



HAL
open science

Vers une méthodologie duale de qualification et de perception de paysages sonores : expérimentation dans le contexte urbain de Sidi Bou Saïd

Mohamed Amin Hammami

► **To cite this version:**

Mohamed Amin Hammami. Vers une méthodologie duale de qualification et de perception de paysages sonores : expérimentation dans le contexte urbain de Sidi Bou Saïd. Acoustique [physics.class-ph]. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2022. Français. NNT : 2022BRES0113 . tel-04013613

HAL Id: tel-04013613

<https://theses.hal.science/tel-04013613>

Submitted on 3 Mar 2023

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

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

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE
DE BRETAGNE OCCIDENTALE

ECOLE DOCTORALE N° 598
Sciences de la Mer et du littoral
Spécialité : Géomatique

Par

Mohamed Amin HAMMAMI

**Vers une Méthodologie Duale de Qualification et de Perception de
Paysages Sonores**

Expérimentation dans le Contexte Urbain de Sidi Bou Saïd

Thèse présentée et soutenue à l'École Navale - Lanvéoc, le 15 Décembre 2022
Unité de recherche : Institut de Recherche de l'École Navale (IRENav)

Rapporteurs avant soutenance :

Guillaume TOUYA Directeur de Recherche,
Institut Géographique National, Paris, France.

Sébastien FOURNIER - Maître de Conférences - HDR
Laboratoire d'informatique et des Systèmes (LIS),
Marseille, France.

Composition du Jury :

Président :

Cyril TISSOT, Chargé de recherche, HDR – Institut Universitaire
Européen de la Mer, UBO, France.

Rapporteurs

Guillaume TOUYA Directeur de Recherche,
Institut Géographique National, Paris, France.
Sébastien FOURNIER - Maître de Conférences - HDR
Laboratoire d'informatique et des Systèmes (LIS), Marseille, France.

Examineurs :

Yvon KERMARREC, Professeur, IMT Atlantique, France.
Myriam SERVIERES, Maîtresse de Conférences – HDR
Ecole Centrale Nantes. France.

Directeur de thèse

Christophe CLARAMUNT - Professeur des universités,
IRENav, France.

Invitée

Claire CUNTY, Maîtresse de conférences, Université Lumière Lyon2,
France.

Sedjem^{1,2}

Par Mohamed Amin Hammami

Garant de la santé et du bien-être,

Émanant d'outils supérieurs aux sonomètres.

Ondes, émotions et vibrations !

Multitudes de méthodes en action,

Allant de l'acoustique à la psychoacoustique,

Tout en parlant d'esthétique.

Indispensables pour vérifier,

Questions et questionnaire ont été élaborés.

Un protocole complet a été utilisé,

En montrant des résultats normalement sensés.

1-Dieu égyptien de l'ouïe.

2- égyptien ancien : « entendre »

Dédicace

A la mémoire de mon père.

A ma mère.

A Yosr et Douja.

A ma famille et mes amis.

Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier Monsieur Christophe CLARAMUNT Professeur des universités à l'IRENav qui m'a guidé tout au long de ces années de thèse. Il a toujours été disponible pendant toutes les périodes y compris la période délicate du COVID-19. Sa rigueur scientifique, ses conseils, ses relectures très méticuleuses ont été très importants pour l'avancement de mes travaux. Les nombreuses discussions que nous avons eues et ses conseils ont solidement influencé le résultat final de ce travail. Son enthousiasme, sa personnalité, sa passion pour la recherche m'ont montré que l'univers de la recherche est passionnant et un métier noble, j'ai appris beaucoup avec lui. Cette thèse lui doit beaucoup, un GRAND merci.

Je remercie vivement les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'avoir accepté l'évaluation de mes travaux de recherche, Je tiens à remercier Messieurs Guillaume TOUYA Directeur de Recherche à l'Institut Géographique National de Paris, et Sébastien FOURNIER - Maître de Conférences – HDR au Laboratoire d'informatique et des Systèmes (LIS) de Marseille, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de mon travail, mes remerciements vont également à Monsieur Cyril TISSOT, Chargé de recherche, HDR – Institut Universitaire Européen de la Mer à l'UBO, Monsieur Yvon KERMARREC Professeur au IMT Atlantique, Madame Myriam SERVIERES Maîtresse de Conférences – HDR à l'École Centrale Nantes et Madame Claire CUNTY Maîtresse de conférences à l'Université Lumière Lyon2 pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être examinateurs de mon travail.

Je voudrais également remercier mon ami, Monsieur Hichem REJEB Professeur de l'enseignement supérieur, Directeur de l'UR « Horticulture, Paysage, Environnement » à l'ISA-IRESA Université de Sousse Tunisie, je lui suis très reconnaissant pour son encouragement, conseils. IL m'a permis de connaître et faire partie de l'équipe du Professeur Christophe CLARAMUNT, qui sans lui cette thèse n'aurait jamais vu le jour.

Table des matières

Chapitre I	Introduction : Contexte et motivation de la recherche	12
I.1	<i>Contexte : ambiances et paysages sonores</i>	<i>12</i>
I.2	<i>Positionnement et contribution de la thèse</i>	<i>14</i>
I.3	<i>Objectifs et défis de la recherche</i>	<i>16</i>
I.4	<i>Organisation de la thèse</i>	<i>18</i>
Chapitre II	Fondements et méthodologie	19
II.1	<i>Principes et étapes de construction d'une méthodologie</i>	<i>19</i>
II.2	<i>Les premiers paysages sonores</i>	<i>19</i>
II.3	<i>Le paysage sonore post-industriel</i>	<i>20</i>
II.3.1	<i>Ambiance sonore distale</i>	<i>21</i>
II.3.2	<i>Ambiance sonore proximale</i>	<i>22</i>
II.3.3	<i>Paysage sonore perceptif</i>	<i>22</i>
II.4	<i>L'acoustique, la psychoacoustique et le paysage sonore</i>	<i>22</i>
II.4.1	<i>Facteurs temporels</i>	<i>23</i>
II.4.2	<i>Facteurs spatiaux</i>	<i>23</i>
II.4.3	<i>Facteurs abiotiques (climat et météo)</i>	<i>23</i>
II.4.4	<i>Facteurs biotiques</i>	<i>24</i>
II.4.5	<i>Effet du paysage sonore sur la psychophysiologie</i>	<i>24</i>
II.5	<i>Le paysage sonore urbain et son impact sur l'homme</i>	<i>25</i>
II.5.1	<i>Paysage sonore et urbanisme</i>	<i>25</i>
II.5.2	<i>Des ambiances sonores au bien-être humain</i>	<i>25</i>
II.5.3	<i>Nuisance sonore</i>	<i>26</i>
II.5.4	<i>Plaisir sonore</i>	<i>27</i>
II.5.4.a	<i>Calme et tranquillité</i>	<i>27</i>
II.5.4.b	<i>Qualité affective perçue</i>	<i>28</i>
II.6	<i>Cartographie du paysage sonore</i>	<i>28</i>
II.7	<i>Principe de captation, modélisation psychoacoustique, l'enquête et leur confrontation</i>	<i>29</i>
II.7.1	<i>Principe de captation</i>	<i>30</i>
II.7.1.a	<i>Dispositifs audio-acoustiques</i>	<i>31</i>
II.7.1.b	<i>Dispositifs d'image et vidéo en 360°</i>	<i>31</i>
II.7.2	<i>Dispositifs d'analyse et de visualisation tridimensionnelle du son</i>	<i>32</i>
II.7.3	<i>Modélisation Psychoacoustique</i>	<i>33</i>
II.7.3.a	<i>La Sonie (Loudness)</i>	<i>33</i>
II.7.3.b	<i>L'acuité (Sharpness)</i>	<i>34</i>
II.7.4	<i>Enquêtes socio-acoustiques pour le paysage sonore : apport d'un questionnaire</i>	<i>35</i>
II.8	<i>Conclusion</i>	<i>37</i>
Chapitre III	Mise en œuvre et résultats	39
III.1	<i>Démarche expérimentale</i>	<i>39</i>
III.1.1	<i>Principes</i>	<i>39</i>
III.1.2	<i>Caractéristiques paysagères et patrimoniales du site d'étude : Sidi Bou Saïd</i>	<i>40</i>
III.1.3	<i>Caractéristiques techniques des capteurs et des enregistrements</i>	<i>40</i>
III.1.4	<i>Création d'un manuel de lecture des mesures tridimensionnelles</i>	<i>41</i>
III.1.5	<i>Procédés psychoacoustiques de la recherche</i>	<i>42</i>
III.1.6	<i>Collecte des données et état sonore des lieux</i>	<i>42</i>
III.1.6.a	<i>Repérage sonore et collecte en continu</i>	<i>42</i>
III.1.6.b	<i>Campagne de mesures du parcours</i>	<i>43</i>
III.1.7	<i>Questionnaire, panel et mode opératoire</i>	<i>44</i>
III.1.8	<i>Traitement préliminaire et global du site</i>	<i>46</i>
III.2	<i>Le parcours des mesures</i>	<i>47</i>

III.2.1	Point 1 – le jardin	49
III.2.1.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	49
III.2.1.b	Mesures expérimentales et restitution	50
III.2.1.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques :	53
III.2.2	Point 2 - La fontaine	55
III.2.2.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	55
III.2.2.b	Mesures expérimentales et restitution	56
III.2.2.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	59
III.2.3	Point 3 - la municipalité.....	61
III.2.3.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	61
III.2.3.b	Mesures expérimentales et restitution	61
III.2.3.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	64
III.2.4	Point 4 - Sortie du parking.....	66
III.2.4.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	66
III.2.4.b	Mesures expérimentales et restitution	66
III.2.4.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	69
III.2.5	Point 5 - Avant Café Sidi Amor	71
III.2.5.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	71
III.2.5.b	Mesures expérimentales et restitution	71
III.2.5.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	74
III.2.6	Point 6 - Café Sidi Amor.....	76
III.2.6.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	76
III.2.6.b	Mesures expérimentales et restitution	76
III.2.6.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	79
III.2.7	Point 7 - Après Café Sidi Amor – Café Chargui	81
III.2.7.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	81
III.2.7.b	Mesures expérimentales et restitution	81
III.2.7.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	85
III.2.8	Point 8 - Vendeurs de Bambalouni.....	87
III.2.8.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	87
III.2.8.b	Mesures expérimentales et restitution	87
III.2.8.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	90
III.2.9	Point 9 - Restaurant Au Bon Vieux Temps.....	92
III.2.9.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	92
III.2.9.b	Mesures expérimentales et restitution	92
III.2.9.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	95
III.2.10	Point 10 - Descente Vers café des délices position 1	97
III.2.10.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	97
III.2.10.b	Mesures expérimentales et restitution	97
III.2.10.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	100
III.2.11	Point 11 - Descente vers le Café des Délices position 2	102
III.2.11.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	102
III.2.11.b	Mesures expérimentales et restitution	102
III.2.11.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	105
III.2.12	Point 12 - Aux alentours du Café des Délices position 1	107
III.2.12.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	107
III.2.12.b	Mesures expérimentales et restitution	107
III.2.12.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	110
III.2.13	Point 13 - Aux alentours du Café des Délices position 2	112
III.2.13.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	112
III.2.13.b	Mesures expérimentales et restitution	112
III.2.13.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	115
III.2.14	Point 14 - Hôtel La Villa Bleue	116
III.2.14.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	116
III.2.14.b	Mesures expérimentales et restitution	116
III.2.14.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	119
III.2.15	Point 15 - La Falaise.....	120

III.2.15.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	120
III.2.15.b	Mesures expérimentales et restitution	120
III.2.15.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	123
III.2.16	Point 16 - Passage - habitats	124
III.2.16.a	Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu	124
III.2.16.b	Mesures expérimentales et restitution	124
III.2.16.c	Analyse des indicateurs psychoacoustiques	127
III.3	<i>Récapitulatif des mesures acoustiques et psychoacoustiques des 16 points</i>	129
III.4	<i>Analyses et confrontation entre les mesures acoustiques, psychoacoustique et le questionnaire</i> 133	
III.5	<i>Discussion</i>	143
Chapitre IV	Conclusion	145
IV.1	<i>Synthèse de la recherche</i>	145
IV.2	<i>Réponses aux questionnements scientifiques</i>	147
IV.3	<i>Perspectives</i>	148
Bibliographie		151

Table des figures

Figure I.1 Positionnement scientifique de la thèse	15
Figure I.2 Objectifs et défis de la thèse	17
Figure I.3 Organisation de la thèse.....	18
Figure II.1 Schéma de principe des différentes composantes méthodologiques.....	30
Figure II.2 Visualisation des représentations spatiales du son	32
Figure II.3 Aide à l'utilisation des outils de visualisation	32
Figure II.4 Génération de mesures de sonie (ISO 532-1:2017).....	34
Figure III.1 Protocole expérimental	39
Figure III.2 Vue globale du parcours Carte/Satellite © Google Map	40
Figure III.3 Quelques événements sonore analysés en 3D.....	41
Figure III.4 Démonstration de l'analyse des sons 3D.....	42
Figure III.5 Modèle interactif de visualisation et d'interprétation	45
Figure III.6 Morphologie sonore du centre du parcours - point 6 du parcours.....	46
Figure III.7 Parcours des mesures© Google Map.....	48
Figure III.8 Reconnaissance sonore taxonomique	49
Figure III.9 Point 1 – Le jardin	49
Figure III.10 Morphologie sonore du point de mesure n° 1	50
Figure III.11 Point 1 Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	51
Figure III.12 Point 1- Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée.....	52
Figure III.13 Point 1 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	53
Figure III.14 Point 1 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques ..	54
Figure III.15 Point 1 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	55
Figure III.16 Point 2 – La Fontaine - vue globale.....	55
Figure III.17 Point 2 – La Fontaine-« Ain Tassat ».....	56
Figure III.18 Morphologie sonore du point de mesure n° 2	56
Figure III.19 Point 2 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	57
Figure III.20 Point 2 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	58
Figure III.21 Point 2 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	59
Figure III.22 Point 2 - Variation de la sonie à travers le temps vs. les mesures acoustiques	60
Figure III.23 Point 2 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée- Soir	61
Figure III.24 Point 3 – La municipalité	61
Figure III.25 Morphologie sonore du point de mesure n° 3	62
Figure III.26 Point 3 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	62
Figure III.27 Point 3 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	63
Figure III.28 Point 3 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	64
Figure III.29 Point 3 - Variation des sonies et des mesures acoustiques.....	65
Figure III.30 Point 3 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir	66
Figure III.31 Point 4 – Sortie du parking	66
Figure III.32 Morphologie sonore du point de mesure n° 4	67
Figure III.33 Point 4 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	67
Figure III.34 Point 4 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	68
Figure III.35 Point 4 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	69
Figure III.36 Point 4 - Variation de la sonie et mesures acoustiques.....	70
Figure III.37 Point 4 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	71
Figure III.38 Point 5 – Avant café Sidi Amor	71
Figure III.39 Point 5 - Morphologie sonore du point de mesure n° 5.....	72
Figure III.40 Point 5 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	72
Figure III.41 Point 5 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	73
Figure III.42 Point 5 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	74
Figure III.43 Point 5 - Variation de la sonie à travers le temps en comparaison avec les mesures acoustiques...	75
Figure III.44 Point 5 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	76
Figure III.45 Point 6 - Café Sidi Amor	76
Figure III.46 Morphologie sonore du point de mesure n° 6	77
Figure III.47 Point 6 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	77

Figure III.48 Point 6 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	78
Figure III.49 Point 6 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	79
Figure III.50 Point 6 - Variation de la sonie à travers le temps en comparaison avec les mesures acoustiques...	80
Figure III.51 Point 6 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir	81
Figure III.52 Point 7 - Après Café Sidi Amor – Café Chargui	81
Figure III.53 Morphologie sonore du point de mesure n° 7	82
Figure III.54 Point 7 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	83
Figure III.55 Point 7 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	84
Figure III.56 Point 7 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	85
Figure III.57 Point 7 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques ..	86
Figure III.58 Point 7 acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	87
Figure III.59 Point 8 - Vendeurs de Bambalouni	87
Figure III.60 Morphologie sonore du point de mesure n° 8	88
Figure III.61 Point 8 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	88
Figure III.62 Point 8 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	89
Figure III.63 Point 8 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	90
Figure III.64 Point 8 - Variation de la sonie à travers le temps en comparaison avec les mesures acoustiques...	91
Figure III.65 Point 8 - acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir.....	92
Figure III.66 Point 9 – Restaurant Au Bon Vieux Temps	92
Figure III.67 Morphologie sonore du point de mesure n° 9	93
Figure III.68 Point 9 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	93
Figure III.69 Point 9 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	94
Figure III.70 Point 9 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	95
Figure III.71 Point 9 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques ..	96
Figure III.72 Point 9 - acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	97
Figure III.73 Point 10 - Descente Vers Café des Délices position 1.....	97
Figure III.74 Morphologie sonore du point de mesure n° 10	98
Figure III.75 Point 10 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	98
Figure III.76 Point 10 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	99
Figure III.77 Point 10 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	100
Figure III.78 Point 10 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques	101
Figure III.79 Point 10 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	102
Figure III.80 Point 11 – Descente Vers café des Délices position 2	102
Figure III.81 Morphologie sonore du point de mesure n° 11	103
Figure III.82 Point 11 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	103
Figure III.83 Point 11 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	104
Figure III.84 Point 11 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	105
Figure III.85 Point 11 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques	106
Figure III.86 Point 11 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	107
Figure III.87 Point 12 - Aux alentours du Café des délices position 1.....	107
Figure III.88 Morphologie sonore du point de mesure n° 12	108
Figure III.89 Point 12 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	108
Figure III.90 Point 12 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	109
Figure III.91 Point 12 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	110
Figure III.92 Point 12 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques	111
Figure III.93 Point 12 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir	112
Figure III.94 Point 13 - Aux alentours du Café des Délices position 2	112
Figure III.95 Morphologie sonore du point de mesure n° 13	113
Figure III.96 Point 13 Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	113
Figure III.97 Point 13 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée	114
Figure III.98 Point 13 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	114
Figure III.99 Point 13 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques	115
Figure III.100 Point 13 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir	116

Figure III.101 Point 14 – Hôtel La Villa Bleue.....	116
Figure III.102 Point 14 - Morphologie sonore du point de mesure n° 14.....	117
Figure III.103 Point 14 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique- matin	117
Figure III.104 Point 14 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée.....	118
Figure III.105 Point 14 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	118
Figure III.106 Point 14 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques	119
Figure III.107 Point 14 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir	120
Figure III.108 Point 15 - La Falaise	120
Figure III.109 Morphologie sonore du point de mesure n° 15	121
Figure III.110 Point 15 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique- matin	121
Figure III.111 Point 15 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée.....	122
Figure III.112 Point 15 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	122
Figure III.113 Point 15 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques	123
Figure III.114 Point 15 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir	124
Figure III.115 Point 16 - Passage - habitats.....	124
Figure III.116 Morphologie sonore du point de mesure n° 16	125
Figure III.117 Point 16 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin	125
Figure III.118 Point 16 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée.....	126
Figure III.119 Point 16 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir	127
Figure III.120 Point 16 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques	128
Figure III.121 Point 16 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir	129
Figure III.122 Niveau continu équivalent de pression acoustique pondérée. (a) visualisation en histogramme (b) visualisation en radar	130
Figure III.123 Morphologie sonore des points du parcours :(a) la sonie (b) l’acuité.....	132
Figure III.124 Ordre de grandeurs des niveaux sonores acoustiques et psychoacoustiques	134
Figure III.125 Relation niveau/durée, législation.	134
Figure III.126 Médiane des répondant suivant les critères de la qualité sonore (a) Matin (b) Milieu de la journée (c) Soir.....	135
Figure III.127 A1-A2-B1-B2 dans les 16 points de mesures (a) Matin (b) Milieu de la journée (c) Soir.....	136
Figure III.128 Du mesuré au perçu (similitudes et différences).....	137
Figure III.129 Taxonomie décrite par les interviewés dans les points de mesures	139
Figure III.130 Plaisir/Déplaisir pour les 16 points de mesures (a) Matin (b) Milieu de la journée (c) Soir	142

Liste des tableaux

Table III-1 Protocole des enregistrements	43
Table III-2 Temporalité des enregistrements et questionnaire	43
Table III-3 Echelle psychométrique de Likert	44
Table III-4 Panel du questionnaire.....	45
Table III-5 Taxonomie et caractéristiques sonores du parcours.....	47

Chapitre I

Introduction : Contexte et motivation de la recherche

I.1 Contexte : ambiances et paysages sonores

Tout au long de leur histoire, les humains ont observé leur environnement en utilisant diverses approches scientifiques souvent basées sur des principes d'observation des phénomènes (Hutmacher, 2019). Un grand nombre de méthodes s'appuient sur des perceptions visuelles qui permettent d'interpréter les phénomènes représentés. Il s'agit le plus souvent d'approches mono-sensorielles mais la vision n'est qu'une de nos modalités sensorielles. En complément de la vue, et selon les situations et contextes, le toucher, l'ouïe et le goût apportent un panel plus large de possibilités, avec pour chacun une composante plus forte de subjectivité, de sensibilité et d'émotions qui peuvent permettre d'enrichir les modalités de compréhension de phénomènes observés (Péaud et al. 2019).

En particulier, l'audition n'est pas toujours intégrée dans l'observation de phénomènes urbains, et où les activités anthropiques génèrent souvent des marqueurs sonores typiques et caractérisables (Southworth, 1969; Schafer, 1977). Le son est un puissant moyen de communication et aussi d'appréhension de nombreux phénomènes. Le son est un moyen privilégié par lequel nous transmettons et recevons des émotions, nous nous identifions et nous interagissons avec notre environnement. Les sons sont souvent associés au contexte d'un lieu, d'un moment et d'une activité particulière et peuvent contribuer à la caractérisation d'un environnement (Lex, 2012; Fiebig et al. 2020). Le terme de paysage sonore peut être comparé au terme de paysage tel qu'utilisé pour caractériser des lieux, un paysage sonore est défini par l'ensemble des sonorités telles qu'elles sont perçues dans un environnement par les humains (Lex, 2012).

Les méthodologies de recherche abordant le paysage sonore constituent des atouts précieux de l'étude de paysages tant urbains que naturels, elles peuvent donner des informations caractérisant la diversité, la particularité et la qualité d'un paysage (Pijanowski et al, 2011). Farina et Pieretti (2012) postulent que le maintien des systèmes écologiques fragiles doit passer par la protection des paysages sonores qui les accompagnent. L'intérêt croissant pour ce domaine a suscité un courant de travaux orientés vers la normalisation et la définition des concepts caractérisant le concept de paysage sonore. Une distinction est faite entre un paysage sonore et un environnement acoustique plus large (ISO 12913-1 2014; Aletta et al. 2020). Alors qu'un environnement acoustique décrit toutes les sources acoustiques actives et mesurées dans un environnement, le paysage sonore fait référence à une notion plus qualitative d'un environnement acoustique associé à une expérience humaine. Il peut s'agir d'un produit de conceptions plus ou moins conscientes prenant en compte des circonstances historiques et socio-culturelles. A notre connaissance, le terme de paysage sonore a été décrit pour la première fois par Michael Southworth (1969), il a ensuite été popularisé par Murray Schafer, un écologiste canadien (Schafer, 1977). Ce dernier a décrit le paysage sonore comme une composition de trois éléments principaux. Les principaux éléments présentés par Schafer sont les sonorités maîtresses ou toniques, les sons à valeur

signalétique et les marqueurs sonores (Schafer, 1977). Le terme a été utilisé dans différents contextes au fil du temps, l'expression est appliquée dans le domaine de l'urbanisme, de l'acoustique environnementale et de l'art sonore. Une musicienne italienne, Pauline Oliveras (Oliveras, 2005) a défini le paysage sonore comme "Toutes les formes d'onde transmises fidèlement à notre cortex audio par l'oreille et ses mécanismes". Les paysages sonores reflètent généralement notre expérience des sons d'un environnement immersif.

Les paysages sonores, en tant que marqueurs qualitatifs, définissent également les communautés auxquelles elles sont associées, chaque communauté possède en effet son référentiel et élément d'identité sonore urbaine (Bonesio, 2001; Balay, 2003; Belakehal, 2012; Woloszyn, 2012; Ben Hadj Salem et al. 2018; Aletta et al. 2020). Une perception de paysage sonore est acquise à travers l'empreinte sonore d'un espace. Ces marques sonores résultent d'une combinaison de forces internes et externes (Wang, 2011; Belakehal, 2012; Woloszyn, 2012; Aletta et al. 2020). Elles peuvent être façonnées par des phénomènes naturels comme les sonorités liées aux changements de saisons ou des phénomènes artificiels créés par l'homme comme les sons industriels. Notre sensibilité esthétique conduit à la création de panels de paysages sonores. Les paysages sonores créés sont de natures diverses en raison de la versatilité de la réponse des humains aux différents paysages sonores (Wang, 2011; Woloszyn, 2012). Ces contrastes sont les éléments par lesquels les communautés sont identifiées. Les paysages sonores ont également une corrélation intime avec l'environnement. Selon Murray Schafer (1977), l'environnement se compose de deux paysages sonores. Il a décrit les deux systèmes comme "hi-fi" et "lo-fi" en fonction du rapport signal sur bruit (en analogie aux systèmes électroacoustiques de restitution : haute-fidélité et basse-fidélité). Les systèmes Hi-Fi ont un rapport positif en raison des faibles bruits de fond. Ces systèmes permettent de distinguer différents sons. Les sons Lo-Fi sont obstrués par le bruit de fond et sont donc difficiles à déchiffrer. Les sons hi-fi sont principalement concentrés dans les zones rurales car le paysage naturel est en grande partie préservé. L'urbanisation a conduit à la distorsion des paysages sonores, et généralement nous notons une perte de la diversité des paysages sonores d'origines qui sont uniques et ne peuvent pas être maintenus et reproduits sur la durée. Le paysage sonore est un outil important pour comprendre l'écologie acoustique de divers écosystèmes.

L'étude des paysages sonores a gagné dans un premier temps en notoriété au fil des ans en tant qu'outil d'évaluation quantitative du bruit. Ces études sont utilisées pour élaborer des plans d'action contre la pollution sonore (Stansfeld et al. 2003; Hammer et al. 2013; Zannin, 2016 ; Engel et al. 2021). La pollution sonore est un problème important dans les zones urbaines. Cela conduit à la perturbation de la morphologie acoustique naturelle des lieux, menaçant ainsi la qualité de vie de diverses espèces, non seulement humaines, car les moyens de communication naturels de certains organismes sont impactés par l'ajout de sons perturbateurs. Il devient également difficile de discerner les facettes sonores caractérisant les particularités de différentes communautés culturelles. Une étude de Hall et al. (2013) a montré l'intérêt de l'utilisation de paramètres psychoacoustiques dans les études de paysage sonore. Ces études sont importantes pour créer des zones acoustiquement sereines dans des lieux urbains où la pollution sonore est un défi. Les concepteurs urbains intègrent de plus en plus les paysages sonores dans leurs plans d'espaces urbains en mettant en œuvre des stratégies pour contrôler les sons indésirables. Bien que des efforts soient en cours pour éradiquer la pollution sonore urbaine, il existe un écosystème sonore complexe qui serait oublié une fois cet objectif atteint. Une recherche menée par Daniel et al. (2020) montre que l'expérience des sons urbains est subjective : les sons perçus par un individu peuvent être plus

ou moins agréables. L'élimination des bruits de l'environnement urbain peut donc entraîner de nouveaux problèmes en le rendant peu lisible. Les urbanistes devraient apprécier cette diversité et multiples paramètres dans leurs démarches de conception. L'ensemble montre l'importance que devraient prendre les études sur le paysage sonore et l'intégration de la psychoacoustique dans ces démarches.

D'une part, les paysages sonores font partie intégrante de l'existence humaine en tant que tels, ils sont un facteur clé du bien-être des personnes (Payne, 2013 ; Aleta et al. 2018). D'autre part, le bruit est une cause majeure de troubles psychologiques tels que le stress et les maladies chroniques. Les sons affectent le fonctionnement de l'esprit humain, ils informent nos décisions conscientes et subconscientes. Les effets inconscients du son conduisent généralement à un système déséquilibré, c'est la cause de maux majeurs. Il existe des preuves indiquant la corrélation positive entre les sons naturels et une meilleure santé individuelle (Aleta et al, 2018). Les êtres humains sont intrinsèquement attirés par la nature, un concept défini comme la biophilie (Krause, 2012). Une étude sur les implications psychophysiologiques du paysage sonore par Erfanian et al (2019) a révélé que le comportement humain est directement influencé par son paysage sonore. Malgré l'importance des paysages sonores pour façonner le bien-être humain, les recherches récentes dans ce domaine ne représentent qu'un sixième de la production scientifique du domaine de la psychoacoustique et se concentrent principalement sur les effets nocifs du bruit, la perception auditive, physique et ses effets sur la santé (Engel et al., 2021). Cela montre clairement le déficit de connaissances sur le sujet, et le besoin du développement de recherches complémentaires. Bien qu'il soit l'un de nos principaux sens, le son est facilement négligé en raison de sa nature transitoire et souvent éphémère. Le son a cependant un rôle révélateur de notre environnement avec une contribution potentiellement majeure pour l'écologie acoustique.

I.2 Positionnement et contribution de la thèse

Une démarche de meilleure compréhension d'un paysage sonore nécessite une approche pluridisciplinaire associant plusieurs sciences et concepts. Nous avons recours à plusieurs domaines de recherche pour aborder notre problématique : l'acoustique et l'électroacoustique qui font partie du domaine de la physique pour les enregistrements et les traitements nécessaires à la caractérisation d'un environnement sonore urbain ; la psychoacoustique, domaine émanant de la psychophysique pour mesurer l'impact de l'environnement sonore sur l'humain et sa perception. Les domaines de l'informatique, de la géomatique et du traitement du signal nous permettent de faire les analyses, les visualisations, et les interprétations dans leurs contextes spatiaux, sans oublier le domaine des sciences sociales pour confronter les résultats obtenus par les traitements avec un questionnaire prenant en compte les propres perceptions des usagers Figure I.1.

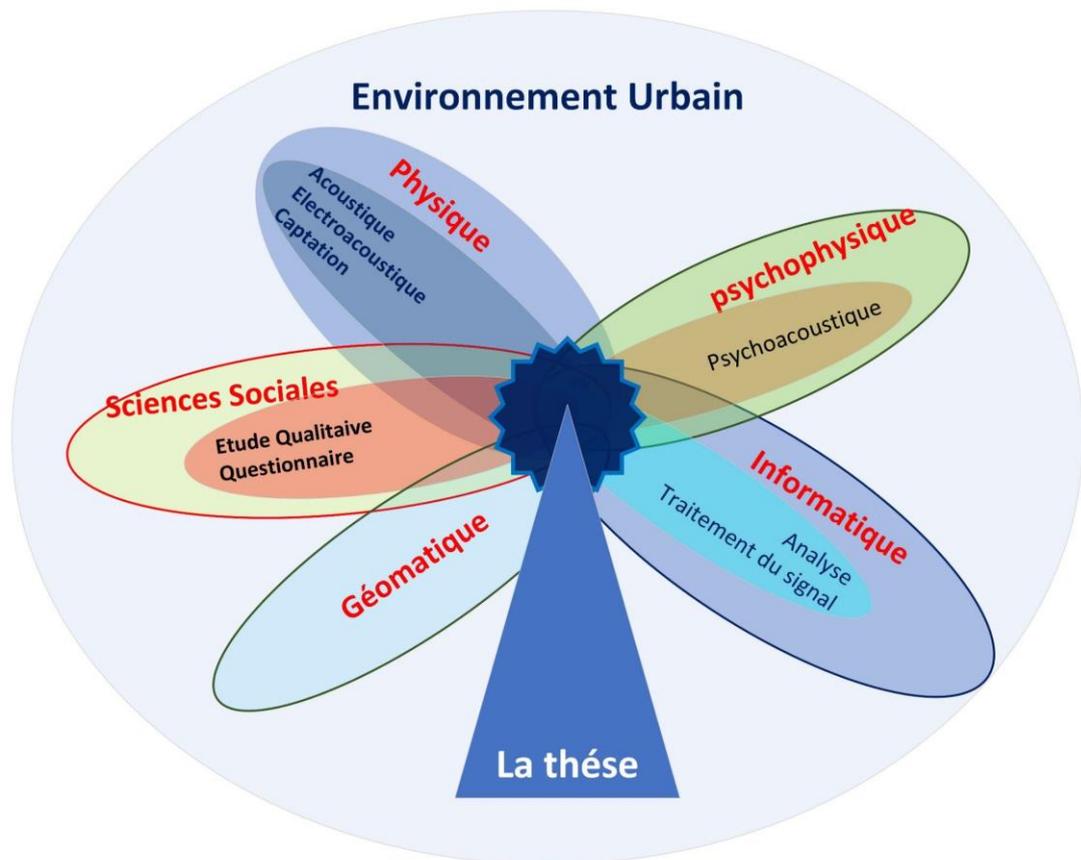


Figure I.1 Positionnement scientifique de la thèse

Au-delà de ce positionnement, notre thèse à caractère pluridisciplinaire, devrait apporter une contribution scientifique à l'intersection de ces différents domaines scientifiques. Nous développerons en effet une démarche expérimentale basée sur des complémentarités d'approches acoustiques et psychoacoustiques. L'ensemble de ces approches quantitatives seront ensuite appréhendées et développées dans le contexte d'une combinaison de différentes méthodes et techniques de traitements issues du traitement du signal, de la géomatique et plusieurs approches visuelles permettant d'interpréter et de restituer ces résultats expérimentés dans un cadre réel et confrontés à des restitutions qualitatives autorisant la prise en compte d'une dimension sociale. Dans ce sens, notre recherche se positionne clairement comme une approche pluridisciplinaire à l'intersection des mêmes domaines en sciences de l'ingénieur et des sciences sociales, tout comme d'ailleurs son positionnement.

I.3 Objectifs et défis de la recherche

Notre approche combine une démarche théorique et expérimentale de caractérisation fine de différentes ambiances sonores urbaines. Nous tenterons de développer un modèle qui traite les relations organiques entre l'ambiance sonore, leur qualité instantanée, les interactions et les perceptions de ces ambiances avec/par les habitants et usagers d'espaces urbains. Plusieurs objectifs et défis scientifiques sont abordés par cette recherche (Figure I.2).

- 1. Quels sont les fondements scientifiques et méthodologiques permettant d'aborder les paysages sonores avec une vision quantitative et qualitative la plus complète possible, permettant de caractériser les paysages sonores, dans toutes leurs dimensions et particularités ?**

- 2. Quels sont les senseurs et outils qui permettent de capter les ambiances sonores dans toutes leurs diversités, et à partir de quelles calibrations et outils de restitutions ? Ces capteurs devront couvrir une large palette de restitutions intégrant des images, des vidéos, et des mesures physiques, comment trouver le bon équilibre de restitution de ces mesures ?**

- 3. Quels outils de visualisation et d'analyse permettent une approche combinée et une représentation à la fois quantitative et qualitative des perceptions d'ambiances sonores (i.e., du calcul à l'humain) ?**

- 4. Comment construire une démarche permettant de confronter, de compléter et d'interpréter les résultats expérimentaux obtenus par les calculs et les analyses des visualisations à la diversité de communautés utilisatrices de ces espaces ?**

- 5. Quelle démarche et quels protocoles permettront de caractériser sur un terrain expérimental du nord de la Tunisie, Sidi Bou Saïd, choisi pour sa richesse patrimoniale et acoustique, permettront de démontrer et de valider expérimentalement notre recherche.**

- 6. Quel apport pour les sciences et études urbaines pourrait constituer une démarche à la fois méthodologique et expérimentale de caractérisation de paysages sonores ?**

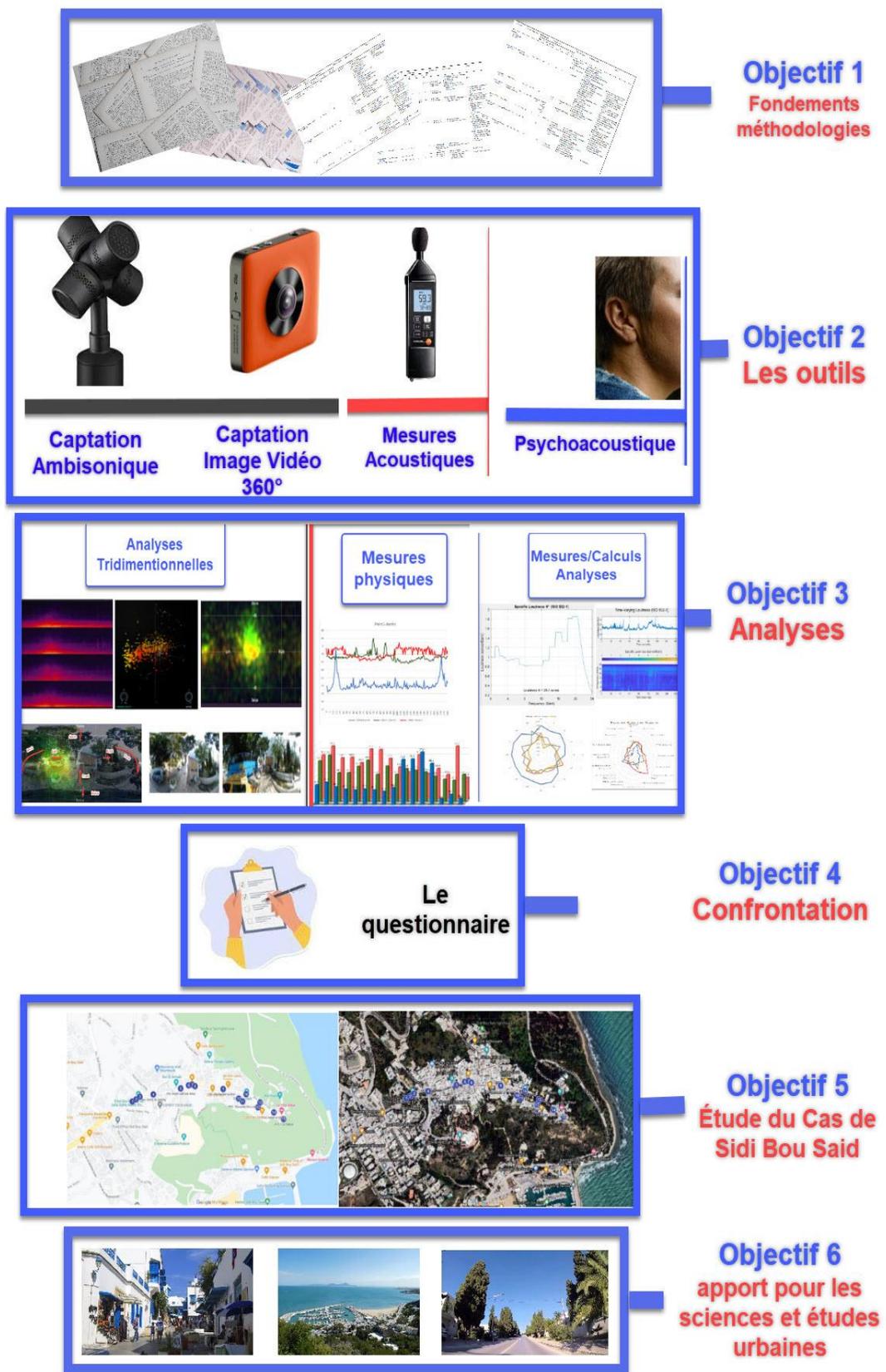


Figure I.2 Objectifs et défis de la thèse

I.4 Organisation de la thèse

La suite de la thèse est organisée en plusieurs chapitres complémentaires qui présentent les fondements scientifiques, les résultats expérimentaux, une conclusion et les références scientifiques (Figure I.3).

Le chapitre 2 présente les fondements théoriques de notre approche de modélisation des paysages sonores et de la psychoacoustique orientés vers le paysage sonore urbain et de son impact sur l'homme. Dans un deuxième temps nous développons un modèle de perception psychoacoustique des sonorités de la cité et une méthode de caractérisation des ambiances psychoacoustiques.

Le chapitre 3 présente les résultats de l'approche expérimentale appliquée au contexte de la ville de Sidi Bou Saïd sur les 16 points du parcours choisis pour leur représentativité et les expérimentations effectuées.

Le chapitre 4 conclut la thèse avec le résumé des résultats et les perspectives de la recherche et le prolongement possible de nos travaux.

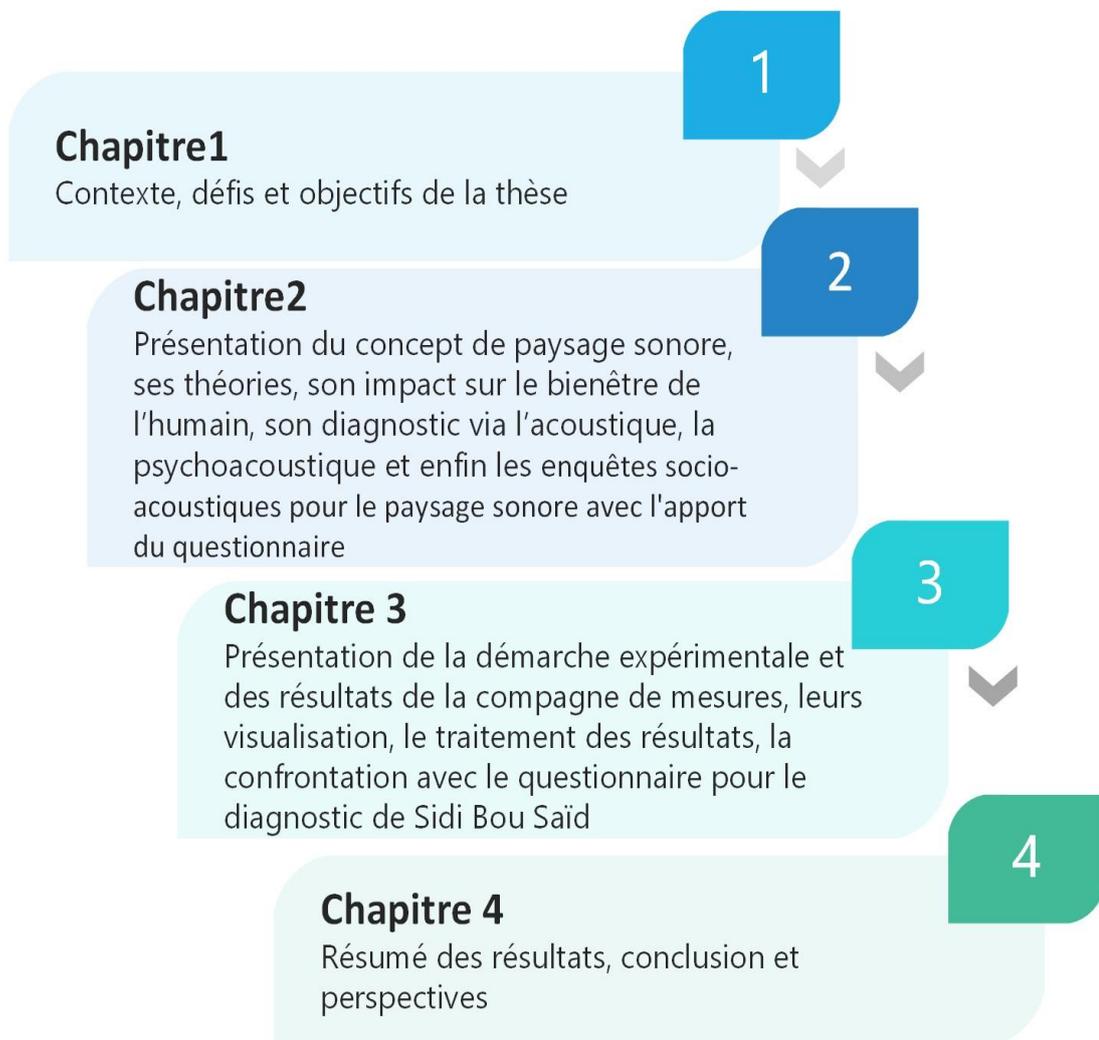


Figure I.3 Organisation de la thèse

II.1 Principes et étapes de construction d'une méthodologie

Nous présentons dans ce chapitre les fondements de la démarche développée qui s'appuient sur la notion de paysage sonore et les principes qui permettent de le caractériser. Nous introduisons dans un deuxième temps les méthodes et les techniques qui permettent d'appréhender, de percevoir et d'interpréter ces paysages sonores. Sur cette base, nous motivons et détaillons les objectifs et les finalités de notre recherche.

