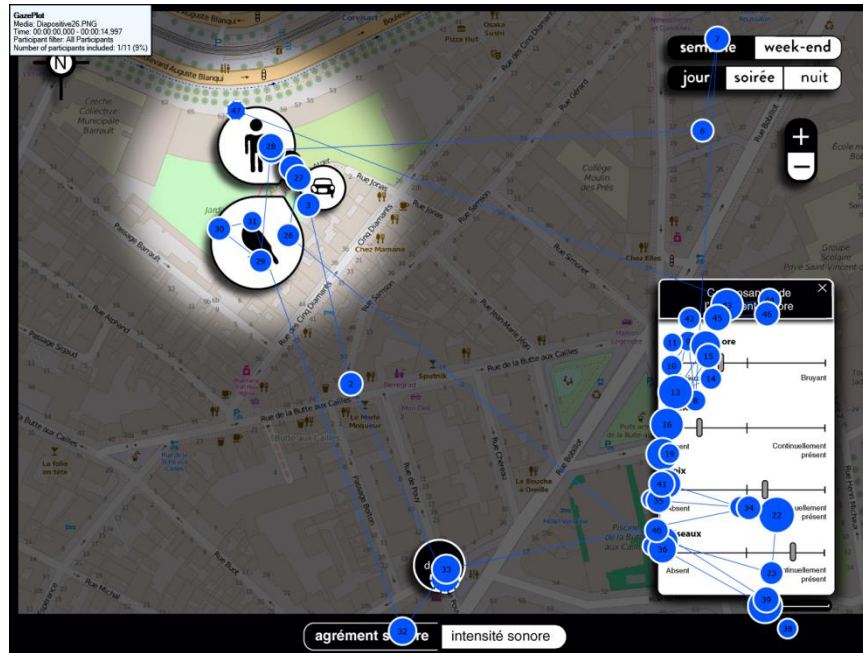


Figure 28. Gaze plot d'un étudiant initié à la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier

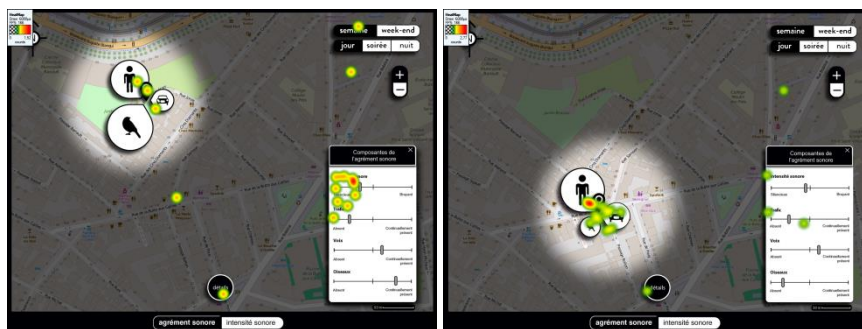


Figure 29. Comparaison des heat maps des cinq premières secondes d'observation d'un étudiant initié à la cartographie pour deux cartes d'agrément sonore détaillées à l'échelle du quartier

Annexe 16. Carte d'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier - Gaze plot d'un professionnel de la cartographie

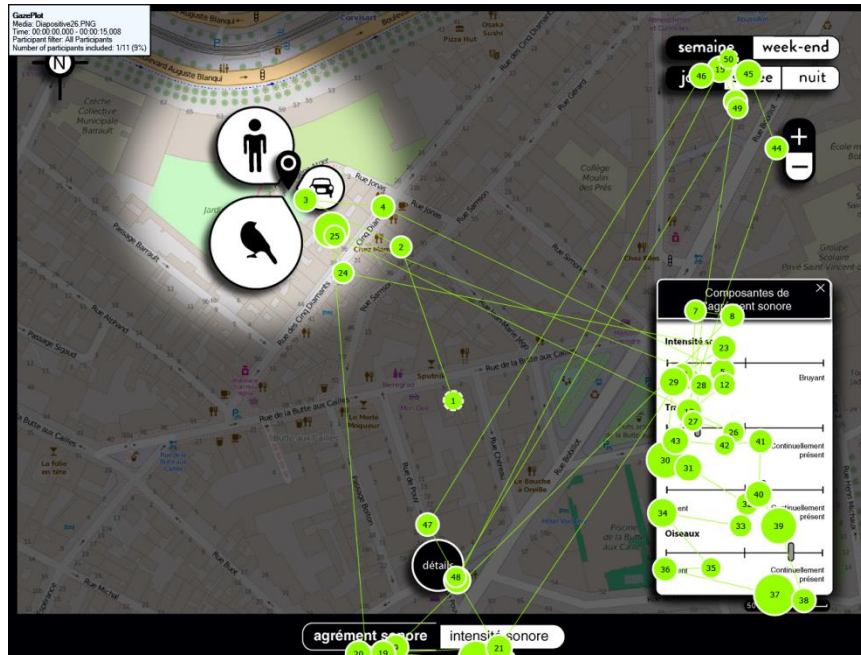


Figure 30. Gaze plot d'un professionnel de la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier

