
Vers une approche psychoacoustique et qualitative des paysages sonores de la commune de Sidi Bou Saïd

Mohamed Amin Hammami¹, Christophe Claramunt²

1. Computer Department, Deanship of Preparatory Year and Supporting Studies,
Imam Abdulrahman Bin Faisal University, Dammam, Arabie Saoudite
mahammami@iau.edu.sa

2. Institut de Recherche de l'École Navale, CC 600 – Lanvéoc, France
christophe.claramunt@ecole-navale.fr

RÉSUMÉ. La recherche présentée dans cet article propose une approche qualitative de qualification d'ambiances sonores dans un espace urbain. La démarche combine une série de mesures psychoacoustiques réalisées in situ à partir d'une gamme complémentaire de capteurs sonores avec une évaluation qualitative réalisée par les acteurs de ces environnements. Les expérimentations menées dans la commune de Sidi Bou Saïd montrent la faisabilité de la démarche, l'intérêt de combiner mesures quantitatives et réalités sonores perçues, tout comme l'opérationnalisation possible de l'approche qualitative permettant de qualifier des ambiances sonores dans un riche environnement urbain.

ABSTRACT. The research presented in this paper introduces a qualitative approach for the representation of urban sound scapes. The approach combines a series of in situ psychoacoustics measurements recorded with different sensors with a qualitative evaluation derived from human beings acting in these urban environments. The experiments realized in the city of Sidi Bou Saïd illustrate the potential of the combination of the quantitative and qualitative views, as well as demonstration of the feasibility of the whole approach when experimented in a real urban environment.

MOTS-CLÉS : acoustique environnementale, patrimoine urbain, paysage sonore, psychoacoustique.
KEYWORDS: Environmental acoustics, Urban heritage, Soundscape, Psychoacoustics.

DOI: 10.3166/rig.2022.00113 © 2022 Lavoisier

1. Introduction

Les ambiances sonores font partie intégrante de la richesse d'un paysage urbain et c'est particulièrement le cas du petit village côtier de Sidi Bou Saïd au nord de Tunis, notre contexte d'étude qui offre de multiples possibilités de riches parcours sonores et de hautes valeurs patrimoniales (Mezhoud, 2017). Ces paysages sonores jouent un rôle important dans la perception de la cité et contribuent à l'émergence d'une qualité environnementale telle que perçue par les humains (Moscoso *et al.*, 2018). Un paysage sonore peut être défini comme l'ensemble des sons émanant d'un paysage dont on peut distinguer la géophonie (sons générés par la géophysique), la biophonie (sons biologiquement produits) et l'anthrophonie (sons produits par l'homme et les machines) et plus globalement ceux perçus par l'humain (Habellion, 2015).

Nous souhaitons par cette recherche nous interroger sur ce paysage sonore, ses multiples caractéristiques et ses variabilités socio-spatio-temporelles. Il s'agit d'étudier la relation entre ces ambiances sonores et leurs environnements socio-culturels et patrimoniaux, en tentant de corrélérer ce qui est perçu et mesuré *in situ*, avec des transcriptions de vécus tels que traduits par des humains à travers des enquêtes. Notre étude s'appuie sur la psychoacoustique qui étudie la relation entre la nature et les propriétés des ondes sonores et la physiologie et la perception humaines de ces auditions. La psychoacoustique fait appel à la psychologie et aux sciences cognitives et utilise les méthodes de la psychologie expérimentale (Fastl et Zwicker, 2006). Nous tentons de cerner l'ensemble de ces éléments en réalisant dans un premier temps un dispositif expérimental déployé dans les ruelles historiques de Sidi Bou Saïd, et constitué d'une large palette d'outils de mesures d'ambiances sonores dans leur environnement spatial et temporel. Ces mesures sonores physiques sont ensuite confrontées aux perceptions des habitants afin d'en analyser les convergences voire les écarts entre les réalités de terrain et les réalités perçues. En particulier, nous faisons le choix de déployer plusieurs outils de mesure des environnements acoustiques et psychoacoustiques qui seront explicités afin de développer un modèle qui permette d'appréhender les relations et les différences entre ambiance sonore, qualité instantanée et celles appréhendées par les habitants au sein d'un espace ouvert patrimonial.

Notre approche se démarque des approches conventionnelles de cartes de bruits principalement basées sur les niveaux de pression acoustique qui ne donnent qu'une représentation limitée de la manière dont les humains perçoivent un environnement sonore. Nous estimons qu'une telle démarche apporte une dimension complémentaire aux cartes conventionnelles de bruit, et de nouvelles perspectives pour des approches de conception ou de rénovations urbaines. Cette étude nous paraît bienvenue dans la mesure où la pollution sonore des environnements urbains a progressivement augmenté en raison d'une rapide modernisation et urbanisation de nos villes. De nombreux rapports ont en effet montré que le bruit avait des effets négatifs sur la santé physiologique et mentale et qu'un environnement sonore de qualité est considéré comme un facteur essentiel pour la constitution d'un environnement urbain de qualité (Marquis-Favre *et al.*, 2005 ; Mathias *et al.*, 2015 ; Triguero-Mas *et al.*, 2017).

Dans ce contexte, la directive 2002/49/CE, connue sous le nom de la « directive sur le bruit dans l'environnement » vise à évaluer et à gérer le bruit afin de créer des environnements calmes et de réduire les niveaux de bruit ayant une influence négative sur la santé humaine (EC, 2002). Une carte de bruit est un outil préalable utile pour identifier l'exposition au bruit dans une région donnée et pour analyser une zone à partir par exemple, de représentations visuelles des niveaux sonores (Seong *et al.*, 2011). Le matériel de diagnostic de ces cartes habituellement utilisé est un sonomètre qui fournit en temps réel ou différé ces niveaux sonores. Ces cartes de bruit permettent une caractérisation visuelle d'un phénomène sonore et fournissent des éléments pertinents pour évaluer son impact dans un environnement urbain (Lee *et al.*, 2008). Il apparaît cependant que les cartes de bruits conventionnelles se concentrent essentiellement sur les niveaux sonores provenant notamment du trafic routier, des activités commerciales ou industrielles, environnementales voire de l'humain (Wang et Kang, 2011 ; Vogiatzis, 2012). Ces cartes de bruit ne génèrent pas d'informations plus précises sur les caractéristiques acoustiques singulières de ces sonorités, voire mêmes qualitatives, et en particulier si elles diffusent des sentiments qualitatifs positifs notamment pour celles provenant ou pouvant être associées à des ordres naturels (EEE, 2014). Pour l'homme, l'influence positive ou négative de la qualité sonore perçue est due en grande partie à l'environnement sonore urbain, qui est un mélange de sources d'origines biologiques, géophysiques et anthropiques (Pijanowski *et al.*, 2011 ; Hong et Jeon, 2015, 2017). Le problème des cartes de bruit conventionnelles est qu'elles sont essentiellement basées sur une qualification quantitative des niveaux de bruit, approches insuffisantes pour une bonne compréhension de ces sonorités en phase avec les perceptions humaines qualitatives plus proches de l'interprétation d'un environnement et son vécu (Kang, 2017 ; Raimbault et Dubois, 2005 ; Schafer, 1977). Une des solutions à cette limite réside dans la recherche et l'expression de cartes sonores plus qualitatives qui intégreraient les dimensions spatiales et temporelles, afin de restituer des qualités sonores perçues par l'homme en mobilité, et en interaction avec son environnement (Can *et al.*, 2014 ; Green et Murphy, 2020).

« L'acoustique environnementale perçue ou vécue, et/ou ressentie/comprise par une ou plusieurs personnes dans un contexte donné » (ISO 12913-1, 2013) est un des concepts clés de la notion du paysage sonore qui nous permettra de trouver des alternatives aux lacunes actuelles des cartes de bruit. Plusieurs recherches ont été effectuées dans ce sens en s'appuyant sur la mise en place de plans de paysage sonore basés sur la perception humaine d'un environnement sonore (William *et al.*, 2013 ; Aletta et Kang, 2020 ; Yu et Kang, 2009, 2015 ; Joo et Jin, 2017). Notre recherche s'inscrit dans ce courant de travaux et tente de prendre en compte la qualité sonore d'un espace urbain ouvert afin de le caractériser qualitativement. Elle se distingue des approches actuelles par l'intégration d'une grande diversité de capteurs qui combinent plusieurs mesures en relation avec le sonore, les restitutions dans des environnements 360° et l'application d'une série de traitements qui permettent d'en extraire les caractéristiques sonores et psychoacoustiques principales. Dans un second temps, les résultats de ces expérimentations *in situ* sont confrontés à des perceptions humaines de ces mêmes environnements tels que caractérisés par une enquête réalisée auprès d'un

panel de personnes interagissant dans ce milieu urbain de notre cas d'étude. Finalement, une telle approche combine mesures psychoacoustiques et perceptions humaines telles que perçues. Elle doit pouvoir apporter une vision plus globale combinant éléments quantitatifs et qualitatifs, et ainsi des références d'appréciation des environnements sonores de milieux urbains, tant pour les aménagistes que les acteurs et habitants de ces environnements.

Il nous faut tout d'abord nous interroger sur la nature de ce paysage sonore et de ses caractéristiques multiples, ses diversités et ses variabilités socio-spatio-temporelles. Nous mettons en œuvre des outils de mesure à partir de capteurs spécifiques et des techniques de restitution et de visualisation de ces ambiances sonores. Nous développons un modèle qui traite les relations organiques entre l'ambiance sonore, la qualité instantanée, les interactions et les perceptions de ces ambiances avec/par les habitants. Cette approche s'appuie sur une approche expérimentale duale basée sur une combinaison de diverses mesures, modèles et évaluations de perception à partir d'un questionnaire ciblé. La suite de cet article est organisée comme suit. La section 2 présente les fondements théoriques de notre approche, la section 3 développe le modèle de perception psychoacoustique des sonorités de la cité. La section 4 introduit la méthode de caractérisation des ambiances psychoacoustiques et la section 5 synthétise les résultats de l'approche expérimentale appliquée au contexte de la ville de Sidi Bou Saïd. La section 6 conclut l'article et dresse quelques perspectives de recherche et de prolongement de nos travaux.