Une originalité de notre recherche consiste en la combinaison de mesures quantitatives de sonorités, avec des analyses immersives tridimensionnelles dans des environnements urbains et des enquêtes qualitatives de terrain pour les confronter aux réalités perçues. Cette approche nous amène à proposer une approche duale combinant mesures et analyses de perception que nous mettons en œuvre dans une démarche expérimentale de terrain appliquée à la petite cité de Sidi Bou Saïd au nord de la Tunisie que nous avons choisie pour la richesse de ses activités dans son centre historique.

Du point de vue des techniques et des fondements utilisés, la psychoacoustique représente une composante essentielle de notre approche, ce qui nous amène à présenter les principes et les méthodes que nous utilisons dans nos protocoles expérimentaux. Nous intégrons également l'impact cognitif du paysage sonore sur l'humain et son bien-être, afin de prendre en compte une composante qualitative dans notre démarche. Nous appuyons cette démarche qualitative sur la relation entre le paysage sonore et le bien-être humain par ailleurs reconnu et identifié dans de nombreux travaux (Patchett, 1979; Yang et al. 2005; Kumar et al. 2008; Sattar et al. 2016; Xinxin et al. 2016; Aletta et al. 2018; Xiao, et al. 2019; Erfanian et al. 2020). Une série d'outils complémentaires audio, vidéo et immersifs d'analyse de paysage sonores sont développés et mis en œuvre. Cette démarche constitue à notre connaissance une nouveauté méthodologique dans la mesure où de tels enchaînements et combinaisons n'existent pas dans la littérature scientifique ou même dans les mises en œuvre expérimentales actuelles. L'utilisation de méthodes d'analyses immersives permettent d'utiliser des techniques du traitement du signal dans un environnement tridimensionnel, tout en combinant l'efficacité de l'acoustique et la psychoacoustique. De tels protocoles devraient pouvoir aider les aménageurs et les décideurs à mieux cerner l'impact d'un paysage sonore sur un environnement et l'humain dans des processus d'aménagement de territoires urbains. L'ensemble de nos méthodes, protocoles et outils expérimentaux seront évalués dans un contexte urbain, nous avons retenu pour cela la petite ville de Sidi Bou Saïd dans le nord de la Tunisie et qui présente toutes les caractéristiques de richesse urbaine et de diversité d'activités pour permettre de représenter une large palette de paysages sonores urbains.

II.2 Les premiers paysages sonores

Le premier à notre connaissance à avoir introduit le concept de paysage sonore sans le nommer ainsi est Southworth à travers un master de recherche réalisé en 1967 au MIT, portant sur l'aménagement des cités (Southworth, 1969). Cette notion d'environnement sonore urbain perçu par l'humain était évoqué explicitement dans ce travail de master. Ce concept a ensuite été popularisé par Schafer, qui en 1977, suggéra le terme "Soundscape" que l'on peut traduire par paysage sonore. Schafer, compositeur et écologiste canadien, dans son

ouvrage 'The Tuning of the World (The Soundscape)', que la traduction en français n'a pas tardé à suivre en 1979 sous le titre "Le Paysage sonore", aborde la notion de paysage sonore en trois parties distinctes mais complémentaires (Orban-Ferauge, 2011; Axelsson, 2020) :

- Les sonorités maîtresses ou toniques : En musique, ou en traitement du signal, la fondamentale d'une note est celle qui la caractérise et les harmoniques en produisent le timbre. Shaffer considère la tonique comme la base et la "nappe" qui constitue les abstractions sonores de base d'un paysage sonore et qui permet de quantifier par exemple le bruit du vent, de l'eau, de la circulation et qui caractérisent un élément d'un lieu. Avec le temps, les humains mémorisent ces références sonores qui sont inconsciemment perçues avec leurs références et leurs origines.
- Les sons à valeur signalétique : Ces sons constituent une couche d'abstraction supérieure aux sonorités toniques d'un paysage sonore. Dans notre approche, nous les avons nommés accidents sonores, comme par exemple les klaxons de voitures, de bus ou l'appel à la prière. Ces sonorités sont perçues de manière consciente et dépendent de la situation ; elles sont agréables ou désagréables.
- Les marqueurs sonores : Cette couche du paysage sonore de plus haut niveau d'abstraction est importante car elle est la caractéristique d'un lieu, son patrimoine sonore, comme par exemple les forêts tropicales qui présentent plusieurs marqueurs sonores qui la caractérisent ou une rue marchande de Sidi Bou Saïd.

On peut ici retenir le fait qu'un paysage sonore s'articule à plusieurs niveaux d'abstractions : de sonorités fondamentales à signaux sonores et marqueurs qui permettent pour ces derniers de caractériser l'ambiance sonore d'un environnement.

II.3 Le paysage sonore post-industriel

Le paysage sonore est devenu l'une des composantes importantes des stratégies d'aménagements urbains, ou en tout cas il tend à le devenir. C'est l'un des intérêts cruciaux d'une évaluation qui prend en considération l'environnement. Selon Kang et al. (2019), dans une évaluation du paysage sonore, les planificateurs devraient activement prendre en compte les descripteurs et les impacts des perceptions sonores. En effet, la perception humaine du bruit physique dicte le type de paysage sonore qui potentiellement et de nature à les reconforter voire de renforcer un sentiment de bien-être (Zhang, 2014; Yang et al. 2005; Xiao, et al. 2019; Xinxin et al. 2016; Kumar et al. 2008). Le paysage sonore post-industriel devrait donc devenir un axe fondamental d'aménagement urbain. (Schiller, 2021) a contribué à la conception de structures normées, avec le support de l'ingénierie sonore, et de qualification de ces paysages sonores (Fu, 2021). La norme internationale ISO/DIS12913-1 (2013) cherche à créer un consensus international de la définition d'un paysage sonore à partir de la diversité des apports actuels de la littérature scientifique qui restent cependant encore ambigus. Une telle démarche de normalisation devrait permettre une base de communication pour les chercheurs et acteurs impliqués et intéressés par la qualification de paysages sonores. Selon Nielsen, Jorgensen et Braae (2021) cette norme internationale différencie le paysage sonore (i.e., construction perceptive) de son environnement acoustique (i.e., le phénomène physique).

Selon Edler et al. (2019), appréhender et qualifier ces notions de paysages sonores post-industriels devraient faciliter le développement de recherches et de protocoles expérimentaux. Ces progrès attendus seront utiles à la prise en compte dans des démarches d'aménagement de la diversité et la qualité de ces environnements, permettant ainsi de garantir à la fois le bien-être et la diversité culturelle traduite par ces paysages sonores. De fait, l'intérêt des institutionnels consiste à réduire le bruit environnemental tout en maintenant une bonne diversité culturelle traduite en partie par ces paysages sonores. De telles démarches sont matérialisées par l'Union Européenne, qui, à travers la Société Européenne de la Science et de la Technologie (EU COST), développe des programmes de planification et de création de politiques de paysages sonores afin d'améliorer la qualité de vie dans les zones urbaines et rurales (Kang et al. 2011).

Le paysage sonore a été défini comme l'ensemble des sources sonores émanant d'un paysage, ils sont classés en trois grandes catégories : géophonie (sons générés par la géophysique), biophonie (sons biologiquement produits) et anthrophonie perçue (sons produits par l'homme et les machines) (Axelsson et al. 2010; Guastavino, 2006; Hong et al. 2015; Jeon et al. 2011; Jeon et al. 2013; Pijanowski et al. 2011).

L'accent a été également mis sur le paysage sonore naturel intrinsèque, et ce, indépendamment des activités humaines (Grinfeder et al. 2022). Ces approches identifient trois catégories qui se conforment à trois définitions différentes et complémentaires du paysage sonore. Selon Pijanowski et al. (2011), l'assortiment de sons biotiques, géophysiques et phylogéniques caractérisent un paysage sonore écologique spécifique. Selon (Farina, 2014 ; Barchiesi et al., 2015 ; Farina et al., 2021) « une composition acoustique résulte du chevauchement volontaire ou involontaire de différents sons d'origine physique ou biologique » et « ce contexte acoustique produit est, à son tour, perçu de différentes manières par les animaux et les humains ».

Si l'on s'attache à différencier les paysages sonores, à partir de descripteurs de haut niveau, il est possible de distinguer les paysages sonores cachés, les paysages sonores ressentis et les paysages sonores interprétés (Farina et al., 2022). Ces derniers ont défini le paysage sonore latent comme celui intrinsèque mais qui ne peut être directement perçu par l'humain. Le paysage sonore ressenti et détecté est directement perçu du point de vue acoustique ; il peut cependant ne pas être qualitativement perçu et associé à une réaction physiologique comportementale. Le paysage sonore interprété est celui qui entraîne une véritable perception qualitative pouvant générer différents niveaux de réactions cognitives.

Grinfeder (Grinfeder et al. 2022) classifient un paysage sonore entre les événements distaux, perceptifs et proximaux tels que classés par Cooper (Cooper, 1992). Selon cette distinction, un événement distal est créé à partir de la source ; un événement proximal est celui qui atteint le récepteur. Un événement perceptif est un événement intériorisé par l'observateur et les associations à une série d'événements proches d'un niveau de compréhension (Grinfeder et al. 2022).

II.3.1 Ambiance sonore distale

Un environnement particulier peut être à la base quantifiée par l'occurrence de différents signaux sonores. Ces signaux sonores se combinent et produisent un effet acoustique. Selon Grinfeder et al. (2022), un humain ne peut recevoir simultanément et interpréter les différents effets acoustiques qui se produisent à partir d'un paysage particulier ; par conséquent, son effet reste encore de nature brut et à construire. Ce n'est que par la collecte d'effets sonores variés tels que les oiseaux, le vent, les activités humaines qui peuvent

produire une dynamique de paysage sonore. Ce faisant, le paysage sonore distal constitue le premier niveau de construction d'un paysage sonore. Cependant, il reste encore ambigu du fait de la non-définition d'une échelle acoustique dans l'observation du paysage sonore distal. Grinfeder et al. (2022) définit le paysage sonore distal comme la propagation dimensionnelle et temporelle du son dans un paysage spécifié.

II.3.2 Ambiance sonore proximale

Selon Barchiesi et al. (2015), les effets acoustiques d'un environnement doivent être considérés comme l'équivalent acoustique d'un réseau ambiant. Un tableau ambiant en psychophysique désigne un point d'examen optique. Le discernement d'un réseau ambiant pour différents observateurs peut varier. Néanmoins, un tableau ambiant reste intrinsèquement le même avec toutes les informations possibles que tout observateur peut interpréter à tout moment. Une telle ambiance est liée à la définition du paysage sonore proximal. L'observateur d'un paysage sonore proximal pourra recueillir différentes informations sonores du paysage sonore distal. L'acoustique proximale est constituée de l'assortiment de signaux sonores transmis à partir d'un environnement particulier de l'espace.

II.3.3 Paysage sonore perceptif

Une expérience perceptive est une expérience créée par un observateur pour donner un sens et une intelligence à l'information sonore récupérée afin de l'interpréter et de générer si besoin une réaction comportementale. Les paysages sonores perceptifs informent l'engagement cognitif et multisensoriel actif grâce aux informations acoustiques récupérées. Les études portant sur des sons tels que la psychoacoustique, la neuropsychologie et la psychologie cognitive indiquent que la gestion acoustique d'assortiments auditifs composites tels que les paysages sonores proximaux nécessitent la prise en compte de caractéristiques auditives telles que l'intensité, le timbre, la hauteur et les réseaux de réverbération (Varela, 2021). Le paysage sonore perceptif est l'interprétation par l'observateur du paysage sonore proximal.

Au final, et selon Suhanek et al. (2020), le paysage sonore post-industriel élargit le sens premier des sonorités anthropiques de par l'intégration d'effets sonores dans leurs composantes les plus larges. De telles approches devraient être utiles à de nombreux domaines d'études, motivés par le besoin de donner de nouveaux sens et objectifs aux processus d'aménagement, particulièrement en milieux urbains.

II.4 L'acoustique, la psychoacoustique et le paysage sonore

Les paysages sonores peuvent être qualifiés non seulement à partir de leurs caractéristiques acoustiques intrinsèques, mais également par la prise en compte des éléments psychoacoustiques, cognitifs et neurologiques qui vont traduire le cheminement d'une tel paysage sonore jusqu'à la génération dans le plus profond de l'humain d'une interprétation et réaction de haut niveau (Christiane, 2017; Erfanian et al, 2019; Engel et al. 2021; Torresin et al. 2019). La psychophysique, les neurosciences et la psychologie cognitive permettent d'appréhender les paysages sonores en fonction des réponses psychologiques et physiologiques humaines associées à ces sonorités et paysages sonores. Une "bonne" acoustique nécessite par exemple des niveaux sonores appropriés, un faible bruit de fond, pas d'écho ou de flottement, et une diffusion du son de qualité (Christiane, 2017; Torresin et al.

2019; Engel et al. 2021). Ces facteurs qualitatifs sont d'une grande utilité et application dans de nombreuses utilisations d'ambiances sonores de diverses natures. Dans le cas d'un environnement acoustique prenant en compte le paysage sonore non anthropique, différents facteurs entrent en jeu pour déterminer l'acoustique d'un espace donné.

II.4.1 Facteurs temporels

Les variabilités temporelles journalières et saisonnières impactent les comportements acoustiques des lieux de par leurs propriétés géophysiques, biologiques et météorologiques, tout comme les activités animales et humaines qui s'y produisent. Les changements météorologiques à travers le temps et les saisons qui impactent en particulier la vie végétale et animale constituent l'essence des variations étudiées par la phénologie (Keogan et al., 2018). Dans le contexte des paysages sonores urbains, ces variabilités constituent des éléments essentiels et à prendre en compte pour qualifier utilement les références sonores qui seront identifiées, il sera donc indispensable de les mettre en exergue vis à vis des temporalités utilisées et de leurs niveaux d'abstraction et de granularité temporelle (Steele, et al., 2015). En effet les contextes temporels liés à l'activité influencent de manière significative les évaluations sonores des individus lors de l'exécution de leurs activités quotidiennes pendant les différentes périodes de la journée, la mesure des sonorités de leurs activités sont biaisées et influencent leurs évaluations sonores (Eleinen et al 2016; Deichmann et al. 2017; Germán et al. 2018; Kou et al. 2020; Kou et al., 2021), phénomènes que nous constaterons lors de nos expérimentations pendant les différentes périodes de la journée dans la cité de Sidi Bou Saïd.

II.4.2 Facteurs spatiaux

Tout comme la dimension temporelle, le niveau d'échelle et d'abstraction de qualification d'un paysage sonore est un élément fondamental de caractérisation d'un paysage sonore. Un paysage sonore pourra être qualifié au niveau d'un lieu, d'une rue ou plus généralement celui d'un quartier. Les éléments déterminant d'un paysage sonore seront multiples : propriétés architecturales, flux humains et de transport, diversité et qualité des activités animales et de végétation, caractéristiques physiques du lieu, topographie, environnement physique comme les bâtis et les éléments surfaciques qui peuvent jouer un rôle dans la propagation et diffusion des sonorités (Eleinen et al. 2016; Deichmann et al. 2017; Germán 2018; Suhanek et al. 2020). Notre lieu d'expérimentation sera identifié à un fin niveau d'abstraction et présenté sous forme d'un parcours composé de 16 points d'analyse avec différentes architectures, formes et environnements acoustiques.

II.4.3 Facteurs abiotiques (climat et météo)

Les facteurs météorologiques comprennent la température, le vent et l'humidité et ont forcément un effet notable sur l'interprétation d'un paysage sonore d'un lieu (Simmons et al., 2021). L'acoustique non anthropique provient de diverses sources ; sources de géophonie telles que la météo, les sons hydrologiques et la biophonie (McPherson et al. 2019). L'ambiance acoustique générale d'un environnement dépend de plusieurs variables et la composante météorologique joue un rôle important dans l'étude d'un lieu. Ces facteurs créent des sources sonores géophoniques et modifient la distribution et le comportement des animaux et donc des ambiances sonores que ces derniers génèrent. Les sources sonores hydrologiques telles que les rivières sont affectées par les pluies et créent différents effets

sonores (Putland et al. 2021). Le vent entre également en jeu et affecte considérablement les effets sonores naturels.

II.4.4 Facteurs biotiques

Miksis-Olds et al. (2018) abordent les facteurs biotiques qui affectent le paysage sonore de manière non anthropique en référence aux habitats naturels vivants. Ces facteurs sont classés en interactions trophiques, répartition territoriale, densité de population, végétation et comportement acoustique. On peut citer les effets de sol, la diffusion du son et les effets météorologiques. Les effets de sol ont par exemple un impact substantiel sur la propagation du son. Les phénomènes de diffusion du son prennent en compte différentes contraintes comme l'absorption, la réverbération et la réfraction. Ces contraintes sont de nature à modifier la longueur d'onde du son, ce qui impacte les caractéristiques de la source sonore en fonction du lieu et de ses caractéristiques physiques (Everest et al. 2015). Dans notre contexte expérimental, on notera par exemple les effets sur les bruits en relation avec une activité d'artisanat selon la nature de l'environnement ouvert ou semi ouvert.

II.4.5 Effet du paysage sonore sur la psychophysiologie

L'être humain est sensible à son environnement à travers plusieurs éléments, l'un de ces éléments essentiel est l'ouïe qui permet de donner des valeurs auditives qualifiant l'identité des lieux et son environnement acoustique (Brown, 2012; Christiane, 2017; Ben Hadj Salem et al., 2018; Torresin et al. 2019; Fiebig et al. 2020; Engel et al. 2021). Les effets sonores sont accumulés dans le Système Nerveux Central (SNC) fonctionnel, et sont ensuite dirigés vers le Système Nerveux Sympathique (SNS) pour la propagation et la régulation. Les stimuli des niveaux sonores intègrent les systèmes limbiques auditifs et émotionnels. Ces systèmes mesurent l'amplitude émotionnelle dans les voies auditives pour percevoir les signaux sonores. La qualité sonore détermine l'acoustique psychologique de l'auditif (Bassarab et Robinette, 2009). Les bonnes qualités sonores sont donc perçues positivement, telles que les sons naturels et les qualités négatives sont généralement associées aux bruits (Medvedev et al. 2015). De telles diversités nécessitent une attention particulière pour assurer une meilleure qualité sonore afin d'avoir un effet positif sur le bien-être des individus au niveau du système nerveux (Christiane, 2017; Torresin et al. 2019; Erfanian et al, 2019; Engel et al. 2021).

Plusieurs chercheurs ont suggérés une analyse du paysage sonore basé sur la perception humaine de l'environnement sonore (Aletta et Kang, 2015; Ge et al., 2009; Genuit, Schulte-Fortkamp, et Fiebig, 2006; Irwin et al., 2011; Hao, Kang et Krijnders, 2015; Kang, 2010; Liu, Kang et Behm, 2014; Liu, Kang, Behm, 2014; Yu et Kang, 2010, 2011). La littérature actuelle accessible se concentre sur les effets du son sur l'environnement auditif et sur l'éveil du SNA selon les indications de l'examen physiologique (Gawron, 1982; Evans et al. 2000; Stansfeld et al 2003; Hammer et al. 2013; Basner et al. 2014; Wang et al. 2016; Lee et al.2017; Jafari et al. 2019). Cette approche et cette compréhension corporelle des plateformes physiologiques du paysage sonore se concentrent sur une période donnée (National Parks Service, 2009-2010). Les informations sonores sont associées à des stimulus et génèrent une qualification de la réponse physiologique aux sonorités des environnements acoustiques. Cette excitation physiologique en réaction aux signaux environnementaux sera quantifiée et évaluée en fonction des niveaux de référence du silence et de signaux de référence. Cette condition implique que plus la fréquence de lecture des mesures sonores est élevée, plus la relation avec la réaction humaine en fonction de l'environnement est souvent meilleure et plus précise

(Erfanian et al. 2019). Par conséquent, le résultat des niveaux d'amplitude émotionnelle dans la perception du son dans l'environnement acoustique est largement variable dans le rapport de l'excitation physiologique et de la valence (Medvedev et al. 2015).

II.5 Le paysage sonore urbain et son impact sur l'homme

II.5.1 Paysage sonore et urbanisme

Les dérivées et utilisations possibles des travaux et des études permettent de qualifier les paysages sonores ont de nombreux débouchés possibles de la planification, à la gestion et à la conception d'environnements acoustiques d'espaces extérieurs (Brown, 2012). Ces espaces extérieurs sont généralement abordés en termes de gestion du bruit et des nuisances mais méritent donc d'être élargis vers la prise en compte de ces paysages sonores et leur impact sur l'humain. Différents degrés et composantes peuvent être utilisés pour définir la qualité sonore d'un environnement urbain, afin notamment de qualifier un niveau de confort d'un humain acteur dans cet environnement. La conception et la gestion d'un environnement urbain doit donc appréhender cette composante du paysage sonore dans sa conception et plus tard en termes de gestion au quotidien. Le paysage sonore doit avoir un rôle important dans les démarches de planification et de gestion d'espaces urbains (Rehan, 2016).

Ces constats ont contribué à une saine évolution et normalisation depuis l'intérêt accru de l'utilisation d'approches et études du paysage sonore. Au-delà d'activités expérimentales tendant à expérimenter des environnements acoustiques récréatifs particuliers, des démarches de gestion et la planification constituent des vecteur privilégiés d'intégration du paysage sonore dans des démarches d'aménagement d'espaces à partir notamment de leurs composantes naturelles (Bassarab et Robinette, 2009; Rehan, 2016). Une telle prise en compte de ces sonorités naturelles, le plus souvent fines, recèlent un relatif niveau de complexité pour les démarches de quantification et de mesure, et entraîne de larges variétés d'expression du point de vue des qualifications acoustiques (Tamura, 2002). L'absence de sons humains entraîne le plus souvent l'association de ces paysages sonores naturels comme des facteurs de calme, de par l'absence ou la présence de ces sonorités non anthropiques, à mettre notamment en opposition aux sonorité humaines plus rarement associées à des notions de calme et de sérénité (Coensel et al., 2006). Pour profiter au mieux de ces ambiances naturelles, l'impact de l'humain et des sonorités anthropiques devraient, sauf exception, être minimisées. Dans un environnement bruyant, ces sonorités devraient être minimisées par des actions spécifiques dans ces environnements ou la mise en œuvre d'actions palliatives. Les humains, dans un environnement acoustique donné, auront différentes capacités auditives, et différences dans l'interprétation et la qualification de ces sonorités, ambiances sonores et au final leur effets cognitifs et impacts comportementaux s'il y a lieu (Erfanian et al. 2019). Chaque paysage sonore, associé à la nature de son environnement, à la temporalité et spatialité de son origine, aura des impacts divers et variés selon les catégories et fonctions des récepteurs humains (Hume et al. 2013; Erfanian et al. 2019).

II.5.2 Des ambiances sonores au bien-être humain

Le bien-être humain associé à l'influence sonore a été une préoccupation majeure de nombreuses disciplines scientifiques. Un paysage sonore est un élément constituant d'un environnement développement durable de qualité (Bassarab et al. 2009; Moscoso et al. 2018; Erfanian et al. 2019, 2020). La notion de bien-être associé à l'humain offre une nouvelle

perspective pour l'étude des paysages sonores, et qui devront être qualifiés en faisant une pondération entre plaisirs et nuisances sonores. Ces ambivalences seront à prendre en compte dans des démarches écologiques d'appréhension ou de mise en œuvre d'un environnement urbain, et ce, afin d'éviter des malentendus de conception, de gestion et de prise de décision dans la construction et la gestion d'un écosystème sonore urbain. Ces interactions entre l'humain et l'écologie, dans la modélisation de paysages sonores, constituent des fondements de la qualification d'un écosystème et paysage sonore (Moscoso et al. 2018; Erfanian et al. 2020). Par ailleurs, la qualification de ces paysages sonores reste une démarche complexe et non complètement déterministe vu les variations naturelles liées à la qualification du bien-être humain dans un environnement, et qui dépend de multiples facteurs physiques et cognitifs.

La recherche montre que les études liant la perception d'un paysage sonore au bien-être couvrent un large éventail de disciplines tendant à qualifier cette relation et en modéliser les effets. Différentes technologies permettent d'appréhender un paysage sonore. Les humains auront différents niveaux de réponse à ces impacts sonores et dépendent de multiples facteurs socioculturels et psychologiques (Moscoso et al. 2018; Erfanian et al. 2020). Distinction sera naturellement effectuée entre sonorité potentiellement agréable et bruit de fond, les biais socioculturels constitueront des éléments importants de la compréhension écosystémique que les humains pourront avoir d'un tel paysage sonore. Ces effets négatifs du bruit sur la santé des êtres humains sont nombreux, tels notamment des impacts immunitaires, des perturbations, de l'hypertension, des déficiences auditives aux impacts psychologiques (Tamura, 2002).

II.5.3 Nuisance sonore

La notion de nuisance sonore a été souvent définie par des directives nationales (« Prévention des risques liés au bruit (Articles R1336-1 à R1336-16) », 2017), 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 7h et 22h, et se manifeste de manière continue, intense et durable, Les nuisances sonores sont prohibées entre le coucher et le lever du soleil, soit de 22h à 7h 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 heures à 22 heures) 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; Erfanian et al. 2019, 2020). 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 (Fields et al. 1997; Bassarab et al. 2009; Moscoso et al. 2018; Erfanian et al. 2020). 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).

II.5.4 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. L'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, 1990; Torija et al., 2013 ; Axelsson, 2010,2015,2020). 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 qui permettent de générer des éléments d'appréciation qualificatifs.

II.5.4.a Calme et tranquillité

Un paysage sonore calme procure à un humain une sensation positive de repos et de tranquillité (Coensel et al., 2006). 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 (Coensel et al., 2006; 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 travers une série d'expériences audio-visuelles collectant les réponses individuelles sur une tranquillité perçue, ils ont développé un descripteur appelé « Tranquillity 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.

II.5.4.b Qualité affective perçue

Selon (Russel, 1980) et (ISO 12913-3, 2019) en demandant aux gens de décrire librement leurs perceptions à l'environnement sonore leurs réponses étaient d'ordre affectifs. Axelsson et al. (2010) suggèrent que la qualité des sources sonores perçues sont 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 négativement à une qualité d'écoute (Nasanovsky-Lanier, 1999; Weber, 2010; Verdier 2019). Plusieurs approches proposent des descripteurs du paysage sonore par des termes en relation avec la perception et l'émotion humaine : Calme, Agréable, Excitant, Mouvementé, Monotone, Ennuyeux et Chaotique (Axelsson et al. 2010; Ooi et al. 2022; Van den Bosch et al.2015; Xiang et al. 2022; Hölling, 2021; Cain et al., 2013; Andringa et al. 2013; Aletta et al. 2016; Hong et al. 2015; ISO 12913-1 2014; ISO 12913-2 2018; Mitchell et al. 2020, Aletta et al. 2020). D'après (Fiebig et al. 2020) la communauté scientifique s'intéresse de plus en plus à l'interaction des environnements acoustiques avec les multiples et variables émotions humaines qu'ils génèrent. D'après Fiebig et al. (2020), Wundt en 1906 est le premier qui a présenté les émotions en confrontation bipolaire (Wundt, 1906), concept encore d'actualité dans la caractérisation d'un paysage sonore comme à titre d'exemple la confrontation entre "Plaisir"/"Déplaisir", "Tension"/"Détente" ou "Stimulant"/"Lénitif" (Axelsson, 2010,2015,2020; Soloaga et al., 2012; Marry et al., 2013; Cain et al., 2013; Aletta et al., 2016; Ricciardi et al., 2015). Nous proposons en retenant le principe de ces approches un modèle qualitatif de perception d'un paysage sonore en confrontant les deux classes "Plaisir" /"Déplaisir" afin de permettre une interprétation beaucoup plus en référence à des perceptions positives ou négatives, à partir de quatre facteurs bipolaires (A1, A2, B1, B2) utilisant les 7 classes des termes en relation avec la perception et l'émotion humaine, regroupés pour définir des catégories plus homogènes et plus facilement interprétables:

A : Plaisir

A1 : Calme +agréable : c'est un 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

II.6 Cartographie du paysage sonore

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

- Carte des sources sonores

Dans ce type de carte (Li, Liu et Haklay, 2018) les sources sonores sont classifiées selon leur nature : anthrophonique, biophonique et géophonique en visualisant la variation spatio-temporelle des sources sonores perçues. Ces sources sonores ont été subdivisées en deux groupes : bruits et sons positifs. Kang (2016) 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 appliquant des modèles mathématiques et des concepts d'acoustique.

- 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 Niveau continu équivalent de pression acoustique pondérée A (ISO 12913-2, 2017).

- 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 perceptions d'un paysage sonore dans un espace public urbain et son évaluation (Wai-Ming 2018) ou combinent des cartes de bruits avec les caractéristiques visuelles de paysages urbains pour dériver des indices de satisfaction (Youssofi et al., 2020).

Nous nous proposons de regrouper ces trois approches et modèles cartographiques en une seule démarche qui tendra à constituer une approche et cartographie globale de l'environnement sonore. Une telle démarche à l'avantage de combiner d'une manière interactive ces 3 sources d'informations : la nature des sources sonores à travers une taxonomie de mesures acoustiques, les caractéristiques du paysage sonore du point de vue psychoacoustique et enfin la qualité perceptuelle de l'environnement sonore.

II.7 Principe de captation, modélisation psychoacoustique, l'enquête et leur confrontation

Après avoir présenté les principes de base permettant de décrire les différentes méthodes et progressions des recherches orientées vers la description de paysages sonores, nous proposons de baser notre approche sur (Figure II.1) :

- des techniques complémentaires de captation de sonorités à différents niveaux d'abstraction, de l'ambisonique aux mesures acoustiques, psychoacoustiques et immersives afin de donner un spectre le plus large possible aux enregistrements et leurs réalités physique,
- une large variété de traitements et analyses permettant des relier ces mesures sonores à leur environnement géographique, de par leur immersion dans des représentations virtuelles proches des réalités physiques des lieux observés,
- complémentarité de ces ambiances sonores perçues avec une enquête qualitative de terrain dont l'objectif consistera à confronter ces différents niveaux de mesures quantitatives de ces ambiances sonores aux perceptions de différentes catégories de ces espaces.

L'objectif consiste à générer un environnement de matérialisation de ces ambiances sonores dans une transfiguration géomatique dans les lieux observés, d'en donner un sens proche des perceptions agréables ou moins agréables, et au final en donner une lecture multiple combinant quantités perçues et réalités subjectives de leur perception par les humains acteurs de ces environnements. L'ensemble sera expérimenté dans notre terrain de validation construit dans des rues et lieux préalablement choisis pour leur qualité dans la commune de Sidi Bou Saïd.

Cette méthodologie a fait l'objet d'une présentation de synthèse publiée par la Revue Internationale de Géomatique (Hammami et Claramunt, 2022). Le protocole expérimental et son déploiement ont fait l'objet d'une publication accompagnée d'une démonstration lors de la conférence ACM SIGSPATIAL de 2021 (Hammami et Claramunt, 2021).

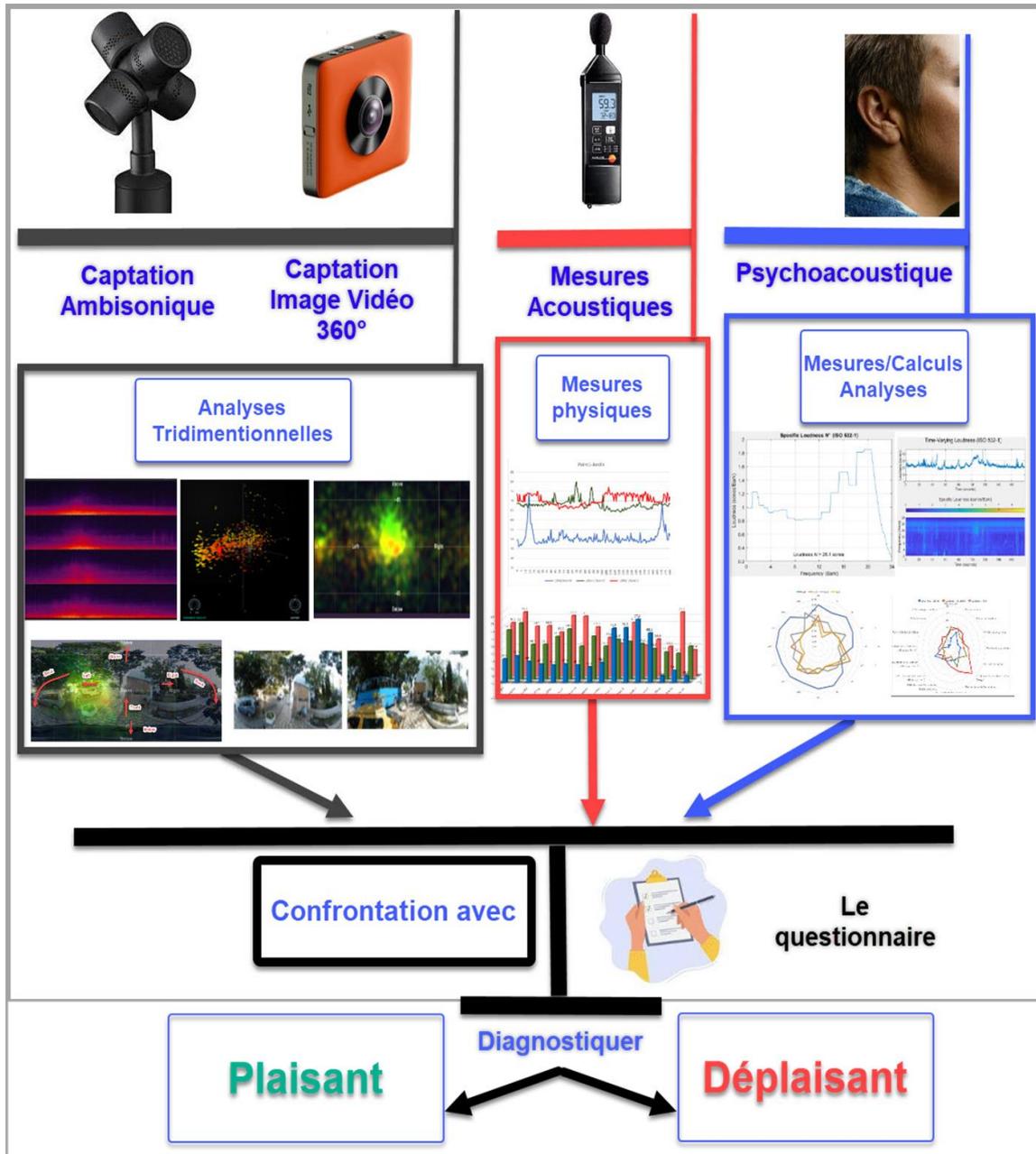


Figure II.1 Schéma de principe des différentes composantes méthodologiques

II.7.1 Principe de captation

Nous proposons plusieurs techniques de captation sonores et visuelles qui nous donnent une analyse exhaustive de notre environnement sonore. L'intérêt d'intégrer une composante visuelle consiste d'une part à matérialiser les mesures sonores dans un environnement visuel se rapprochant d'une part de la réalité physique du lieu tout en permettant une visualisation plus riche de ces mesures sonores quantitatives. Pour la captation sonore plusieurs approches avec leurs propres avantages et limitations sont

généralement utilisées et dépendent de la finalité de la réalisation (Owsinski 2017). L'enregistrement monophonique qui utilise un seul micro, présente l'inconvénient de perdre l'information spatiale de la provenance du son, chose légèrement corrigée avec la stéréophonie qui à son tour ne nous apporte pas une information plus précise sur l'emplacement exact du son et donc une information spatiale incomplète. Une méthode plus précise est permise par une captation binaurale qui cherche à reproduire la manière avec laquelle l'être humain capte les sons qui l'entourent, en enregistrant le son grâce à une tête artificielle muni de deux micros placés de part et d'autre pour simuler la position des oreilles. Notons que pour reproduire une telle information spatiale, l'écoute doit être effectuée sur casque. Notre méthode utilise l'ambisonique, une méthode de codage et décodage du son, de manière de traiter une information tridimensionnelle à 360 degrés (Zotter et al. 2019). L'avantage de l'ambisonique est qu'il nous permettra par la suite de le décoder dans des formats associés à notre étude et que nous pourrons ensuite analyser expérimentalement (Stéréo, Binaural, B-format, C-format) (Zotter et al. 2019). Engel et al. (2021) ont recensé les différentes méthodes de captations utilisées dans la littérature scientifique pour le diagnostic des paysages sonores, utilisant des enregistrements sonores à l'extérieur : " [...] Dans la plupart des cas, les sons ont été enregistrés avec des systèmes de mesure binauraux (42,4 %), des appareils d'enregistrement autonomes avec un microphone intégré (16,9 %), des sonomètres (15,3 %), des microphones stéréo (11,9 %), des ambisoniques (6,8 %), Caméras 360° (3,4%) [...] " (Engel et al., 2021). Ces principes n'ont pas, à notre connaissance, été retenus depuis dans les approches de qualification de paysages sonores, c'est cependant ce que nous proposons de réaliser à partir d'analyses tridimensionnelles sur les ambisoniques.

II.7.1.a Dispositifs audio-acoustiques

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 d'effectuer des enregistrements stéréophoniques importants pour l'archivage des données et le diagnostic lié aux phénomènes sonores avec une spatialisation stéréophonique du son (deux canaux L/R). Afin de les compléter et spatialiser plus largement ces mesures phoniques, un enregistreur Zoom H3-VR est utilisé afin de réaliser des enregistrements audios en 360° à partir d'un encodeur/décodeur ambisonique. Pour les mesures acoustiques, le sonomètre utilisé 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 utilisés est de 48000 Hz / 24 Bits.

II.7.1.b Dispositifs d'image et vidéo en 360°

Nous avons utilisé une caméra 360° ou caméra omnidirectionnelle Madv de Xiaomi qui, à l'aide de deux objectifs adossés, capture l'environnement de proximité afin de produire des vidéos immersives. Un dispositif spécial permet de la fixer et l'aligner avec l'enregistreur audio 3D sur un trépied, cette partie est extrêmement importante pour la suite car un mauvais alignement fausserait les résultats. Lors des expérimentations une organisation et une procédure ont été mises en place pour le stockage et l'archivage des données et l'énergie nécessaire aux fonctionnements des capteurs.

II.7.2 Dispositifs d'analyse et de visualisation tridimensionnelle du son

La démarche de restitution et d'analyse des ambiances sonores capturées s'appuie sur une combinaison de visualisations interactives des données psychoacoustiques et acoustiques pour les différents points du parcours sélectionnés. Les méthodes de restitution sélectionnées de ces ambiances sonores ont pour objectif de cerner les caractéristiques du signal sonore des points de vue acoustique et psychoacoustique. La première approche, issue des méthodes utilisées en traitement du signal, est basée sur un spectrogramme qui permet une visualisation en temps/fréquence du signal sonore et où l'amplitude du signal est exprimée en intensités (Figure II.2.a: du jaune pour une amplitude élevée au rouge et noire pour une absence de signal). Une telle restitution d'un signal sonore représente la morphologie fréquentielle du signal sonore, sa lecture et son interprétation est à analyser en fonction du domaine et de l'objectif de la recherche. Pour la mise en œuvre et la capture de ces signaux, nous avons utilisé O3A Flare (Figure II.2.c), l'une des principales bibliothèques de plug-ins de "Blue Ripple Sound" et qui présente une représentation 3D ambisonique d'ordre supérieur. Le deuxième outil utilisé, NX Virtual Mix Room (Ambisonics Quad), de la famille de plug-ins WAVES, est un système d'analyse en temps réel qui représente la direction des sons dans les canaux ambisoniques (Figure II.2.b). Les composantes directionnelles des sons interprétés sont projetées sur une sphère qui conserve la dimension spatiale et les directions cardinales, azimuts et élévations. La figure II.3 donne un lien interactif par QR code vers une vidéo d'aide à la lecture des outils de visualisation.

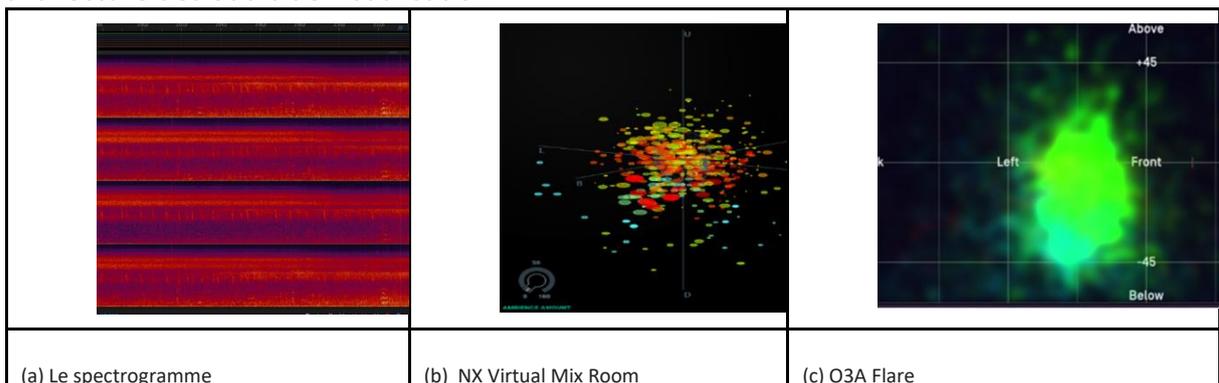


Figure II.2 Visualisation des représentations spatiales du son



Figure II.3 Aide à l'utilisation des outils de visualisation

Le QR code de la Figure II.3 donne un lien interactif vers un exemple visuel de lecture de l'analyse tridimensionnelle du signal issu de l'enregistrement ambisonique d'un environnement sonore.

II.7.3 Modélisation Psychoacoustique

Les études portant sur l'impact de l'environnement sonore sur l'humain du point de vue perceptif se sont multipliées ces dernières années et ont permis la mise en œuvre de normes ISO associant paysage sonore et psychoacoustique (Neuhoff, 2004; Zeitler et al. 2006; Zwicker et Fastl H, 2007; Genuit, 2006,2008; Christiane,2017; Gonzalo et al., 2015; Engel et al. 2021). L'ISO 12913-2 (2018) nous donne en particulier une référence pour la collecte des données et l'ISO 1293-1 (2014) la théorie et les concepts liés à la psychoacoustique modélisant les relations fonctionnelles entre le mesuré du point de vue acoustique et le perçu par l'humain.

Parmi ces indicateurs, deux sont importants dans le contexte de notre recherche, la sonie et l'acuité, et seront utilisés. La sonie permet de diagnostiquer l'impact énergétique sur l'homme d'un point de vue acoustique, elle dénote le niveau sonore perçu sur une échelle linéaire et est fixée par la norme ISO 523B. L'acuité mesure la sensation provoquée par des hautes fréquences contenues dans un bruit et implicitement si ses hautes composantes fréquentielles sont de nature à affecter ou pas l'humain (Meunier et al. 2013). Ces deux indicateurs d'intensité et de variabilité dans les aigus nous paraissent particulièrement appropriés dans l'analyse psychoacoustique de ces ambiances sonores urbaines. D'autres indices plus spécifiques comme les fluctuations sonores dans le temps ou la rugosité pour les variations rapides ne sont pas retenus pour notre approche mais pourraient l'être dans ses extensions.

II.7.3.a La Sonie (Loudness)

Les travaux de Stevens (1961) et Zwicker (2007) dans le domaine de la psychoacoustique sont basés sur une combinaison d'expérimentations et d'outils statistiques qui ont contribué à plusieurs importants résultats dans l'évaluation de l'impact énergétique du sonore sur l'humain. La sonie est la première mesure qui permet de mesurer l'impact d'une ambiance sonore. Plusieurs méthodes permettent de calculer cet indicateur, comme la méthode STDmax ou LTLmax selon Glasberg et Moore qui permet de calculer la sonie en fonction du temps de sons non stationnaires (Glasberg et Moore, 2002), ou la méthode LMIS selon Molla et al. qui permet de calculer la sonie de sons impulsionnels (Molla et al 2010), la norme ISO 532 se rapproche le plus du processus d'audition humaine et présente une méthode de quantification du bruit en tant que nuisance.