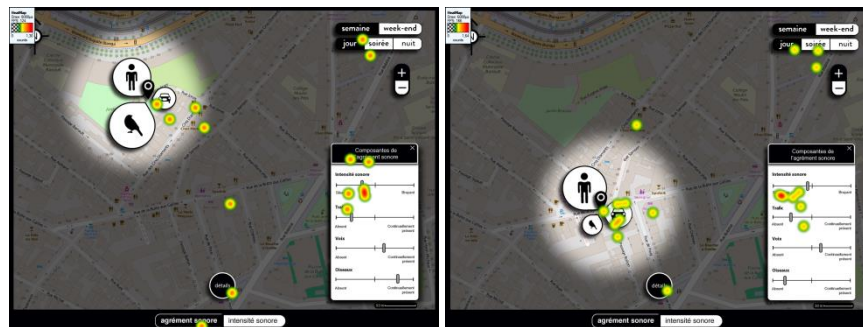


Figure 31. Comparaison des heat maps des cinq premières secondes d'observation d'un professionnel de la cartographie pour deux cartes d'agrément sonore détaillées à l'échelle du quartier

Annexe 17. Carte d'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier - Gaze plot d'une personne non initiée à la cartographie

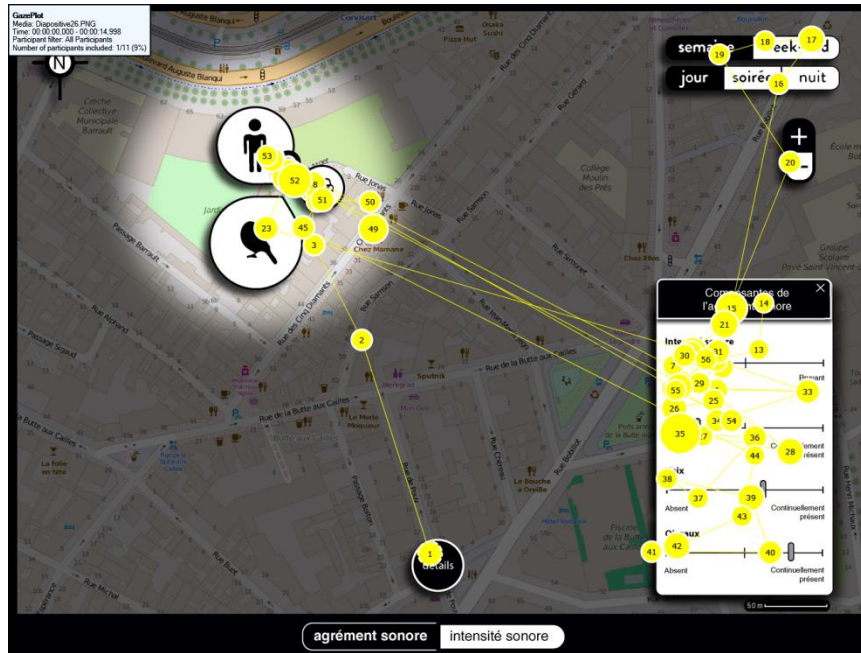


Figure 32. Gaze plot d'une personne non initiée à la cartographie sur la représentation de l'agrément sonore détaillée à l'échelle du quartier

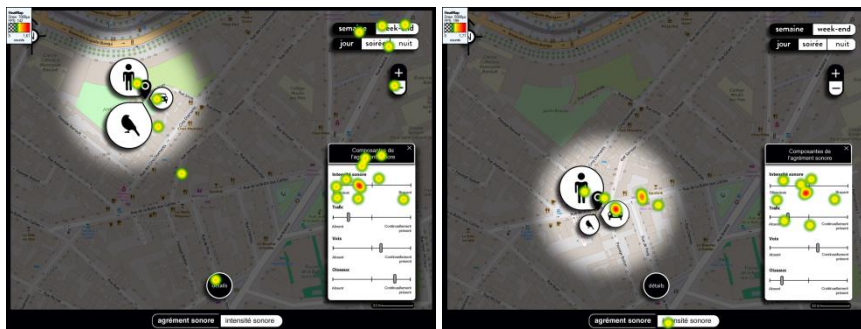


Figure 33. Comparaison des heat maps des cinq premières secondes d'observation d'une personne non initiée à la cartographie pour deux cartes d'agrément sonore détaillées à l'échelle du quartier

CITERES

UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :
Serrhini Kamal

Naulleau Vianney
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2015-2016

Cartographie efficace des ambiances sonores urbaines : Évaluation des prototypes cartographiques par suivi oculaire (eye-tracking)

Résumé : Les cartes de bruit, outils de communication articulés entre techniciens et décideurs, permettent d'identifier les espaces soumis à des niveaux d'exposition sonore trop élevés afin de prévenir les risques relatifs aux bruits. Cependant, ces cartes n'effectuent pas la modélisation de l'environnement sonore et de sa perception par les populations. L'évaluation de l'efficacité de nouvelles cartes d'ambiances sonores en milieu urbain, étayée par l'émergence de la notion d'agrément sonore, s'appuie dès lors sur la participation de volontaires à l'amélioration des prototypes cartographiques. La technologie de suivi oculaire (eye-tracking) utilisée dans le cadre de cette recherche amorce un processus de réflexion à la fois pour le perfectionnement des cartes d'agrément sonore mais également pour une plus grande utilisation de cette technologie dans le milieu de la recherche en permettant de rapprocher des disciplines telle que la géomatique avec la psychologie humaine, afin d'optimiser les systèmes existants.

Mots Clés : agrément sonore, bruit, efficacité cartographique, eye-tracking, maîtrise d'usage, perception, suivi oculaire, stratégie visuelle.