2. Synthèse des fondements

La description d'un paysage sonore peut se construire à partir d'une terminologie qui doit prendre en compte toutes ses composantes. Plusieurs modèles de description ont été proposés en faisant une analogie avec plusieurs domaines d'expertise (*e.g.*, musicologique, physique) (Shafer, 1977). De tels descripteurs contribuent à une bonne compréhension d'un paysage sonore, ils sont présentés dans cette partie, à savoir les notions de nuisance et de plaisir sonore, de calme et de tranquillité, et la qualité affective perçue (Mitchell *et al.*, 2020).

2.1. Nuisance sonore

Cette notion de nuisance sonore a été souvent définie par des directives nationales, en France par exemple : « Les nuisances sonores sont séparées en deux groupes, le tapage diurne et le tapage nocturne. Le tapage diurne est un bruit qui cause un trouble anormal de voisinage et qui se produit entre 7 h et 22 h, et se manifeste de manière continue, intense et durable, Les nuisances sonores sont prohibées entre le coucher et le lever du soleil, soit de 22 h à 7 h du matin » (code de la santé publique article R1336-5) », « Le bruit provenant d'activités commerciales, industrielles ou artisanales ne doit pas être la cause d'un dépassement, par rapport au bruit ambiant, de plus de 5 dB(A) le jour (de 7 h à 22 h) et 3 dB(A) la nuit » (article R. 1336-7, code de la santé publique). En Tunisie, la lutte contre les nuisances est réglementée par des arrêtés municipaux interdisant toutes sortes de

nuisances sonores pouvant détériorer la qualité de vie, à un faible niveau sonore mais de manière prolongée un bruit pouvant être néfaste pour notre santé. Parmi les risques avérés citons le stress ou les insomnies, problèmes qui varient d'une personne à une autre ; plusieurs facteurs peuvent aussi aggraver la situation : temps d'exposition, rythme d'exposition et bien sûr l'intensité du bruit. La nuisance sonore est un concept clé de l'appréciation de l'impact environnemental du son pour une communauté dans son environnement (Guski *et al.*, 1999). Plusieurs chercheurs ont tenté d'évaluer cette notion selon des approches quantitatives voire qualitatives afin d'appréhender leurs impacts sur différents types d'environnement et de population. Les relations entre ambiances sonores et leurs perceptions peuvent être en particulier analysées au regard des conditions de vie des habitants et de leurs attentes (Guski, 1999) voire appréhendées par des démarches et guides méthodologiques évaluant les perceptions d'environnements sonores urbains par leurs habitants (Fields *et al.*, 1997).

2.2. Plaisir sonore

Plusieurs recherches abordent les perceptions sonores qualitatives par des qualificatifs de type agréable ou déplaisant. Ces approches sont sensiblement différentes de celles abordant la nuisance sonore par une seule variable d'intensité car elles abordent à la fois des perceptions négatives et positives (Thompson, 2017). (Terhardt et Stoll, 1981) proposent un descripteur permettant de déterminer le caractère « agréable du bruit ». L'importance de l'information tonale comme le timbre et la hauteur ont été mis en valeur et permettent une analyse beaucoup plus quantitative de cette information sonore. Un tel modèle orienté vers la hauteur spectrale caractérise les sons complexes, en distinguant les types de sons humains ou biologiques, leur hauteur et les harmoniques. Cet ensemble permet de donner une coloration beaucoup plus qualitative aux interprétations possibles en leur associant des sensations positives. « Tout le monde sait que le bruit d'une scie que l'on aiguise, d'un morceau de liège que l'on coupe, de deux orgues de Barbarie jouant des airs différents ou simplement d'un papier que l'on chiffonne, suffit pour mettre aux abois certaines personnes à nerfs délicats. » (Stendhal, 1823). Plusieurs descripteurs acoustiques ont été pensés et expérimentés par des tests d'écoute et statistiques : la richesse, la couleur de point de vue du timbre, la sonorité, l'espace, le rythme, le mouvement, les types de sons, la morphologie, la combinaison des éléments sonore et leurs qualités (Guérin, 1993 ; Jolivet, 2015). Aletta et Kang (2016, 2020) ont examiné plusieurs paramètres comme le volume, la netteté, la rugosité et la tonalité. Ils ont rassemblé des réponses individuelles de ces descripteurs à travers des expériences d'écoute.

2.3. Calme et tranquillité

Un paysage sonore calme procure à l'humain une sensation positive de repos et de tranquillité. Diminuer le bruit c'est protéger notre santé d'une pollution sonore et *booster* notre bien-être. Du point de vue normatif la directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans

l'environnement apporte un cadre réglementaire de régulation. Les caractères de ces paysages sonores sont de plus en plus abordés à partir de propriétés acoustiques et permettent de qualifier des qualités d'environnements sonores et constituent des éléments d'appréciation pour les aménagistes en environnements urbains (Vogiatzis, 2012).

Pheasant *et al.* (2008) tentent de quantifier ou de « mesurer » la qualité d'un environnement comme un « espace pouvant faciliter un état de tranquillité » donc à être dans un milieu de bien-être. À l'aide d'une série d'expériences audio-visuelles collectant les réponses individuelles sur une tranquillité perçue, ils ont développé un descripteur appelé « Tranquility Rating » comme un indice d'estimation de la tranquillité d'un environnement. Plusieurs améliorations de ce concept ont été ensuite proposées (Watts et Marafa, 2017 ; Konstantinos et Rémy, 2018) et suggèrent un outil de prédiction de l'estimation de la tranquillité « Tranquillity Rating Prediction Tool » (TRPT) pour prédire la qualité de la tranquillité dans les zones urbaines en utilisant deux facteurs de référence : le niveau moyen de bruit anthropique et le pourcentage d'éléments naturels pouvant être perçus.

2.4. *Qualité affective perçue*

Selon (Russell, 1980) et plus tard une norme (ISO 12913-3, 2019), les perceptions humaines d'un environnement sonore répondent plus à des critères qualitatifs voire affectifs. Axelsson *et al.* (2010) suggèrent que la qualité des sources sonores perçues apporte de meilleurs indicateurs que les seuls niveaux sonores. En particulier, les sons à caractère naturel contribuent de manière positive (*e.g.*, chant des oiseaux), alors que les sons relevant de technologies (*e.g.*, trafic routier) contribuent eux plus négativement à une qualité d'écoute (Nasanovsky-Lanier, 1999 ; Weber, 2010 ; Verdier, 2019). Axelsson *et al.* (2010) proposent un modèle qualitatif de perception d'un paysage sonore à partir de quatre facteurs bipolaires que nous considérons comme une référence dans la suite de notre recherche :

A : Plaisir

A1 : Calme + Agréable : environnement sans évènements et « décontracté »

A2 : Excitant + Mouvementé : riche en évènements et plaisant

B : Déplaisir

B1 : Monotone + Ennuyeux : désagréable + sans évènements

B2 : Chaotique + Mouvementé : désagréable + riche en évènements

2.5. *Cartographie du paysage sonore*

L'étude des cartes de paysage sonore peut être résumée en trois principales catégories (Aletta et Kang, 2016, 2020) : carte des sources sonores, carte psychoacoustique, carte de qualité perceptuelle de l'environnement sonore.

2.5.1. Carte des sources sonores

Dans ce type de carte, Li *et al.* (2018) ont classifié les sources sonores suivant leurs natures : anthrophonique, biophonique et géophonique en visualisant la variation spatiotemporelle des sources sonores perçues. Ces sources sonores ont été subdivisées en deux groupes : bruits et sons positifs. Kang (2017) a réalisé une cartographie de champ sonore basée sur des techniques de simulation tenant compte de la diffusion et de la réflexion du son en se basant sur des modèles mathématiques et des concepts d'acoustique.

2.5.2. Les cartes psychoacoustiques

Ces cartes intègrent des paramètres psychoacoustique tels que la volumétrie, la sonie, la hauteur, la rugosité, le timbre, en utilisant des mesures acoustiques *in situ* (Genuit, 2008). Pour la suite de notre recherche, les paramètres psychoacoustiques qui seront traités sont la sonie (*loudness*) et l'acuité (*sharpness*) ainsi que le niveau continu équivalent de pression acoustique pondérée (ISO 12913-2, 2017).

2.5.3. Les carte de qualité perceptuelle de l'environnement sonore

Ces cartes évaluent l'influence perçue du sonore sur le paysage et son environnement en se basant sur des données quantitatives et qualitatives. Ge et Kazunori (2004) ont effectué des mesures *in situ* et des enquêtes pour récolter des données acoustiques et des informations subjectives sur le paysage sonore. D'autres recherches synthétisent par des algorithmes issus de l'intelligence artificielle les descriptions de perception d'un paysage sonore dans un espace public urbain (Kang, 2017) ou combinent des cartes de bruits avec les caractéristiques visuelles de paysages urbains pour dériver des indices de satisfaction (Youssoufi *et al.*, 2020).

3. Présentation de la démarche de modélisation psychoacoustique

Notre travail de recherche s'appuie sur des mesures acoustiques et psychoacoustiques, mais aussi sur l'analyse des scènes auditives en relation avec le caractère spatial et social du lieu. Dans notre analyse des différentes scènes auditives d'un environnement urbain, nous recherchons une identification des objets sonores, leurs classements en familles de sonorité, qu'ils soient simultanés ou en succession dans le temps, qu'ils soient proches ou plus loin dans l'espace. En faisant une analogie musicale cela correspond à une classification de ces sonorités de manière monodique ou polyphonique. Les caractéristiques acoustiques, psychoacoustiques et physiques mesurées de notre environnement sonore avec l'impact des paramètres évoqués dans la précédente section seront utilisés A1, B1 A2, et B2 (section 2.4) pour la suite de la recherche.

Un environnement acoustique est généralement caractérisé par des métriques acoustiques établies, telles que le niveau d'énergie équivalent (ex. : Leq) et les niveaux statistiques connexes (ex. les niveaux sonores par unité de temps pour une période d'acquisition donnée, Lx), la variabilité du niveau sonore dans le temps et la proportion de

sons basses. L'environnement acoustique pourra être également caractérisé à l'aide d'indicateurs psychoacoustiques tels que le volume, la sonie (*loudness*), (ISO 532-1, 2017) l'acuité (*sharpness*), netteté, rugosité et force de fluctuation (ISO 12913-2, 2017), mais aussi à partir de paramètres additionnels traduisant le positionnement de ce paysage sonore dans l'espace. Pour notre étude, nous allons avoir recours à une méthode de représentation en relation avec la classification de Tversky *et al.* (1999) qui caractérise les environnements spatiaux perçus par l'humain à partir de relations qualitatives (espace à proximité corporelle du corps, espace à proximité, espace que l'on voit, espace au loin).