Généralement, pour ce genre de calcul, et d'un point de vue acoustique, trois octaves sont utilisées. Pour procéder aux calculs psychoacoustiques, le spectre audible a été divisé en 24 bandes (de 40 à 15500 Hz), leurs largeurs sont optimisées par l'expérimentation et les statistiques. Le nom de Bark suggéré par Zwicker et al. (2007) a été attribué à ces intervalles, la sonie spécifique d'un son s'exprime en sonnes/bark. Le processus de quantification des mesures de sonie se réalise à partir d'une série de traitements présentés par la Figure II.4

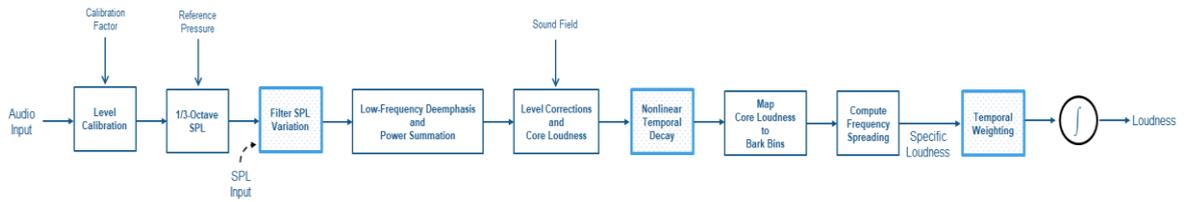


Figure II.4 Génération de mesures de sonie (ISO 532-1:2017)

La Figure ci-dessus présente les principes de traitement permettant la création de mesures. Du point de vue algorithmique et de la dérivation des valeurs de sonie, nous avons utilisé la norme ISO 532-1:2017(E). L’algorithme correspondant commence par un calibrage du signal dans le domaine temporel dans la mesure où chaque microphone possède ses propres caractéristiques. Dans un deuxième temps, grâce à 28 filtres, ce signal a été modifié en SPL (Sound Pressure Level) de 1/3 d’octave qui sont désaccentués en référence à une table de pondérations fixes. Finalement, la combinaison de certaines de ces bandes de basses fréquences forment 20 bandes critiques et seront corrigées pour produire les sonies (Zwicker 2007) et (ISO 532-1:2017(E)).

$$N'_C = 0,0635 \times 10^{0,025 L_{TQ}} \left(\left(1 - s + s \times 10^{0,1(L_{CB'} - L_{TQ})} \right)^{0,25} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Avec un facteur de seuil $s = 0.25$, L_{TQ} le niveau de la bande critique au seuil en situation calme et $L_{CB'}$ les niveaux approximatifs de la bande critique, et N'_C les valeurs de sonie fondamentales.

II.7.3.b L’acuité (Sharpness)

L’acuité (sharpness) traduit la sensation de l’équilibre spectral entre le caractère “sourds” et “brillant” des sons (Meunier et al. 2013). L’acuité nous montre la prédominance des hautes fréquences dans un signal sonore. De fait, plus la proportion des hautes fréquences dans un signal est forte, plus le signal présente un caractère aigu, la méthode utilisée dans cette recherche pour calculer cet indicateur est issue des normes DIN 45692 et l’ISO 532-1:2017(E). Le confort et l’inconfort dépendent de la personne et de la situation, plus l’acuité est faible plus nous aurons une sensation de sons sourds ou ronds, en revanche si l’acuité est élevée l’impression donnée sera que les sons sont brillants (Meunier et al. 2013). En général, le niveau d’inconfort augmente avec l’augmentation de l’acuité. Les auditeurs préfèrent les sons “ronds”. Dans certains cas, un son avec trop peu d’acuité peut être gênant (Meunier et al. 2013).

$$sharpness = k \left(\frac{\int_{z=0}^{24} N'(z) g(z) z dz}{\int_{z=0}^{24} N'(z) dz} \right) \quad (2.2)$$

Où N' est le volume spécifique en sonies/Bark. La fonction $g(z)$ est un facteur de pondération dépendant de la fréquence, le facteur d’échelle k dépend de la méthode de pondération spécifiée selon la norme DIN 45692 qui est considérée comme un facteur de calibration :

$$\begin{aligned}
 g(z) &= 1 && \text{for } z \leq 15.8 \text{ Bark} \\
 g(z) &= 0.15e^{0.42(z-15.8)} + 0.85 && \text{for } z > 15.8 \text{ Bark}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

$$N = \int_{z=0}^{24} N'(z) dz
 \tag{2.4}$$

II.7.4 Enquêtes socio-acoustiques pour le paysage sonore : apport d'un questionnaire

De nombreuses confrontations entre paysages sonores, environnements acoustiques, et leur compréhension par les humains, se sont développées ces dernières années. Cependant, la plupart des approches actuelles se limitent à des mesures quantitatives le plus souvent orientées vers des mesures de pollutions sonores à contrecarrer ou réguler (Bassarab et al 2009 ; Merchan et al., 2014), Une vision plus exhaustive des ambiances sonores spécifiées à partir de mesures quantitatives, et même si ces dernières sont variées, devraient élargir leur base sans se limiter aux nuisances, mais aussi confronter ces dernières tant négatives que positives, à des perceptions sociétales et humaines qui reflètent mieux les réalités perçues des humains. En réalité, ces conditions dépendent forcément des implications sociétales de la compréhension du concept de qualité sonore dans l'étude des paysages sonores (Engel et al. 2018). Les investigations sociales orientées vers la qualification d'un paysage sonore combinent expériences personnelles et perception d'une qualité ou nuisance sonore dans un lieu, et agrégation de ces évaluations qualitatives par différents groupes sociaux-culturels et économiques. De telles approches sont des conditions nécessaires à l'évaluation in-situ et la pleine réussite de planification et d'aménagement d'un environnement urbain prenant en compte les ambiances sonores comme une contrainte ou élément favorable de son appréciation (Brown et al. 2011; Axelsson et al. 2015; ISO 12913-2 2018) .

Le développement d'enquêtes qualitatives à partir de panels judicieusement choisis sont essentiels à la collecte et l'interprétation des informations constitutives à l'appréciation in-situ d'un paysage sonore et son analyse. Parmi les techniques actuellement développées dans la restitution d'ambiances sonores ressentis (Engel et al. 2018), nous pouvons citer la promenade sonore (Soundwalk), les tests d'écoute, les entretiens et groupes de discussion, approches aujourd'hui normalisées (ISO 12913-2 2018). Engel et al. (2018) ont recensé les recherches socio-acoustiques effectuées ces vingt dernières années et appliquées aux paysages sonores. Plusieurs chercheurs ont utilisé la méthode de la promenade sonore (Davies et al. 2013; Jeon et al. 2015; Bruce and Davies, 2014; Evensen et al. 2016; Sudarsono et al. 2016; Song et al. 2018; Kongan et al. 2017; Kang and Zhang 2010; Jeon et al. 2013; Berglund and Nilsson 2006; Pérez-Martínez et al. 2018). Engel et al. (2018) ont montré que les principales thématiques de recherche utilisées par cette méthode étaient orientées vers l'évaluation et l'identification des sources sonores, le diagnostic de la qualité du paysage sonore et l'impression générale qu'il procure voire vers la corrélation avec des informations démographiques et socio-économiques.

D'autres chercheurs ont utilisé les tests d'écoute dans leurs diagnostics du paysage sonore (Bruce and Davies, 2014; Sudarsono et al. 2016; Brambilla et al. 2013; Guastavino et al. 2005; Bjerre et al. 2017; Axelsson et al. 2010; Aletta et al. 2016; Jeon et al. 2018; Hall et al. 2013; Lavandier and Defréville 2006; Brambilla and Maffei 2006). D'autres groupes de chercheurs ont utilisé des entretiens dans leurs travaux de recherche (Song et al. 2018; Kongan et al. 2017; Kang et Zhang 2010; Hong and Jeon 2015; Bjørner 2004; Levine 1981;

Bjerre et al. 2017; Langdon 1976; Izumi et Yano 1991; Szeremeta et Zannin 2009; Raimbault 2006; Lercher et al. 2013; Guastavino 2006; Brambilla and Maffei 2006; Guastavino et al., 2005; Schulte-Fortkamp et Fiebig, 2006; Nilsson et Berglund 2006); Plus récemment (Mitchell et al. 2020; Fu, 2021; Ooi et al. 2022; Xiang et al., 2022) plusieurs chercheurs ont utilisé cette méthode pour évaluer les comportements influencés par le paysage sonore en se focalisant sur les informations démographiques et socio-économiques, les sources et la qualité des paysages sonores (Engel et al. 2018). Les approches combinant et qualifiant ces ambiances sonores par des panels de populations diversifiées sont cependant relativement rares, on peut citer quelques travaux et notamment (Bjørner 2004; Marry et Defrance 2013) mais les recherches les plus utilisées sont plutôt basées sur des entretiens, ce que nous retiendrons en lien avec notre thématique de recherche.

Les promenades sonores où les participants sont invités en groupe à une balade impliquant la collecte de données à partir de sources évaluées, intègrent des notions de sensibilisation, de qualité et la satisfaction issues de l'interprétation d'un paysage sonore (Jeon et al. 2013; Maculewicz et al., 2016; Erfanian et al. 2019). Ces études appréhendent la sensibilité au bruit d'une certaine population en fonction de leurs préférences relatives à leur vécu et perceptions propres d'un environnement acoustique. Les tests d'écoute englobent une évaluation sonore d'éléments particuliers et sensibles au sein d'un paysage sonore généralement les tests sont effectués dans un laboratoire d'écoute (Irwin et al. 2011; ISO 12913-2 2018; Engel et al. 2018).

Les entretiens utilisent des questions préalablement définies sur un panel de praticiens d'un environnement, telles que la perception qualitative voire les comportements induits en réponse concernant un paysage sonore discrétisé à un niveau d'abstraction plus ou moins fin selon les lieux étudiés (Izumi and Yano 1991; Bjørner 2004; Szeremeta and Zannin 2009; Marry and Defrance 2013). La pertinence de ces questionnaires sera forcément dépendante de la qualité et niveaux d'abstraction des panels identifiées, de leur bonne compréhension et réalisation par les participants, et un choix de distribution de lieux et de relevés spatio-temporels préalablement bien planifiés pour apporter une pertinence et possible confrontation aux mesures acoustiques et psychoacoustiques préalablement réalisées (Irwin et al. 2011; Hall et al. 2013).

La conception et la mise en œuvre d'une enquête socio-acoustique est un élément déterminant à la bonne compréhension d'un paysage sonore. Une telle approche doit se traduire par la mise en place d'un questionnaire efficace et bien articulé (Hatfield et al., 2006). Un tel questionnaire devrait comprendre des questions conçues pour aider les analystes de données à faire ressortir des informations nécessaires à la compréhension et validation des résultats du point de vue de l'humain, tout en permettant une bonne compréhension par le panel identifié (Bjørner, 2004; Davies et al. 2007; ISO 12913-2 2018). Ce questionnaire intégrera les informations de base sur le paysage sonore, donnant une échelle sémantique différenciant les données démographiques sur les niveaux de pression acoustique, psychoacoustique et évaluation du bruit environnemental (Davies et al. 2007; Engel et al. 2018; ISO 12913-2 2018; Mitchell et al. 2020; Ooi et al. 2022). Ces données recueillies fourniront des informations importantes sur la perception du paysage sonore de point de vue qualité, sensibilité au bruit et sa dominance, entre autres. De plus, les questions seront ouvertes grâce à l'utilisation de terminologies familières aux répondants et l'utilisation des choix multiples pour faciliter le traitement des données (Engel et al. 2018; Mitchell et al. 2020; Ooi et al. 2022).

L'interprétation d'un paysage sonore et le degré de connaissance que nous pourrions constituer à partir d'un questionnaire aura une pertinence significative si on le place en perspective avec les notions de bien-être social humain et la qualité ressentie d'un environnement écologique. Il a été en particulier montré qu'une enquête pourra préférentiellement montrer qu'un paysage sonore aura une plus grande diversité voire des différences psychophysiologiques si comparé à une qualité sonore intrinsèque issue de mesures acoustiques, avec de plus fortes tendances à recourir à des qualificatifs tels que bruyant ou gênant (Erfanian et al. 2019).

Plusieurs précautions doivent être prises pour garantir l'efficacité et l'exactitude des résultats de notre enquête sociale. En effet selon (Bjørner 2004; Denzin 2006; Brown et al. 2011; Axelsson et al. 2015; ISO 12913-2 2018) les participants à l'enquête doivent être bien identifiés et les conditions de leur sélection spécifiées (e.g., résidents ou visiteurs externes au lieu, experts ou pas, âge, genre, capacités auditives). Le choix des questions et des termes utilisés et leurs traductions exactes dans le cas de communautés culturelles diversifiées est à prendre en compte (ISO 12913-2 2018). De telles évaluations doivent couvrir une large palette de sensations auditives et l'ensemble des variables contextuelles pour bien appréhender le lieu d'un point de vue social. C'est dans ce contexte qu'un tel questionnaire qualitatif pourra être confronté aux mesures physiques. Cette confrontation des mesures acoustiques et psychoacoustiques à cette dimension sociale apportera une validation expérimentale de notre modèle et possiblement les éléments d'analyse et de reproduction de la démarche dans d'autres contextes urbains.

Dans le contexte de notre recherche les questionnés ont été divisés en trois grandes catégories représentatives de différentes catégories d'usage de l'environnement et des types de perception. Il nous est en effet clairement apparu que les usagers habituels de cet espace auraient forcément une perception de ces environnements sonores fortement influencés par leur accoutumance aux lieux et donc des sonorités inhabituelles et/ou accidentelles, alors que des personnes visitant le site seraient plus fortement enclins à percevoir des sonorités présentant un intérêt culturel nouveau à leurs yeux (Bild et al. 2018; Erfanian et al. 2019; Mitchell et al. 2020; Ooi et al. 2022). Ces usagers ont été placés dans une catégorie avec le label B. Un deuxième groupe est formé de touristes qui ont une sensibilité différente des autres groupes du fait qu'ils sont en mode découverte tout en apportant leur propre culture et perception, ce groupe aura comme label C. Un troisième groupe, avec le label A, a été créé, essentiellement constitué d'experts ou professionnels intervenant dans ces lieux et potentiellement moins sensibles aux ambiances sonores et qui peuvent donner une interprétation plus réfléchie quant à la morphologie sonore des lieux

II.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté les principes de la démarche développée qui s'appuient sur la notion de paysage sonore et les méthodes et techniques qui permettent de les caractériser, de les appréhender, de les percevoir et de les interpréter. Nous montrons que le paysage sonore est un concept qui est apparu et qui a évolué à travers le temps avec le développement de recherches scientifiques combinant différents points de vue (de la physique, psychoacoustique à la considération de facteurs sociaux). Le bien-être humain en relation avec le paysage sonore a été une préoccupation majeure de nombreuses disciplines scientifiques à travers une variété de lieux, de temporalités et de situations (Patchett, 1979; Yang et al. 2005; Ren et al. 2016; Xiao et al. 2019). Nous avons développé et motivé l'intérêt d'un diagnostic socio-acoustique effectué en complément de mesures acoustiques et psychoacoustiques, et

ce, afin d'ajouter au quantitatif la couche une prise en compte de perceptions cognitives et sociétales. L'ensemble nous amène à proposer un modèle expérimental qui regroupe ces notions complémentaires et apporte une couche d'analyse immersive utilisant le domaine de l'informatique, du traitement du signal confronté au final par une étude sociale pour la validation de nos expérimentations. Le prochain chapitre déclinera exhaustivement la mise en œuvre de cette approche en la mettant en œuvre dans un contexte réel, détaillera et discutera les résultats de l'expérimentation effectuée sur un lieu spécialement choisi pour sa richesse acoustique et patrimoniale à savoir la commune de Sidi Bou Saïd au nord de la Tunisie. Notons enfin que de nombreux facteurs et contraintes influencent le paysage sonore : la saison et la météo et leur impact sur la morphologie sonore dans la mesure où les activités et le nombre d'acteurs d'un lieu donné variera en fonction des conditions climatiques et saisonnières (Zhao et al. 2018). Notre recherche a été effectuée en été en haute saison touristique, ce qui maximise la dynamique des phénomènes étudiés et un bon niveau d'activité propice à une variété et intensité des phénomènes sonores. En effet, à Sidi Bou Saïd, le mois d'août représente le pic des visiteurs de ce lieu.

Chapitre III

Mise en œuvre et résultats

III.1 Démarche expérimentale

III.1.1 Principes

Notre protocole expérimental (Figure III.1) s'articule autour de plusieurs étapes successives et complémentaires de construction de notre approche méthodologique :

- 1- Une enquête exploratoire et le choix des espaces qui doivent refléter un lieu riche en patrimoine et paysage sonore : le choix s'est porté sur le site de Sidi Bou Saïd qui possède plusieurs parcours urbains très animés et qui recèle une grande variété d'activités commerciales et touristiques, et d'ambiances sonores.
- 2- Le déploiement du matériel sonore et acoustique, et son calibrage afin de valider la véracité et l'exactitude des résultats : dans ce sens plusieurs repérages ont été effectués sur le site de Sidi Bou Saïd et des premiers enregistrements audio/vidéo ont été réalisés pour vérifier la faisabilité de l'opération.
- 3- Une analyse descriptive de l'espace et de l'environnement sonore ; l'élaboration et la mise en place du questionnaire et d'un panel de population représentatif de différentes communautés.
- 4- Un travail prospectif sur le terrain qui permette l'acquisition et la production sonore : captations de faits sonores en continu et pour des intervalles de temps nécessaires au diagnostic de ce paysage sonore.
- 5- En parallèle avec la phase 4, collecte des données du questionnaire et analyse comparée entre l'analyse des données du questionnaire et les mesures acoustiques et psychoacoustiques quand cela est possible.
- 6- Constitution d'une base de données pour conserver et traiter l'ensemble des résultats.



Figure III.1 Protocole expérimental

III.1.2 Caractéristiques paysagères et patrimoniales du site d'étude : Sidi Bou Saïd

Sidi Bou Saïd est un village du nord de la Tunisie (20 kilomètres au nord-est de la capitale) avec environ 6000 habitants (Institut National de la Statistique - Tunisie, 2016). 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 nous rappelle la manière avec laquelle sont faites les maisons de la médina avec comme centre de gravité de ce village la mosquée synonyme d'appartenance à la tradition islamique : l'organisation de la vie se fait autour du lieu de culte (Santelli, 1995), un 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 d'un lieu avec une richesse à la fois acoustique et historique nous pousse à retenir un parcours urbain qui comprend une progression de ruelles comprenant deux cafés antiques, une richesse patrimoniale, plusieurs commerces d'artisanat avec à proximité des hôtels, des restaurants et les fameux vendeurs de pâtisserie tunisienne Bambalouni et une falaise qui surplombe la mer et le port de plaisance, lieu mythique de rencontre romantique (Zbiss et al, 1971; Mahjoub, 1999). La Figure III.2 illustre le parcours et son environnement urbain les cercles bleus de 1 à 16 localisent les points expérimentaux de cet environnement.

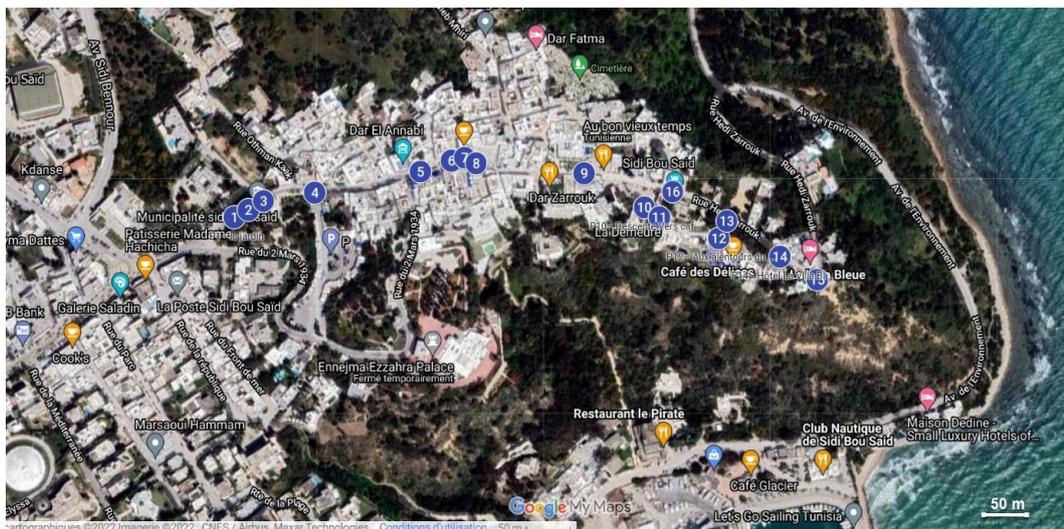


Figure III.2 Vue globale du parcours Carte/Satellite © Google Map

III.1.3 Caractéristiques techniques des capteurs et des enregistrements

Pour la partie expérimentale de notre recherche, plusieurs capteurs aux propriétés complémentaires ont été utilisés (voir chapitre II.7). Ces capteurs ont été étalonnés pour s'assurer de la précision et de la véracité des résultats. Du point de vue technique, l'ensemble des capteurs ont été déployés avec des mises à jour préalable des "firmwares" des capteurs afin de garantir une efficacité optimale d'utilisation. Ces dispositifs ont permis des enregistrements bidimensionnels et tridimensionnels du son et de l'image tout en respectant les recommandations des normes [ISO 12913-2:2018]. Finalement, ces dispositifs, grâce à leur complémentarité, permettent une production diversifiée et exploitable des ambiances sonores et leurs caractéristiques acoustiques et psychoacoustiques telles que restituées dans le temps et les espaces tridimensionnels.

III.1.4 Création d'un manuel de lecture des mesures tridimensionnelles

Ces multiples mesures, analyses et interprétations donnent une grille de lecture pour détecter et appréhender la nature des sons et leurs caractéristiques acoustiques et spatiales. Par analogie aux approches et interprétation de sonorités musicales par le traitement du signal nous faisons le choix de nous concentrer sur trois paramètres de lecture psychoacoustiques :

- Les formes sonores qui apparaissent sur les visualisations et qui permettent de caractériser un événement sonore de nature anthrophonique, biophonique ou géophonique et caractérisées par une sonorité tonique, une valeur signalétique ou un marqueur sonore.
- La couleur des formes sonores qui dénotent les fréquences et donc les intensités et les propriétés sonores (i.e., du rouge vers le magenta de 20 Hz vers 20 KHz). Certaines sonorités peuvent être détectées grâce à leur signature présentée sous forme d'une couleur prédominante.
- L'emplacement des formes sonores sur la figure donnent l'emplacement réel dans la scène sonore et donc leur localisation dans l'espace.

Nous caractérisons et illustrons dans la figure III.3 quelques événements acoustiques et psychoacoustiques types.

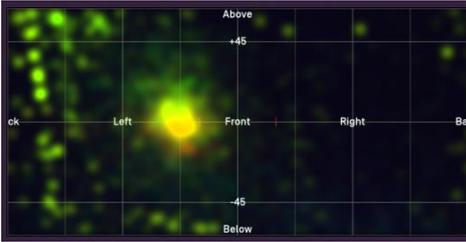
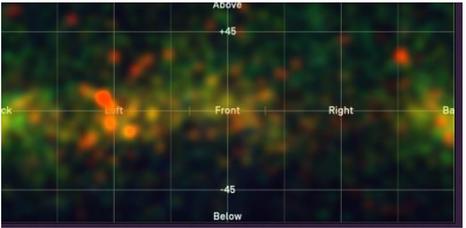
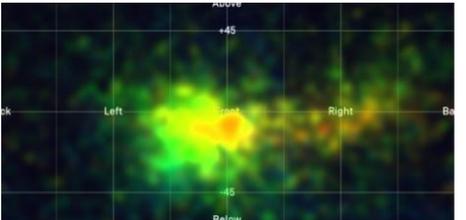
	<p>Son des oiseaux et passage de voiture :</p> <p>On remarque la présence d'un petit cercle coloré en jaune représentant le nuage sonore d'une voiture qui se trouve légèrement à gauche de la scène. Les petits cercles dénotent le gazouillement des oiseaux en haut en arrière et à gauche de la scène.</p>
	<p>Son de pas et paroles : Ces sonorités sont présentes dans la sphère qui entoure l'expérimentation à hauteur de l'humain qui produit ces sonorités.</p>
	<p>Environnement calme avec son d'insectes et d'oiseaux, voix, voitures.</p>

Figure III.3 Quelques événements sonore analysés en 3D



https://bit.ly/manuel_3D

Figure III.4 Démonstration de l'analyse des sons 3D

Le lien à travers le QR code de la Figure III.4 propose un exemple d'analyse de sons 3D, (extrait du point 11 le soir). Cette démonstration vidéo illustre la détection et la mise en évidence de sons difficiles à détecter car masqués par d'autres sonorités : détection du son d'insectes simultanés à l'alarme de voiture et au cri d'un enfant.

III.1.5 Procédés psychoacoustiques de la recherche

Les mesures acoustiques ne permettent pas de faire complètement ressortir les sensations perçues par l'homme, ce qui nous amène à utiliser d'autres indicateurs psychoacoustiques complémentaires qui quantifient et qualifient à la fois cette sensation, les paramètres qui vont servir à nos expérimentations sont la sonie et l'acuité (voir Chapitre II 7.3).

Du point de vue pratique, ces signaux sont traités à partir d'un enregistrement ambisonique qui permet d'avoir quatre canaux WXYZ, le canal W est utilisé pour les calculs psychoacoustiques, en effet ce canal présente un enregistrement omnidirectionnel du son Ils sont traités avec plusieurs fonctions des « Toolbox » audio et traitement du signal de Matlab (MATLAB 2021). Les autres canaux XYZ permettent d'enregistrer des informations de direction et seront utilisés par la suite dans les outils d'analyse spatiale du son.

III.1.6 Collecte des données et état sonore des lieux

III.1.6.a Repérage sonore et collecte en continu

Avant le début des campagnes de mesure, j'ai effectué plusieurs repérages acoustiques *in-situ* pendant deux jours qui précèdent les expérimentations et mesures, pour s'imprégner du lieu. Des vidéo 360° ont été réalisées pour une reproduction réaliste du lieu et de ces parcours. Dans un deuxième temps, des mesures en continu ont été effectuées tout d'abord 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 (08/08/19 et 09/08/2019) pour une durée totale d'enregistrement de 19 heures et 30 minutes et l'avènement de 132 "accidents" sonores (Tableau III-1.4).

III.1.6.b Campagne de mesures du parcours

Dans une 2ème étape, une campagne de collecte des mesures en 16 points de notre parcours a été réalisée pour des lieux choisis pour leur richesse sonore et patrimoniale (tableaux III-1, III-2). Pour chaque mesure (matin / milieu de la journée / soirée), une durée continue d'enregistrement de trois minutes est réalisée en conformité avec la norme [ISO 12913-2:2018] afin de permettre une captation de l'environnement sonore représentative de sa morphologie et pouvoir permettre un traitement significatif pour la suite de la recherche et garantir l'efficacité des résultats [ISO 12913-2:2018.

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		

Table III-1 Protocole des enregistrements

Date	Horaire	Actions effectuées	Techniques
10/08/2019	21h -23h	Mesures : 16 points	- Mesures Acoustiques - Enregistrement audio Stéréo/Ambisonique - Enregistrement Vidéo 360
13/08/2019	11h-14h	Mesures : 16 points	-Mesures Acoustiques - Enregistrement audio Stéréo/Ambisonique - Enregistrement Vidéo 360
13/08/2019	19h-22h30	Mesures : 16 points	- Mesures Acoustiques - Enregistrement audio Stéréo/Ambisonique - Enregistrement Vidéo 360
14/08/2019	11h-14h	Questionnaire	- Écriture manuelle et enregistrement d'interviews en réponse aux questions
14/08/2019	19h-22h30	Questionnaire	- Écriture manuelle et enregistrement d'interviews en réponse aux questions
15/08/2019	05h30-10h00	Mesures 16 points	- Mesures Acoustiques - Enregistrement audio Stéréo/Ambisonique - Enregistrement Vidéo 360
15/08/2019	8h-10h	Questionnaire	Écriture manuelle et enregistrement d'interviews en réponse aux questions

Table III-2 Temporalité des enregistrements et questionnaire

III.1.7 Questionnaire, panel et mode opératoire

La campagne de collecte du questionnaire a été effectuée par trois personnes : moi-même, mon épouse (docteur en automatique et traitement du signal) et un cousin (ingénieur en informatique), le panel (Tableau III-1.4) comprend 91 hommes et 81 femmes âgés entre 18 et 66 ans. Afin de tester leurs audibilités, un test rapide d'écoute de 3 fréquences a été effectué, le questionnaire écrit en français a nécessité une traduction des termes en dialecte tunisien pour quelques-uns. Les questionnés ont été divisés en trois grandes catégories Tableau III-1.4 :

- 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 le corrélérer avec les mesures physiques. Ce questionnaire est constitué de deux sections :

- La première section comprend 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 deuxième 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 sept attributs qualitatifs : ennuyeux, calme, chaotique, mouvementé, monotone, agréable, 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). L'échelle utilisée (Tableau III.3) est l'outil psychométrique de Likert (Allen et Seaman, 2007). Pour notre recherche nous avons retenu les normes (ISO 12913-2, 2017), (ISO 12913-3, 2019).

1	2	3	4	5
En désaccord total	Pas d'accord	Ni en désaccord ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Table III-3 Echelle psychométrique de Likert

La dernière section du questionnaire est ouverte et en relation avec le sonore, le visuel et l'olfactif et les résultats obtenus n'ont pas été exploités pour cette recherche mais le seront pour de futures recherches. Le questionnaire est interactivement rempli dans la même période des enregistrements et mesures, d'autres dans une même plage horaire. La Figure III.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 de l'analyse pour une appréciation qualitative, spatiale et temporelle de cet environnement urbain que nous étudions à partir d'une confrontation qualitative des environnements psychoacoustiques multidimensionnels et leur perception et ressenti humain. Un modèle qualitatif de perception d'un paysage sonore à partir de plusieurs termes qualifie l'environnement sonore que l'on regroupe en quatre facteurs bipolaires (voir chapitre II.5.4) :

A : Plaisir

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

A2 : Excitant + Mouvementé : riche en événements et plaisant

B : Déplaisir

B1 : Monotone + Ennuyeux : désagréable + sans événements

B2 : Chaotique + Mouvementé : désagréable + riche en événements

Nbre	H	F	H+F	%	Age		Age/SD	Age/Mean
					Nbre	%		
					1: <18	0	0	
A	15	20	35	20	2: 18 – 25 ans	28	16	
B	60	51	111	65	3: 26 – 35 ans	50	29	
C	16	10	26	15	4: 36 – 50 ans	49	28	
					5: 50 ans et plus	45	26	
ABC	91	81	172	100		172	100	13.16 39.41

Table III-4 Panel du questionnaire

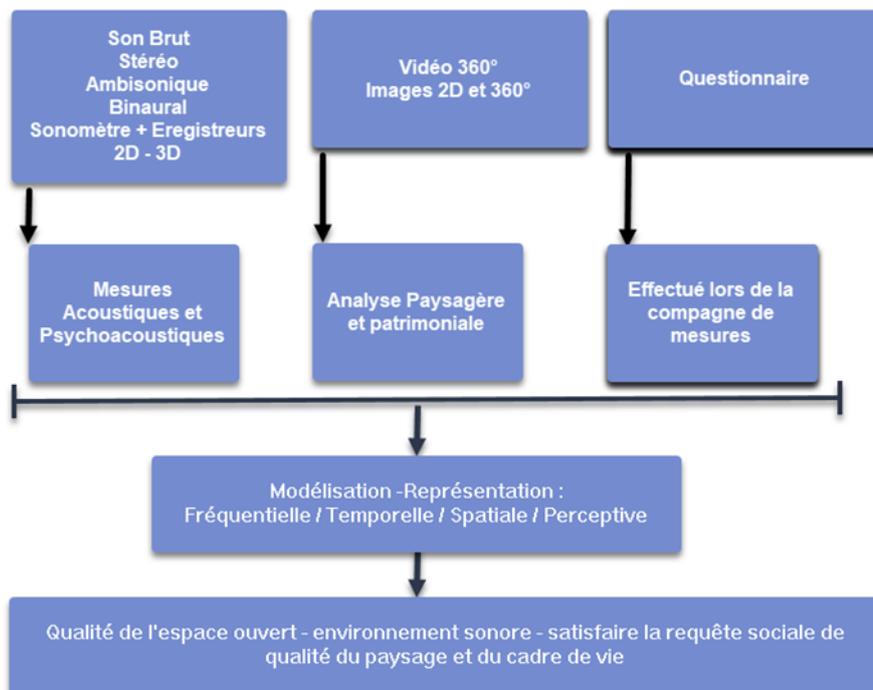


Figure III.5 Modèle interactif de visualisation et d'interprétation

III.1.8 Traitement préliminaire et global du site

Une première constatation apparaît in-situ à partir du recueil des mesures en continu sur plusieurs heures dans le centre du parcours. La recherche et une première interprétation de ces ambiances sonores montre qu'une composition de deux couches sonores constitue la trame principale de ces perceptions. La première représente un bruit de fond sonore qui varie pendant les périodes de la journée. La deuxième résulte d'objets sonores qui interviennent d'une manière accidentelle et varient selon le lieu et l'horaire de la journée.

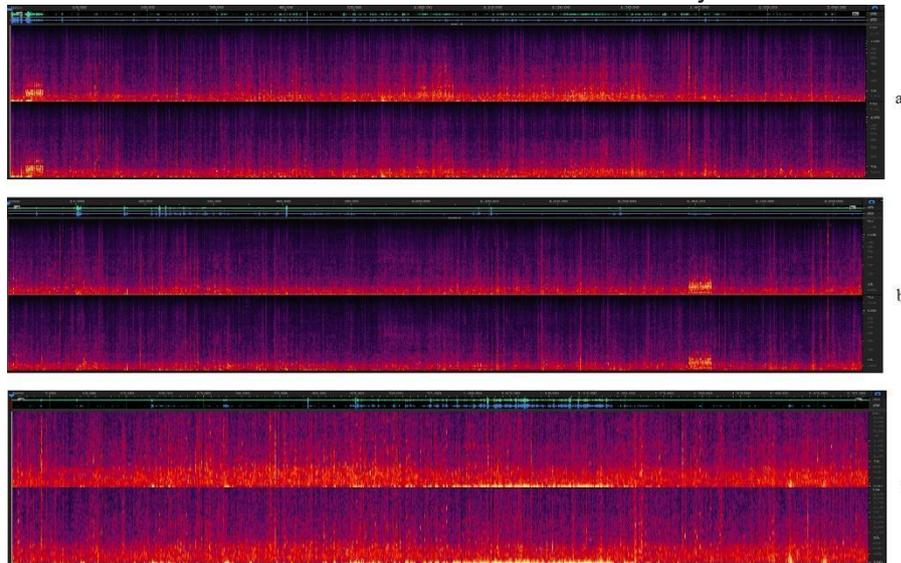


Figure III.6 Morphologie sonore du centre du parcours - point 6 du parcours
a- 08-08-2019_12h30-14h34 b- 08-08-2019_14h34-16h38 c- 08-08-2019_16h38-18h38

Les figures III.1.6a, III.1.6b et III.1.6c présentent 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 constituées de deux canaux (enregistrement stéréophonique pour donner un aspect spatial 2D de l'environnement sonore).

Pour chaque point du parcours il devient possible de diagnostiquer le lieu choisi par la taxonomie des sources sonores existantes (Hong et al. 2015; Jeon et al. 2018; Jeon et al. 2013; Pijanowski et al. 2011; Bone et al, 2018). Typiquement plusieurs objets sonores ont été identifiés selon leurs caractéristiques anthrophoniques, biophoniques et géophoniques (Tableau III-5), le chercheur avec son expérience professionnelle en relation avec la musique et l'ingénierie du son lui a permis le diagnostic des lieux par une expérimentation à double couche :

- la première : l'écoute en temps réel lors de l'enregistrement;
- la deuxième: la vérification par l'écoute en aval des enregistrements audio effectués tout en se servant des méthodes visuelles d'analyse en traitement du signal.

Anthrophonique	Humain	<ul style="list-style-type: none"> • • Brouhaha, cris • Effet cocktail • Jeux d'enfants • Mouvement, pas, • Rire • Voix • Jeux de cartes (cris et discussion, tapage sur la table)
	Artificiel autonome	<ul style="list-style-type: none"> • Bus, camion, voiture moto (stationnement moteur en marche) • Haut-parleur mosquée : appel prière • Téléphones portables sonneries • Générateur de courant
	Artificiel produit par l'homme	<ul style="list-style-type: none"> • Sifflement police routier • Artisanat – percussion darbouka • Artisanat – sculpture sur assiette • Vaisselle • Valises (arrivée touriste), • Fumage du narguilé • Sifflet train • Klaxon • Bicyclette • Appareillage municipalité
Biophonique	Faune	<ul style="list-style-type: none"> • Chats • Chiens • Insectes • Oiseaux
Géophonique	Nature	<ul style="list-style-type: none"> • Vent • Vent sur les arbres. • Écoulement d'eau (fontaine)

Table III-5 Taxonomie et caractéristiques sonores du parcours

III.2 Le parcours des mesures

Nous faisons le choix dans la suite du traitement des résultats d'une analyse de seize lieux particuliers représentatifs, riches et complémentaires (Figure III.1.9) : 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. Cette approche permet de caractériser des périodes homogènes de mesures (matin, milieu de

la journée ou soir) pour tous les points de mesure centrés sur un intervalle de deux heures pour chaque période de la journée (ISO 12913-2 2018 et ISO 12913-1 2014). Pendant toute la campagne de mesures nous avons suivi une méthodologie de reconnaissance de la taxonomie de lieu pendant et après les mesures, (Figure III.1.10) (ISO 12913-2 2018 et ISO 12913-1 2014).

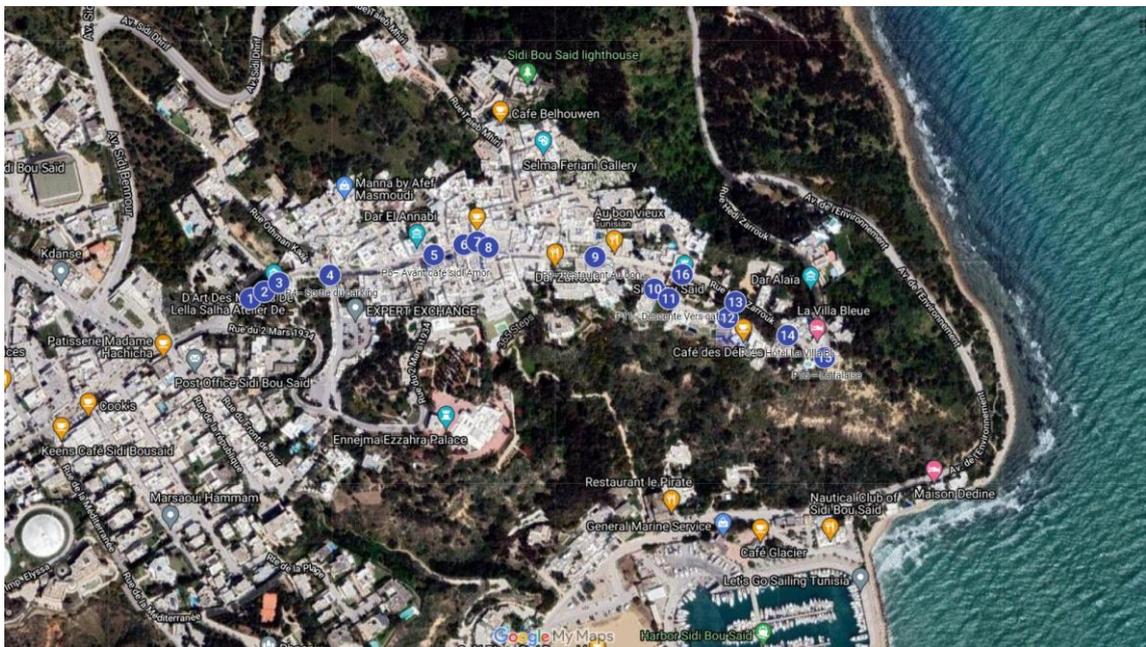
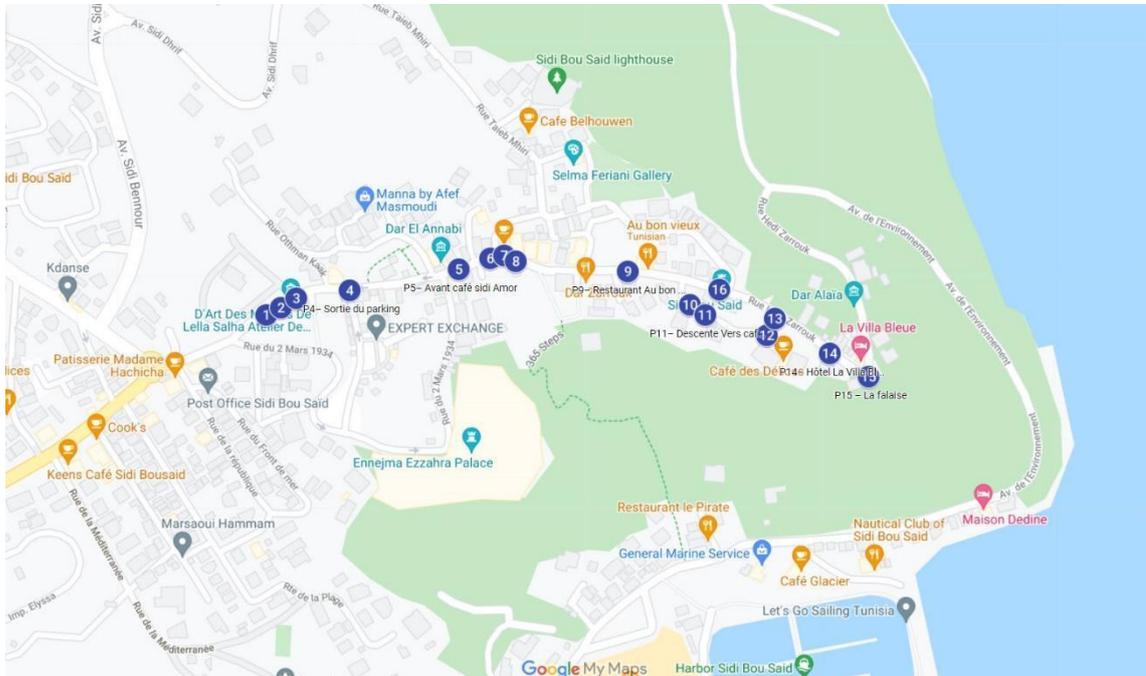


Figure III.7 Parcours des mesures © Google Map

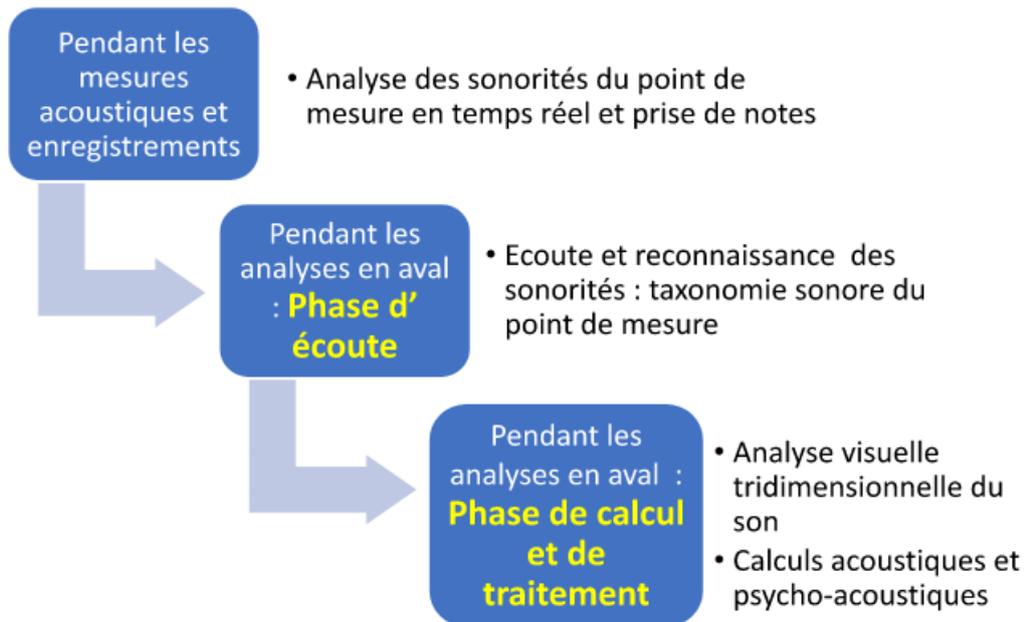
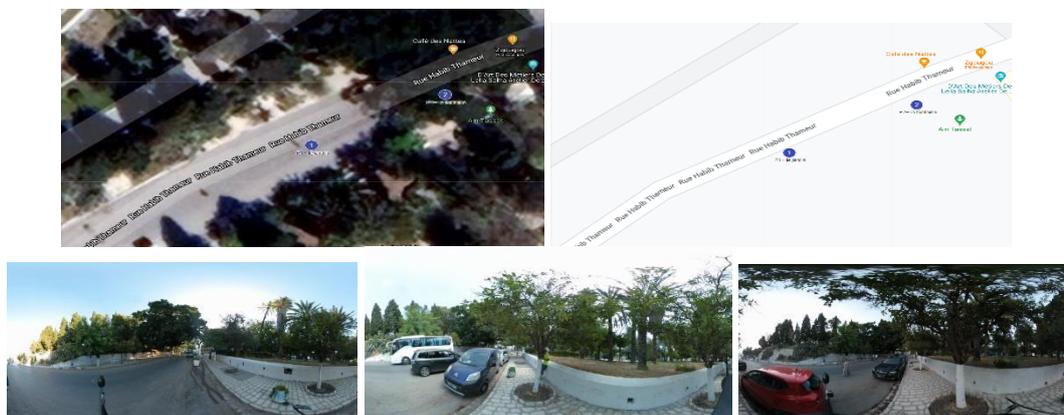


Figure III.8 Reconnaissance sonore taxonomique
Pendant et après les mesures in-situ

III.2.1 Point 1 – le jardin

III.2.1.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure est le début de notre parcours, il est entouré d'un jardin à sa droite et se situe à une vingtaine de mètres devant la fontaine (Figure III-Point 1.1).