Dans un deuxième temps, et afin de compléter cette approche des sonorités psychoacoustiques mesurées, nous proposons une analyse réalisée à partir d'un questionnaire dont l'objectif consiste à transcrire qualitativement le vécu des perceptions sonores et de leur qualité dans un espace urbain considéré, et ce, pour des scènes environnementales bien précises qui correspondront aux espaces précédemment évalués par les senseurs.

Notre approche est synthétisée par la figure 1 qui s'organise 1) par une description du lieu en effectuant une analyse paysagère ; 2) une écoute de l'environnement psychoacoustique abordée sur plusieurs plans en intégrant la classification de Tversky (1999) ; 3) une description morphologique de l'espace sur le plan acoustique et architectural ; 4) une description des modalités issues du traitement du signal : spectrogramme, visualisation tridimensionnelle stéréophonique et ambisonique et enfin, 5) une prise en compte de l'humain à l'aide du questionnaire intégré. Clairement cette approche duale, du senseur à l'humain, permet d'analyser les correspondances objectives et subjectives entre le mesuré dans une large palette d'espace avec le perçu et le ressenti des humains dans leur environnement.

4. Démarche expérimentale

4.1. Principes

Notre protocole expérimental (figure 2) s'articule autour de six étapes, la première, essentielle à la mise en œuvre de notre dispositif, est 1) l'enquête exploratoire et le choix des espaces qui doit refléter un lieu riche en patrimoine et en paysage sonore, mais aussi

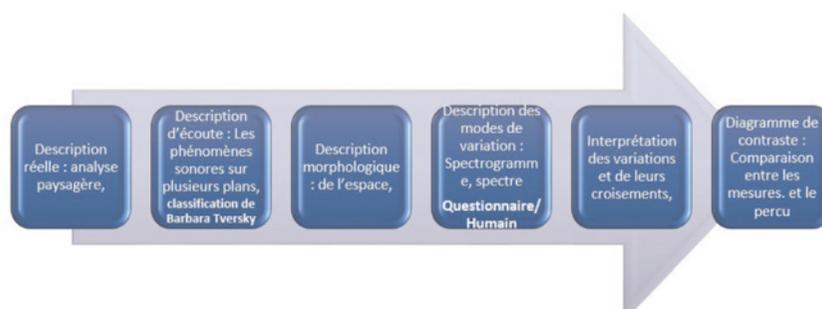


Figure 1. Éléments du modèle de l'environnement psychoacoustique



Figure 2. Protocole expérimental

pratiquement permettant, 2) le déploiement du matériel sonore et acoustique ainsi que son calibrage pour valider la véracité et l'exactitude des résultats. Cette étape initiale doit aussi comporter, 3) une analyse descriptive de l'espace et préalable de l'environnement sonore et l'élaboration et la mise en place du questionnaire. Un travail prospectif sur le terrain permettra, 4) l'acquisition et la production sonore : captations de faits sonores en continu et pour des intervalles de temps nécessaires au diagnostic du paysage tout 5) en collectant des données du questionnaire et la phase d'analyse comparée entre l'analyse des données du questionnaire et l'acoustique/psychoacoustique, ce qui nous permettra de constituer au final 6) une base de données pour conserver et traiter l'ensemble des résultats.

4.2. Site d'étude : Sidi Bou Saïd

Sidi Bou Saïd est un village du nord de la Tunisie avec environ 6 000 habitants (recensement officiel de 2014). En haut d'une falaise entre le golfe de Tunis et Carthage, le nom Sidi Bou Saïd vient d'un saint qui s'y est établi. Ce village a les caractéristiques d'un paysage urbain traditionnel. Le type d'habitat dans cette région rappelle la manière dont sont faites les maisons de la médina avec comme centre de gravité de ce village la mosquée signe d'appartenance à la tradition islamique : l'organisation de la vie se fait autour du lieu de culte (Santelli, 1995), autre lieu important et à caractère religieux est la Zaouïa du saint ainsi qu'une masse compacte des résidences entourée par des jardins et des sections agricoles (Zaïer *et al.*, 2012). Notre choix du lieu avec sa richesse à la fois acoustique et historique nous pousse à choisir un parcours urbain qui se déroule sur une progression de ruelles comprenant deux cafés antiques, une richesse patrimoniale, plusieurs commerces d'artisanat avec à proximité des hôtels et des restaurants et les fameux vendeurs de pâtisserie tunisienne Bambalouni. Les figures 3 et 4 illustrent le parcours et son environnement urbain.

4.3. Caractéristiques techniques des enregistrements

Les mesures *in situ* sont réalisées à partir d'un enregistreur modulaire numérique ZOOM h6 avec ses microphones dédiés XY et un canon stéréo. Ce matériel permet

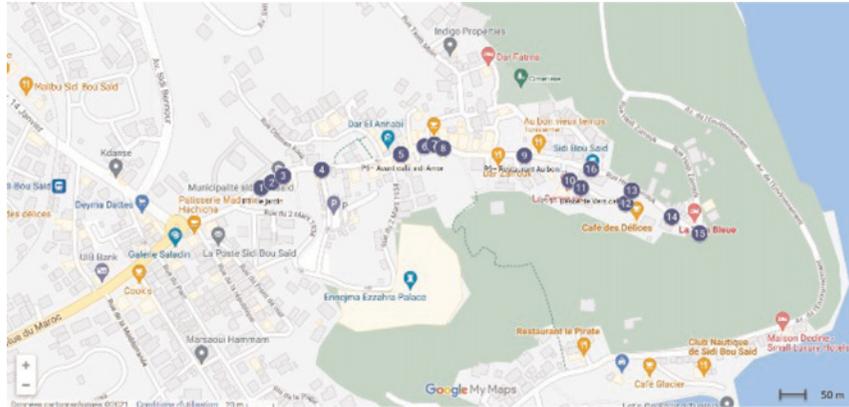


Figure 3. Parcours des mesures ©Google Map

d’effectuer des enregistrements stéréophoniques importants pour l’archivage des données et le diagnostic lié aux phénomènes sonores mais avec une spatialisation limitée du son (deux canaux L/R). Afin de les compléter et de spatialiser ces mesures phoniques en parallèle, est utilisé un zoom H3-VR qui permet de réaliser des enregistrements audio en 360° en intégrant un encodeur/décodeur ambisonique. Pour les mesures acoustiques est utilisé un sonomètre qui a été calibré avant chaque campagne de mesure. Pendant la collecte des données, tous les enregistrements ont été effectués avec protection des microphones contre le vent. La configuration des fichiers audio utilisée est de 48 000 Hz/24 bits.

4.4. Collecte des données et visualisation tridimensionnelle des sonorités

Avant le début des campagnes de mesures, plusieurs repérages acoustiques ont été effectués pour s’imprégner du lieu. Des vidéos 360° ont été réalisées pour une

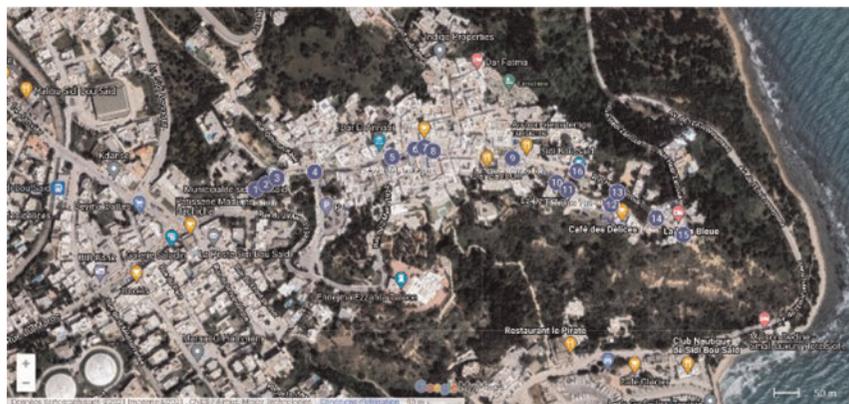


Figure 4. Vue globale du parcours carte/satellite ©Google Map

Tableau 1. Protocole des enregistrements

Avant	3 minutes	Après
Stabilisation du matériel	Enregistrement audio ambisonique	Vérification des données
Localisation sur la carte	Enregistrement vidéo 360°	Présentation de l'importance patrimoniale culturelle de chaque position d'analyse
Condition météorologique	Enregistrement acoustique (sonomètre)	
Vent vitesse + protection		
Date heure		

reproduction réaliste du lieu et de ces parcours. Dans un deuxième temps des mesures en continue ont été effectuées dans une première étape pour le centre du parcours qui est riche en patrimoine, en l'occurrence deux cafés historiques et une Zaouïa (lieu de culte). Cette expérimentation a été réalisée en deux jours (les 8 et 9 août 2019) pour une durée totale de 19 heures et 30 minutes et l'avènement de 132 « accidents » sonores. Dans une seconde étape des mesures en 16 points de notre parcours ont été réalisées pour des lieux choisis pour leurs richesses sonore et patrimoniale (voir protocole les tableaux 1 et 2).

4.5. Questionnaire, panel et mode opératoire

La campagne de collecte du questionnaire a été effectuée par trois personnes dont le premier auteur de l'article, le panel comprend 91 hommes et 81 femmes âgés entre 18 et 66 ans. Afin de tester leurs audibilités, un test rapide d'écoute de trois fréquences a été effectué, le questionnaire écrit en français a nécessité une traduction des termes en langage dialectal tunisien pour quelques-uns.

Les questionnés ont été divisés en trois grandes catégories :

- Groupe A des experts c'est-à-dire des techniciens, ou des ouvriers municipaux qui opèrent dans la gestion urbaine des lieux,
- Groupe B des usagers tunisiens permanents ou temporaires,
- Groupe C des visiteurs étrangers (touristes).

Le questionnaire pour les évaluations de paysages sonores et les interrogations a été élaboré afin de corréler les données avec les mesures physiques. Ce questionnaire est constitué de deux sections :

Tableau 2. Temporalité des enregistrements et lien questionnaire

Date	Horaire	Actions effectuées	Techniques
10/08/2019	21 h-23 h	Mesures : 16 points	– Mesures acoustiques – Enregistrement audio stéréo / ambisonique – Enregistrement vidéo 3D
13/08/2019	11 h-14 h	Mesures : 16 points	– Mesures acoustiques – Enregistrement audio stéréo / ambisonique – Enregistrement vidéo 3D
13/08/2019	19 h-22 h 30	Mesures : 16 points	– Mesures acoustiques – Enregistrement audio stéréo / ambisonique – Enregistrement vidéo 3D
14/08/2019	11 h-14 h	Questionnaire	– Écriture manuelle et enregistrement d'interviews en réponse aux questions
14/08/2019	19 h-22 h 30	Questionnaire	– Écriture manuelle et enregistrement d'interviews en réponse aux questions
15/08/2019	05 h 30-10 h 00	Mesures 16 points	– Mesures acoustiques – Enregistrement audio stéréo/ambisonique – Enregistrement vidéo 3D
15/08/2019	8 h-10 h	Questionnaire	Écriture manuelle et enregistrement d'interviews en réponse aux questions

– La première comprenait des informations démographiques, y compris le sexe, l'âge et la sensibilité au bruit (le test rapide d'écoute des fréquences nous aide à la décision),

– La seconde section est en relation avec la perception du paysage sonore.

Les participants ont été invités à évaluer l'identification des sources sonores à chaque emplacement et à tenter d'en décrire le ressenti sonore du lieu. Les sources sonores étaient classées en nature, humain, machine et faune et appartiennent aux trois catégories suivantes : anthrophonique (provenant de l'humain), biophonique (faune) et géophonique (naturel). L'environnement à chaque emplacement a également été évalué à l'aide de huit attributs qualitatifs : ennuyeux, calme, chaotique, mouvementé,

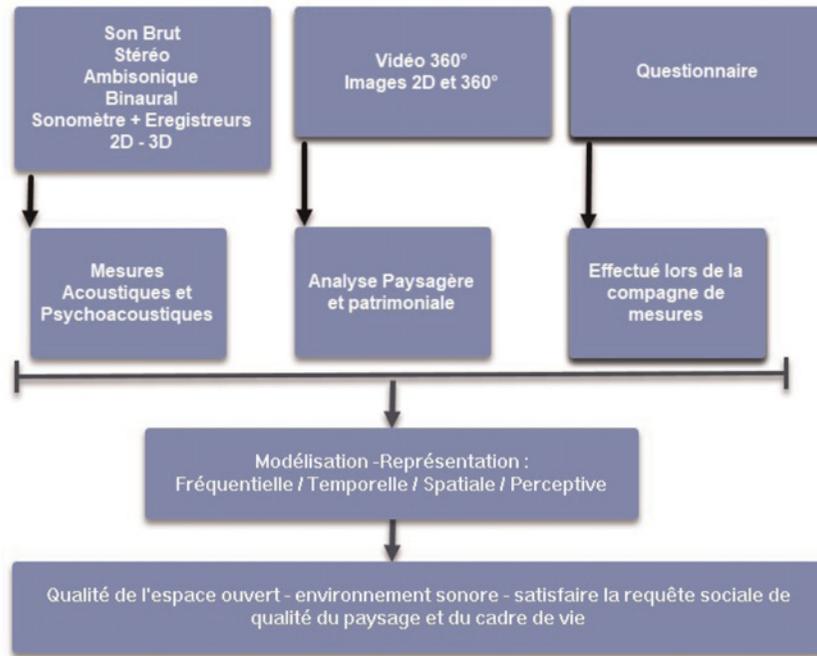


Figure 5. Modèle interactif de visualisation et d'interprétation

monotone, agréable, sans incident, excitant avec une échelle de satisfaction progressive allant de 1 à 5 en suivant les directives des normes (ISO 12913-2, 2017), (ISO 12913-3, 2019). La dernière section du questionnaire est ouverte et en relation avec le sonore, le visuel et l'olfactif. Le questionnaire est interactivement rempli dans la même période des enregistrements et mesures, d'autres dans une même plage horaire.

La figure 5 synthétise les principes de cette approche qui combine des enregistrements psychoacoustiques sur la base d'un parcours urbain riche et qualifié en différents lieux représentatifs, des visuels vidéos des lieux pour conserver une image qualitative de ce parcours et de l'environnement urbain patrimonial réel, le questionnaire reflétant le vécu de différentes catégories d'humains interagissant dans ce milieu. L'ensemble fournit les bases de notre étude et analyse pour une appréciation qualitative, spatiale et temporelle de cet environnement urbain que nous étudions à partir d'une confrontation qualitative des environnements psychoacoustiques multi-dimensionnels et leurs perception et ressenti humain.

5. Traitement et interprétation des résultats

Cette section développe et analyse l'ensemble des traitements et interprétations des analyses *in situ* et les confronte aux enquêtes de terrains. Un site web didactique

complète son contenu par une introduction commentée et interactive aux différents outils utilisés (www.geomatics-cc-mah.com/rig).

5.1. Analyse acoustique

En faisant des mesures en continu sur plusieurs heures sur le centre du parcours pour comprendre la morphologie sonore du lieu choisi, il est apparu nécessaire de mixer deux couches sonores. La première représente un bruit de fond sonore qui varie pendant les périodes de la journée. La seconde résulte d'objets sonores qui interviennent d'une manière accidentelle et qui varient selon le lieu et l'heure de la journée (figure 6).

La figure 6 présente des spectrogrammes qui décrivent des enregistrements sonores continus à savoir une répartition énergétique du son en fonction du temps et des fréquences. Ces spectrogrammes sont tridimensionnels (temps : axe des abscisses/ fréquence : axe des ordonnées/couleur : l'amplitude de la fréquence). Les intensités en jaune indiquent une présence énergétique importante pour la fréquence de l'axe des ordonnées. Les figures sont chacune constituée de deux canaux (enregistrement stéréophonique pour donner un aspect spatial 2D de l'environnement sonore).

Pour chaque point du parcours il devient possible de caractériser le lieu choisi par la taxonomie des sources sonores existantes. Typiquement plusieurs objets sonores spécifiques peuvent être identifiés selon leurs caractéristiques anthrophoniques, biophoniques et géophoniques, un travail de diagnostic sonore a été effectué en

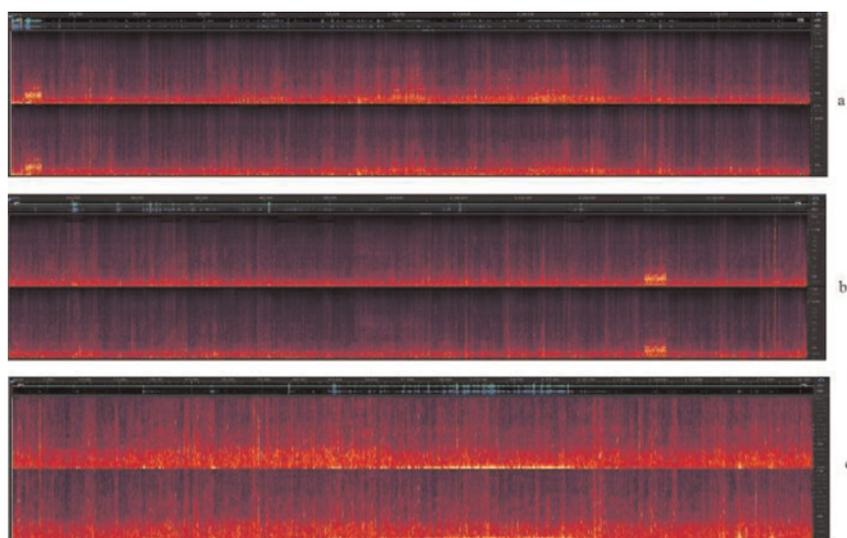


Figure 6. Morphologie sonore du centre du parcours - point 7 du parcours
a) 08-08-2019_12h30-14h34 ; b) 08-08-2019_14h34-16h38 c) 08-08-
2019_16h38-18h38

temps réel sur les lieux, grâce aux enregistrements et à l'analyse ces sources sonores ont été répertoriés (tableau 3) selon la norme (ISO 12913-2, 2017).

Nous faisons le choix dans la suite du traitement des résultats d'une analyse de trois lieux particuliers représentatifs (extraits d'une caractérisation plus complète de seize points de ce parcours), riches et complémentaires (figure 7) : le début du parcours (une fontaine), le milieu du parcours (café Sidi Amor), la fin du parcours (la falaise). Les mesures sur ces lieux sont effectuées le matin, en milieu de journée et en fin de journée. Cela permet de caractériser des périodes homogènes de mesure (matin ou milieu de la

Tableau 3. Caractéristiques sonores

Anthrophonique	Humain	Brouhaha, cris Effet cocktail Jeux d'enfants Mouvement, pas Rire Voix Jeux de cartes (cris et discussion, tapage sur la table)
	Artificiel autonome	Bus, camion, voiture moto (stationnement moteur en marche) Haut-parleur mosquée : appel prière Téléphones portables sonneries Générateur de courant
	Artificiel produit par l'homme	Sifflement police routier Artisanat – percussion darbouka Artisanat – sculpture sur assiette Vaisselle Valises (arrivée touriste) Fumage du narguilé Sifflet du train Klaxon Bicyclette Appareillage municipalité
Biophonique	Faune	Chats Chiens Insectes Oiseaux
Géophonique	Nature	Vent Vent sur les arbres Écoulement d'eau (fontaine)



Figure 7. Les trois points de mesures : ©Google Map 1) La fontaine ; 2) Café Sidi Amor ; 3) La falaise

journée ou soir) pour trois points de mesure centrés sur un intervalle de deux heures (ISO 12913-1 2014 et ISO 12913-2 2018).

Analysons dans un premier temps le début du parcours « La fontaine » pour des niveaux sonores moyens suivants : (matin, Leq 52.91 dbA), (milieu de journée, Leq 72.47 dbA) et (soir, Leq 77.57 dbA) (figure 8).