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.9 Point 1 – Le jardin

Ce début de notre parcours est important dans la mesure où c'est un passage obligé, certes d'autres entrées sont possibles mais de point de départ constitue un point d'entrée touristique et des flux de personnes.

III.2.1.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu sont respectivement pour le matin $L_{eq}=50.8$ dbA, en milieu de journée $L_{eq}=68$ dbA, et en fin de journée $L_{eq}=70.5$ dbA.

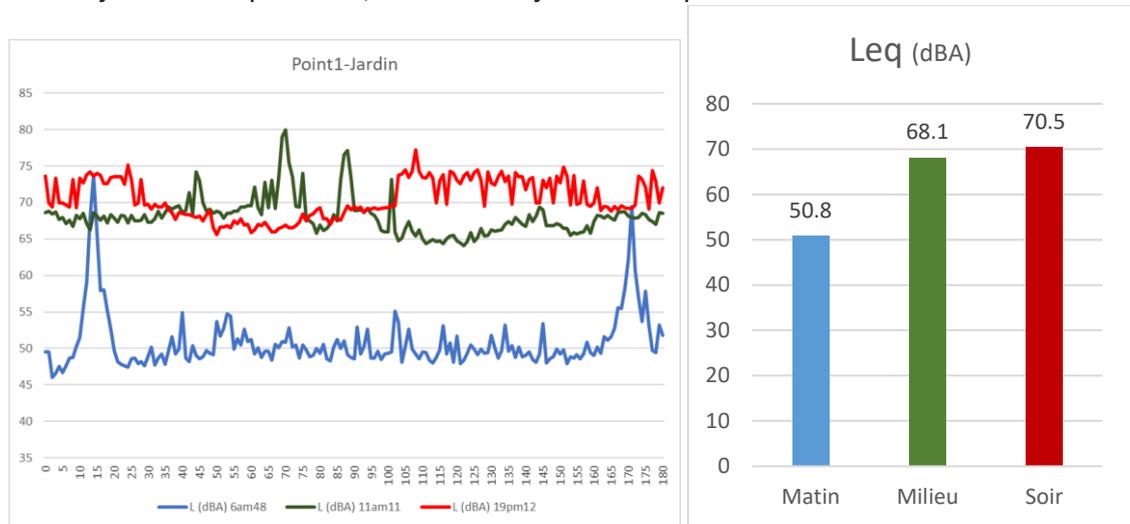


Figure III.10 Morphologie sonore du point de mesure n° 1

La Figure III-10 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez représentatif des tendances du milieu de la journée et de la nuit dans la mesure où à partir de la journée et jusqu'au soir nous avons un flux assez important de gens visitant ou sortant du parcours de Sidi Bou Saïd.

Le matin : L'environnement acoustique a été qualifié par le chercheur comme assez calme. Notons la présence de quelques personnes qui se dirigent vers des commerces et quelques manifestations biophoniques (sons d'insectes, sons d'oiseaux) et anthrophoniques (conversations, bruits de pas, passage de voitures). L'environnement est relativement calme avec une absence de sonorités présentant une diffusion homogène dans un espace tridimensionnel (Figure III-11a et Figure III-11c). Nous remarquons le son d'une voiture lointaine qui se trouve dans le point 2 de mesure en stationnement avec un moteur en mode fonctionnement qui a été capté. L'apparition d'accidents sonores comme le passage de deux voitures change le calme de ce lieu pendant quelques secondes. On remarque dans ce dernier cas l'apparition de couleurs intenses qui sont analogues à l'intensité sonore et leurs emplacements spatiaux (Figure III-11 d,e,f).

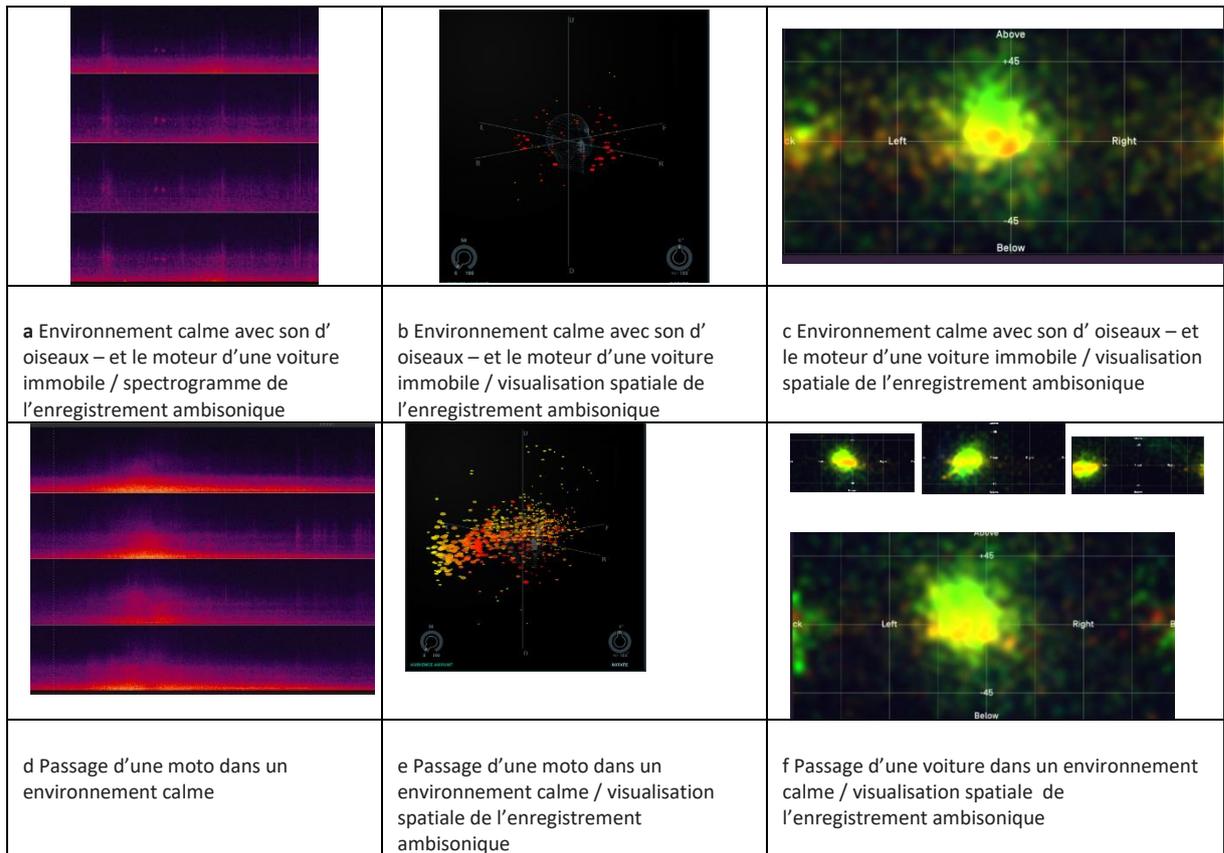


Figure III.11 Point 1 Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : l'environnement acoustique est moyennement bruyant. Notons la présence de sons anthrophoniques (conversations, cris d'enfants, bruits de pas) et surtout des bruits biophoniques d'insectes qui présentent une intensité assez importante avec prédominance d'une fréquence aux alentours de 5kHz, c'est à dire la signature typique de ces insectes que l'on retrouvera dans plusieurs points de mesures par la suite. La Figure III-12 montre la présence de plusieurs accidents sonores (passages de camions et de voitures) à partir du milieu de journée et une diffusion spatiale du son plus intense (Figure III-12, b,c)

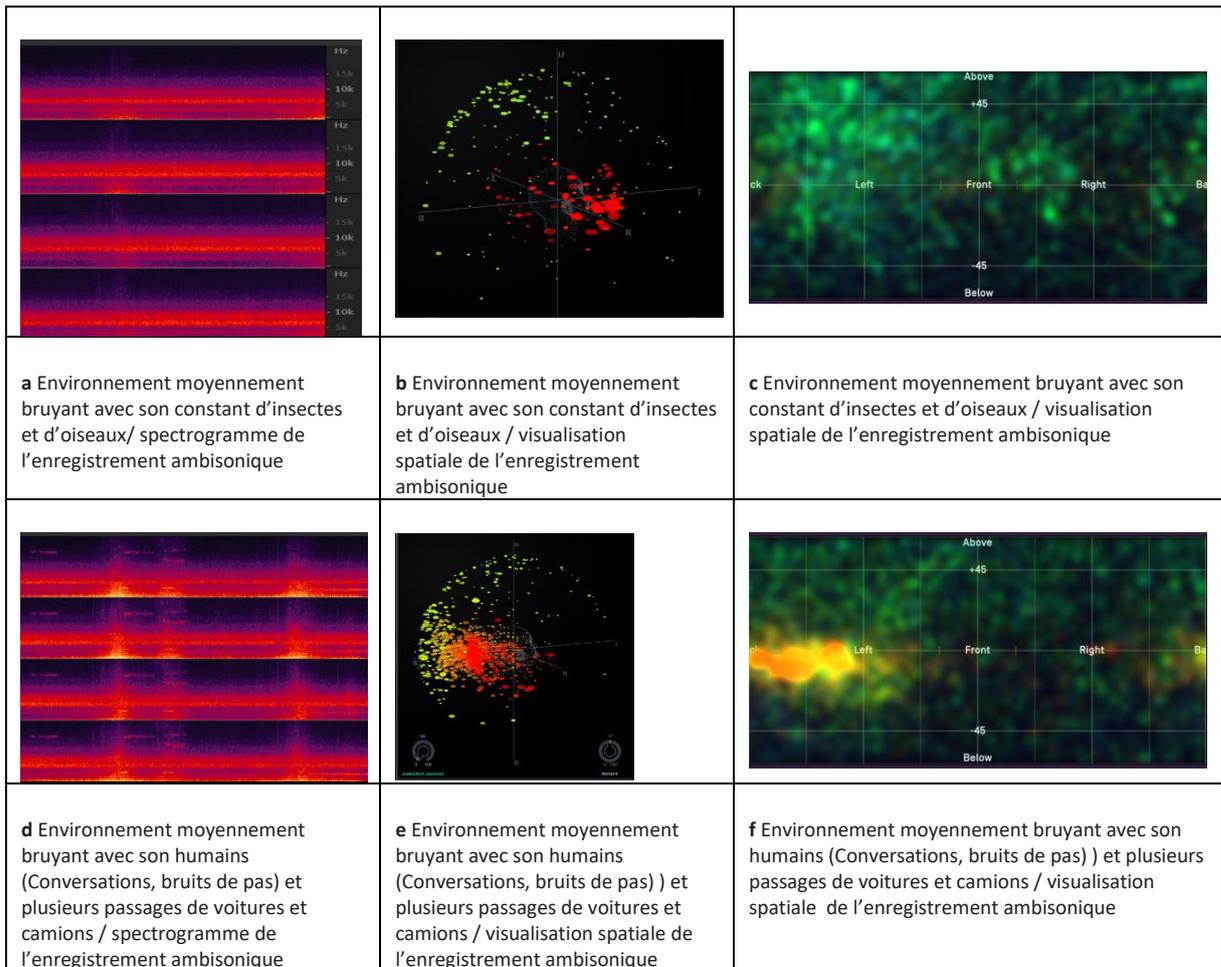


Figure III.12 Point 1- Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

Soir : L'environnement acoustique bruyant. Plusieurs sonorités anthroponiques et biophonique sont omniprésentes (conversations, bruits de pas, passage de motos, insectes, cris et pleurs d'enfants). Pendant toute cette période de mesures, les indicateurs acoustiques montrent une énergie assez importante avec notamment le passage de véhicules, des pleurs et des cris d'enfants. On remarque à nouveau la prédominance d'une bande fréquentielle aux alentours de 5 KHz (signature des insectes) (Figure III-13 a,b,c,d).

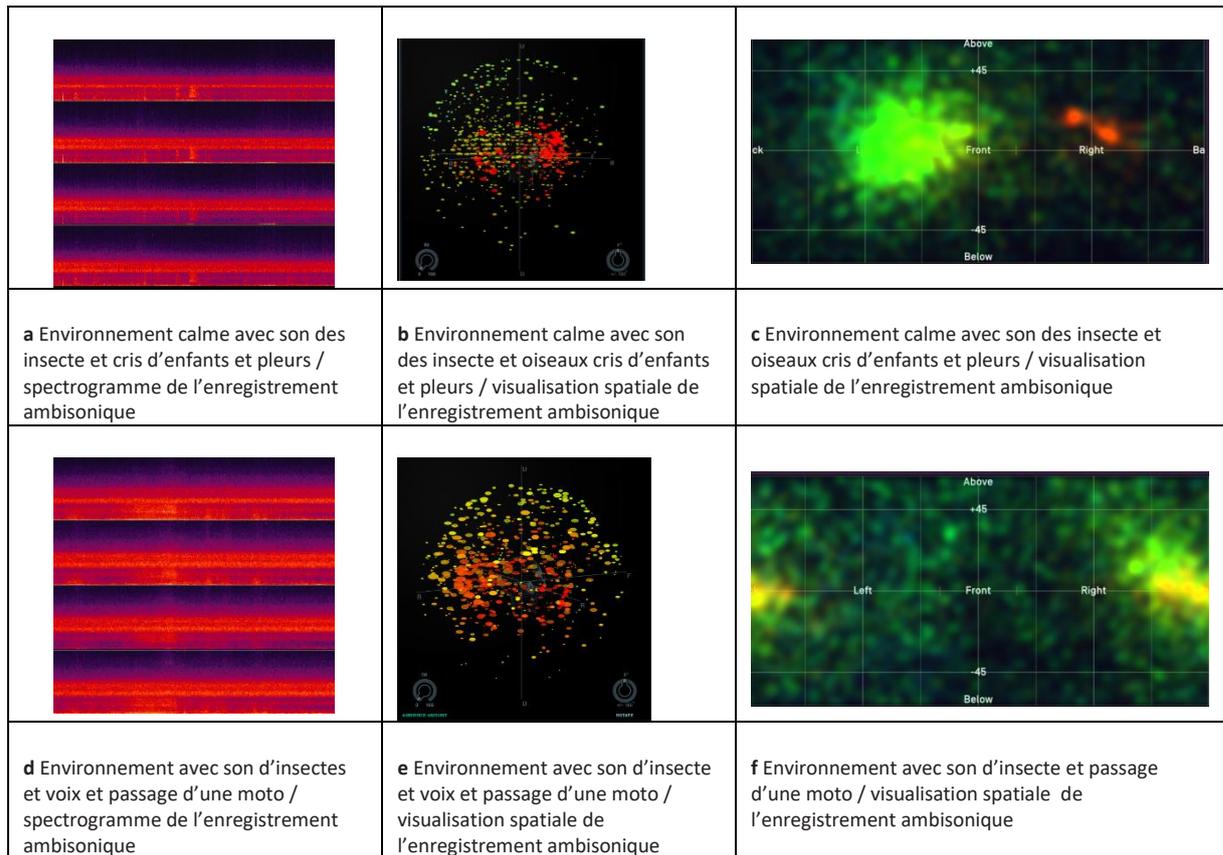


Figure III.13 Point 1 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.1.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques :

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figure III-14). En effet le perçu calculé est assez élevé pendant la journée et le soir, mais présente une valeur faible le matin (e.g., 26.1 sones le soir, 30 sones au milieu de la journée). La présence des insectes est visible pendant la journée sauf le matin. Ces présences d'insectes sont identifiées par une bande visible aux alentours de 5Khz mais également pour des valeurs élevées respectives 1.77 acum et 2.11 acum d'acuité en milieu de la journée et le soir (Figure III-15).

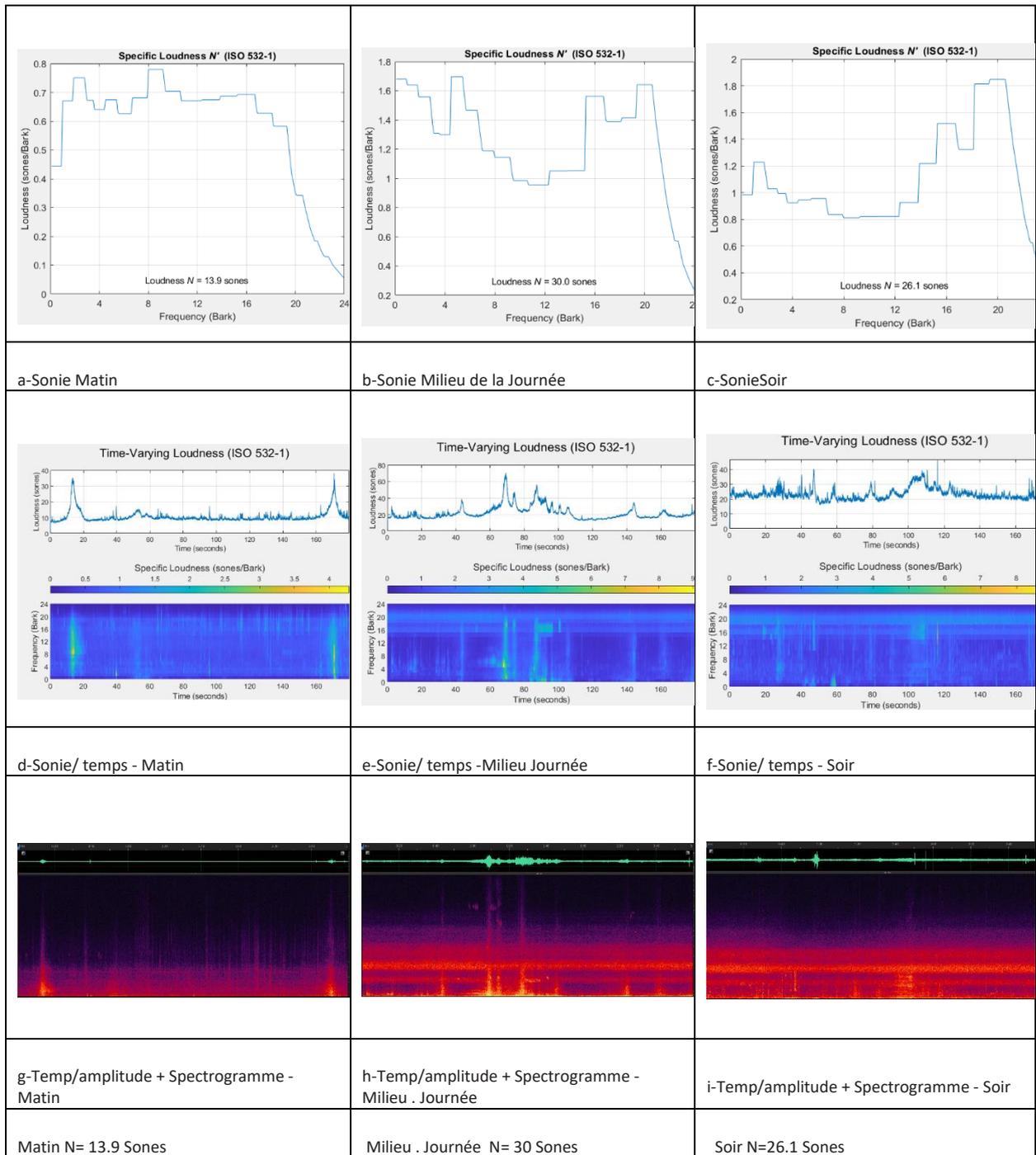


Figure III.14 Point 1 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

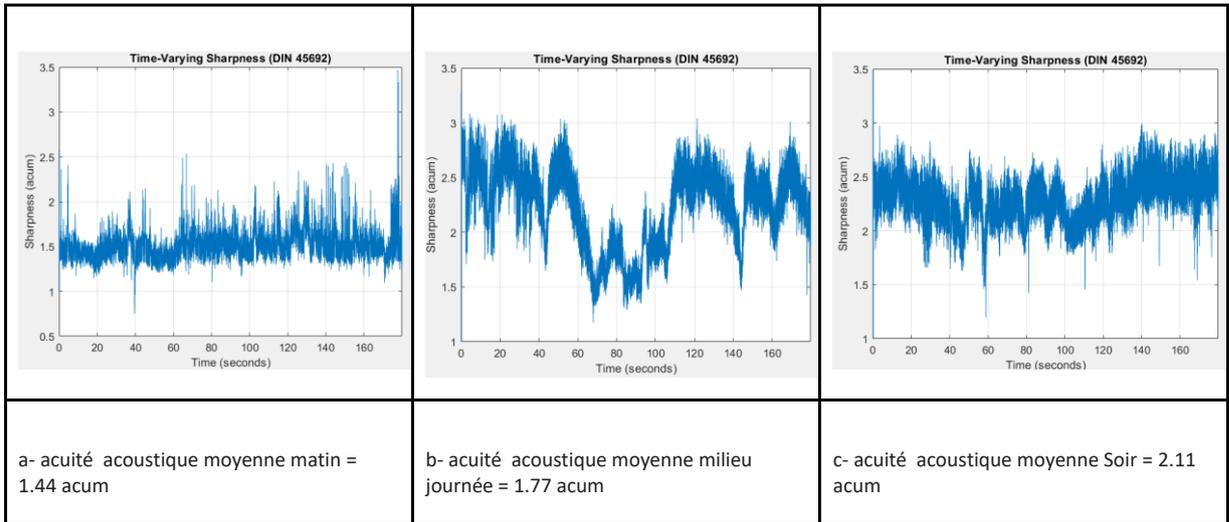
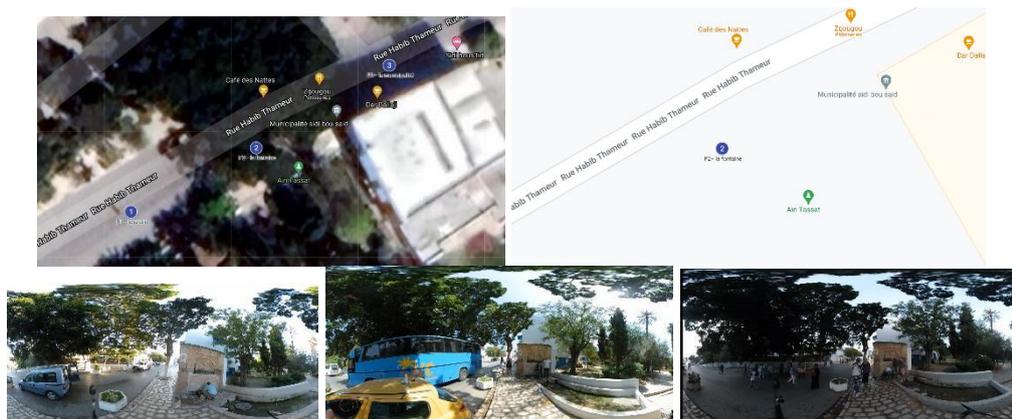


Figure III.15 Point 1 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.2 Point 2 - La fontaine

III.2.2.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.16 Point 2 – La Fontaine - vue globale



Figure III.17 Point 2 – La Fontaine-« Ain Tassat »
©Hatem Bourial

Ce lieu (Figures III-16, III-17) est connu pour sa fontaine qui porte le nom de « Ain Tassat ». Son eau provient d'un puits qui se situe au niveau d'une maison très connue « Dar El Annabi », l'ancienne demeure du mufti (responsable religieux) Mohamed El Annabi au 19eme siècle on parle des vertus de cette eau pour la santé, d'où l'affluence des gens pour y prendre. (Caputo, 2006).

III.2.2.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=52.9$ dbA, en milieu de journée $Leq=72.5$ dbA, et en fin de journée $Leq=77.6$ dbA.

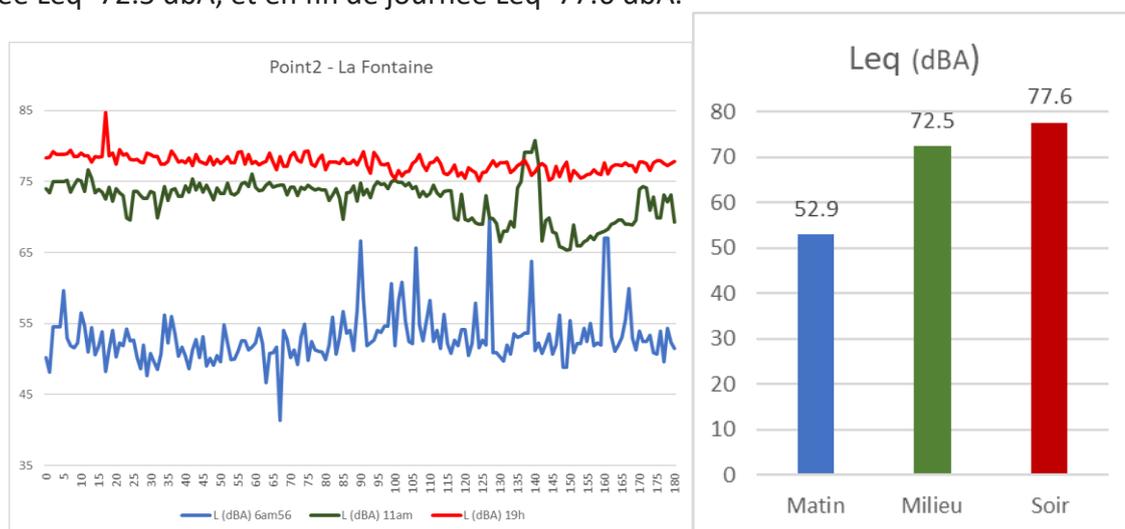


Figure III.18 Morphologie sonore du point de mesure n° 2

La Figure III-18 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez similaire pendant les périodes de la nuit et du milieu de la journée. En effet les courbes verte et rouge respectivement en milieu de journée et le soir présentent des évolutions assez proches par rapport à la courbe bleue du matin assez calme le matin, ce qui est également validé par les

spectrogrammes (Figure III-20 a,d) et (Figure III-21 a,d). Ce lieu représente le passage vers notre parcours, mais aussi un lieu pour la collecte de l'eau de source, activité non intense en matinée.

- Matin : L'environnement acoustique est assez calme, notons la présence de personnes qui testent leurs véhicules et en font un nettoyage avec l'eau de la source (son géophonique) et il y a présence de sons anthroponiques (son de moteurs en marche, conversations, bruits de pas) cette énergie est visible par une couleur intense verte et jaune légèrement à gauche de notre parcours (Figure III-19 a,b,c) et la présence de sons d'oiseaux, (Figure III-19 d,e,f) la disposition spatiale des oiseaux est visible dans la figure arrière haut et gauche.

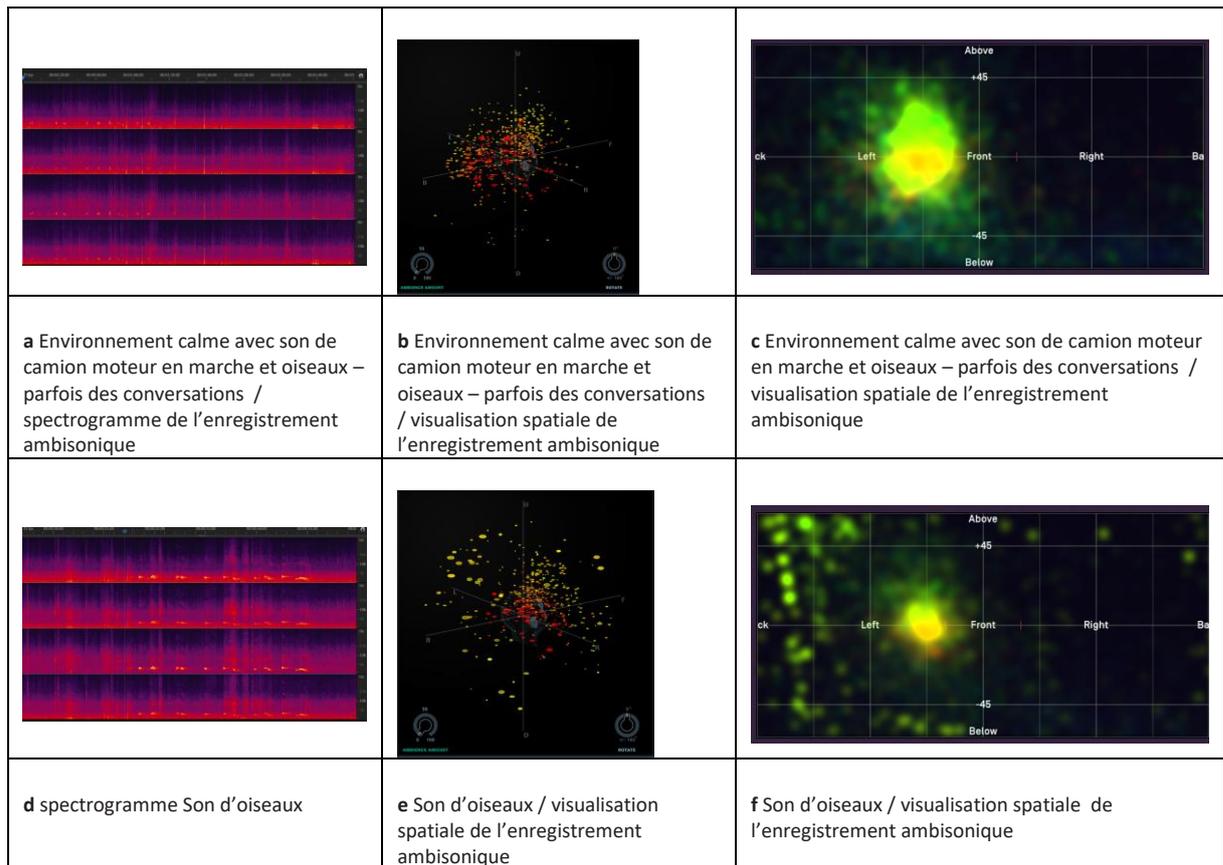


Figure III.19 Point 2 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est bruyant, notons la présence de sons d'humains (conversations, bruits de pas), plusieurs accidents sonores plus importantes que le matin, en effet on a noté le passage de plusieurs bus touristiques et plusieurs voitures, (Figure III-20 b,c,e et f) et on remarque la prédominance d'un son aigu émis en continu par des insectes aux alentours de 5Khz (Figure III-20 a,d)

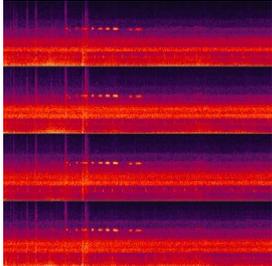
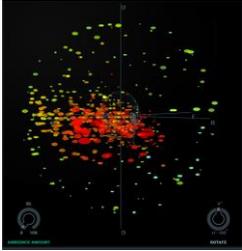
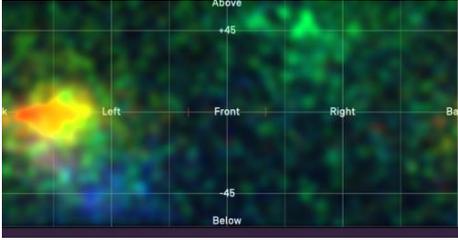
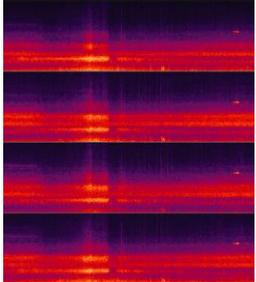
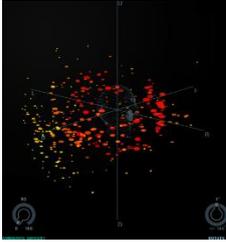
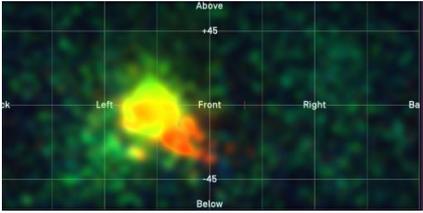
		
<p>a Environnement bruyant / Klaxon de Bus / oiseaux/insectes / spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>b Environnement bruyant / Klaxon de Bus – oiseaux/insectes / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>c Environnement bruyant / Klaxon de Bus – oiseaux/insectes spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>
		
<p>d Environnement bruyant / son humains (Conversations, bruits de pas) / spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>e Environnement bruyant / son humains (Conversations, bruits de pas) / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>f Environnement bruyant / passage d'un Bus / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>

Figure III.20 Point 2 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir: L'environnement est bruyant Plusieurs sonorités sont omniprésentes (conversations, bruits de pas, passage de motos), plusieurs sons lointain sont enregistré mais les sons prédominants sont le passage de motos et les insectes avec une bande de 5 KHz visible sur les analyses (Figure III-21 a,b,c,d).

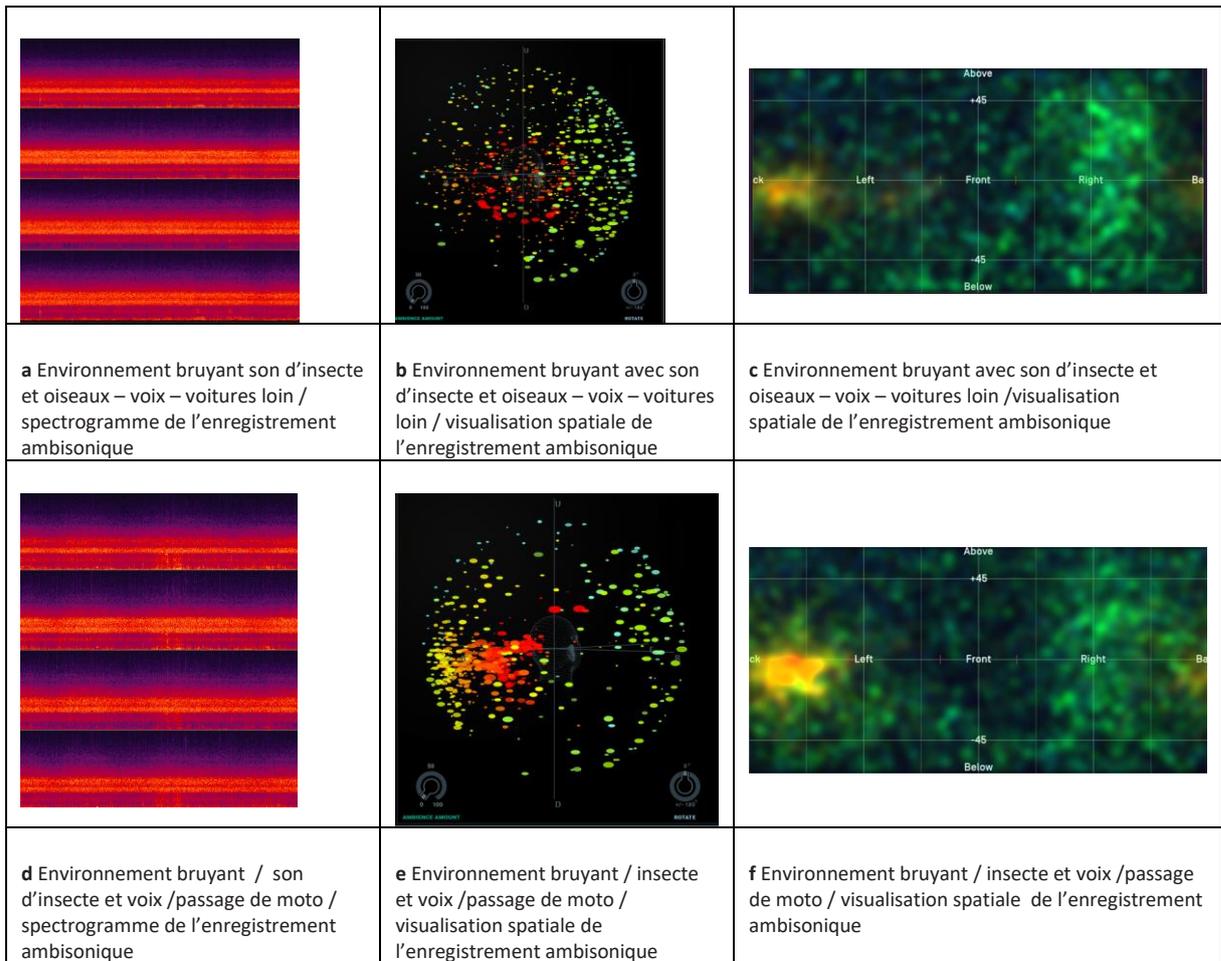


Figure III.21 Point 2 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.2.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les différences de sensations énergétiques acoustiques sont bien traduites par les mesures de sonie et l’acuité, en effet l’acuité a montré la présence des hautes fréquences pendant la journée signatures des insectes qui sont dérangementes par leur continuité (Figure III.22 et 23).

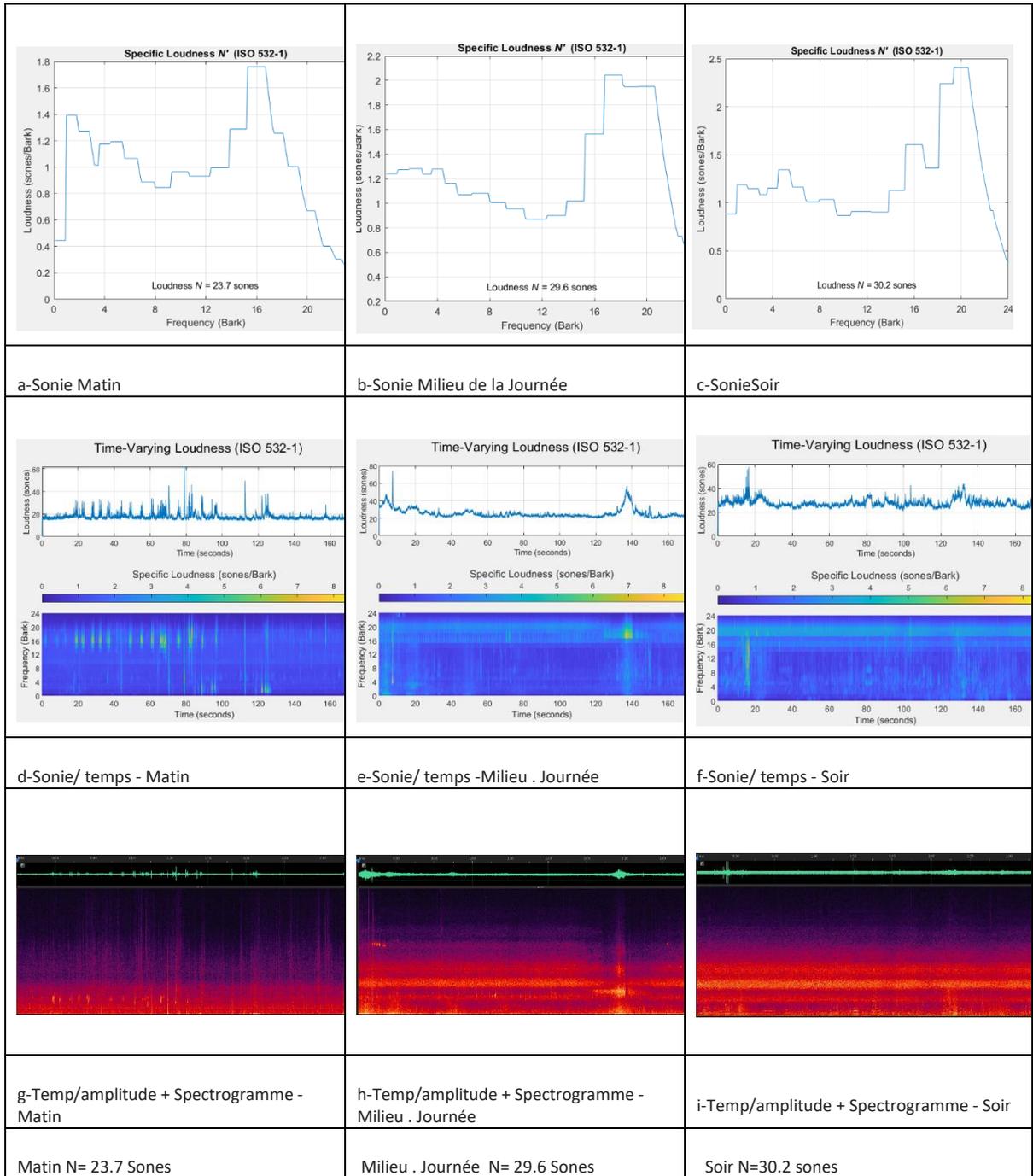


Figure III.22 Point 2 - Variation de la sonie à travers le temps vs. les mesures acoustiques

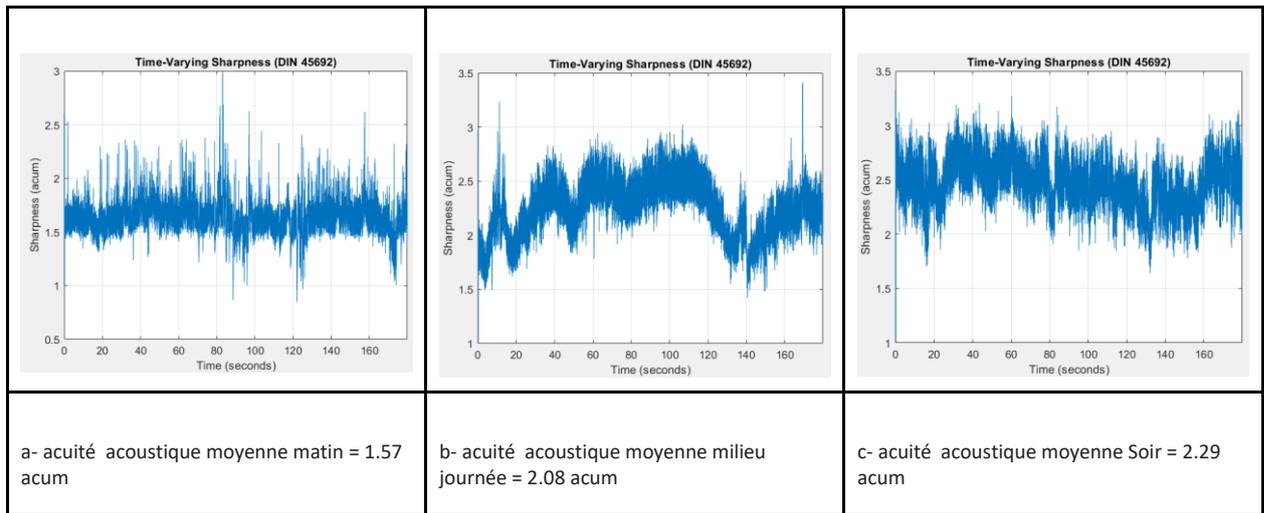
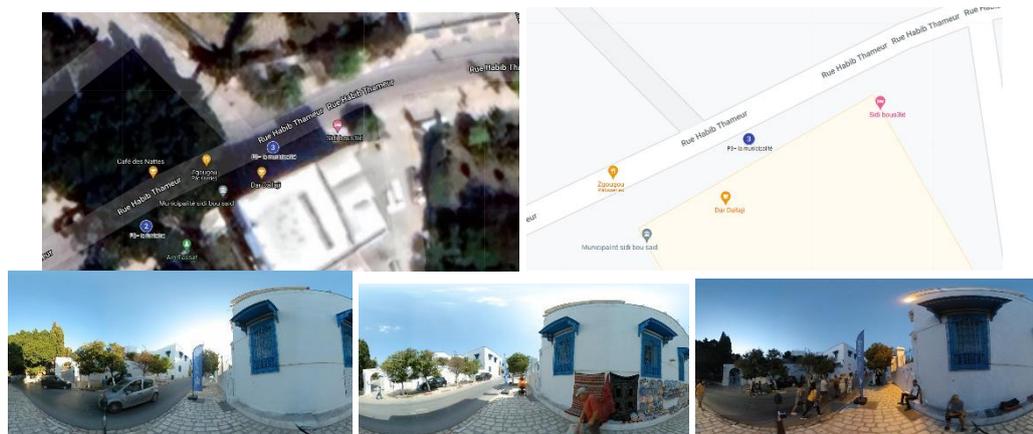


Figure III.23 Point 2 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée- Soir

III.2.3 Point 3 - la municipalité

III.2.3.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

A gauche de ce point de mesure se trouve la municipalité de Sidi Bou Saïd, un lieu administratif pour les habitants de la région.



Matin – Milieu de la journée - Soirée

Figure III.24 Point 3 – La municipalité

La municipalité représente un lieu moyennement calme mais parfois ce lieu se transforme la nuit s'il y a un mariage dans le lieu administratif à gauche du parcours (Figure III.24).

III.2.3.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=49.1$ dbA, en milieu de journée $Leq=58.1$ dbA, et en fin de journée $Leq=68.1$ dbA.

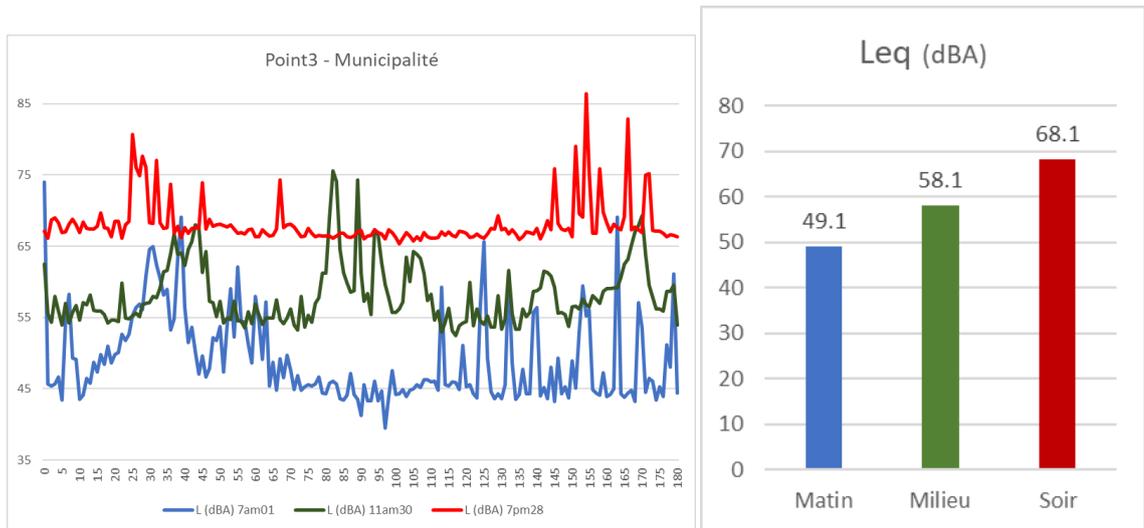


Figure III.25 Morphologie sonore du point de mesure n° 3

La Figure III-25 montre que l’environnement sonore de ce lieu présente un environnement croissant de point de vue de son énergie sonore à travers les trois périodes de la journée, c’est un espace entouré de murs qui modifie un peu l’environnement sonore et la signature sonore du lieu qui reflète les caractéristiques physiques du lieu.

- Matin: L’environnement acoustique est assez calme, on détecte des sons anthropophoniques (passage de personnes, paroles, passage de voitures et de motos) exemple de visualisation du signal de la parole : représentés en vert et bleu pour la (Figure III-26).

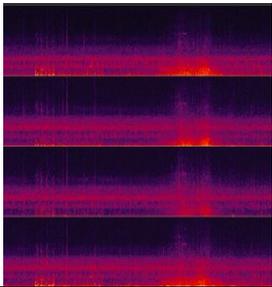
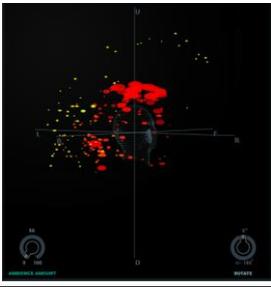
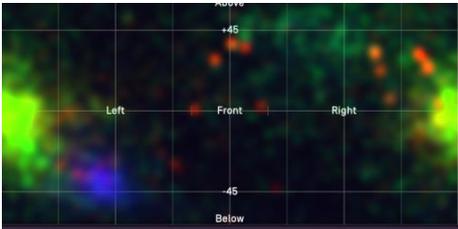
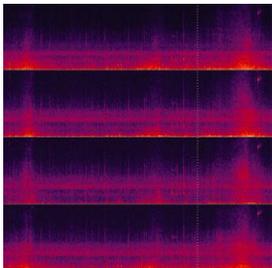
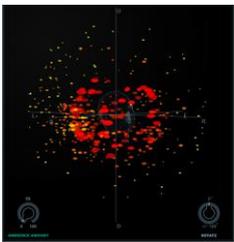
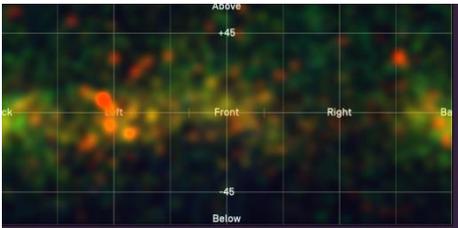
		
<p>a Environnement calme / pas / parole, passage de voiture et moto / spectrogramme de l’enregistrement ambisonique</p>	<p>b Environnement calme / pas / parole, passage de voiture et moto / visualisation spatiale de l’enregistrement ambisonique</p>	<p>c Environnement calme/ pas / parole / passage de voiture et moto / visualisation spatiale de l’enregistrement ambisonique</p>
		
<p>d Environnement calme/ pas / parole / spectrogramme de l’enregistrement ambisonique</p>	<p>e Environnement calme/ pas / parole / visualisation spatiale de l’enregistrement ambisonique</p>	<p>f Environnement calme/ pas / parole / visualisation spatiale de l’enregistrement ambisonique</p>

Figure III.26 Point 3 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement calme, notons la présence de sons humains (conversations, bruits de pas), passage de voitures, bus (accident sonore assez bruyant). La Figure III-27 a,b,c montre un accident de passage de voiture que l'on peut localiser dans l'espace par rapport aux sons d'humains. Par contre, nous remarquons le passage d'une autre voiture avec une autre empreinte sonore mais proche de la première sans la présence de sons humains (Figure III-27 d,e,f).

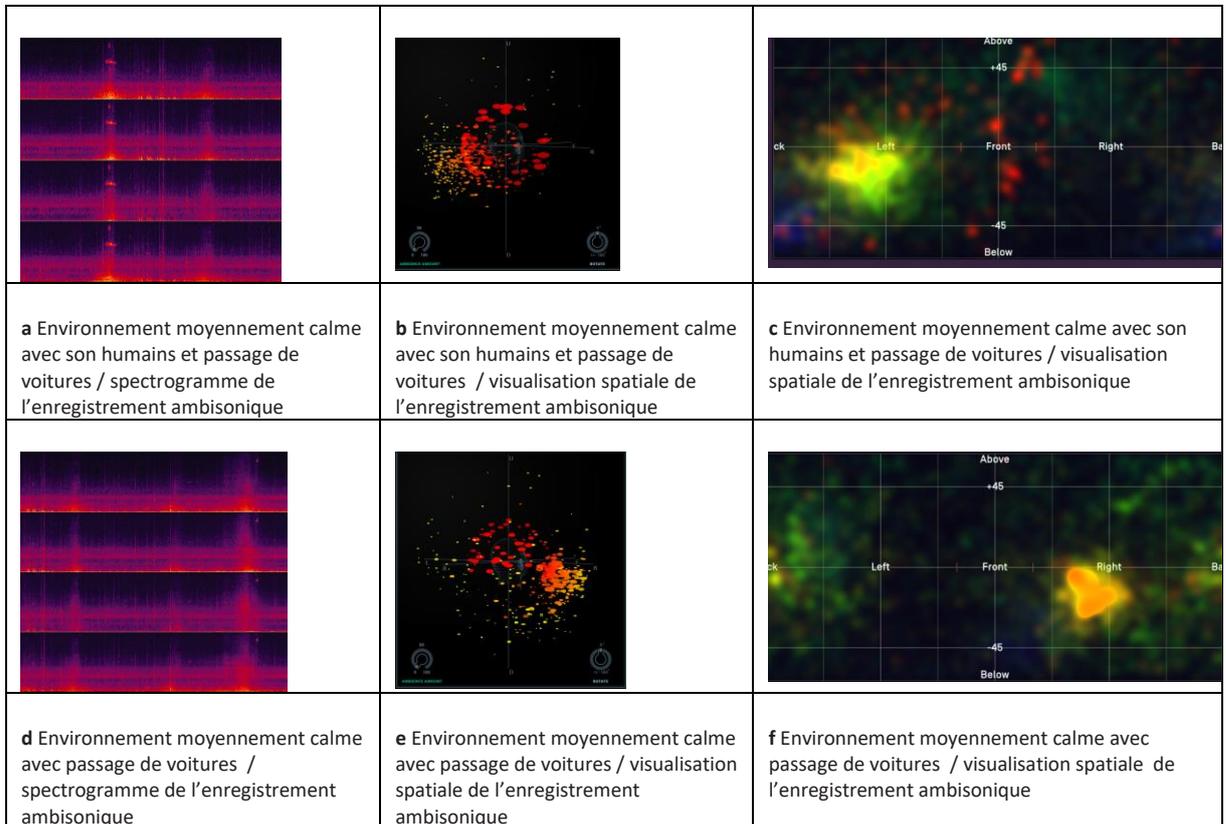


Figure III.27 Point 3 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : L'environnement acoustique est bruyant. Plusieurs sonorités anthropiques sont omniprésentes (conversations, bruits de pas). Pendant toute cette période de mesures, les indicateurs acoustiques montrent une énergie assez dense pendant toute la période et un étalement spatial intense (Figure III-28 a,b,c). On remarque que les sons humains sont centrés, légèrement à gauche, avec une empreinte sonore différente de la première, plus intense et moins étalée dans l'espace (Figure III-28 d,e,f).

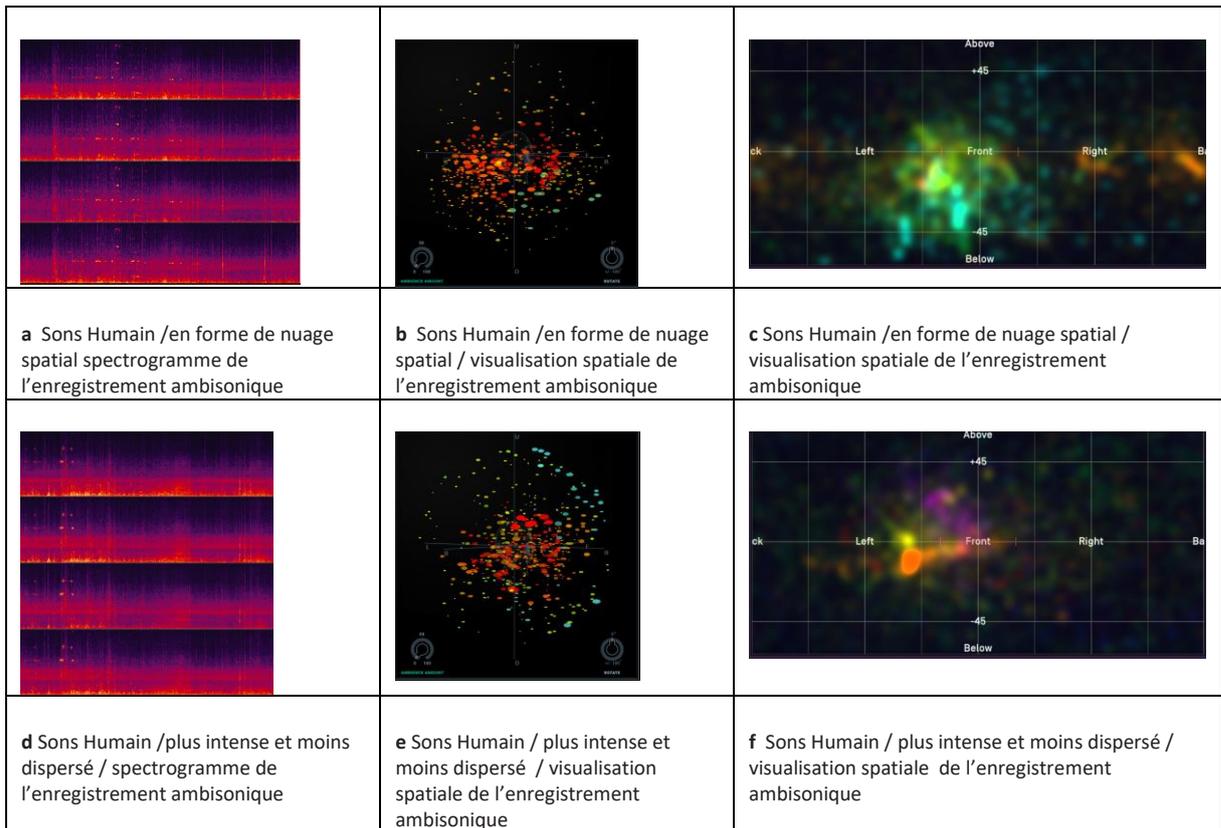


Figure III.28 Point 3 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.3.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figure III-28). Les différences de sensations énergétiques acoustiques sont bien traduites par les mesures de sonie (15.3 le matin, 21.9 au milieu de la journée et 28.9 le soir). Les sensations mesurées et l'acoustique calculée sont en adéquation (Figure III-28) et (Figure III-29). On remarque que le soir l'acuité est assez élevé par rapport au reste de la journée (Figure III.30), dû à sa proximité des point 1 et 2 (jardin, fontaine) avec une prédominance de son d'insectes, masqué pendant la journée mais moins la nuit.

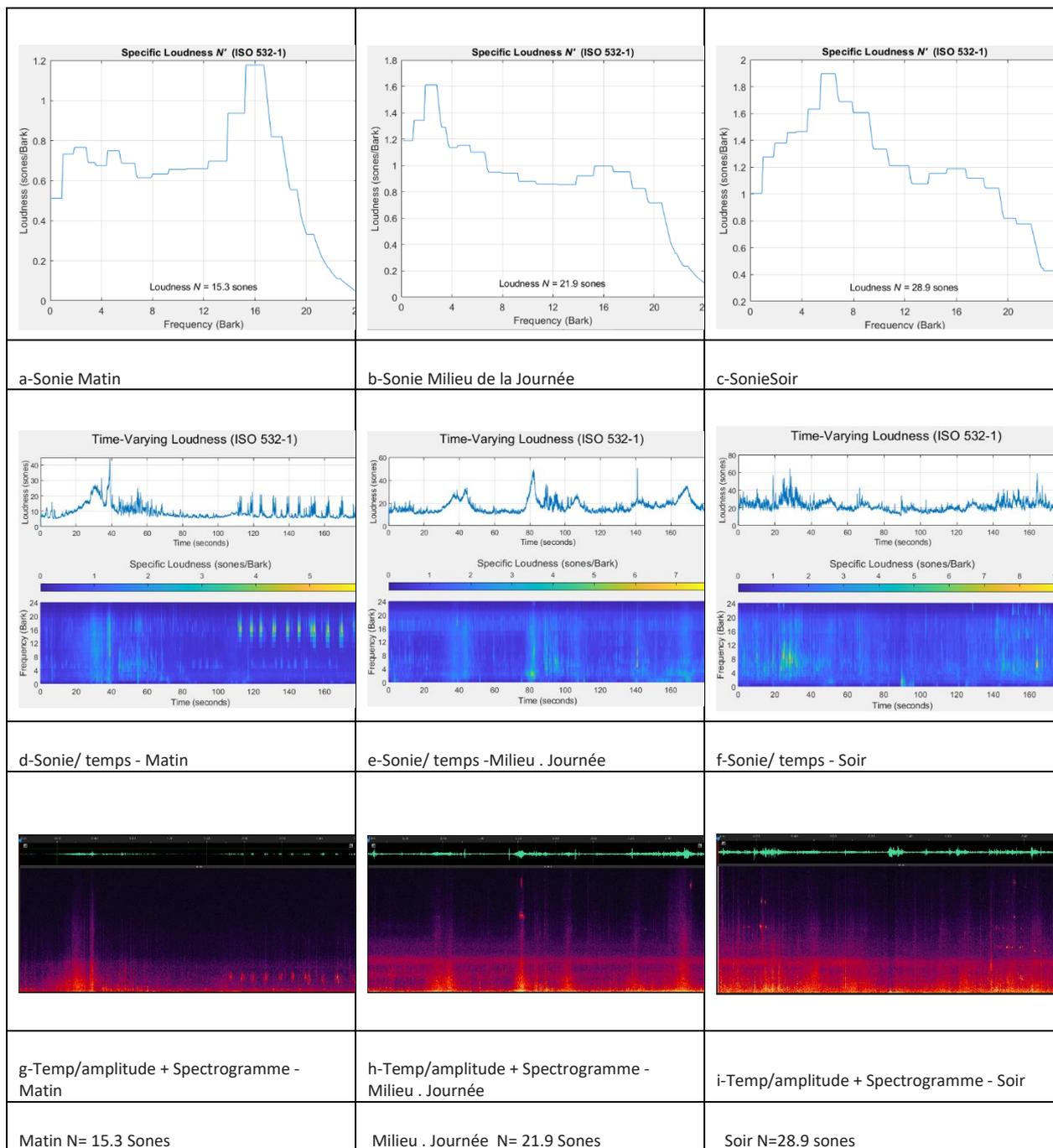


Figure III.29 Point 3 - Variation des sonies et des mesures acoustiques

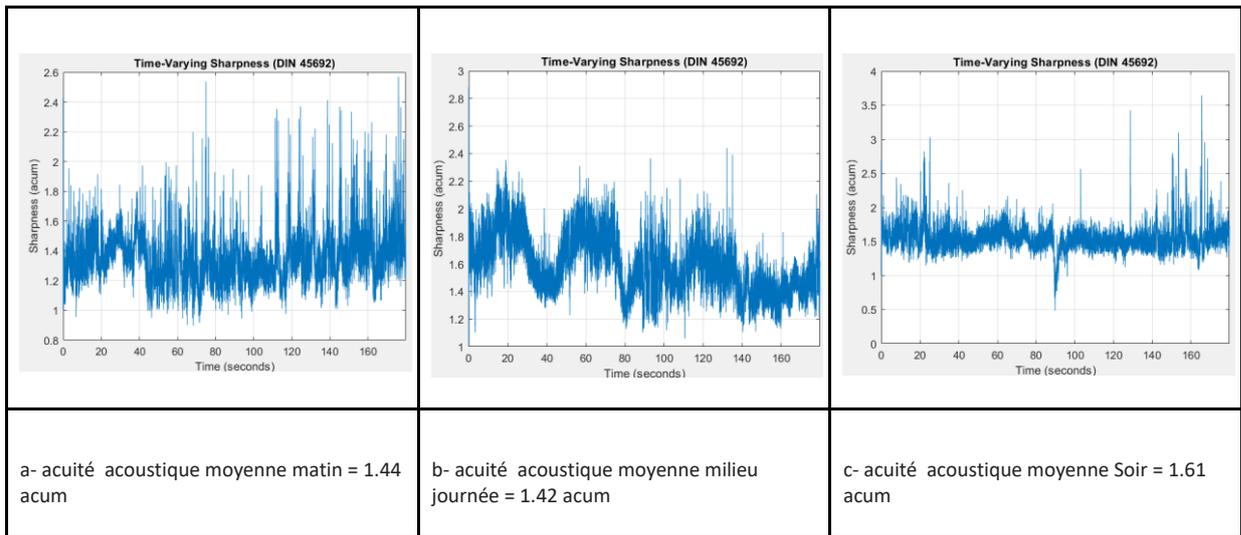
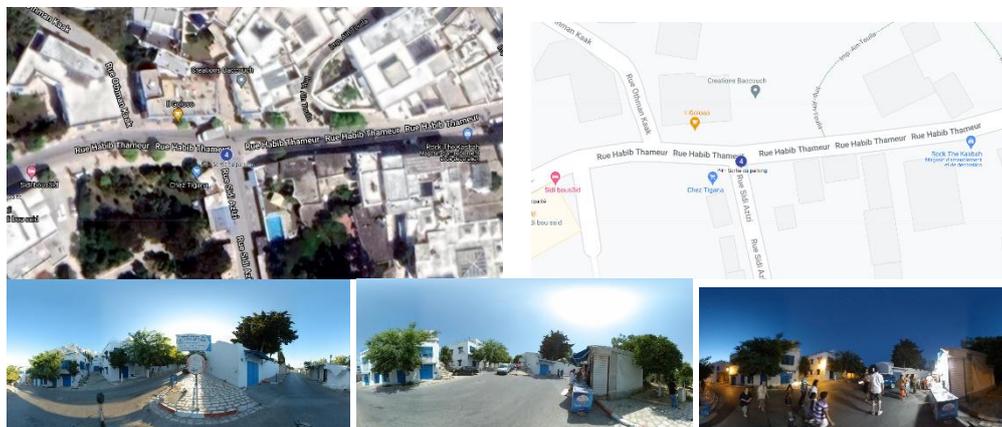


Figure III.30 Point 3 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir

III.2.4 Point 4 - Sortie du parking

III.2.4.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure est très important dans la mesure où il mène à un parking où stationnent les bus de touristes avec la présence d'un mini souk, ce point alimente notre parcours par un flux de personnes venu d'hors Sidi Bou Saïd grâce à un trajet qui mène au parking directement (**Figure III-31**). C'est un lieu riche en événements acoustiques.



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.31 Point 4 – Sortie du parking

Malgré son emplacement stratégique, il n'est pas considéré comme bruyant sauf un peu la nuit (Figure III-32).

III.2.4.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=47.3$ dbA, en milieu de journée $Leq=58.3$ dbA, et en fin de journée $Leq=68.5$ dbA. Ce lieu est considéré sur le plan acoustique moyennement calme le matin et au milieu de la journée et assez bruyant le soir (Figure III-32).

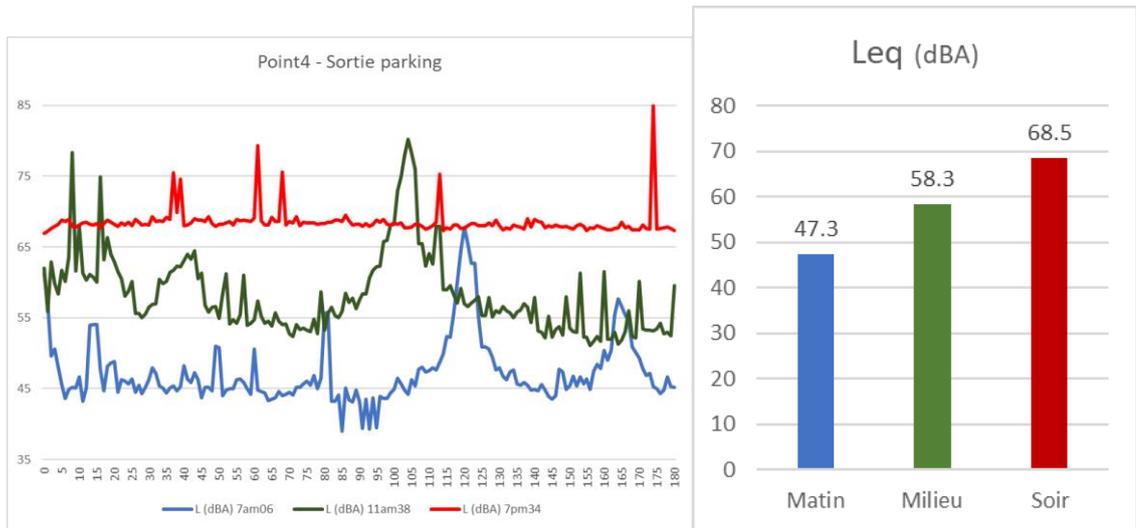


Figure III.32 Morphologie sonore du point de mesure n° 4

Matin : L'environnement acoustique est trop calme. Les accidents sonores ont été rares, on note le passage de deux voitures, la figure III-33 (a,b,c) représente le passage de la première et le son d'oiseaux, et la figure III-33 (d,e,f) représente le son d'un corbeau.

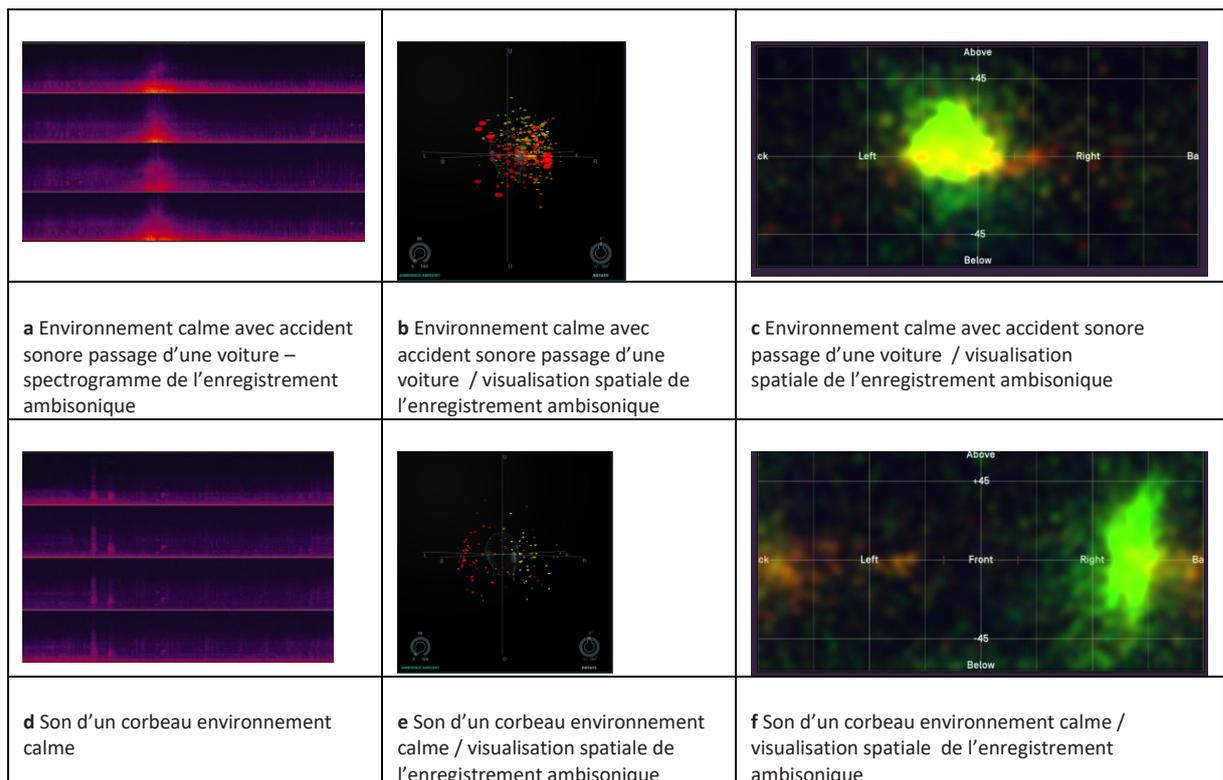


Figure III.33 Point 4 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

Milieu de journée : L'environnement acoustique est moyennement calme. Notons la présence de sons humains (conversations, bruits de pas), et le passage de plusieurs bus touristiques. La Figure III-34 a montré une présence de plusieurs accidents sonores plus

importants que le matin et une diffusion spatiale plus intense (Figure III-34 d,e,f) suite au passage des bus.

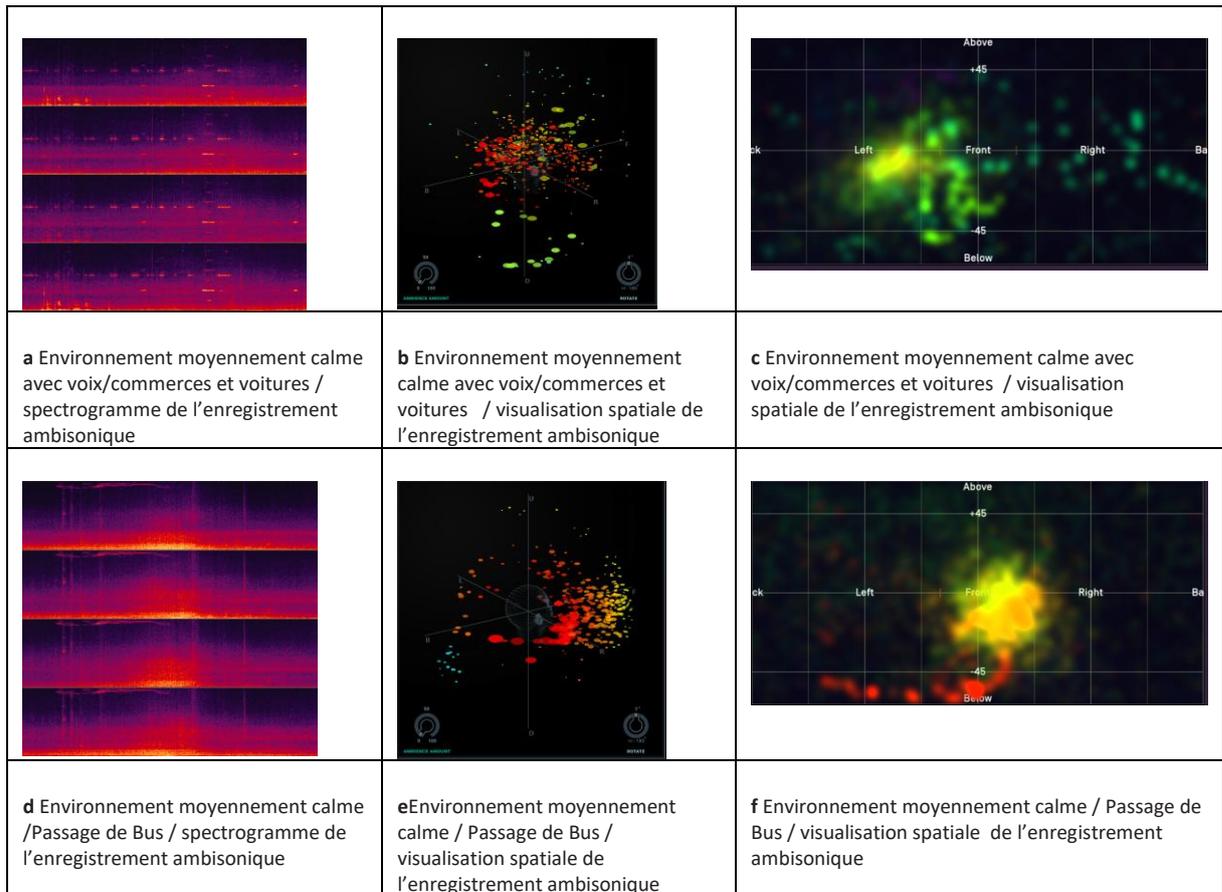


Figure III.34 Point 4 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

Soir: Le soir, l'environnement acoustique est moyennement bruyant. Plusieurs sonorités sont omniprésentes (conversations, bruits de pas). Pendant toute cette période de mesures, les indicateurs acoustiques montrent une énergie assez importante, avec quelques accidents : passage de voitures, paroles, cris et des sonorités aiguës accidentelles provenant de colliers métalliques (Figure III-35 a,b,c,d,e,f).

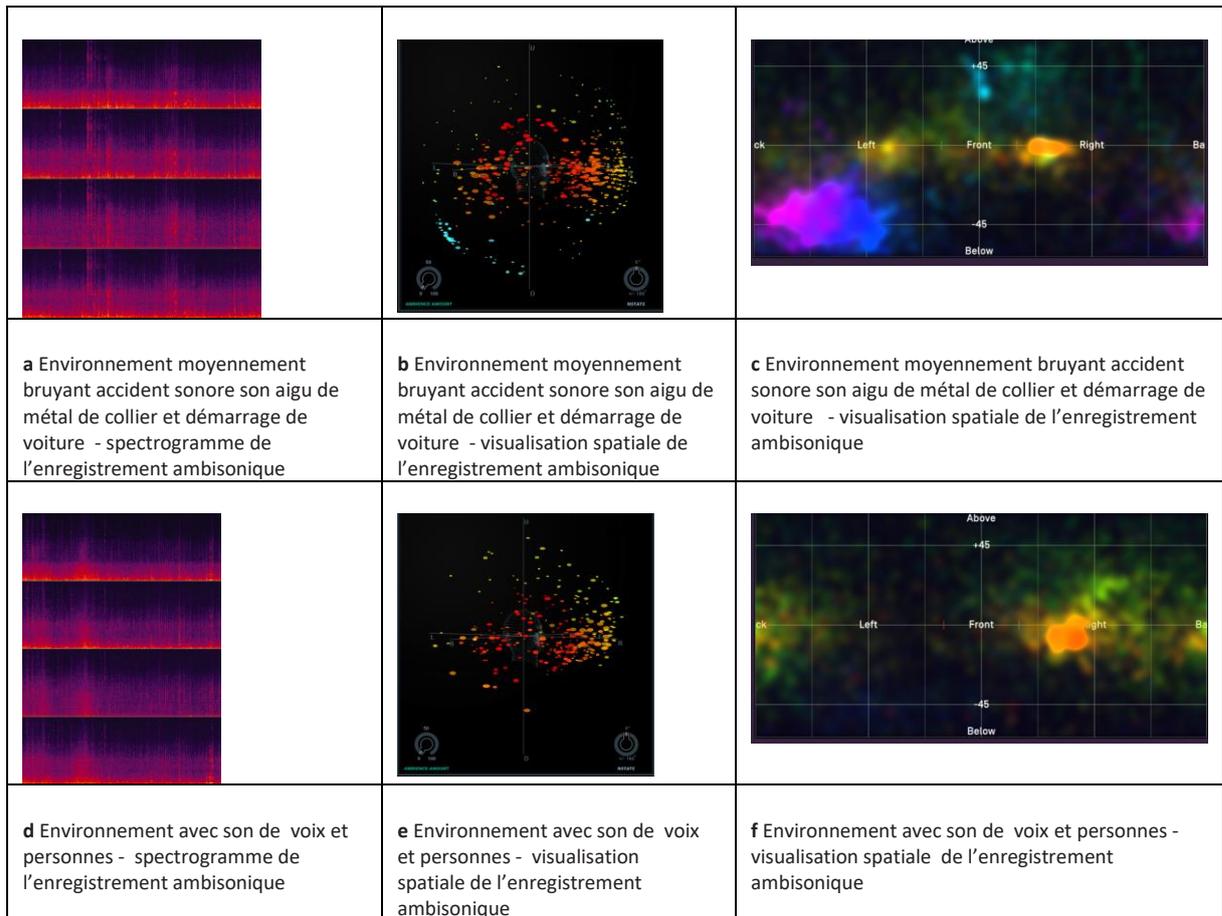


Figure III.35 Point 4 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.4.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues. Les différences de sensations énergétiques acoustiques sont bien traduites par les mesures de sonie (Figure III.36). Au milieu de la journée l'environnement est assez aigu dû à la présence d'insectes (Figure III-37).

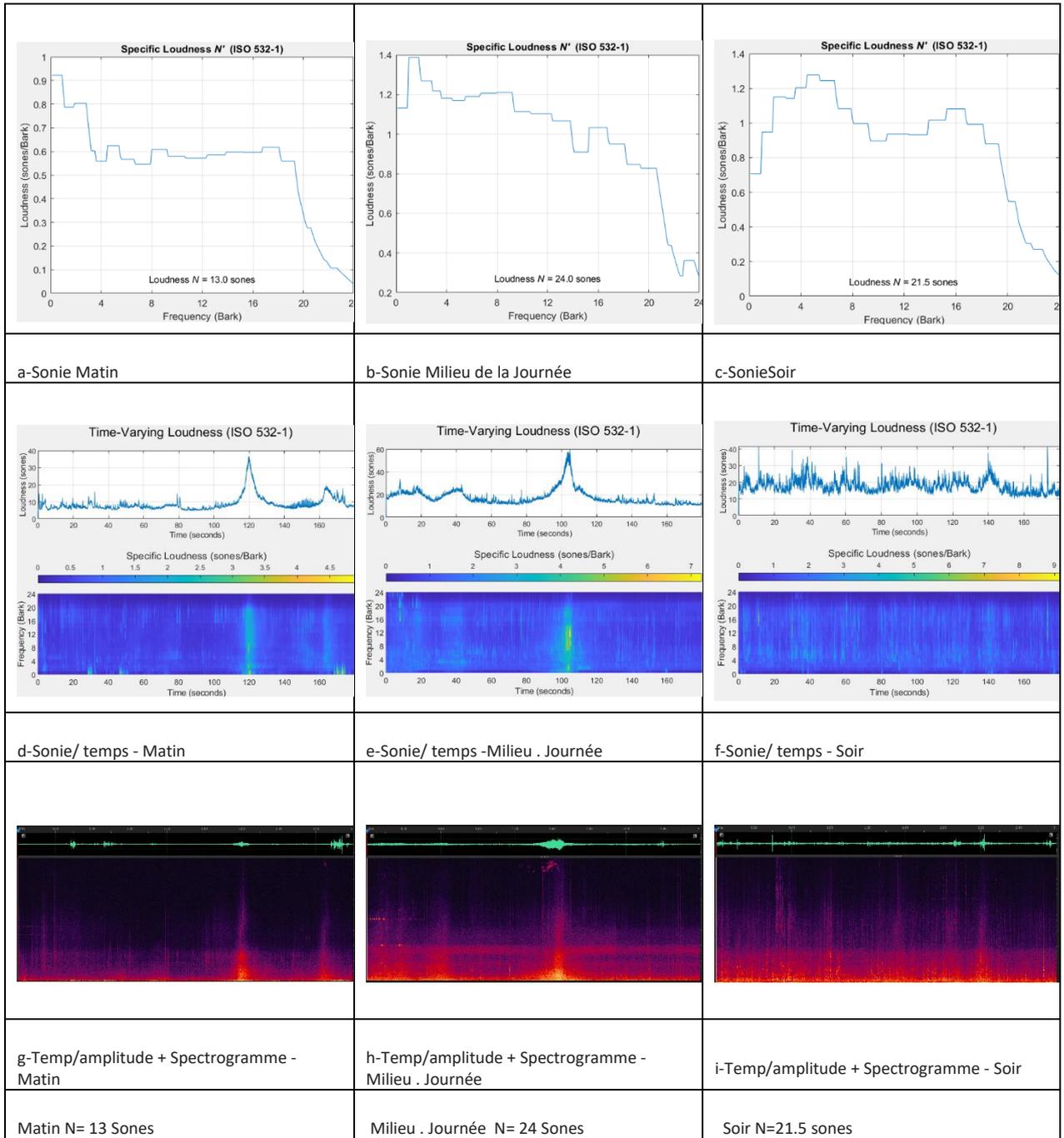


Figure III.36 Point 4 - Variation de la sonie et mesures acoustiques

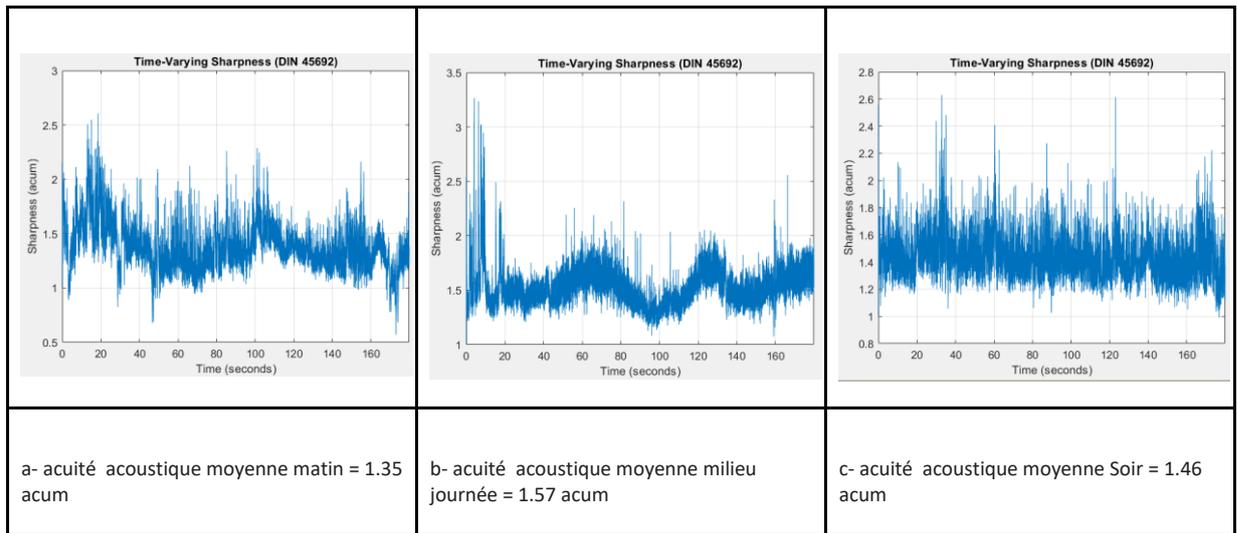
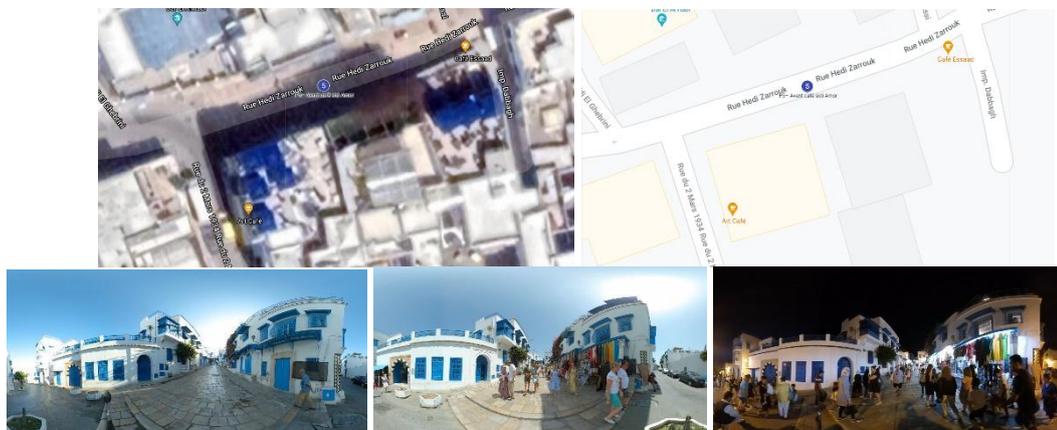


Figure III.37 Point 4 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.5 Point 5 - Avant Café Sidi Amor

III.2.5.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure qui vient avant le Café Sidi Amor est entouré de magasins d'artisanat et aussi un lieu où les riverains sortent de leurs maisons pour s'asseoir à l'extérieur de leurs habitats (Figure III.38).



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.38 Point 5 – Avant café Sidi Amor

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où c'est un lieu de passage et de commerce où les sonorités humaines sont omniprésentes.

III.2.5.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=46.7$ dbA, en milieu de journée $Leq=63.4$ dbA, et en fin de journée $Leq=64.2$ dbA.

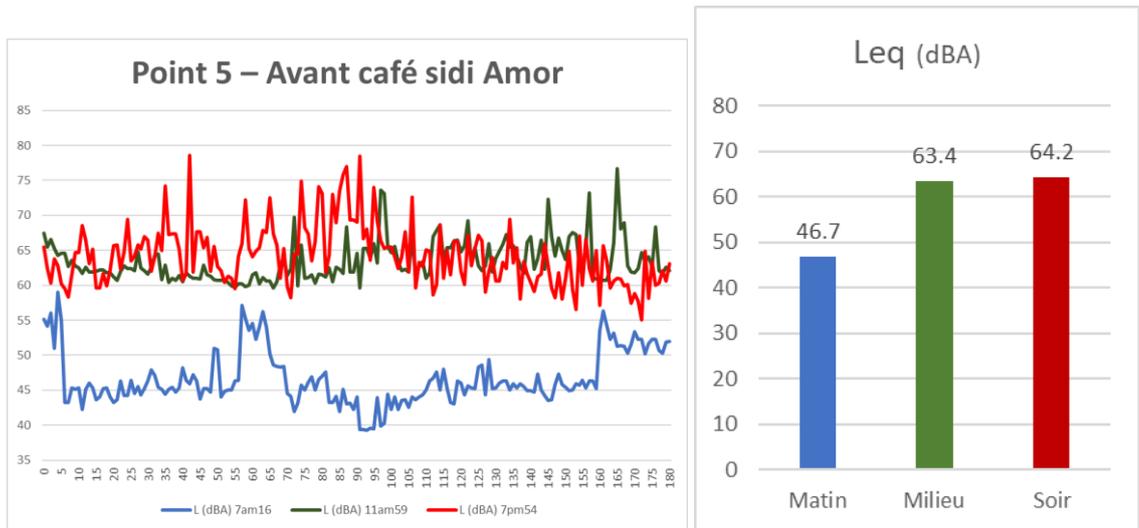


Figure III.39 Point 5 - Morphologie sonore du point de mesure n° 5

La Figure III-39 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez représentatif notamment la nuit dans la mesure où les commerces ont une activité maximale.