L'environnement acoustique est assez bruyant avec la présence de plusieurs objets sonores réguliers ou accidentels : son de l'eau de la fontaine, camion, voiture, voix, cris, sifflet police, insectes en continu, oiseaux, chiens, générateur de courant. Les accidents sonores sont exemplifiés par un passage de gros camions, des klaxons, des coups de sifflet de la police, des cris. Globalement la valeur $Leq_{(3)}$ dénote un lieu assez bruyant surtout à partir de 19 heures et ne représente pas un lieu de détente, ce qui explique que les personnes effectuant une collecte de l'eau le font rapidement et ne s'attardent pas sur ce lieu.

La figure 9 présente une combinaison de visualisations des données psychoacoustiques pour ce début de parcours : 1) le spectrogramme donne une visualisation en temps fréquence du signal et où l'amplitude est exprimée en couleur (la couleur jaune indique une amplitude élevée, et une couleur noire indique une absence de signal), 2) une visualisation spatiale ambisonique 3D présentée pour un instant temporel donné et 3) une visualisation spatiale ambisonique 3D qualitative (devant, derrière, haut, bas). Les outils utilisés pour la visualisation reposent sur deux outils : le premier est O3A Flare, l'une des principales bibliothèques de *plug-in* de « BlueRipple Sound »,

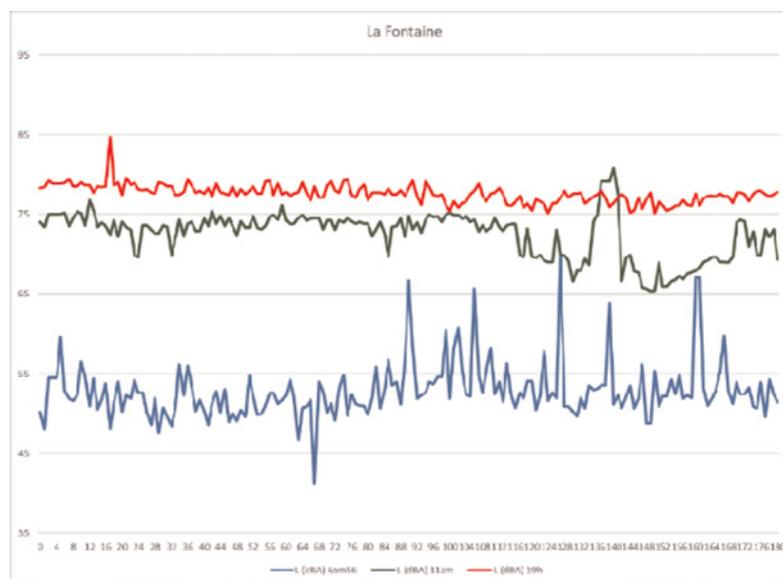


Figure 8. Environnement sonore du début du parcours (la fontaine).
 Mesures effectuées le matin, milieu de journée et soir
 (x : temps en secondes et Y : dB(A))

qui permet une représentation 3D ambisonique d'ordre supérieur. Le second NX Virtual Mix Room (Ambisonics Quad), de la famille de *plug-in* WAVES, est un système d'analyse en temps réel représentant la direction des sons dans les canaux ambisoniques (rouge les basses, orange pour les basses médium, jaune pour les hautes médiums et bleu clair pour les hautes fréquences). L'environnement acoustique est assez bruyant avec la présence de plusieurs objets sonores : son de l'eau de la fontaine, camion, voiture, voix, cris, sifflet police, insectes en continu, chiens, générateur de courant. Le bruit de fond de cette localisation est constitué par les insectes en continu, les oiseaux, les passages de voiture, le vent et un générateur de courant. Les accidents sonores sont constitués par le passage de gros camions, les klaxons, les sifflets de la police, des cris et des voix et les chiens. La valeur $Leq_{(3)}$ de ce lieu est celui d'un lieu assez bruyant surtout à partir de 19 heures et ne représente pas un lieu de détente (illustré par le comportement des locaux lors de la collecte de l'eau qu'ils font rapidement sans s'attarder sur le lieu).

Analysons dans un deuxième temps le milieu du parcours le « café Sidi Amor » pour des niveaux sonores moyens suivants : (matin, Leq 47.39 dB(A), (milieu de journée, Leq 68.57 dB(A) et (soir, Leq 75.25 dB(A) (figure 10).

L'environnement acoustique est assez bruyant et présente une extrême activité le soir, avec la présence de plusieurs objets sonores réguliers ou accidentels : sons de voitures, voix, passage de touristes, cris, moto, oiseaux, chiens, générateurs de courant, vendeurs d'artisanat (sculpture sur des assiette en métal), appel à la prière. Les accidents

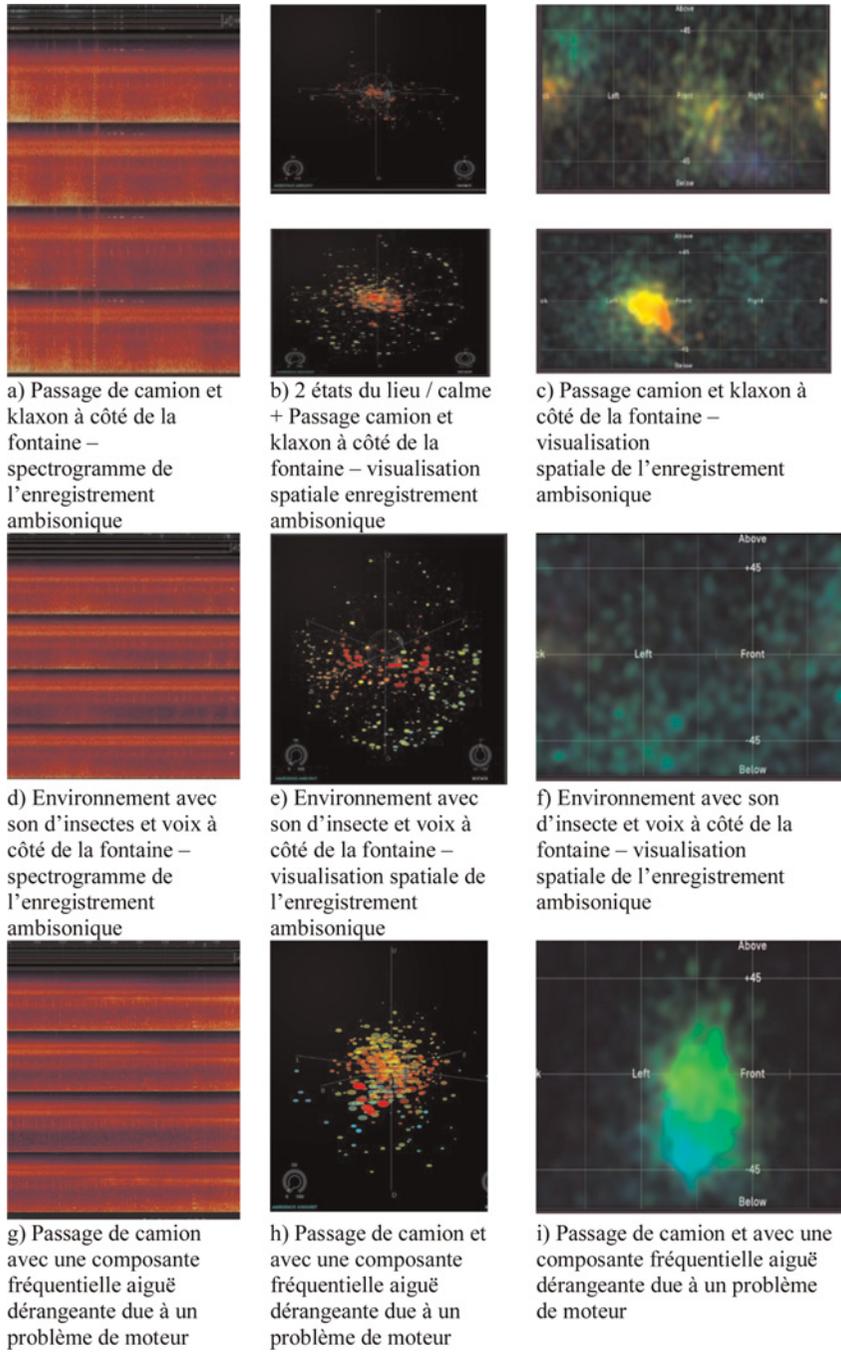


Figure 9. Visualisation spatiale du son (3D et ambisonique) (la fontaine)

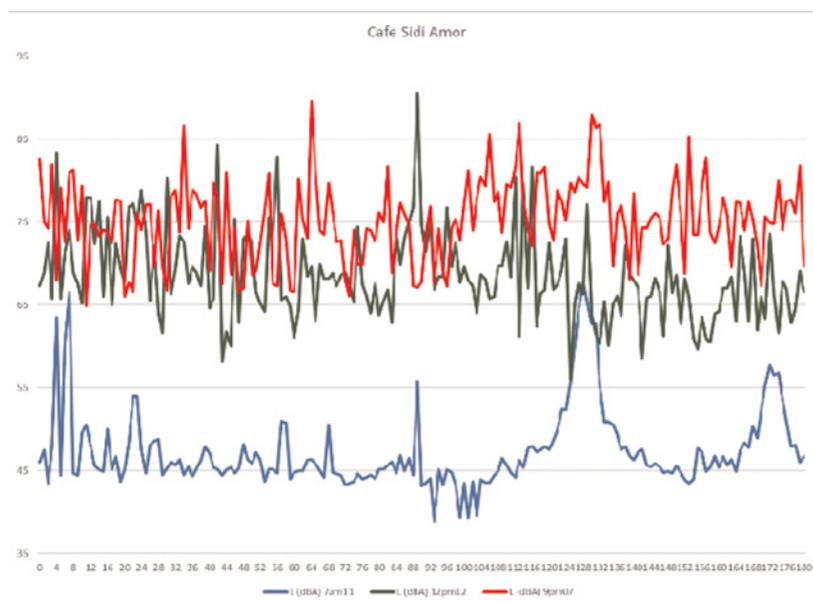


Figure 10. Point 2 le café Sidi Amor. Mesures effectuées le matin, en milieu de journée et le soir (x : le temps en secondes et Y : dB(A))

sonores sont le passage de voitures, les klaxons, les cris. La morphologie acoustique de ce lieu est très intéressante puisqu'elle englobe à la fois l'empreinte acoustique des cafés, celles des souks et d'une route. Globalement la valeur $Leq_{(3)}$ dénote un lieu assez bruyant surtout à partir du milieu de la journée. Par contre, le matin, l'environnement est calme, avec des accidents sonores liés à l'ouverture des commerces. Ce point de mesure est un lieu de détente entouré de deux cafés et de commerces, ce qui implique que plusieurs personnes s'attardent dans ce lieu parfois plusieurs heures. On remarque notamment un flux important de motos en particulier le matin et en milieu de journée. La figure 11 présente une combinaison de visualisations spatiales du son (3D et ambisonique) pour le milieu du parcours.