- **Matin** : L'environnement acoustique est assez calme, notons la présence de quelques commerçants qui commencent à ouvrir leurs commerces, avec la présence de sonorités anthroponiques (conversations, bruits de pas). L'environnement est relativement calme avec une absence de diversité sonore, les sons existants présentent une diffusion homogène dans un espace tridimensionnel (Figure III-40a et Figure III-40c). Cependant, il y a apparition d'accidents sonores à des intervalles irréguliers, des taxis qui ramènent les personnes vers leurs lieux de travail (Figure III-40).

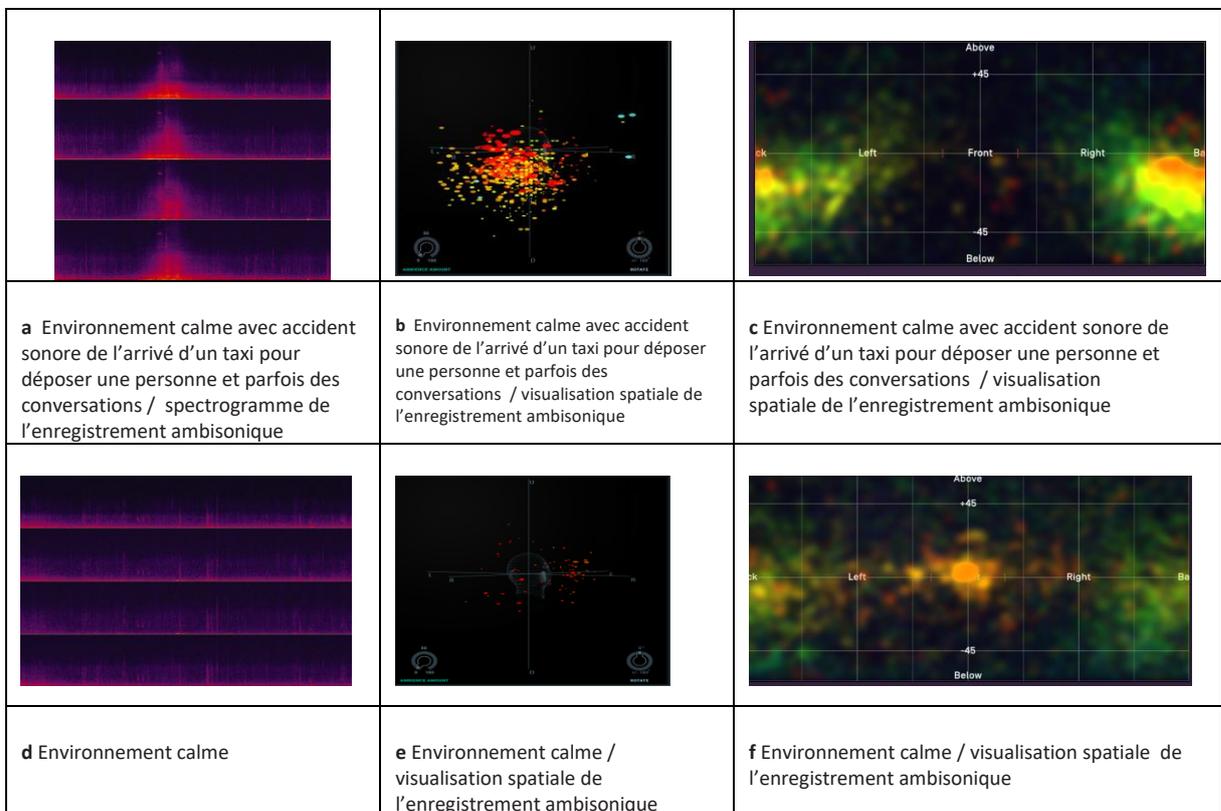


Figure III.40 Point 5 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement bruyant, il est similaire à celui du matin avec l'augmentation du volume sonore global résultant de l'ouverture des négoce, les accidents sonore de l'arrivée des taxis est aussi maintenu, il y a aussi le son de sculpture, effectué par un artisan sur une assiette métallique qui apparaît sur le spectrogramme (Figure III-41 a).

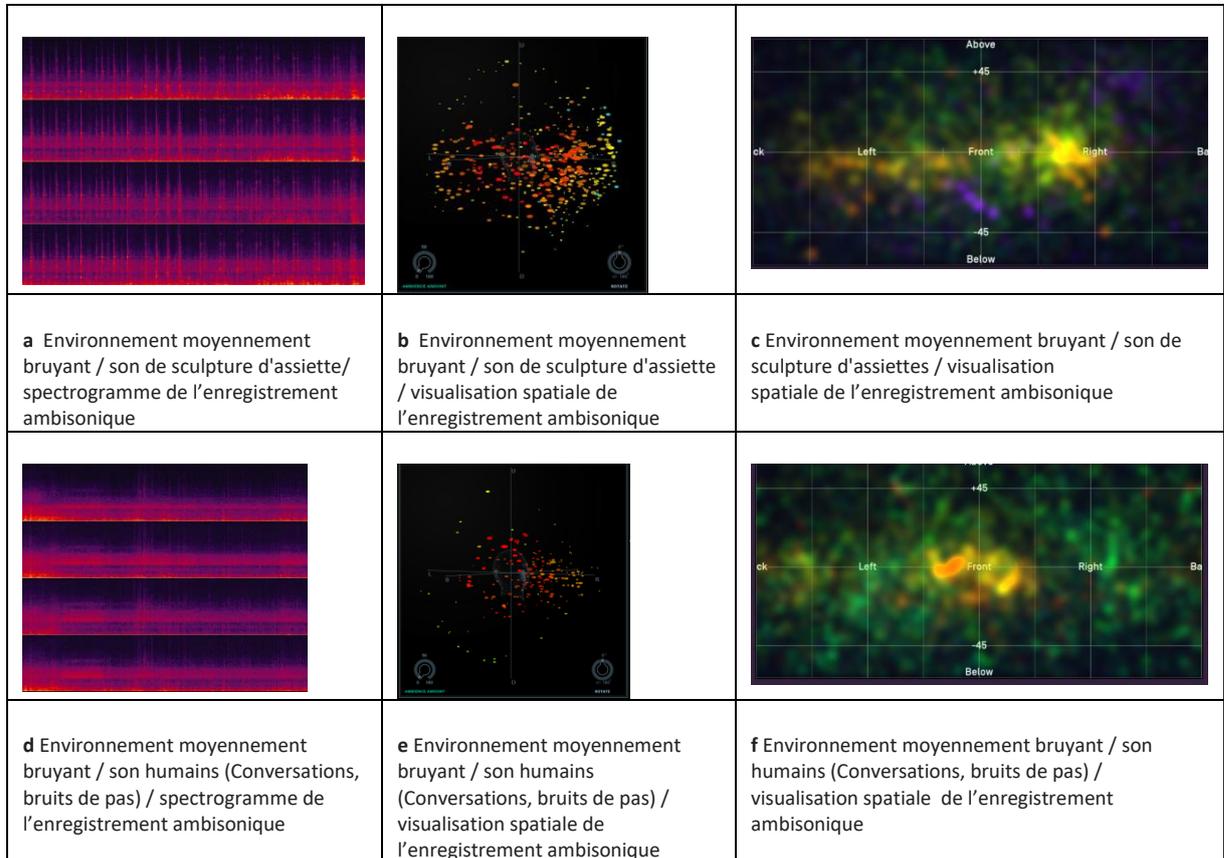


Figure III.41 Point 5 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : L'environnement acoustique est bruyant en comparaison avec les précédentes périodes. Plusieurs sonorités sont omniprésentes (conversations, bruits de pas, passage de voitures). Ce lieu garde la même morphologie sonore du milieu de la journée à l'exception que l'environnement plus intense, surtout avec des sonorités anthropophonique en relation avec le commerce artisanal (Figure III-42 a,b,c,d,e,f).

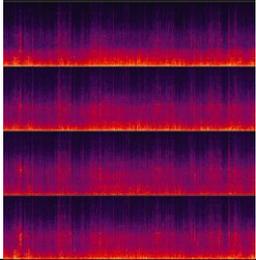
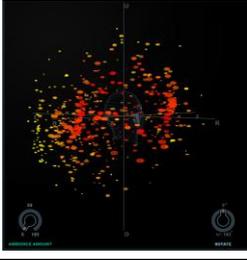
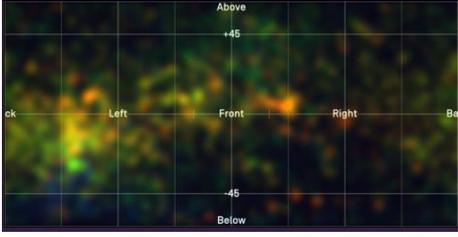
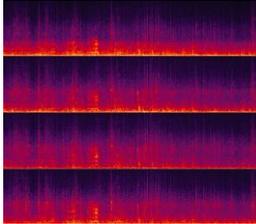
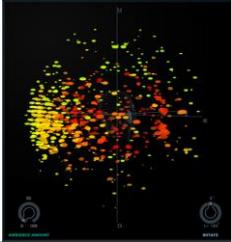
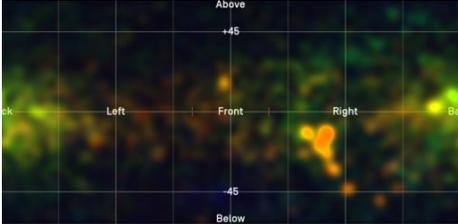
		
<p>a Environnement bruyant / son de personne et artisanat / spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>b Environnement bruyant / son de personne et artisanat/ visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>c Environnement bruyant / son de personne et artisanat / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>
		
<p>d Environnement bruyant / son de personne et cris d'enfants spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>e Environnement bruyant / son de personne et cris d'enfants / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>f Environnement bruyant / son de personne et cris d'enfants / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>

Figure III.42 Point 5 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.5.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues sauf pour la nuit où la sensation de bruit est plus intense (Figure III-43) et la sensation d'aigu est plus importante pour le matin et le milieu de la journée (Figure III-44).

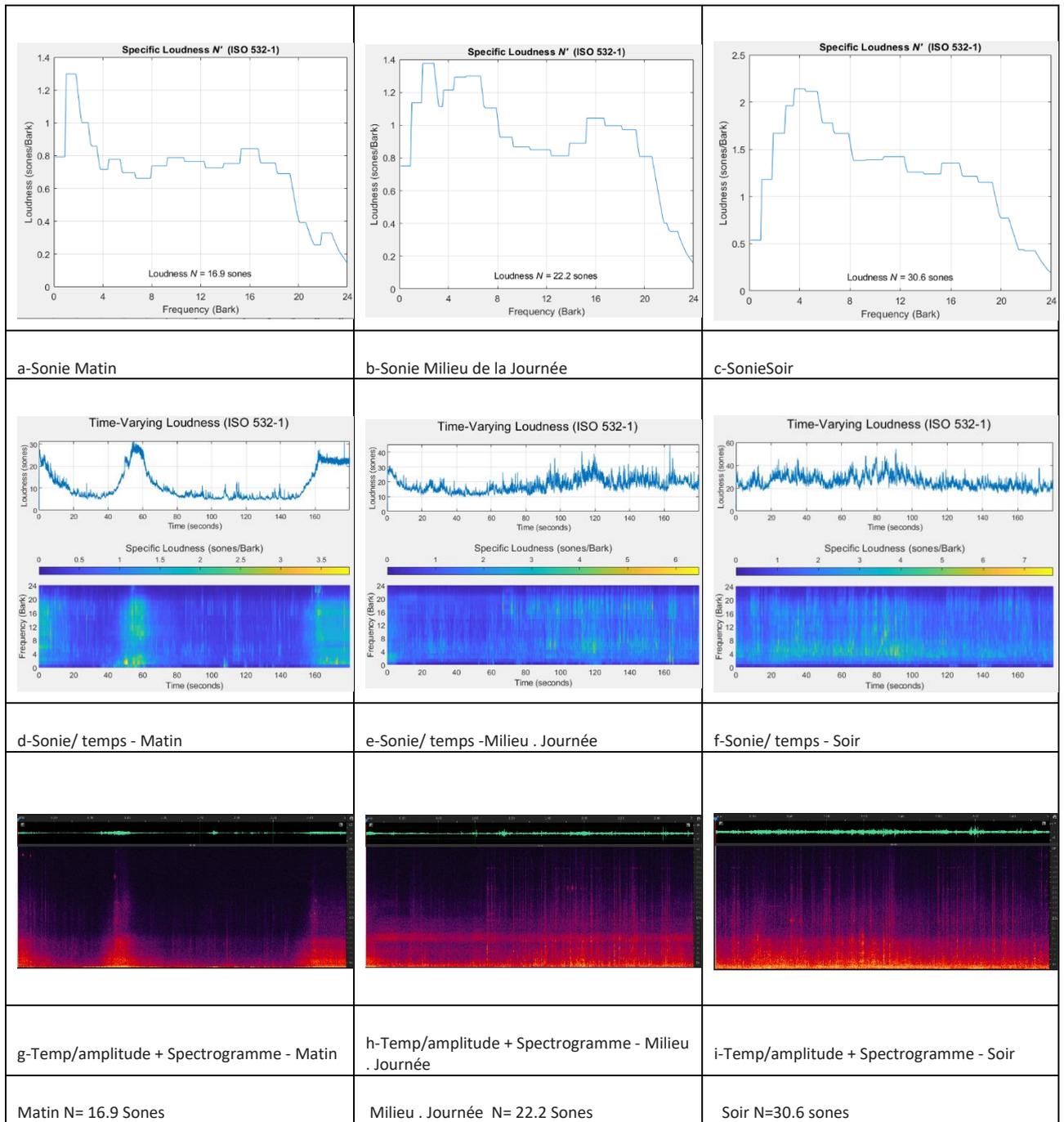


Figure III.43 Point 5 - Variation de la sonie à travers le temps en comparaison avec les mesures acoustiques

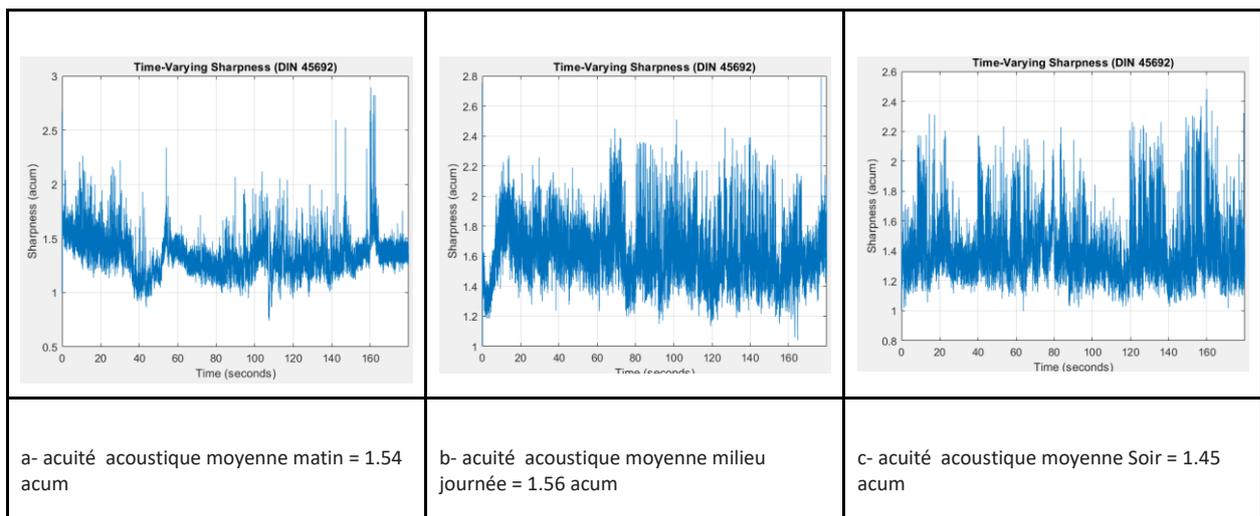
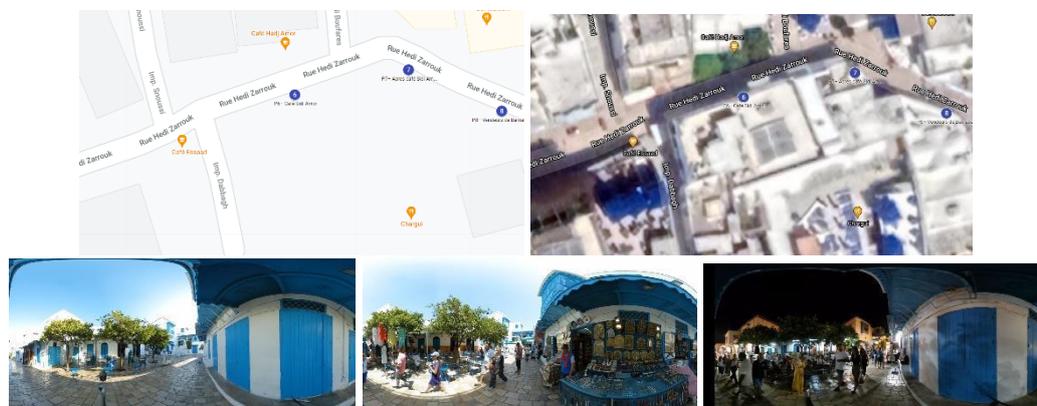


Figure III.44 Point 5 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.6 Point 6 - Café Sidi Amor

III.2.6.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où il comprend plusieurs cafés et commerces d'artisanat. L'architecture de ce lieu avec sa géométrie semi ouverte change le comportement sonore et acoustique par rapport aux autres points de mesures, il est parmi les lieux les plus visités de la banlieue nord (Figure III.45).



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.45 Point 6 - Café Sidi Amor

III.2.6.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=47.4$ dbA, en milieu de journée $Leq=68.6$ dbA, et en fin de journée $Leq=75.3$ dbA.

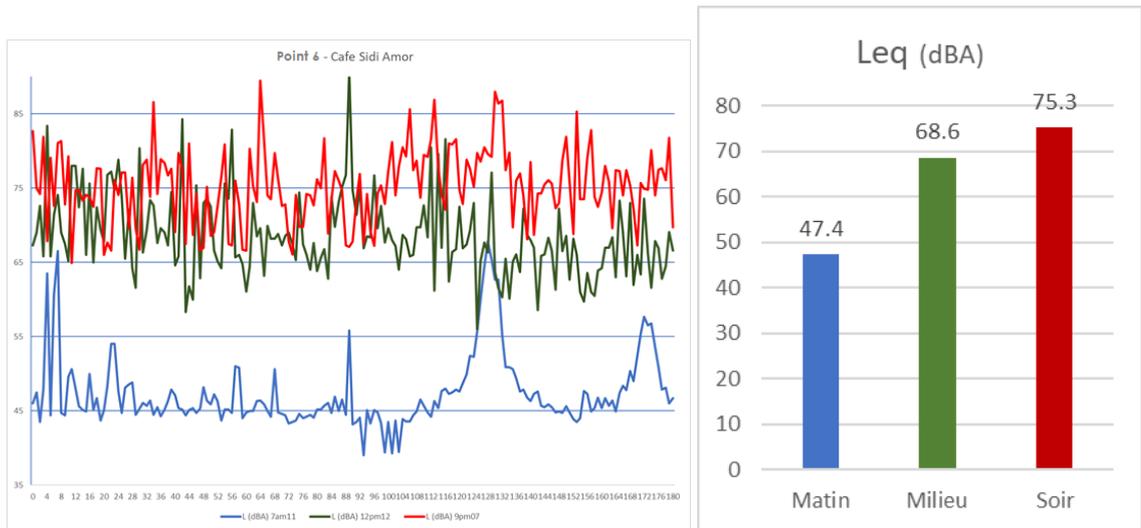


Figure III.46 Morphologie sonore du point de mesure n° 6

La Figure III-46 montre que l’environnement sonore de ce lieu est assez représentatif notamment la nuit dans la mesure où les cafés ont une activité maximale.

- Matin : L’environnement acoustique est calme, notons la présence de quelques commerçants qui commencent à ouvrir leurs cafés, sons anthropophoniques (conversations, bruits de pas, lavage du lieu avec l’eau, son de la radio). On a pas noté d’accidents sonore importants (Figure III-47 d,e,f).

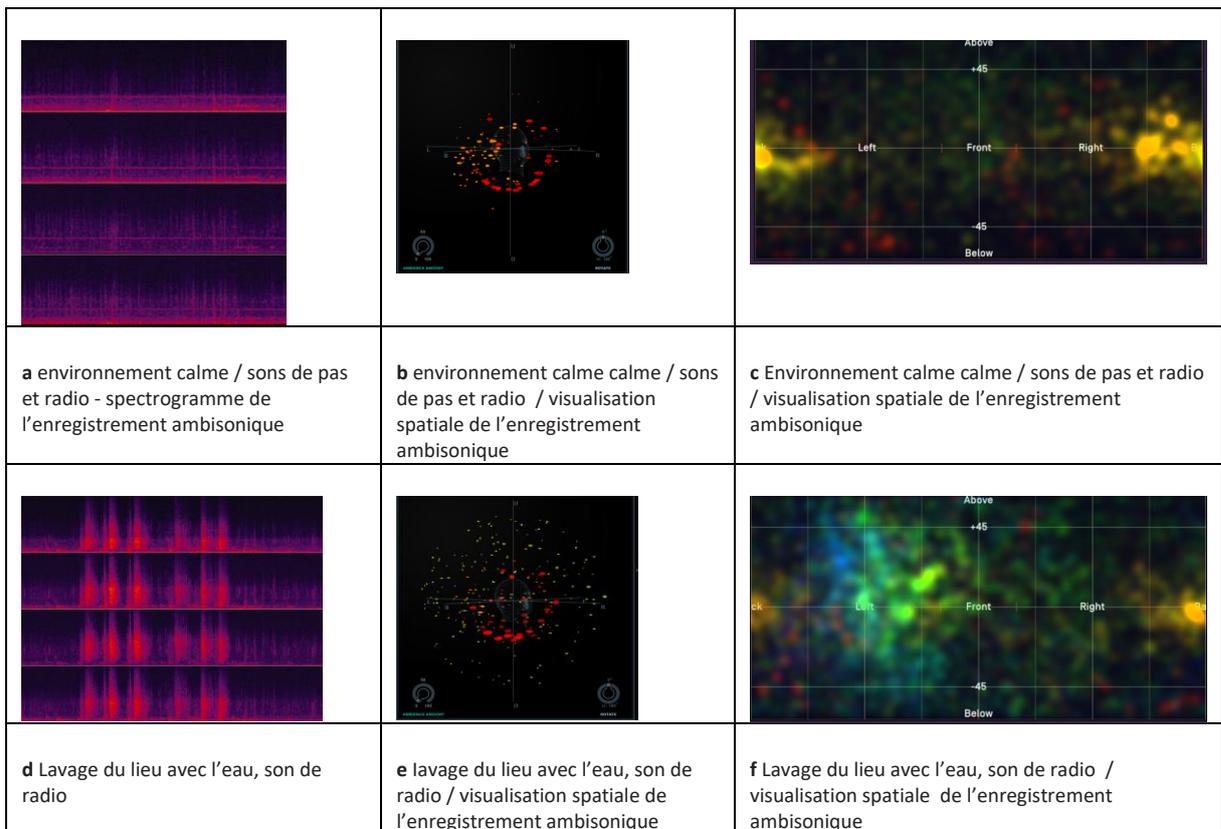


Figure III.47 Point 6 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement bruyant, on note une forte transformation par rapport au matin avec la présence de sons d'humains (conversations, brouhaha et artisanat), (Figure III-48 a,b,c,d).

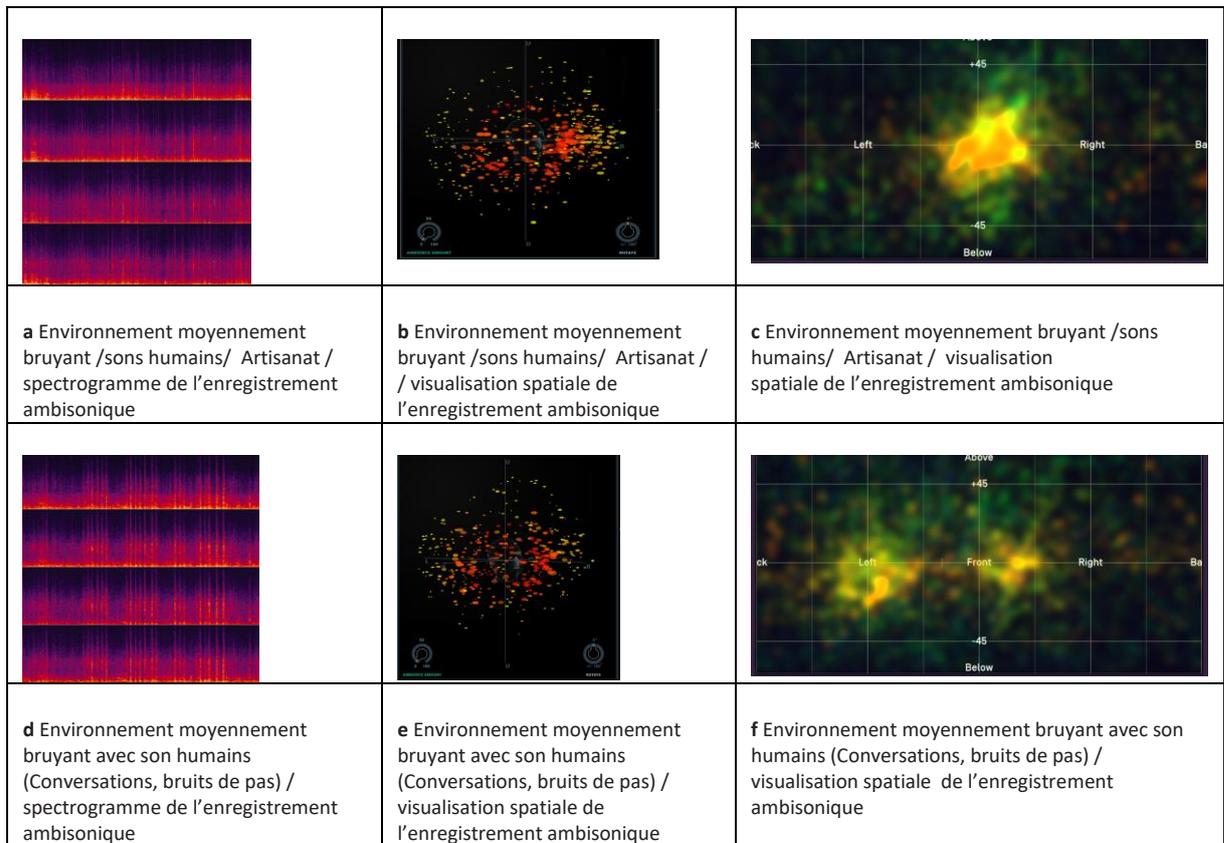


Figure III.48 Point 6 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : l'environnement acoustique est très bruyant comparé aux précédentes périodes. Plusieurs sonorités sont omniprésentes (conversations, bruits de pas) mais les sonorités liées à l'artisanat ont disparu avec la fermeture des négoce (Figure III-49 a,b,c,d).

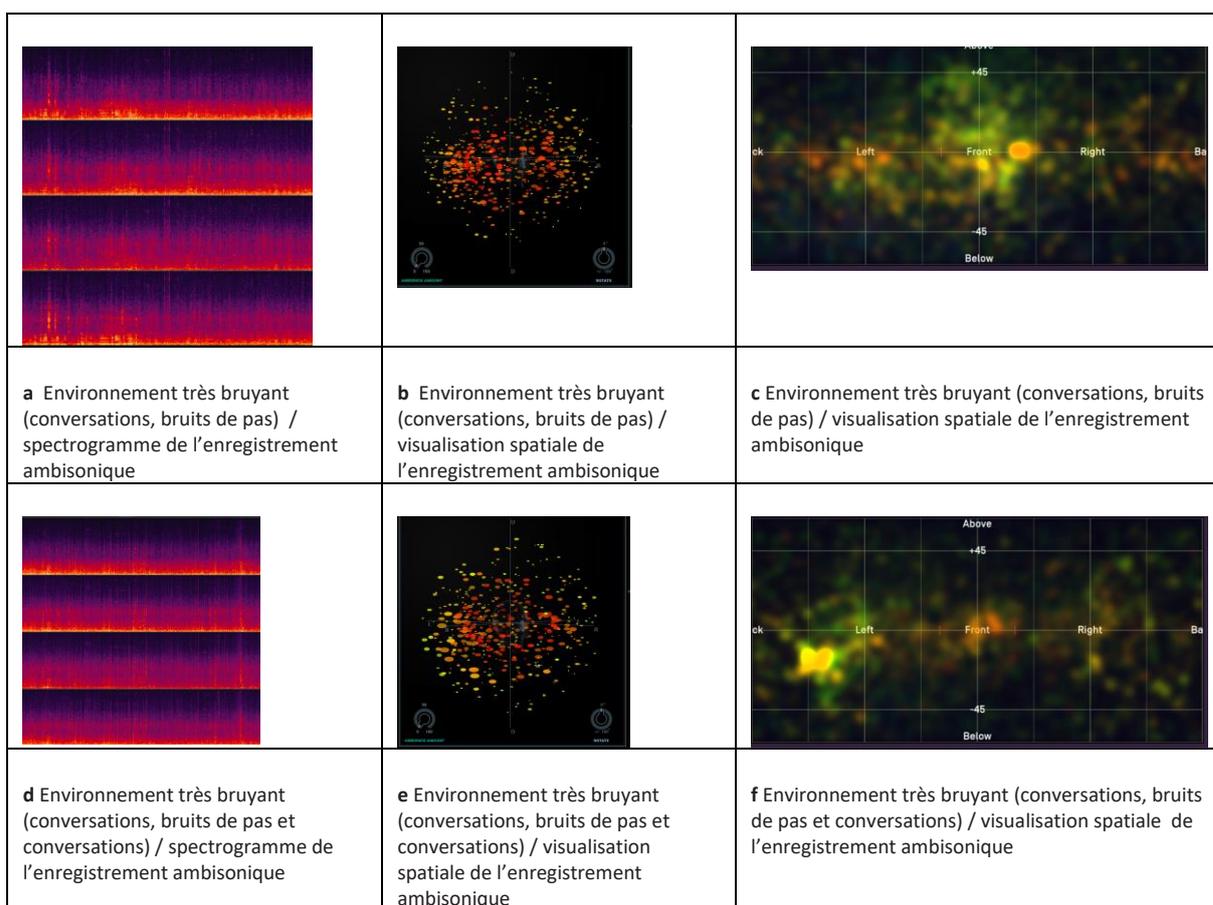


Figure III.49 Point 6 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.6.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues, on note en effet une similarité entre le ressenti et le calculé, la nuit les mesures ont montré un environnement bruyant chose montré par les représentations psychoacoustique (Figure III.50), d'autre part l'environnement présente un comportement normal pendant la journée pour l'acuité, élevé le matin (Figure III.51).

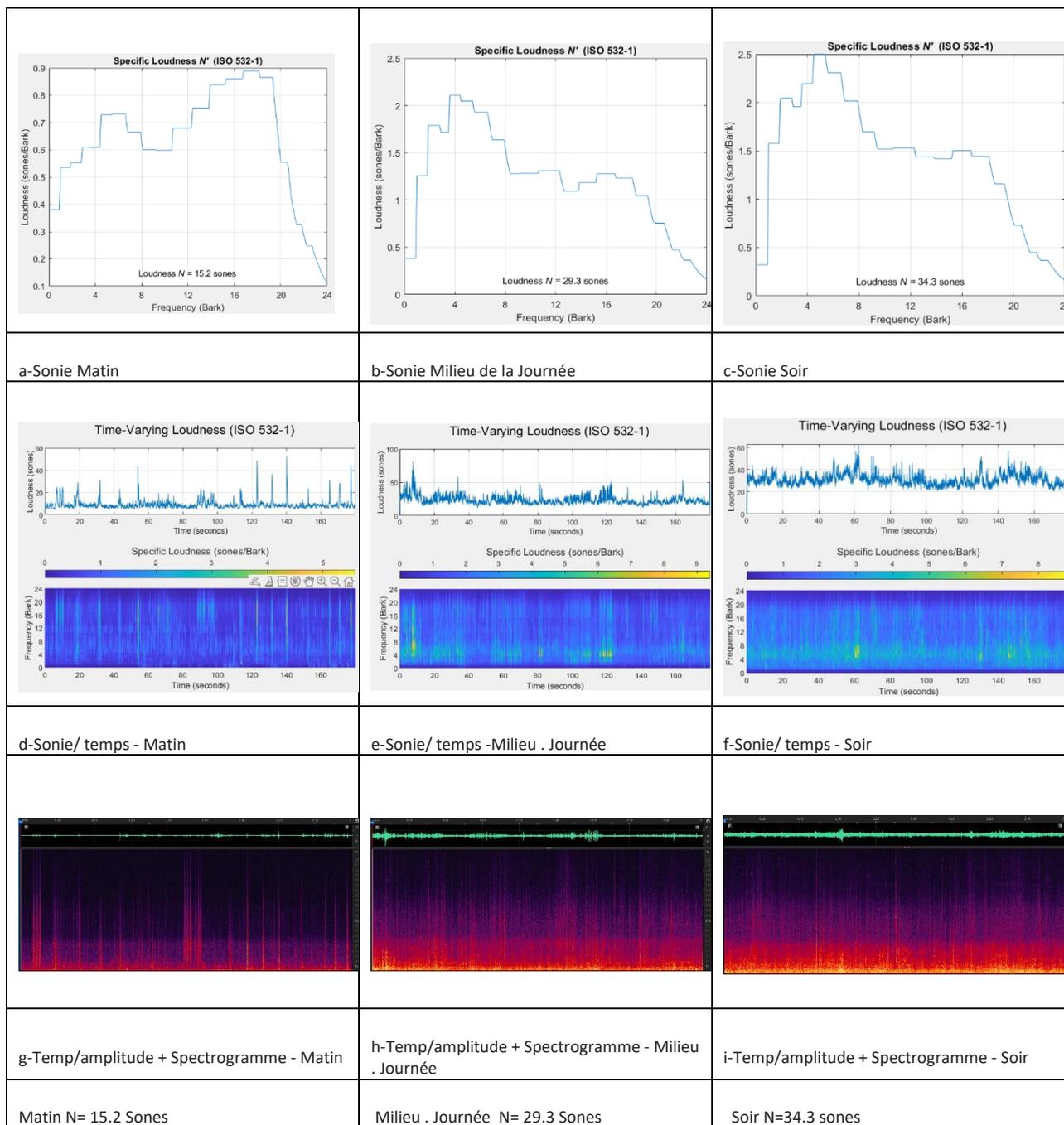


Figure III.50 Point 6 - Variation de la sonie à travers le temps en comparaison avec les mesures acoustiques

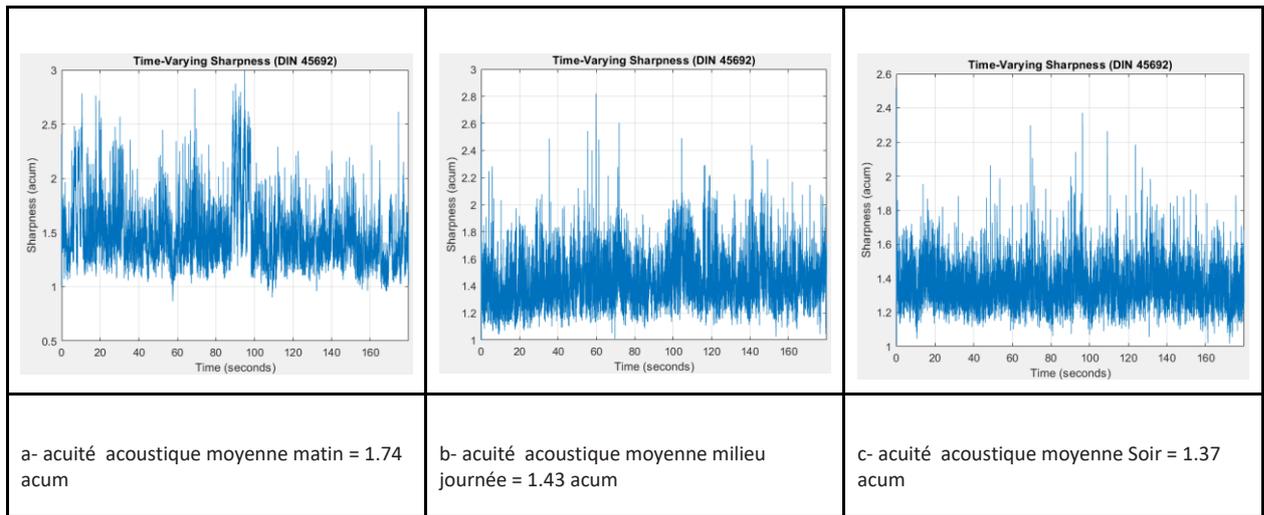
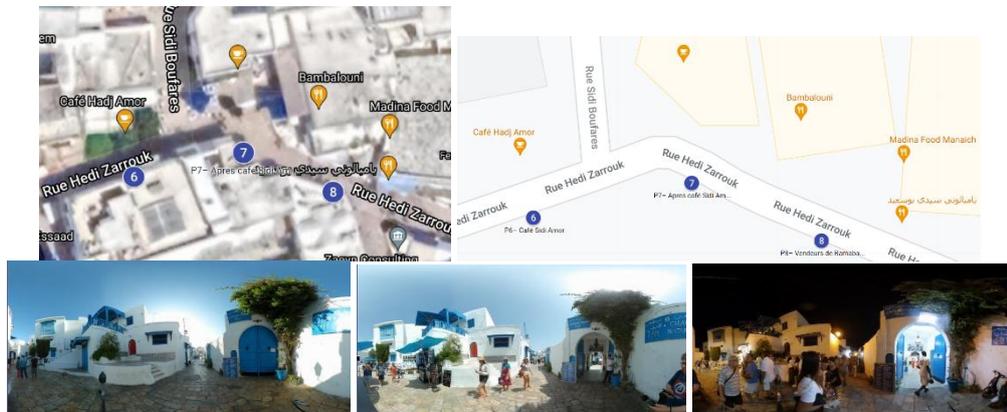


Figure III.51 Point 6 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir

III.2.7 Point 7 - Après Café Sidi Amor – Café Chargui

III.2.7.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure se situe à la frontière entre le Café Sidi Amor et les vendeurs de « Bambalouni » (un beignet tunisien sucré), pas loin de la Zaouia de Sidi Bou Saïd, il est entouré de mur qui lui donne une certaine signature sonore (Figure III.52)



Matin – Milieu de la journée - Soirée

Figure III.52 Point 7 - Après Café Sidi Amor – Café Chargui

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où il comprend plusieurs cafés et commerces d'artisanat ainsi que des restaurants. Notons que le comportement sonore du lieu est différent pendant les trois périodes de la journée. En effet, des musiciens amateurs de malouf (musique traditionnelle tunisienne), se réunissent parfois dans une rampe pour chanter le soir ; c'est à la fois une répétition et une exhibition de spectacle de rue, événement que l'on a enregistré lors de notre expérimentation nocturne.

III.2.7.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=46.7$ dbA, en milieu de journée $Leq=57$ dbA, et en fin de journée $Leq=75$ dbA.

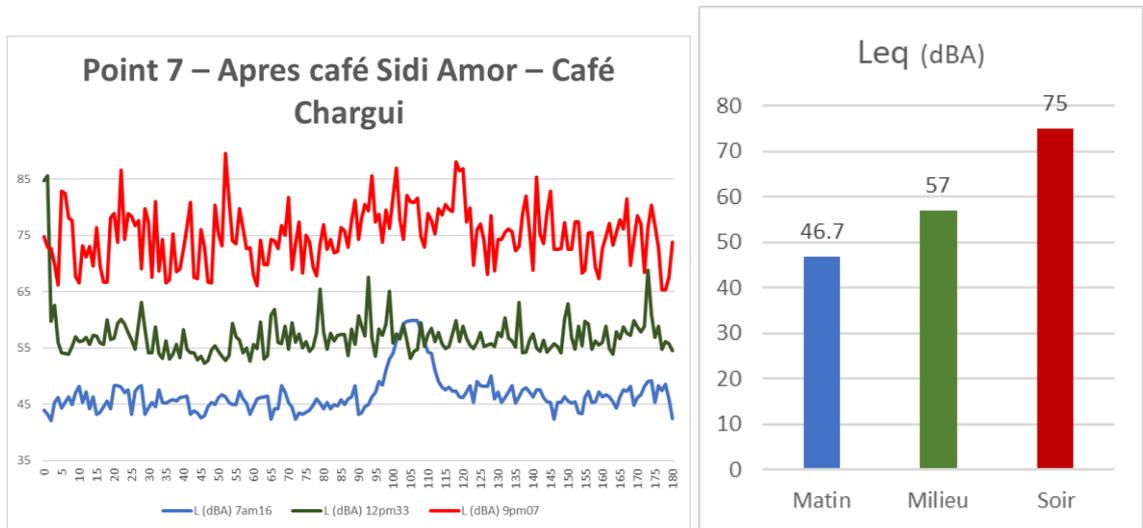


Figure III.53 Morphologie sonore du point de mesure n° 7

La Figure III-53 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez représentatif notamment la nuit dans la mesure où les cafés et les restaurants ont une activité maximale.

- Matin : L'environnement acoustique est assez calme, notons la présence de quelques commerçants qui commencent à ouvrir leurs commerces. Il y a présence de sonorités anthroponiques et biophoniques (conversations, bruits de pas, sons d'insectes, sons d'oiseaux, passage de motos). L'environnement est relativement calme avec une de sonorités d'ambiance faibles présentant une diffusion homogène dans un espace tridimensionnel (Figure III-54a et Figure III-54c). Cependant, l'apparition d'accidents sonores comme le passage d'une moto change l'aspect calme de ce lieu pendant quelques secondes. On remarque dans ce dernier cas l'apparition de couleurs intenses qui sont analogues à l'intensité sonore et leur emplacement spatial (Figure III-54 d,e,f).