Analysons enfin la fin du parcours « La falaise » pour des niveaux sonores moyens suivants : (matin, Leq 43.14 dB(A)), (milieu de journée, Leq 52.25 dB(A)) et (soir, Leq 77.7 dB(A)) (figure 12).

L'environnement acoustique est assez original pour ce lieu qui présente une très belle vue sur la mer d'un point haut. Il est extrêmement bruyant le soir, avec la présence de plusieurs objets sonores réguliers ou accidentels : sons de voitures, voix, passage de touristes, cris, moto, oiseaux, chiens, insectes, animations de l'hôtel. Les accidents sonores sont le passage de plusieurs voitures, les klaxons, les cris. Globalement la valeur $Leq_{(3)}$ dénote un lieu assez bruyant surtout la nuit. Le matin et en milieu de journée, l'environnement est calme mais avec des accidents sonores (e.g., passages de voitures, motos, voix, cris). À la tombée de la nuit, la proximité d'un hôtel présente parfois une

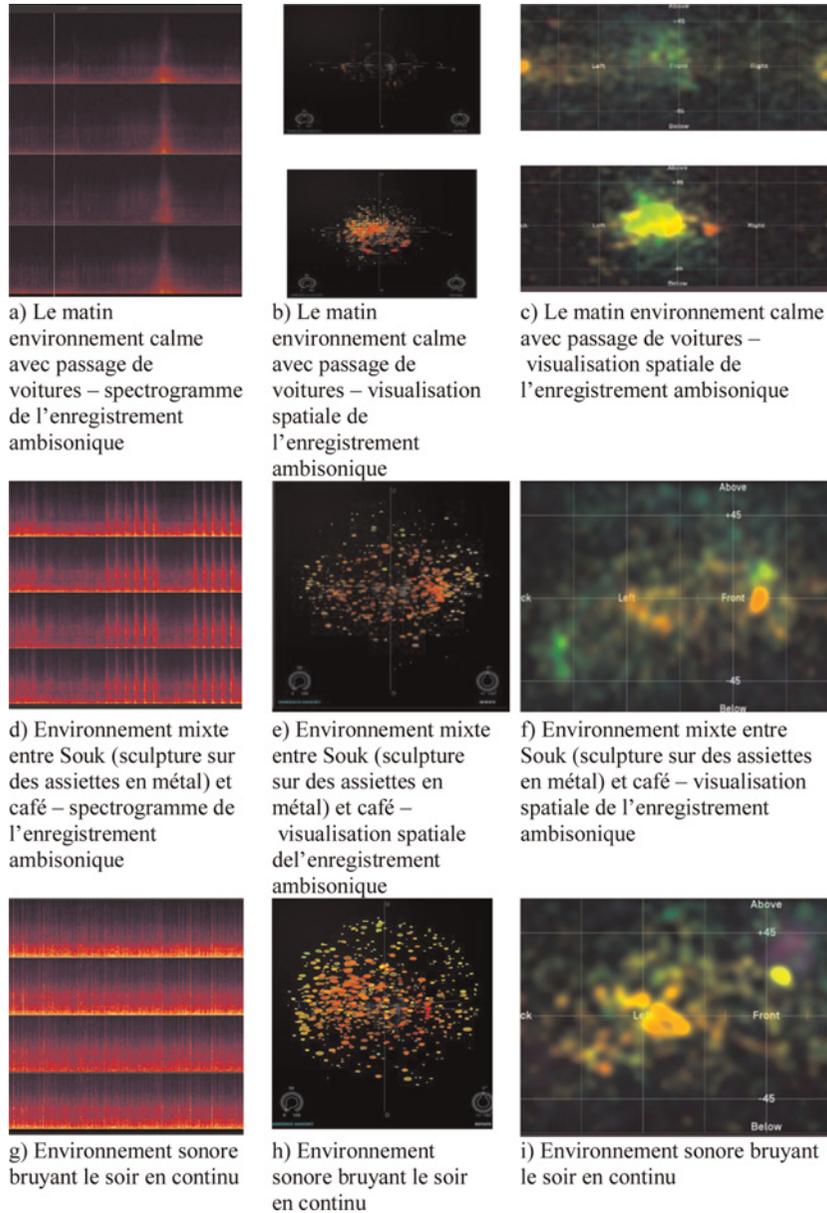


Figure 11. Visualisation spatiale du son (3D et ambisonique) (café Sidi Amor)

nuisance sonore causée par les activités d'animation utilisant des systèmes audio amplifiés. Ce point de mesure représente un lieu où son originalité réside dans le fait qu'il est entouré de résidences d'habitation, d'un hôtel et d'une falaise, c'est aussi une

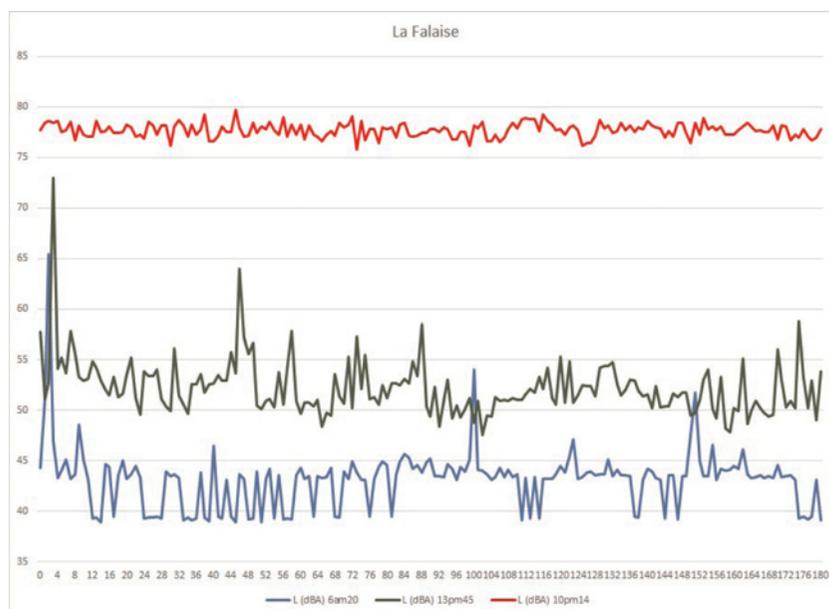


Figure 12. Point 3 La falaise. Mesures effectuées le matin, en milieu de journée et le soir (x : temps en secondes et Y : dBA)

fin de parcours pour tous les visiteurs de Sidi Bou Saïd. Au final, et malgré cet aspect bruyant, les personnes s'attardent dans ce lieu. On remarque finalement que ce lieu de mesure présente un contraste entre le soir et le jour. La figure 13 présente une combinaison de visualisations spatiales du son (3D et ambisonique) pour la fin de parcours.

5.2. Analyse psychoacoustique et confrontation au questionnaire

La confrontation des mesures *in situ* aux données du questionnaire est faite dans cette section, notre objectif étant de caractériser les convergences et les particularités afin d'en tirer une vision plus globale des réalités à la fois objectives mais aussi telles que perçues.

La figure 14 caractérise les ordres de grandeurs de référence des valeurs sonores mesurées qui seront utilisées dans les figures 15 et 16 (Everest et Pohlmann, 2015). Afin de constituer une cohérence de présentation, une même palette de couleur est utilisée pour la sonie (*loudness*) qui est une caractéristique psychoacoustique assez proche du réellement perçu par l'humain, l'acuité (*sharpness*) qui donne la prédominance et le ressenti des aigus (ISO 12913-1 2014 et ISO 12913-2 2018).

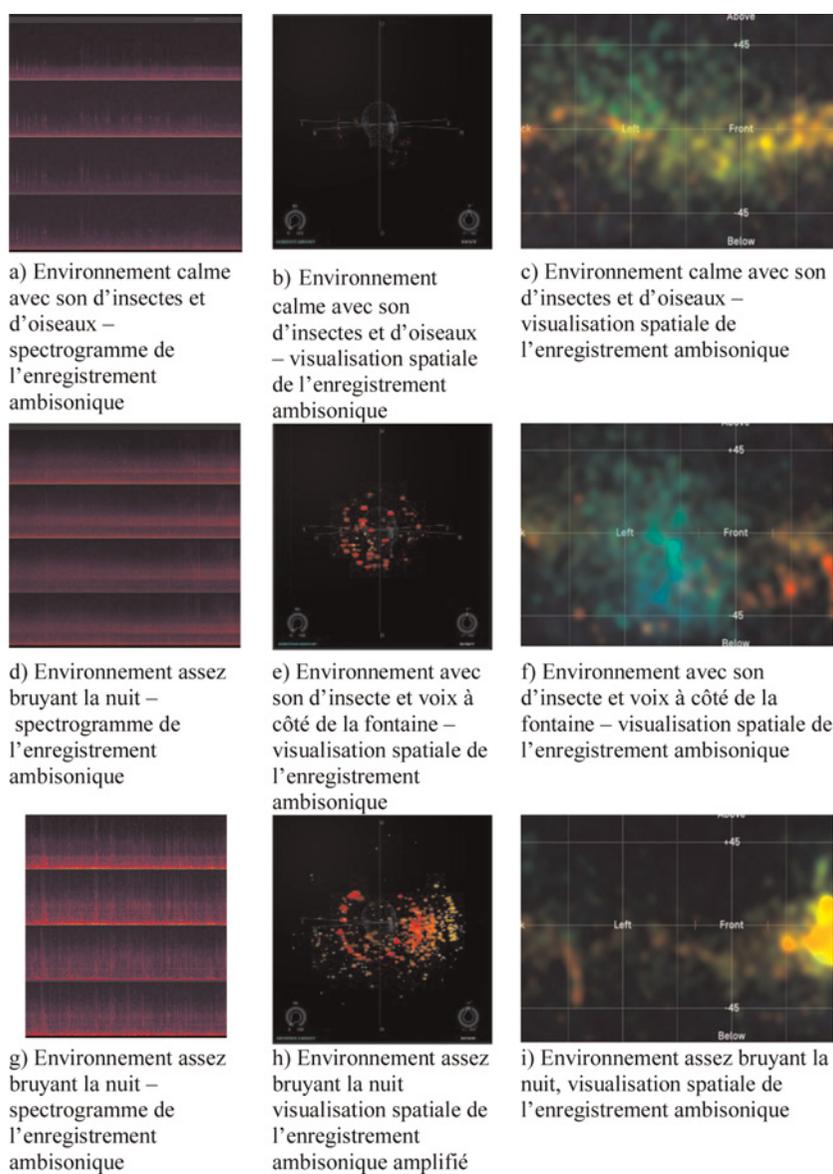


Figure 13. Visualisation spatiale du son (3D et ambisonique)(La falaise)