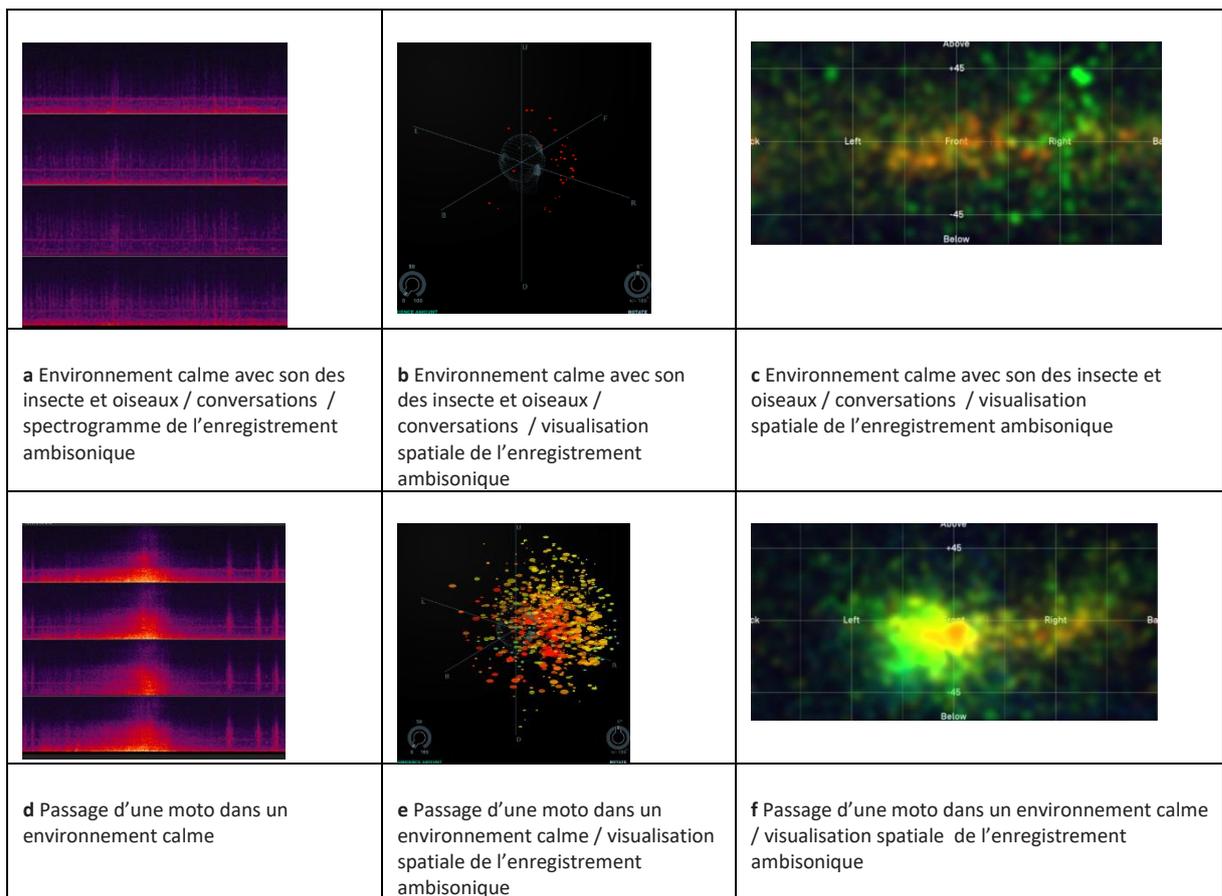


Figure III.54 Point 7 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement calme, notons la présence de sons humains (conversations, bruits de pas), et le son d'appel à la prière qui présente un accident sonore assez bruyant. La Figure III-55 a montré une présence de plusieurs accidents sonores plus importants que le matin et une diffusion spatiale du son plus intense (Figure III-55 b,c)

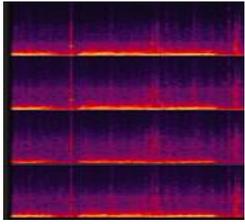
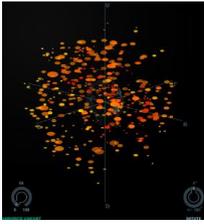
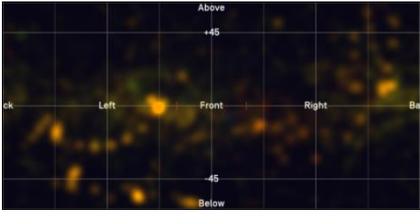
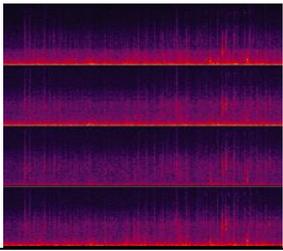
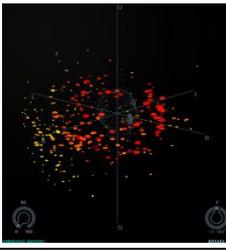
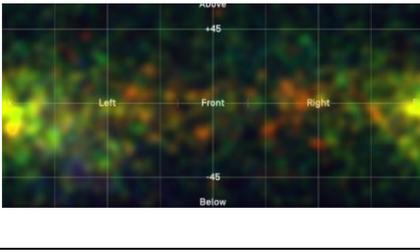
		
<p>a Environnement moyennement calme / appel à la prière/ spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>b Environnement moyennement calme / appel à la prière / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>c Environnement moyennement / appel à la prière / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>
		
<p>d Environnement moyennement bruyant / son humains (Conversations, bruits de pas) / spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>e Environnement moyennement bruyant / son humains (Conversations, bruits de pas) / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>f Environnement moyennement bruyant / son humains (Conversations, bruits de pas) / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>

Figure III.55 Point 7 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : L'environnement acoustique est bruyant comparé aux périodes précédentes. Plusieurs sonorités sont omniprésentes (conversations, bruits de pas, passage de motos et surtout musiciens amateurs chantant du malouf). Pendant toute cette période de mesures, les indicateurs acoustiques montrent une énergie assez importante pendant toute la période et un étalement spatial intense (Figure III-56 a,b,c,d).

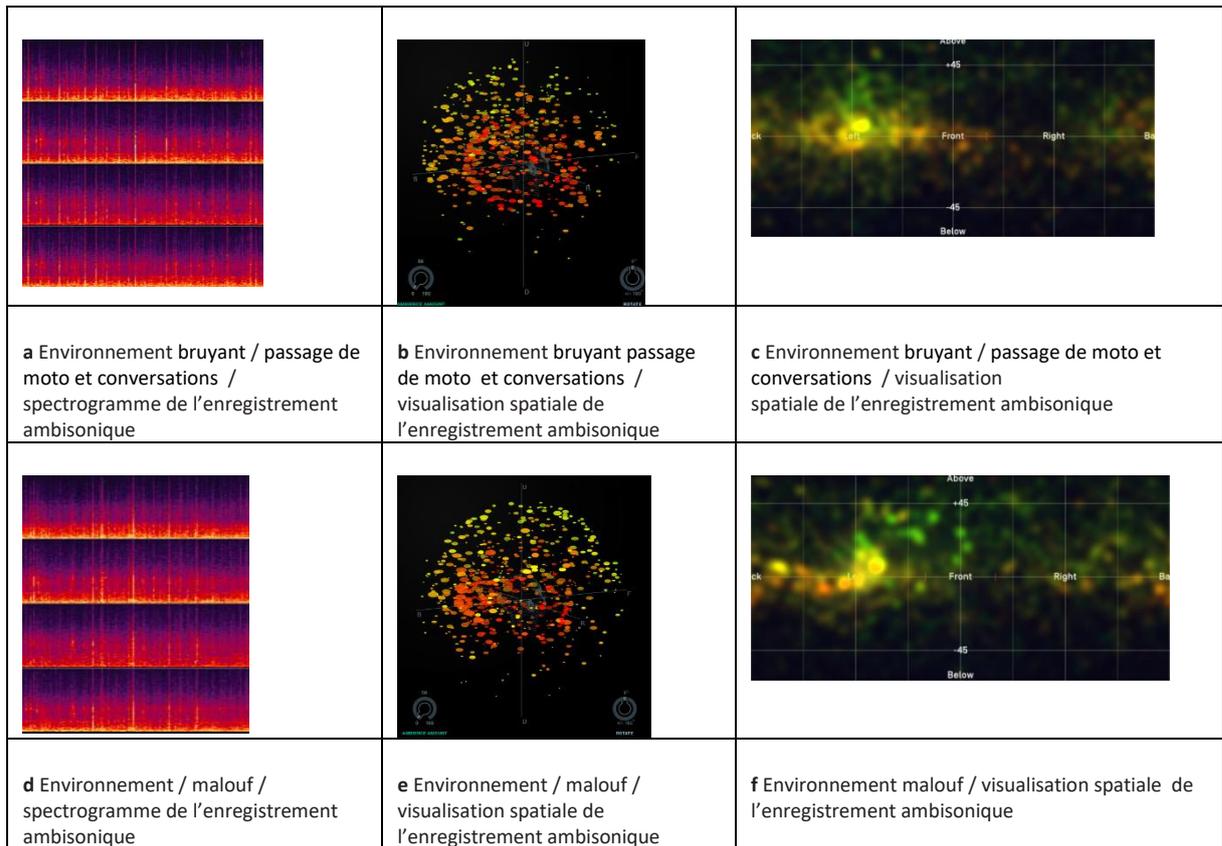


Figure III.56 Point 7 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.7.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figures III-54, III-55, III-56). Les différences de sensations énergétiques acoustiques sont bien traduites par les mesures de sonie (e.g., 51.4 le soir, 18.9 le matin) malgré l'accident sonore de la moto identifié par les mesures psychoacoustiques et acoustiques (Figure III-56g). Cette mesure de sonie traduit une perception et l'impact énergétique du son sur l'oreille humaine. Elle montre une énergie assez importante le soir, moyenne au milieu de la journée et un calme perçu le matin (Figure III-56b,c,e,f). Par contre l'acuité du matin (Figure III-58a) présente une valeur importante vu le calme de ce milieu ; le bruit aigu des insectes et des oiseaux surgit sans masquage par les autres sons, cette sensation est moins perçue au milieu de la journée (Figure III-58b). En revanche le soir, malgré le masquage avec le son d'autres sources sonores, la sonie produit une sensation d'aigüe mais son impact n'est pas important vu l'équilibre dans le spectre de l'audible.

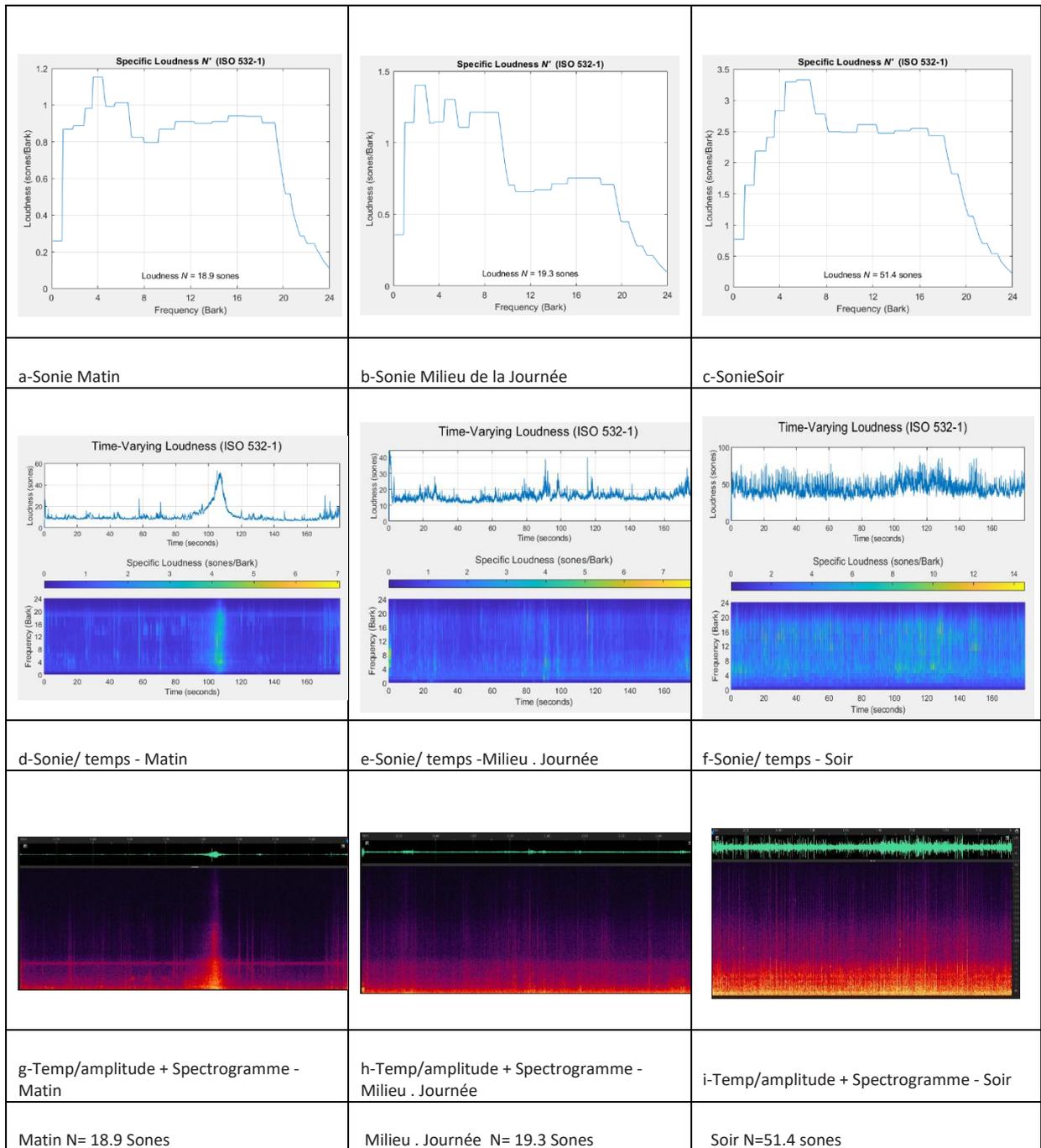


Figure III.57 Point 7 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

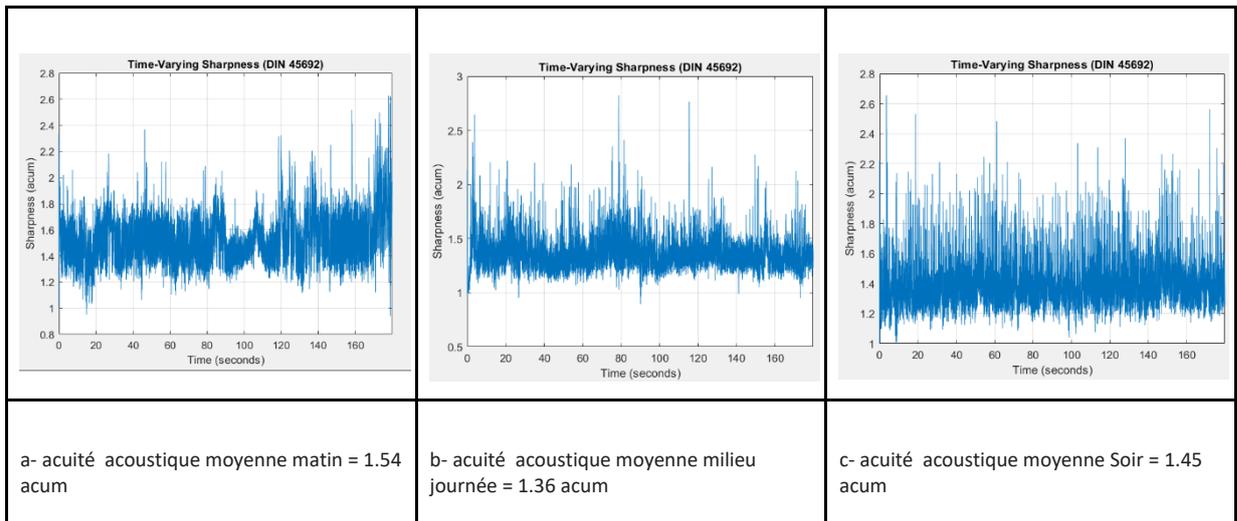
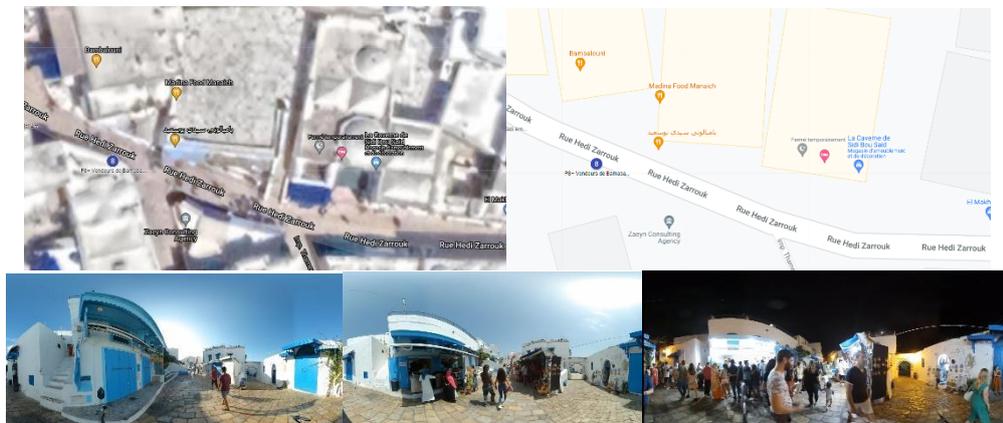


Figure III.58 Point 7 acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.8 Point 8 - Vendeurs de Bambalouni

III.2.8.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure est caractérisé par la présence des vendeurs de « Bambalounis » où la plupart des visiteurs de Sidi Bou Saïd achètent leurs beignets, spécialité typique à cette région. Dans ce même lieu notons la présence de la Zaouia de Sidi Bou Saïd, un lieu culte de la région.



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.59 Point 8 - Vendeurs de Bambalouni

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où l'architecture renforce le volume sonore sous la forme d'une rue étroite, avec plusieurs commerces face aux pâtisseries (Figure III.59).

III.2.8.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=45.3$ dbA, en milieu de journée $Leq=63.8$ dbA, et en fin de journée $Leq=67.7$ dbA.

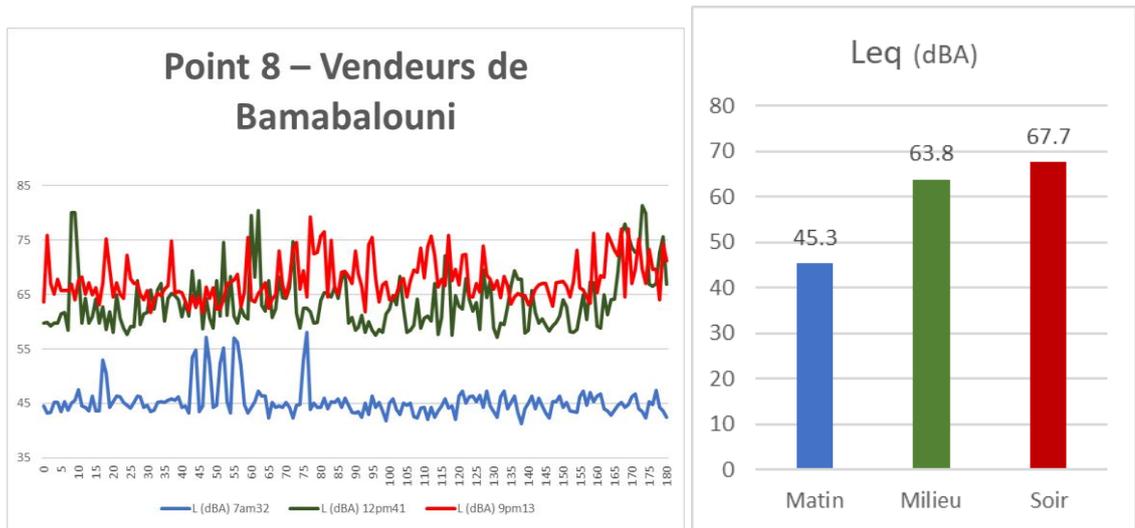


Figure III.60 Morphologie sonore du point de mesure n° 8

La Figure III-60 montre que l’environnement sonore de ce lieu est assez représentatif notamment la nuit dans la mesure où les cafés et les restaurants ont une activité maximale.

- Matin : L’environnement acoustique est calme, il n’y a quasiment pas d’accidents sonore sauf les commerçants qui ouvrent leurs négoce et des passants qui discutent mais le spectrogramme montre la présence d’une signature sonore de criquets avec une bande fréquentielle de 5 KHz (Figure III-61 a).

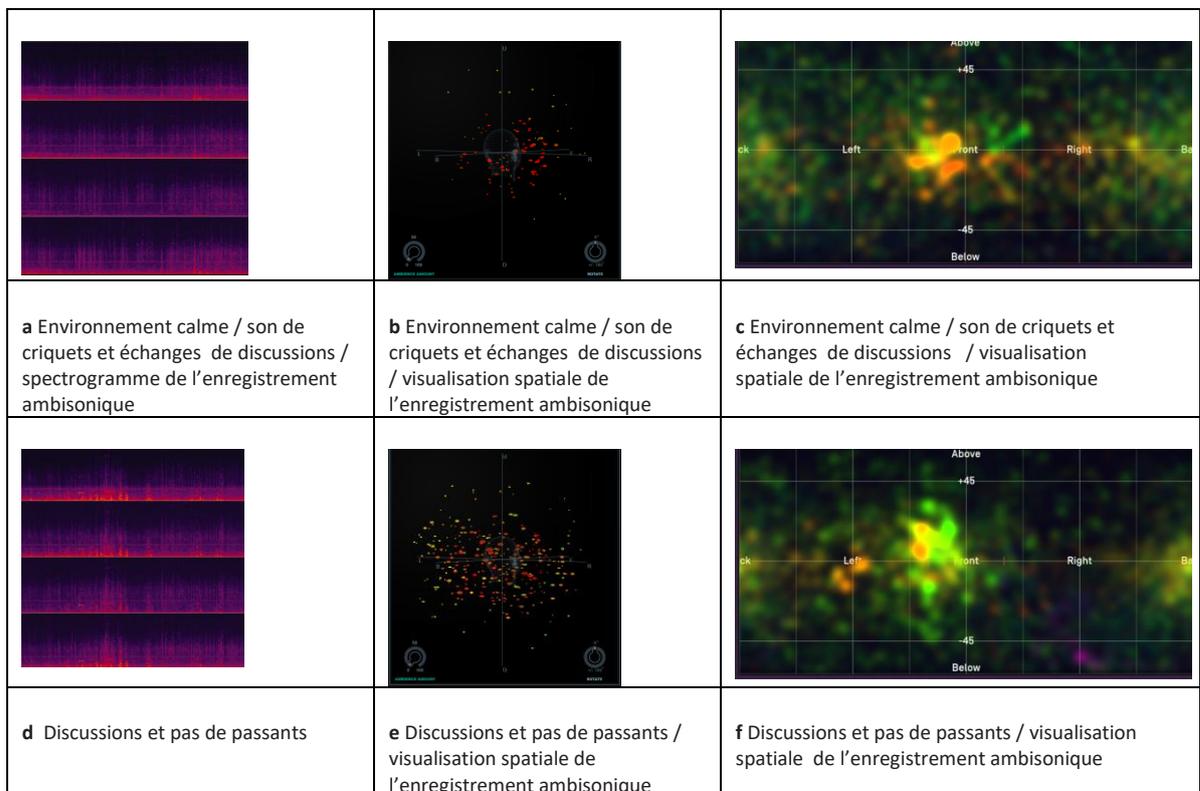


Figure III.61 Point 8 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement bruyant, le volume sonore s'intensifie par l'augmentation du nombre des passants et le début du travail des pâtisseries (machines de pétrissage, friture), plusieurs accidents sont survenus comme la friture des beignets, le passage de motos et de voitures (Figure III-62 a,b,c,d).

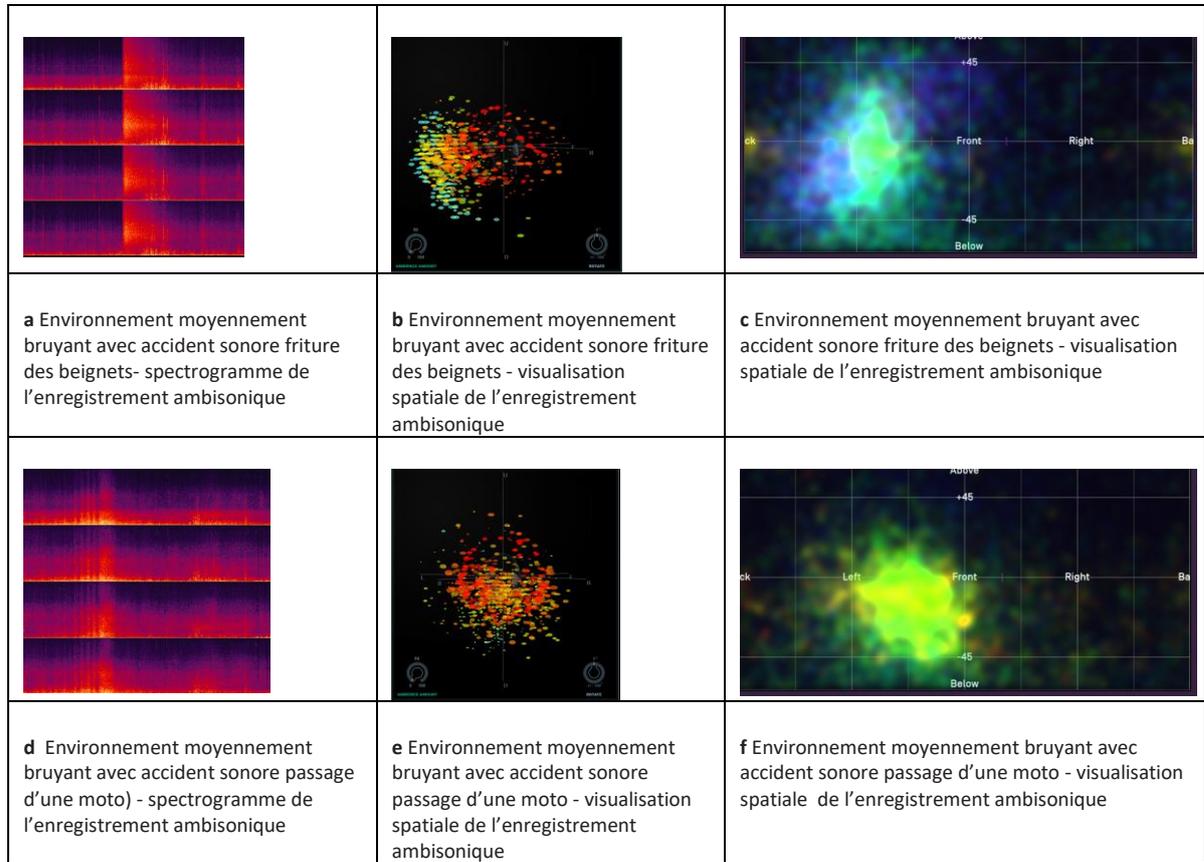


Figure III.62 Point 8 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir: L'environnement acoustique est bruyant mais présente les mêmes caractéristiques du milieu de la journée, les sons prédominants sont essentiellement anthroponiques : passage de personnes (conversations, cris des enfants) (Figure III-63 a,b,c,d).

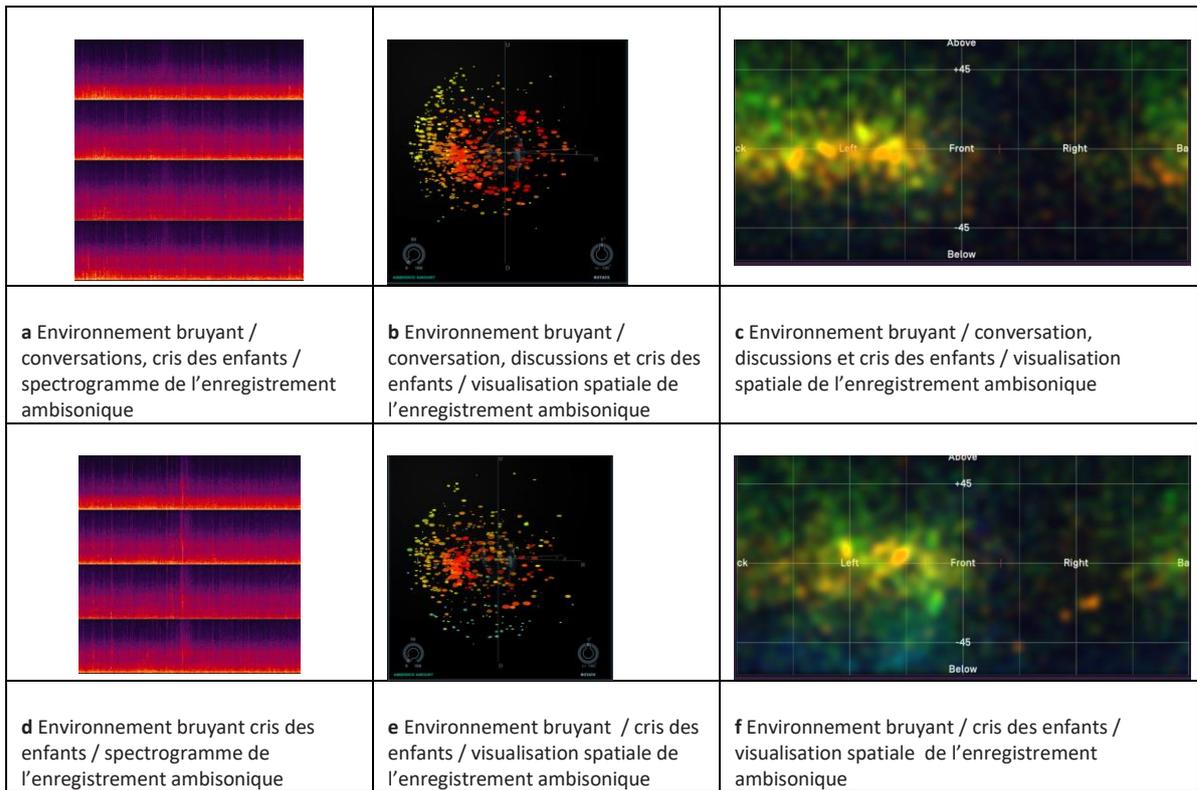


Figure III.63 Point 8 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.8.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues sauf pour la nuit où le ressenti est plus fort que le résultat obtenu par l'acoustique (Figure III.64). Cela est dû à la nature du signal et de l'architecture. L'acuité de l'environnement, ne montre pas de sensations d'aigu notable pendant toute la journée (Figure III.65).

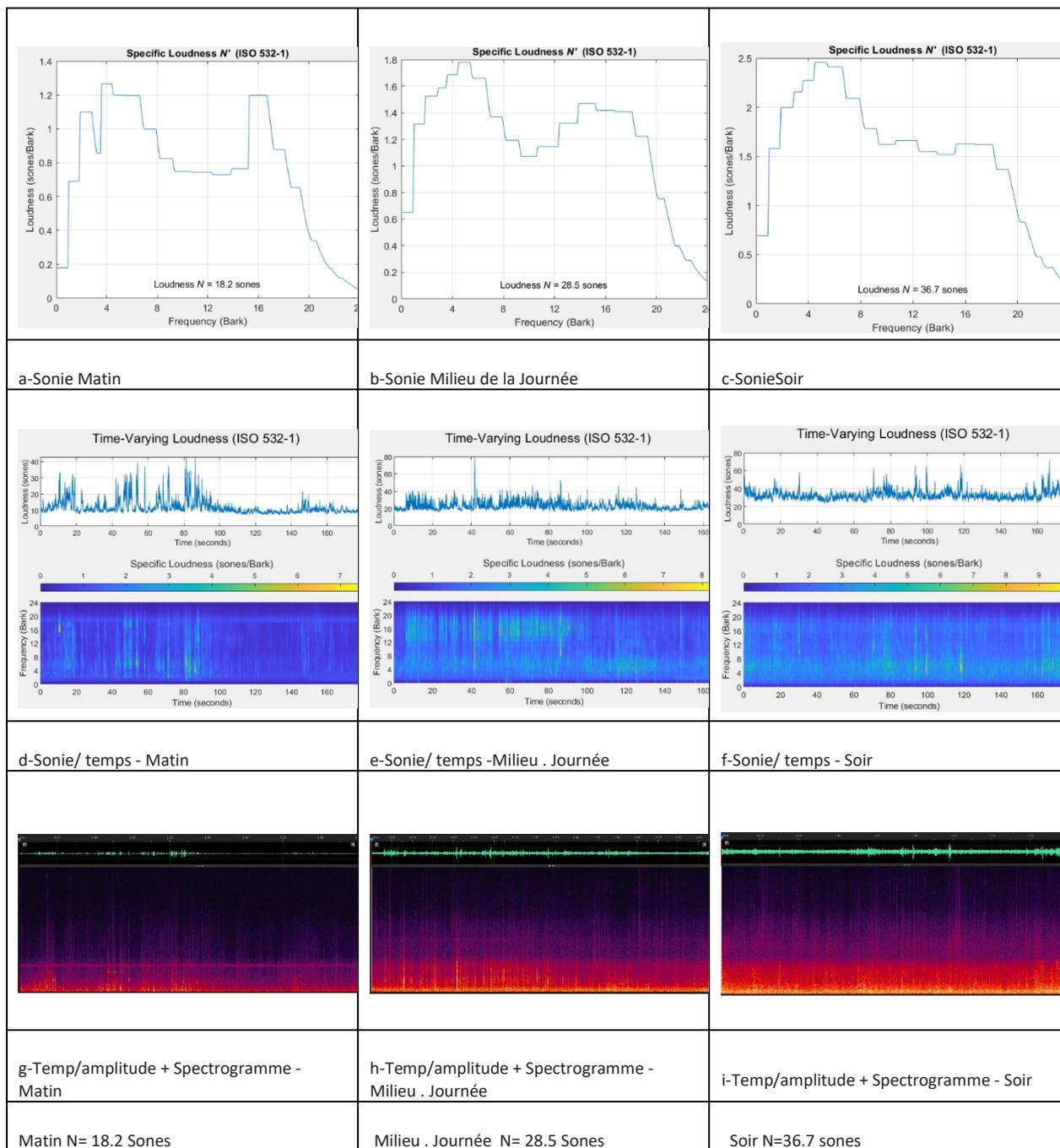


Figure III.64 Point 8 - Variation de la sonie à travers le temps en comparaison avec les mesures acoustiques

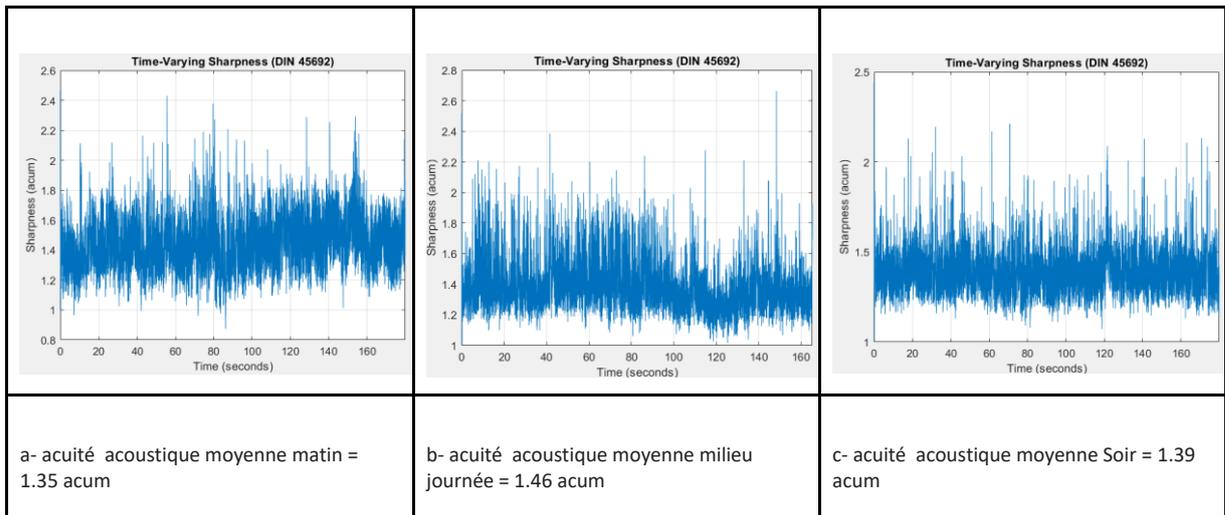
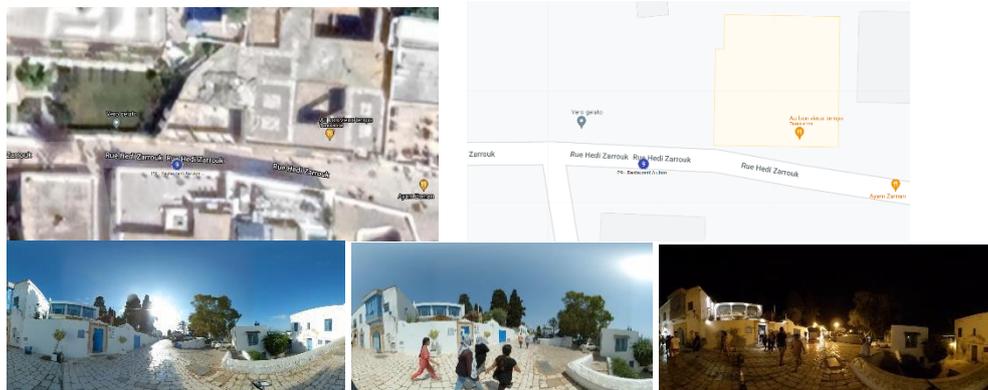


Figure III.65 Point 8 - acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir

III.2.9 Point 9 - Restaurant Au Bon Vieux Temps

III.2.9.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Le restaurant touristique au bon vieux temps de Sidi Bou Saïd représente un lieu mythique de la région, et plusieurs personnes font le déplacement vers la région rien que pour y être.



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.66 Point 9 – Restaurant Au Bon Vieux Temps

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où c'est un espace ouvert qui représente le passage de voitures, et notamment deux parcours : un vers le café des délices et un deuxième vers la falaise, le seul lieu de commerce est le restaurant touristique de gamme supérieure (Figure III.66).

III.2.9.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=48.2$ dbA, en milieu de journée $Leq=57.2$ dbA, et en fin de journée $Leq=60.6$ dbA.

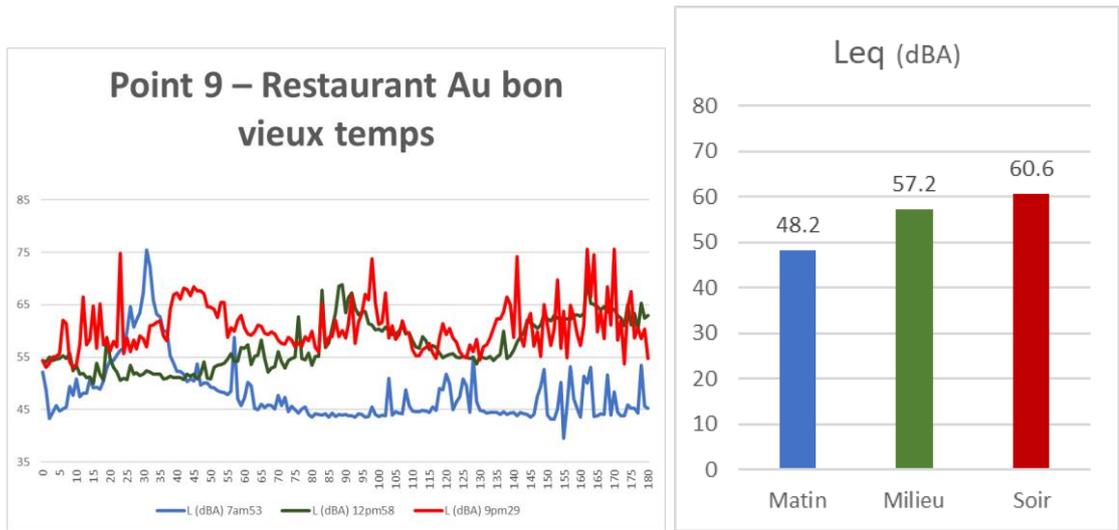


Figure III.67 Morphologie sonore du point de mesure n° 9

La Figure III-67 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez calme et qu'il n'y a pas de modifications notables entre le matin et le milieu de la journée, le soir l'environnement devient assez bruyant, la seule activité commerciale est le restaurant dont l'entrée est assez éloignée de ses sonorités de fonctionnement.

- Matin : L'environnement acoustique est assez calme, les sons prédominants sont anthroponiques et biophoniques : gazouillement des oiseaux, quelques passants et les accidents sonores du passage de voitures (Figure III-68 a,b,cd,e,f).

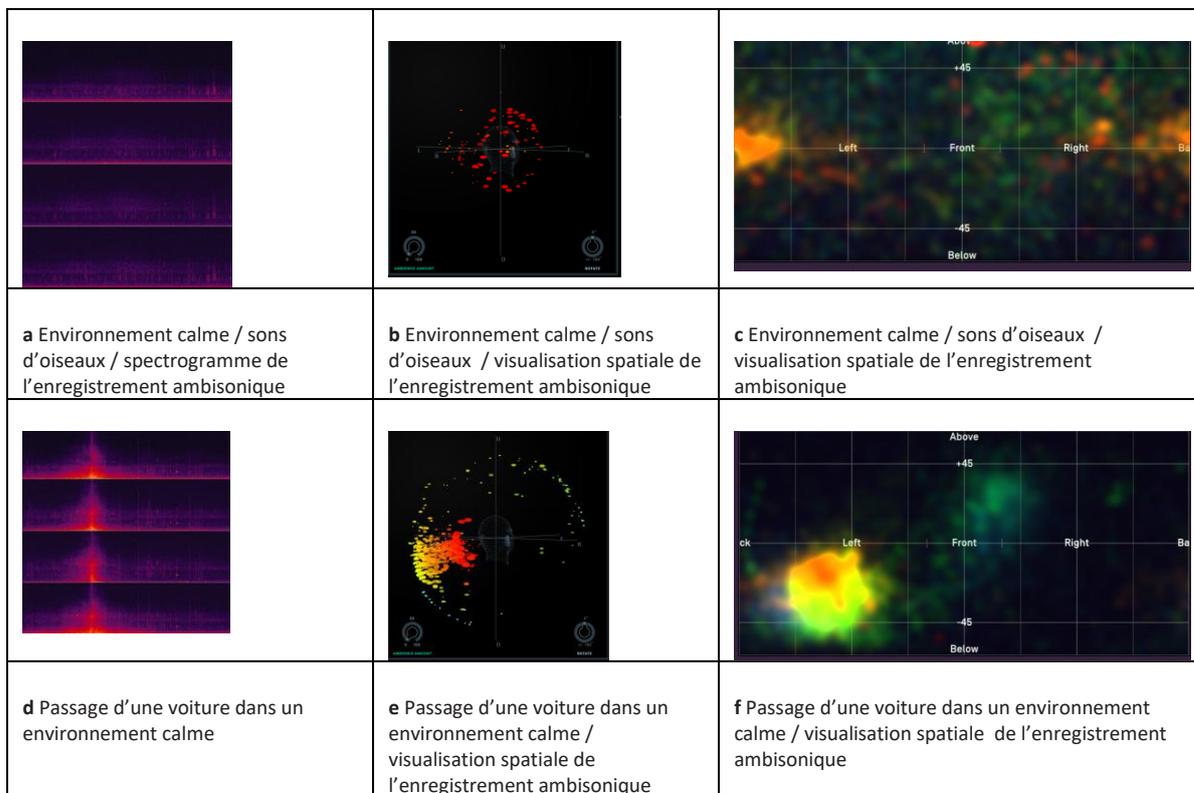


Figure III.68 Point 9 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : Le milieu de la journée garde également une caractéristique calme mais avec la présence du son aigu des insectes, le gazouillement d'oiseaux et le son de quelques passants (Figure III-69 b,c).

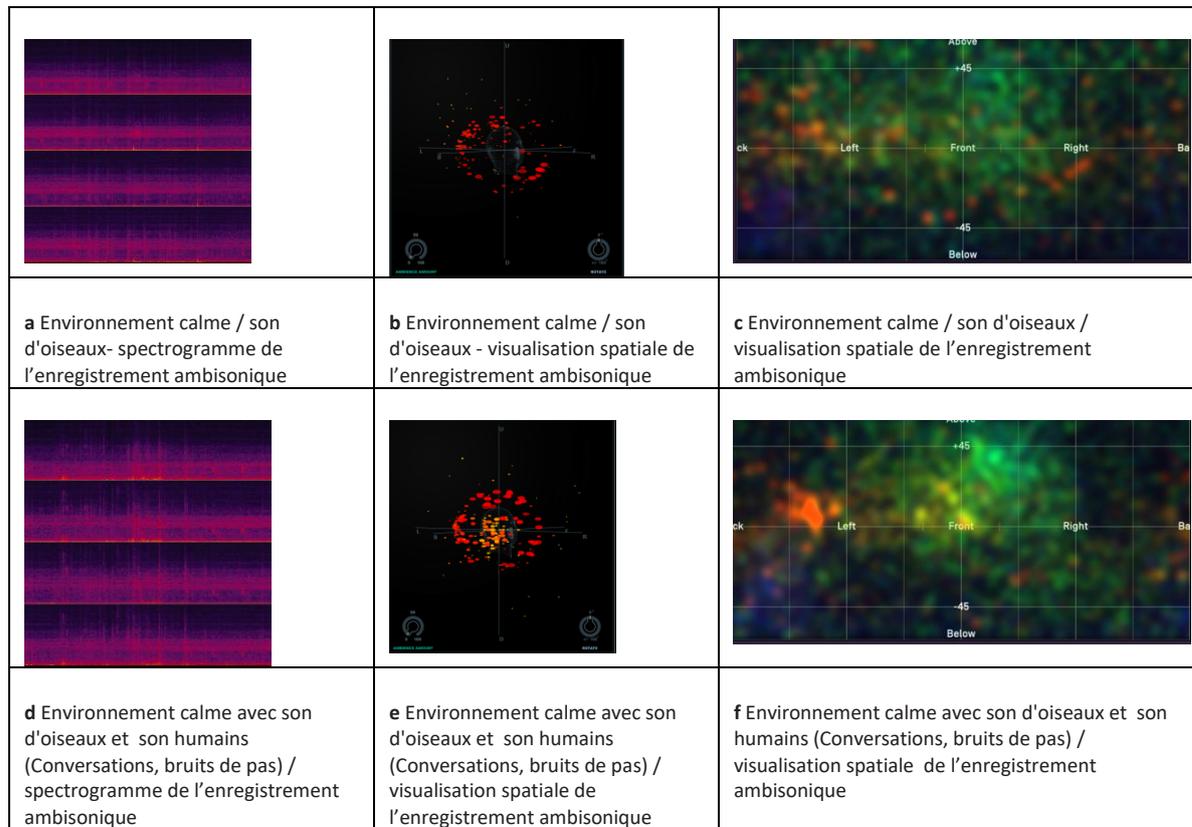


Figure III.69 Point 9 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : Le soir, l'environnement acoustique est assez bruyant en comparaison avec les précédentes périodes, à l'exception de la disparition du son des oiseaux. Les accidents sonores détectés sont le passage de plusieurs voitures, des agents de collecte des déchets et des yoyos d'une femme d'origine algérienne visible sur le spectrogramme (Figure III-70, d).