Dans le lieu de mesure « La fontaine », la majorité des interviewés des trois catégories (A, B et C) identifient comme désagréables les passages bruyants des voitures et des camions, phénomène que l'on peut identifier dans nos mesures mais également dans la visualisation spatiale du son (3D et ambisonique) et dans le spectrogramme où l'on remarque un nuage énergétique très important et visible notamment par le passage

< 45 dB(A)		Très calme
45 - 50 dB(A)		Calme
50 - 55 dB(A)	Supportable	
55 - 60 dB(A)		
60 - 65 dB(A)	Fatigant/Pénible	Bruyant
65 - 70 dB(A)		
70 - 75 dB(A)		Très bruyant
> 75 dB(A)	Risque/nocif dangereux	

Figure 14. Ordre de grandeurs des niveaux sonore (Everest et al., 2015)

des véhicules. Le mesuré et le perçu convergent : les interviewés identifient un environnement sonore de type A1 (calme + agréable) malgré le passage des véhicules qui sont considérés comme des accidents sonores pendant la journée, le soir le perçu par les questionnés est un B2 (chaotique + mouvementé) ce qui est en adéquation avec nos mesures acoustiques et psychoacoustiques (figure 16).

Dans le deuxième lieu « café Sidi Amor » la plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures mais également d'autres plus lointains comme le passage des camions et des bus de touristes non détectés et non mesurés pendant notre enregistrement. Les interviewés ont caractérisé ce lieu toute la journée comme A2 (excitant + mouvementé) c'est-à-dire riche en événements et plaisant. *A contrario*, nos mesures acoustiques et psychoacoustiques indiquent que le lieu est assez bruyant mais il apparaît que l'ensemble des interviewés doivent s'attendre à ce type d'ambiance pour un tel environnement propre au divertissement, ce qui montre clairement l'influence du contexte et de la fonction du lieu dans l'interprétation de ces ambiances sonores.

Dans le troisième point « La falaise », la plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures, mais également des sons plus lointains qui viennent du port et de la plage en bas de la falaise comme le bruit des personnes et le mouvement des voitures, le passage de vedettes ou de jet-skis détectés et mesurés pendant notre enregistrement. Une bonne partie des interviewés identifient comme désagréable (surtout les habitants permanents – Groupe B, moins les temporaires – Groupe B) l'animation de l'hôtel qui contraste fortement avec l'environnement sonore de « La falaise ». Globalement ce lieu a été caractérisé par les questionnés comme A1 (calme + agréable) le matin et A2 (excitant + mouvementé) le reste de la journée.

Ces lieux reflètent un environnement sonore diversifié avec des variations temporelles significatives. La confrontation des mesures *in situ* et de notre questionnaire montre l'importance d'une part, du contexte et de la fonction des lieux dans l'interprétation des environnements perçus, et d'autre part, de la nature des groupes interviewés dont les attentes et aspirations ne sont évidemment pas les mêmes (figure 16).

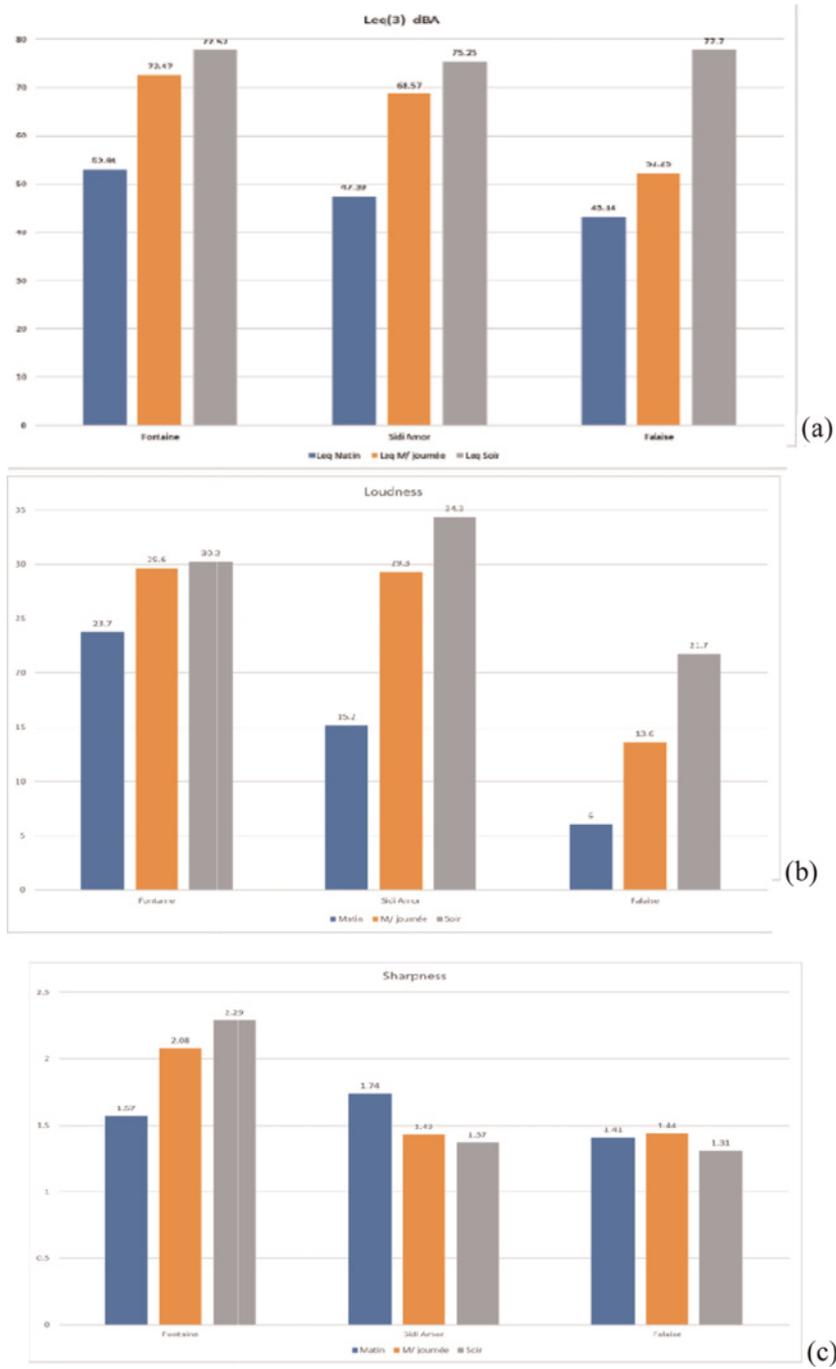


Figure 15. Morphologie sonore des points du parcours : a) niveau continu équivalent de pression acoustique pondérée, b) loudness, c) sharpness

	Leq(dBA)			Loudness			Sharpness			Questionnaire		
	Matin	Journée	Soir	Matin	Journée	Soir	Matin	Journée	Soir	Matin	Journée	Soir
P2- la fontaine										A1	B2	B2
P6- Café Sidi Amor										A2	A2	A2
P15 - La falaise										A1	A2	A2

Leq(dBA)/Loudness	Sharpness	A1	A2	B1	B2
Très calme	Environnement normal	A1	A2	B1	B2
Calme					
Moyennement Calme	moyennement aigu	A1	A2	B1	B2
Bruyant					
extrêmement bruyant	environnement aigu	A1	A2	B1	B2

Figure 16. Du mesuré au perçu (similitudes et différences)

6. Conclusion

En conclusion, notre modèle expérimental a réuni le « calculé » et « l'interprété » grâce à une combinaison fine d'une enquête par questionnaire avec une écoute analytique qui nous permet de corréler si les cartes sonores dérivées sont en adéquation avec le perçu des humains et dans quelle mesure les contextes et fonctions des lieux interprétés, tout comme la nature des panels considérés dans les perceptions, influencent les perceptions. Nous avons montré la réalité de telles corrélations à partir d'une analyse et confrontation des valeurs sonores et les interprétations des humains à quelques exceptions près ou des différences sensibles apparaissent notamment quand le contexte reflète la qualité et la nature des interprétations possibles. Notre approche méthodologique, tout comme les outils de mesures et visualisations développés, ont montré leur intérêt par la diversité des outils de mesure et de restitution des ambiances sonores, alliant une large gamme de mesures *in situ* avec des appareillages acoustiques et psychoacoustiques.

Les différentes captations ambisoniques et mesures psychoacoustiques offrent de nouvelles possibilités multidimensionnelles de visualisation et d'interprétation de ces ambiances sonores dans l'espace. La prise en compte de la composante temporelle permet également de refléter les diversités d'usage et d'ambiances sonores le long d'un parcours. Clairement, la confrontation de l'ensemble de ces mesures avec celles perçues donne une première évaluation des similarités et des différences entre le mesuré et le perçu, et montre à la fois l'intérêt des quelques convergences qui apparaissent, tout comme la nécessité d'apprécier les corrélations possibles entre les mesures *in situ* et les analyses des perceptions afin, au final, d'apprécier les richesses et diversités de ces ambiances sonores dans la cité (figure 16). Cette recherche devrait permettre de constituer une référence méthodologique utile aux planificateurs pour une meilleure prise en compte de la qualité de l'environnement sonore des environnements urbains et mieux répondre ainsi aux attentes des usagers de ces lieux.

Notre recherche est préliminaire et devrait être renforcée par l'application de l'approche et du dispositif expérimental dans d'autres contextes urbains afin de pouvoir catégoriser différentes structures urbaines, tant historiques que modernes, et en tirer des

cartographies qualitatives sonores. Sur les plans méthodologiques et techniques, d'autres types de capteurs multidimensionnels pourront être explorés tout comme les outils de visualisations développés restent à intégrer de façon plus complète au sein des outils classiques de la géomatique. En particulier, pourraient être développées des analyses qualitatives multidimensionnelles combinant des outils d'analyses spatio-temporelles avec des données issues du traitement qualitatif et quantitatif psychoacoustiques des sonorités.

Bibliographie

- Axelsson Ö., Nilsson M.E., Berglund B. (2010). A principal components model of soundscape perception, *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 128, n° 5, p. 2836-2846.
- Aletta F., Kang J. (2016). Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models, *Landscape and Urban Planning*, 149, p. 65-74.
- Aletta F., Kang J. (2020). Historical acoustics: relationships between people and sound over time, *Acoustics*, vol. 2, n° 1, p. 128-130.
- Can A., Dekoninck L., Botteldooren D. (2014). *Applied Acoustics*, vol. 83, p. 32-39.
- EC (2002). *Environmental Noise Directive* (http://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm).
- EEE (2014). *Règlement (UE) No 540/2014 concernant le niveau sonore des véhicules à moteur et des systèmes de silencieux de remplacement*.
- Everest F., Pohlmann K. (2015). *Master Handbook of Acoustics*, 6th edition, McGraw Hill Education.
- Fastl H., Zwicker E. (2006). *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer.
- Fields J.M., Dejong R.G., Brown A.L., Flindell I.H., Gjestland T., Job R.F.S., Kurra S., Lercher P., Schuemer-Kohrs A., Vallet M., Yano T. (1997). Guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 20 p. 685-695.
- Ge J., Kazunori H. (2004). Research on the sound environment of urban open space from the viewpoint of soundscape-A Case Study of Saga Forest Park, Japan, *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 90, n° 3, p. 555-563.
- Genuit K. (2008). Significance of psychoacoustic aspects for the evaluation of vehicle exterior noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 123 3134.10.1121/1.2933092.
- Green M., Murphy D. (2020). Environmental sound monitoring using machine learning on mobile devices, *Applied Acoustics*, vol. 159, p. 107041.
- Guérin F. (1993). Aperçu du genre électroacoustique au Québec, *Circuit : Électroacoustique-Québec : L'Essor*, vol. 4, n° 1-2, p. 9-31.
- Guski R. (1999). Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance, *Noise and Health*, vol. 1, n° 3, p. 45-56.

- Guski R., Felscher-Suhr U., Schuemer R. (1999). The concept of noise annoyance: how international experts see it, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 223, n° 4, p. 513-527.
- Habellion D. (2015). *L'objet-exposition "Sonolithe" de Louis Dandrel, Un outil pédagogique patrimonial d'éducation à l'écoute en lien avec l'écologie sonore*, thèse de doctorat, Université de Limoges.
- Hong J., Jeon J.Y. (2015). Influence of urban contexts on soundscape perceptions: a structural equation modeling approach, *Landscape and Urban Planning*, vol. 141, p. 78-87.
- Hong J., Jeon J.Y. (2017) Relationship between spatiotemporal variability of soundscape and urban morphology in a multifunctional urban area: A case study in Seoul, *Building and Environment*, vol. 126, p. 382-395.
- ISO 12913-1 2014. Acoustics - Soundscape - Part1: Definition and conceptual framework, ISO Technical Specification, Genève, Suisse.
- ISO 12913-2 2018. Soundscape: data collection and reporting requirements, ISO Technical Specification, Genève, Suisse.
- ISO 12913-3 2019. Soundscape: Data analysis, ISO Technical Specification, Genève, Suisse.
- ISO 532-1 2017. Acoustics — Methods for calculating loudness: Zwicker method, Genève, Suisse.
- Jolivet V. (2015). *Miami ville sonore, Carte à la une de Géoconfluences*, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/carte-a-la-une/carte-a-la-une-miami-ville-sonore>.
- Joo Y.H., Jin Y.J. (2017). Exploring spatial relationships among soundscape variables in urban areas: A spatial statistical modelling approach, *Landscape and Urban Planning*, vol. 157, p. 352-364.
- Kang J. (2017). "From dBA to soundscape indices: Managing our sound environment", *Frontiers of Engineering Environment*, vol. 4, n° 2, p. 184-192.
- Konstantinos V., Rémy N. (2018). Changing the Urban Sound Environment in Greece: A Guide Based on Selected Case Studies of Strategic Noise Maps (SNM) and Noise Action Plans (NAP) in Medium and Large Urban Areas, *Environments*, vol. 5, n° 6, p. 64.
- Lee S., Chang S., Park Y. (2008). Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, *Applied Acoustics*, vol. 69, p. 704-714.
- Li C., Liu Y., Haklay M. (2018). Participatory soundscape sensing, *Landscape and Urban Planning*, vol. 173, p. 64-69.
- Marquis-Favre C., Premat E., Aubree D. (2005). Noise and its effects-A review on qualitative aspects of sound. Part II: noise and annoyance, *Acta Acustica United with Acustica*, vol. 91, n° 4, p. 626-642.
- Mathias B., et al. (2015). ICBEN review of research on the biological effects of noise 2011-2014, *Noise Health*, vol. 17, n° 7, p. 57, 82.
- Mezhoud L. (2017). *Dossier de Réflexion sur le Patrimoine et l'Identité Culturelle: l'exemple de Sidi Bou Saïd*. www.academia.edu/39247849/Sidi_Bou_Saïd_patrimoine_et_identité_culturelle.

- Mitchell A., Oberman T., Aletta F., Erfanian M., Kachlicka M., Lionello M., Kang J. (2020). The Soundscape Indices (SSID) protocol: a method for urban soundscape surveys — questionnaires with acoustical and contextual information, *Applied Sciences*, vol. 10, n° 7, 2397.
- Moscoso P., Peck M., Elridge A. (2018). Systematic literature review on the association between soundscape and ecological/human wellbeing. *PeerJ Preprints*, vol. 6, <https://peerj.com/preprints/6570/>
- Nasanovsky-Lanier S. (1999). *La Musique, Source d'Equilibre pour l'Etre Humain*, Université de Lyon 2.
- Pijanowski B.C., Villanueva-Rivera L.J., Dumyahn S.L., Pieretti N. (2011). Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape, *BioScience*, vol. 61, n° 3, p. 203-216.
- Pheasant R., Horoshenkova K., Watts G. (2008). The acoustic and visual factors influencing the construction of tranquil space in urban and rural environments tranquil spaces-quiet places? *The Journal of the Acoustical Society of America*, n° 123, p. 1446.
- Raimbault M., Dubois D. (2005). Urban soundscapes: experiences and knowledge, *Cities*, vol. 22, n° 5, p. 339-350.
- Russell J.A. (1980). A circumplex model of affect, *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 39, p. 1161-1178
- Santelli S. (1995). *Tunis, le Creuset Méditerranéen*, Paris, édition du Demi-Cercle/CNRS, coll. "La Ville".
- Schafer R.M. (1977). *The Tuning of the World (The Soundscape)*, Knopf.
- Seong J.C. et al. (2011). Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, *Environment International*, vol. 37, n° 8, p. 1336-1341.
- Stendhal M. (1823). *Vie de Rossini*, Paris, chap. 8 ; LS, II, p. 106.
- Terhardt E., Stoll G. (1981). Skalierung des Wohlklangs (der sensorischen Konsonanz) von Umweltschallen und Untersuchung der beteiligten Hörparameter, *Acustica*, vol. 48, p. 247-253.
- Thompson M. (2017) *Beyond Unwanted Sound: Noise, Affect and Aesthetic Moralism*, Ed. Bloomsbury Academic.
- Triguero-Mas M. et al. (2017). The effect of randomised exposure to different types of natural outdoor environments compared to exposure to an urban environment on people with indications of psychological distress in Catalonia. *PLoS One*, vol. 12, n° 3.
- Tversky B., Morrison J., Franklin N., Bryant D. (1999). Three spaces of spatial cognition, *The Professional Geographer*, vol. 51, n° 4, 516-524.
- Verdier N. (2019). Les représentations de la musicothérapie dans les dispositifs d'information et de communication des politiques de santé publique: discours et contextes, *Sciences de l'Information et de la Communication*, Université Paul Valéry - Montpellier III.
- Vogiatzis, K. (2012). Airport environmental noise mapping and land use management as an environmental protection action policy tool. The case of the Larnaka International Airport. *Science of The Total Environment*, vol. 424, p. 162-173

- Wang B., Kang J. (2011). Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China, *Applied Acoustics*, vol. 72, n° 8, p. 556-568.
- Watts G., Marafa L. (2017). Validation of the Tranquility Rating Prediction Tool (TRAPT): comparative studies in UK and Hong Kong. *Noise Mapping*.
- Weber B. (2010). *Identité musicale et musicothérapie, études cliniques auprès de patients présentant des troubles du comportement*.
- William J.D. et al., (2013). Perception of soundscapes: An interdisciplinary approach, *Applied Acoustics*, Elsevier. USA, vol., 74, p. 224-231.
- Youssefi S., Houot H., Vuidel G., Pujol S., Mauny F. (2020). Combining visual and noise characteristics of a neighborhood environment to model residential satisfaction: An application using GIS-based metrics, *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, vol. 204, p. 103932.
- Yu C.-J., Kang J. (2009). Environmental impact of acoustic materials in residential buildings, *Building and Environment*, vol. 44, n° 10, p. 2166-2175.
- Zaïer S., Rejeb H., Donadieu P. (2012). Évolution des modèles d'implantation de la villégiature sur le littoral tunisois. *Projet de Paysage, Revue scientifique sur la Conception et l'Aménagement de l'Espace*.

Reçu le : 5 avril 2021

Accepté le : 14 janvier 2022