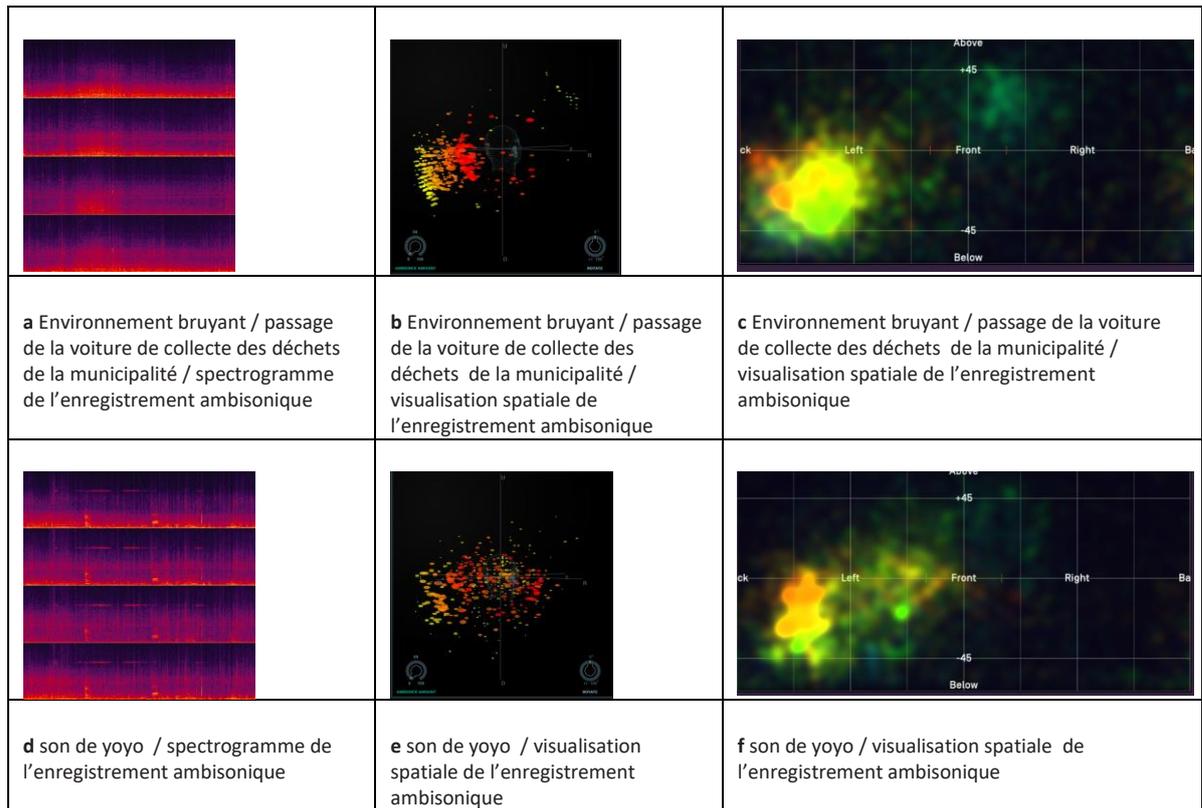


Figure III.70 Point 9 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.9.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figure III.71), néanmoins l'environnement est ressenti comme aigu au milieu de la journée ce qui est vérifié par l'acoustique et l'enregistrement du son des insectes (Figure III.72).

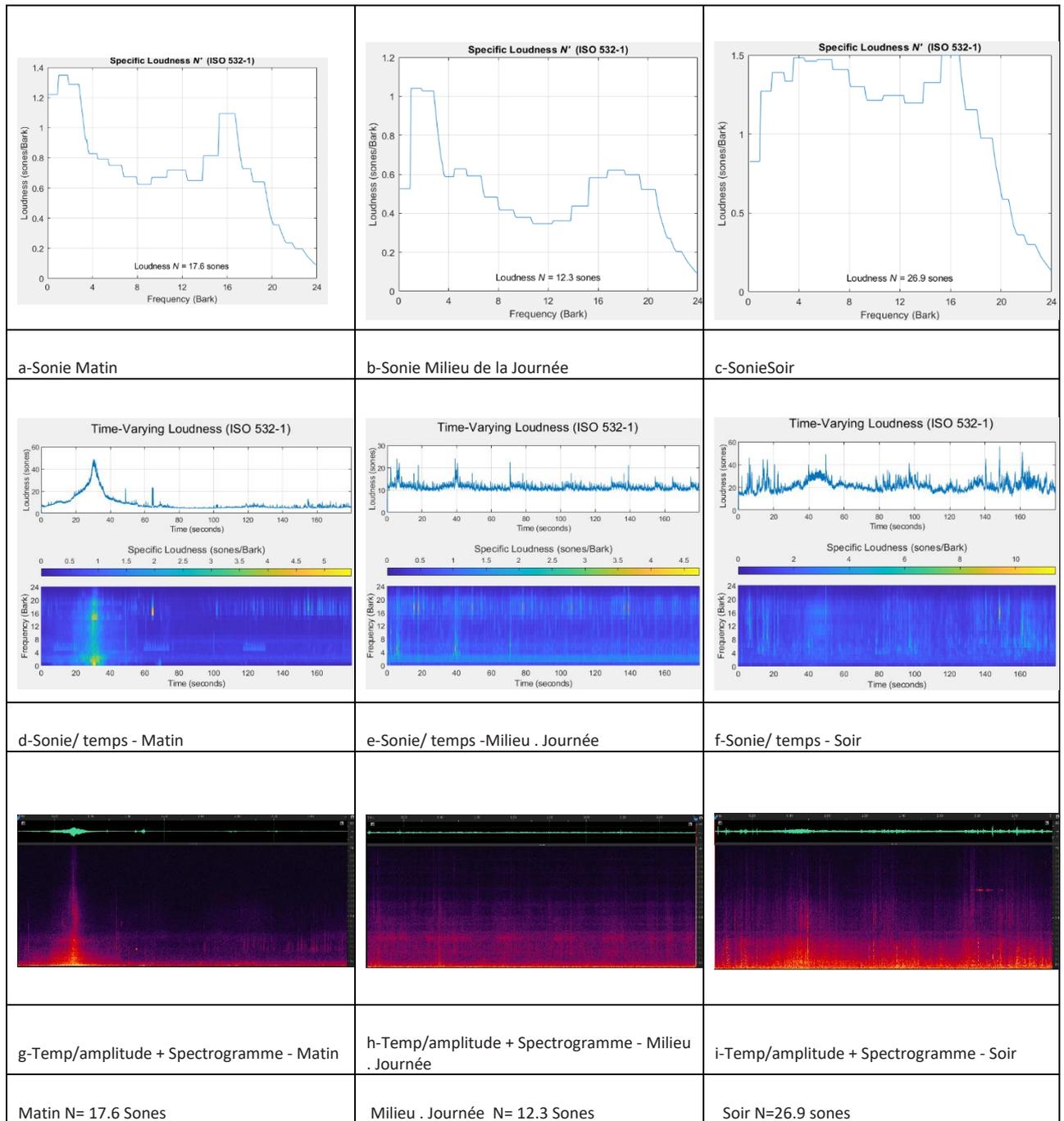


Figure III.71 Point 9 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

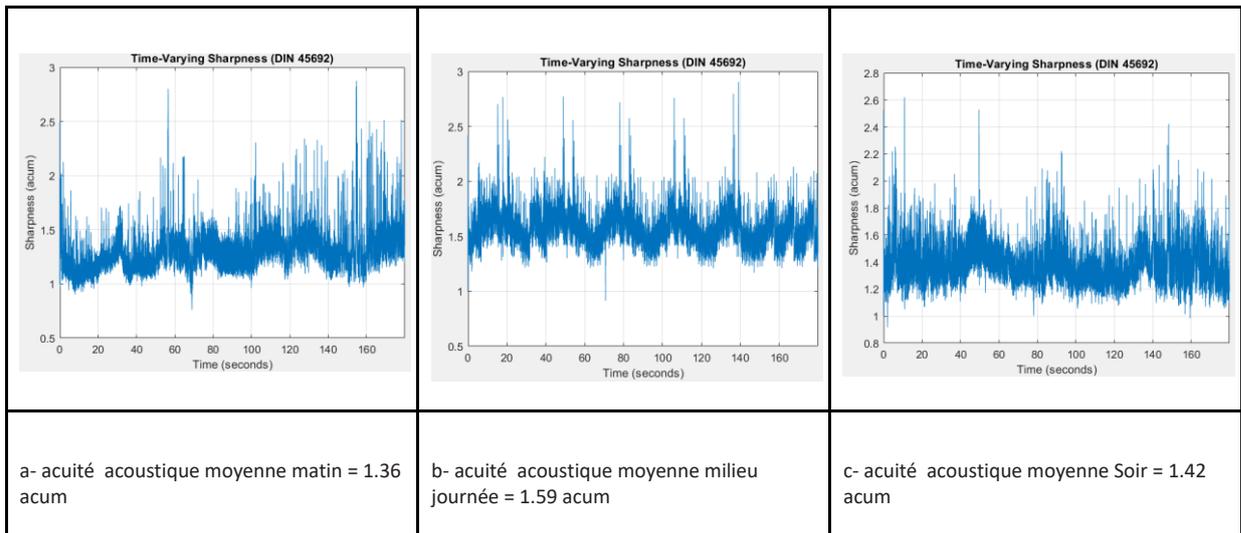
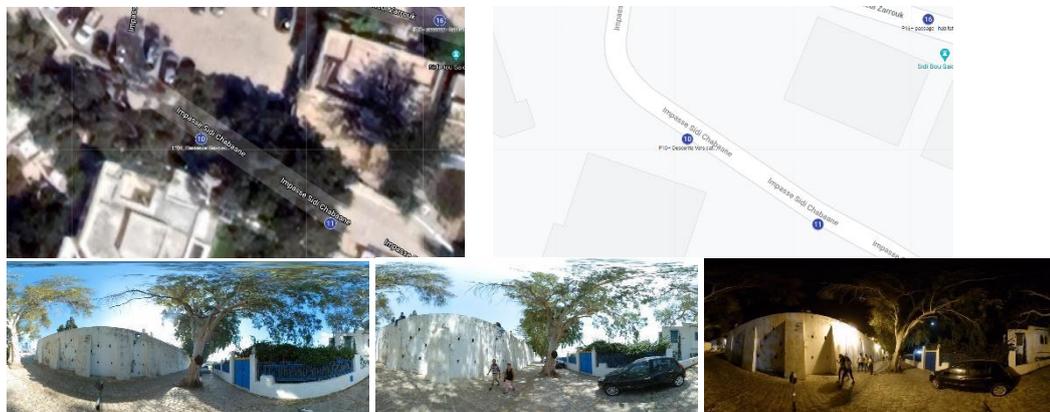


Figure III.72 Point 9 - acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.10 Point 10 - Descente Vers café des délices position 1

III.2.10.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure vient avant le Café des Délices, il est limité par un haut mur à gauche et une falaise à sa droite, ce lieu a une caractéristique spéciale sur le plan acoustique car entouré par mur végétal à droite et un arbre en face ce qui contribue à la modification de l'environnement sonore du lieu (Figure III-73).



Matin – Milieu de la journée - Soirée

Figure III.73 Point 10 - Descente Vers Café des Délices position 1

Ce lieu est emblématique dans la mesure où il est à un niveau de profondeur supérieur à tous les autres points du parcours, il est notamment isolé du bruit des voitures et des activités commerciales du parcours.

III.2.10.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores sont moyens pour ce lieu le matin, $Leq=71.2$ dbA, en milieu de journée $Leq=61.6$ dbA, et en fin de journée $Leq=56.8$ dbA (Figure III-74).

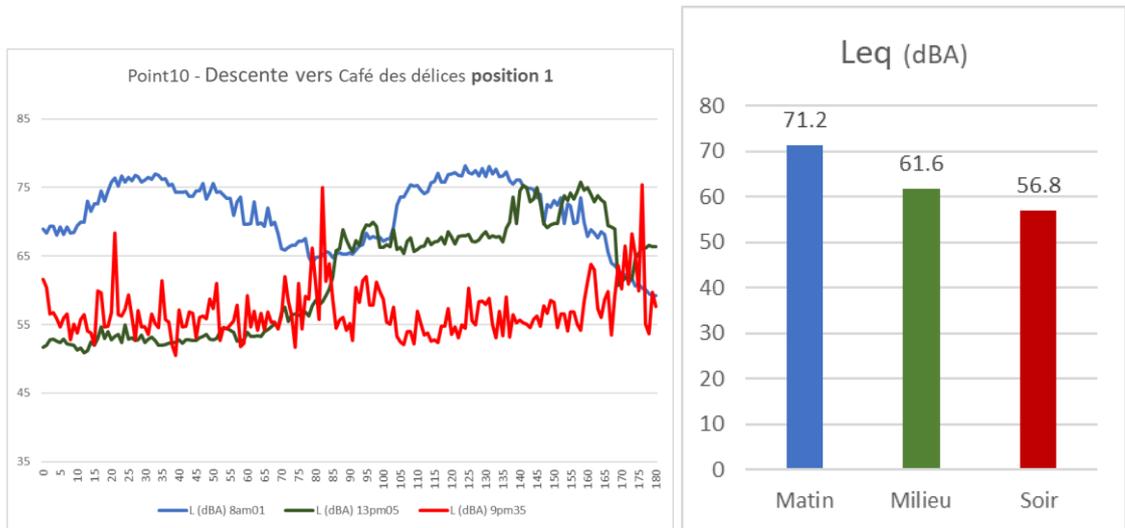


Figure III.74 Morphologie sonore du point de mesure n° 10

- Matin : L'environnement acoustique est bruyant (Figure III-75 a,b,c d,e,f), malgré son apparence de lieu calme car il est dépourvu d'accidents sonores ou d'activités liées à l'humain (sauf la prise d'un mini Pique-nique - Petit-déjeuner par deux femmes qui génère des conversations en haut du mur), la sonorité intense des insectes représente un volume impressionnant enregistré par nos mesures spécialement visible sur le spectrogramme avec une bande intense dans les aigus. (Figure III-75 a,d).

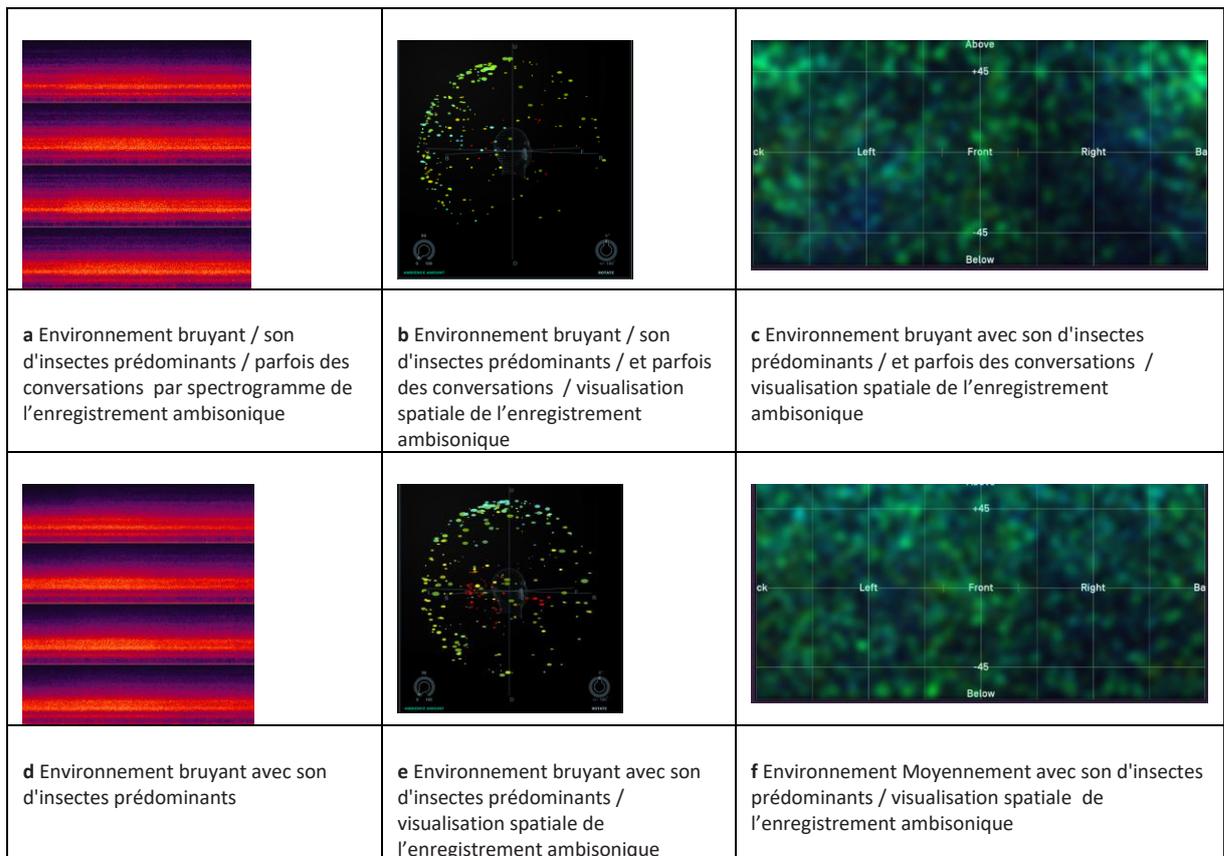


Figure III.75 Point 10 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : l'acoustique de l'environnement est moyennement bruyant; nous remarquons la présence de sons anthropophoniques et biophoniques : humains (conversations, bruits de pas) mais moins fréquents que les autres points de mesures, avec la présence de sons d'oiseaux et le maintien de la sonorité aiguë du matin avec une alternance entre volume fort et moyen pendant des intervalles assez réguliers, on a noté que lorsque le son des insectes est fort, celui-ci masque les autres sons (Figure III-76 a,b,c,d,e,f)

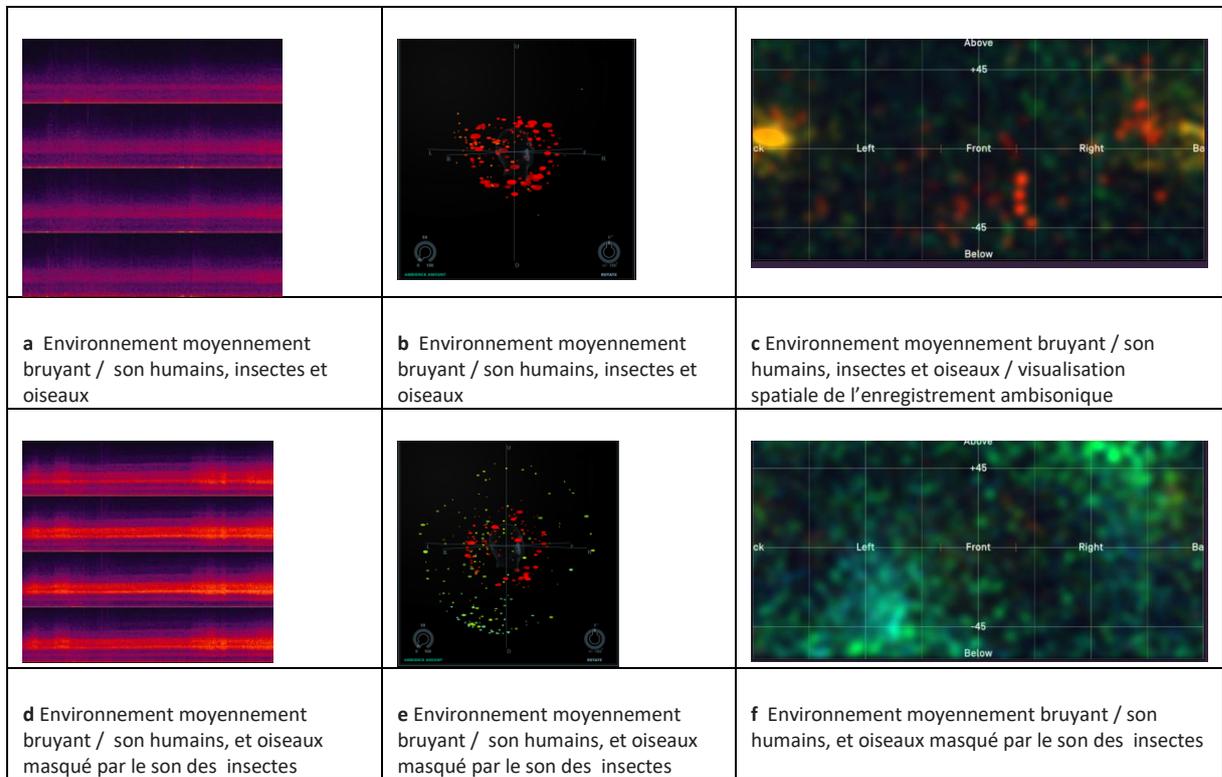


Figure III.76 Point 10 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : Le soir, l'environnement acoustique se métamorphose en calme avec la disparition du son des insectes relativement impressionnants pendant la journée mais remplacé par le son des criquets avec un volume sonore moins important, et une prédominance des sons humains (conversation, pas) (Figure III-77 a,b,c,d,e,f).

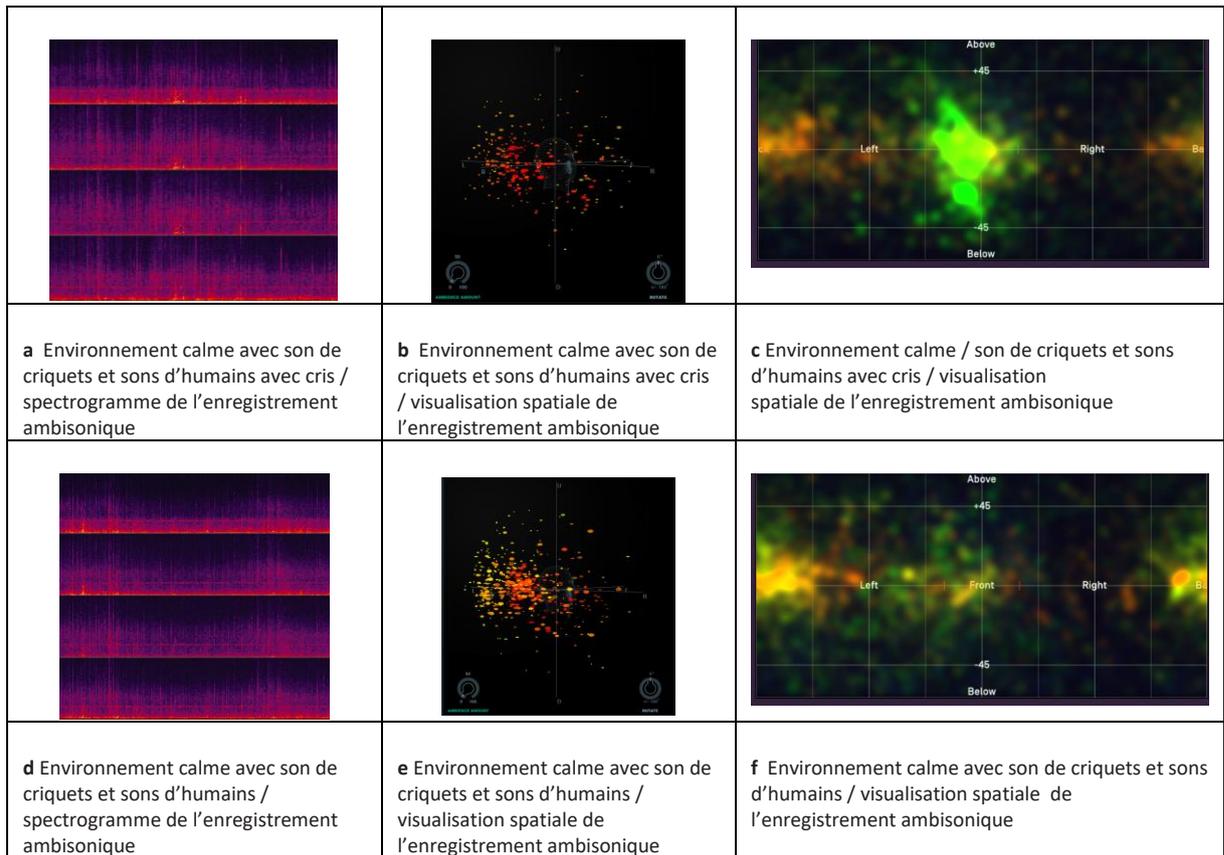


Figure III.77 Point 10 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.10.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont différentes des valeurs acoustiques obtenues. L’acoustique dénote ce lieu comme étant un lieu bruyant le matin et au milieu de la journée, alors que les retours de la psychoacoustique montrent un milieu calme et moyennement calme pendant les deux premières périodes de la journée (Figure III.78). Ceci est dû à la nature du signal sonore et l’absence d’accidents sonores. L’acuité a montré un environnement sonore extrêmement aigu pendant ces périodes, car pour une même intensité, notre ressenti pour les sons aigu est plus fort que les sons médium et grave (McAdams et Bigand, 1994) c’est ce qui explique la différence entre la sonie et le Leq (Figure III.79 a,b).

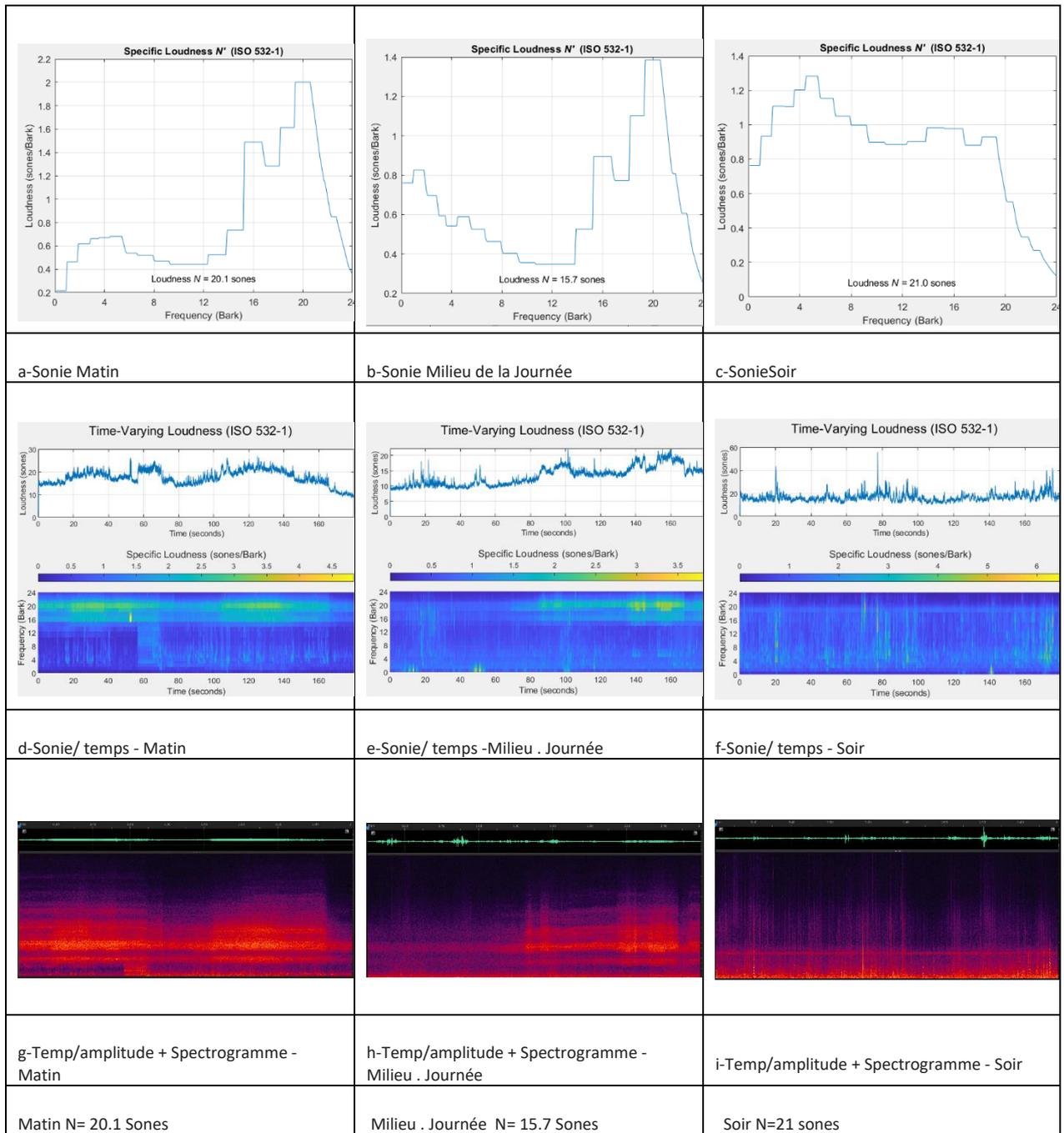


Figure III.78 Point 10 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

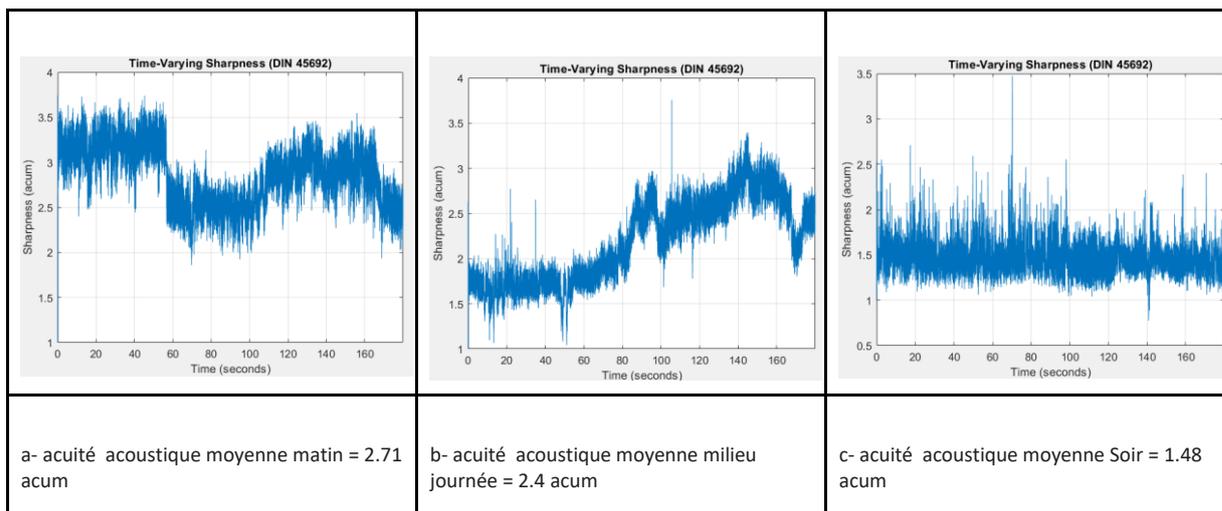
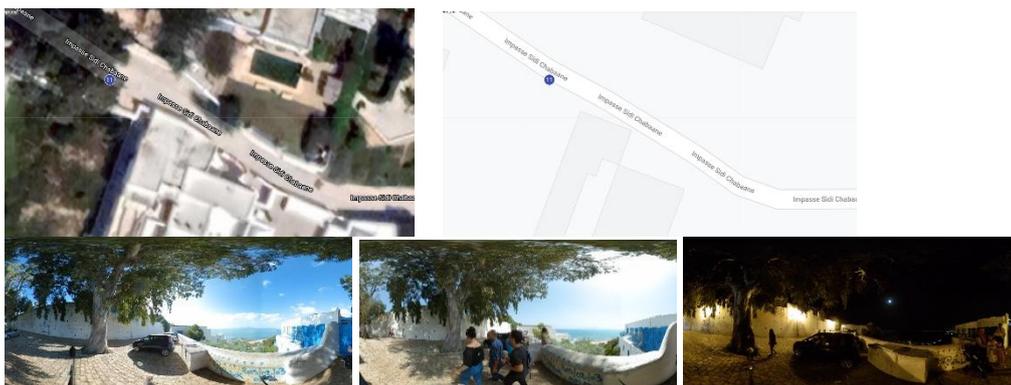


Figure III.79 Point 10 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.11 Point 11 - Descente vers le Café des Délices position 2

III.2.11.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure présente les mêmes caractéristiques que le point précédent N°10 avec une légère différence (plus d'ouverture du côté droit) (Figure III.80).



Matin – Milieu de la journée - Soirée

Figure III.80 Point 11 – Descente Vers café des Délices position 2

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où à droite nous pouvons percevoir des sonorités lointaines liées au port de plaisance en bas et on note aussi la détection de bruits de vent.

III.2.11.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin donnent $Leq=71.7$ dbA, en milieu de journée $Leq=60.3$ dbA, et en fin de journée $Leq=70.7$ dbA.

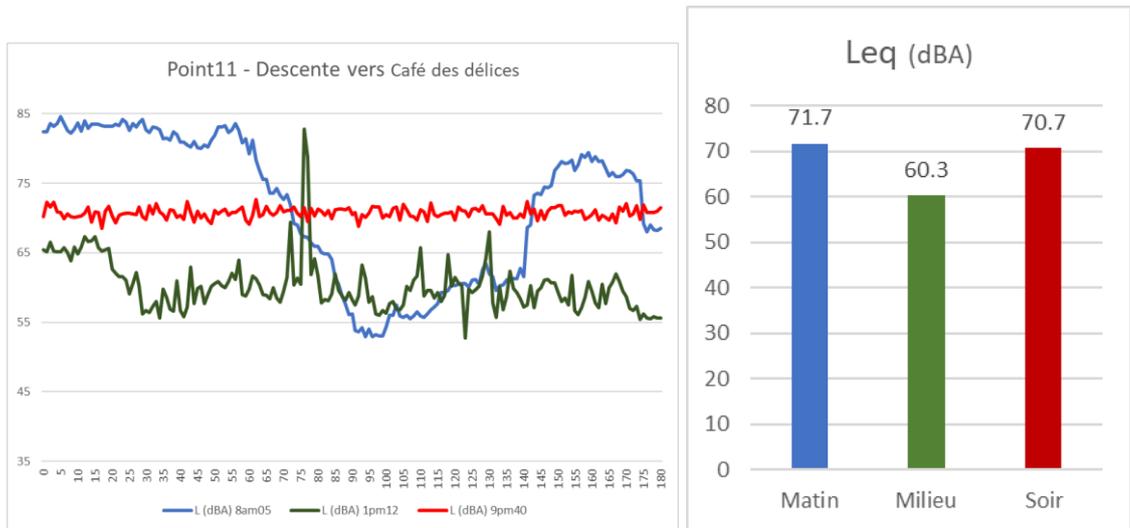


Figure III.81 Morphologie sonore du point de mesure n° 11

La Figure III-81 montre que l'environnement sonore de ce lieu moins bruyant au milieu de la journée par rapport au matin et la nuit

- **Matin** : L'environnement acoustique de ce point est similaire au point 10, il est moyennement bruyant mais avec l'apparition de deux phénomènes sonores détectés : le vent et du son loin du port (Figure III-82 a,b,c d,e,f). Comme dans le lieu précédant la sonorité intense des insectes représente un volume impressionnant enregistré et mesuré, spécialement visibles sur le spectrogramme avec une bande intense dans les aigus (Figure III-82 a,d).

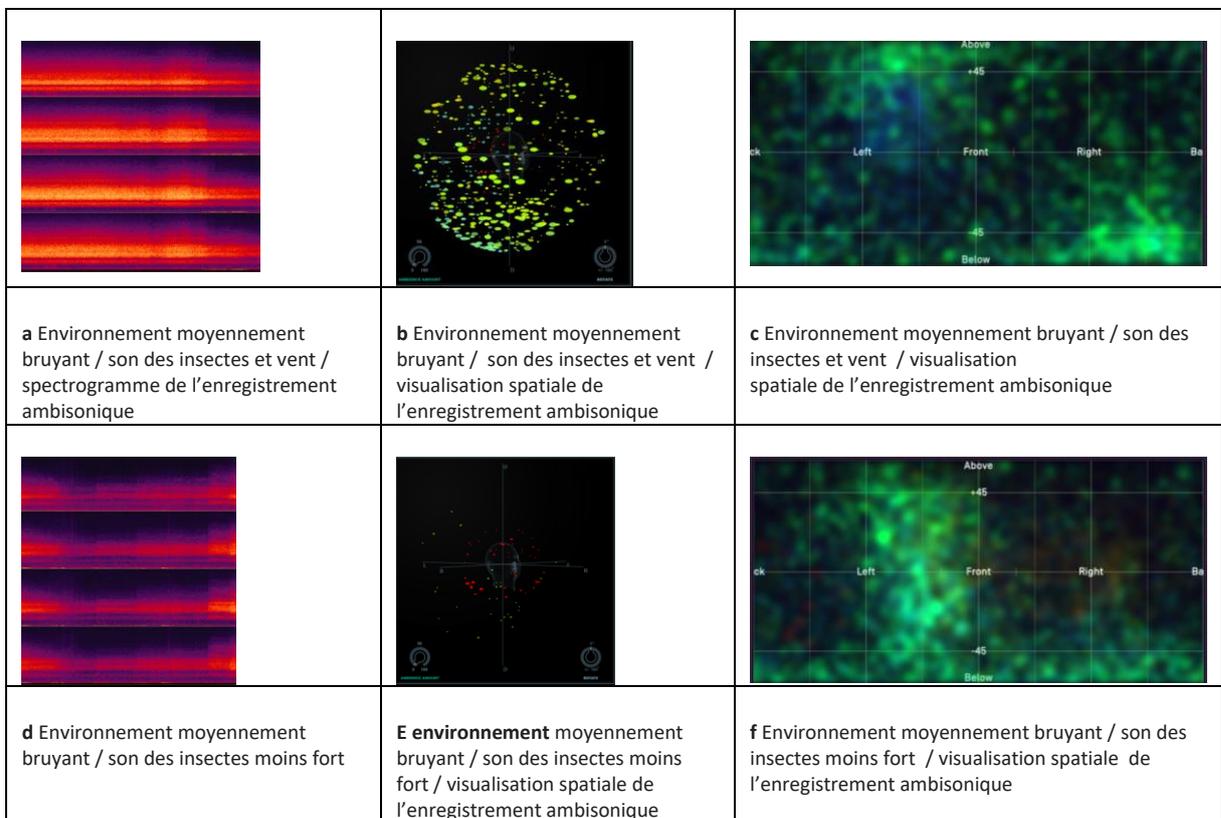


Figure III.82 Point 11 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement bruyant, notons la présence de sons humains (conversations, bruits de pas), et par l'apparition de bruits de vent visible sur la (Figure III-83, b,c) en couleur rouge, le son des insectes est omniprésent au milieu de la journée mais il est mixé avec les accidents sonore comme le bruit de pas, conversations (Figure III-83 e,f) et le vent (Figure III-83 b,c).

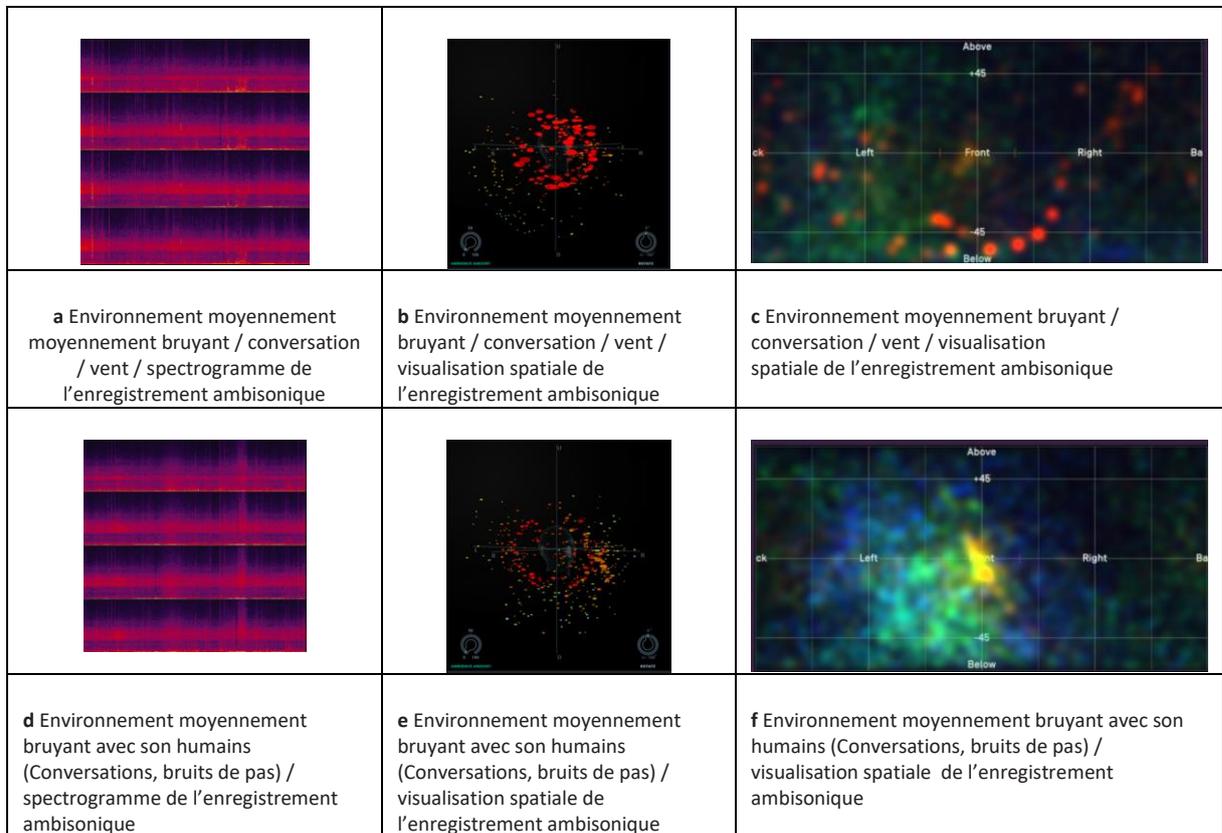


Figure III.83 Point 11 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : Le soir, l'environnement acoustique est bruyant par rapport aux deux périodes précédentes. Plusieurs sonorités sont omniprésentes surtout le son des criquets en continu et des sonorités en relation avec l'humain (conversations, bruits de pas). On remarque une bande étroite et moins intense par rapport au son des insectes du reste de la journée sur le spectrogramme aux alentours de 5 Khz (Figure III-84 a,d) et aussi un accident sonore : l'alarme d'une voiture.

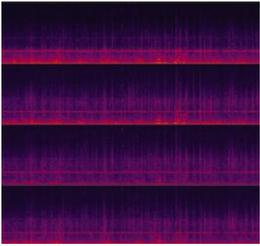
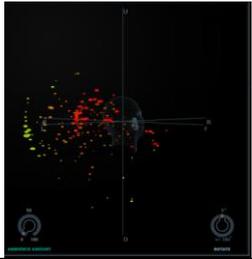
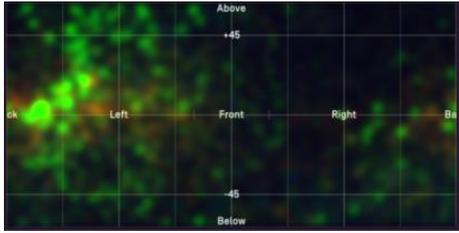
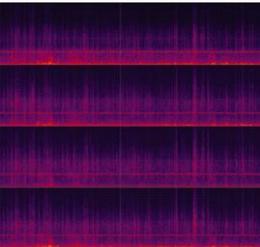
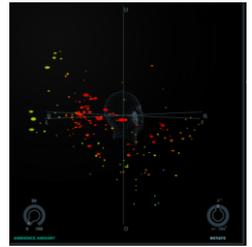
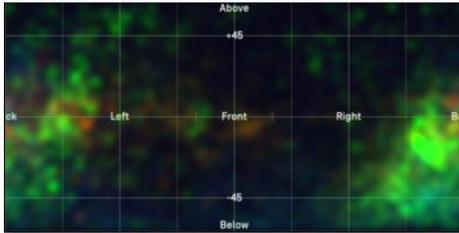
		
<p>a Environnement bruyant / son des insecte et humain / spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>b Environnement bruyant / son des insecte et humain / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>c Environnement bruyant / son des insecte et humain / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>
		
<p>d Environnement bruyant / son des insecte et humaine / spectrogramme de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>e Environnement bruyant / son des insecte et humain / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>	<p>f Environnement bruyant / son des insecte et humain / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique</p>

Figure III.84 Point 11 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.11.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Comme dans le point 10 les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont différentes des valeurs acoustiques obtenues. En effet, l'acoustique dénote ce lieu comme étant un lieu bruyant pendant toute la journée et la psychoacoustique un milieu calme et moyennement calme (Figure III-85).

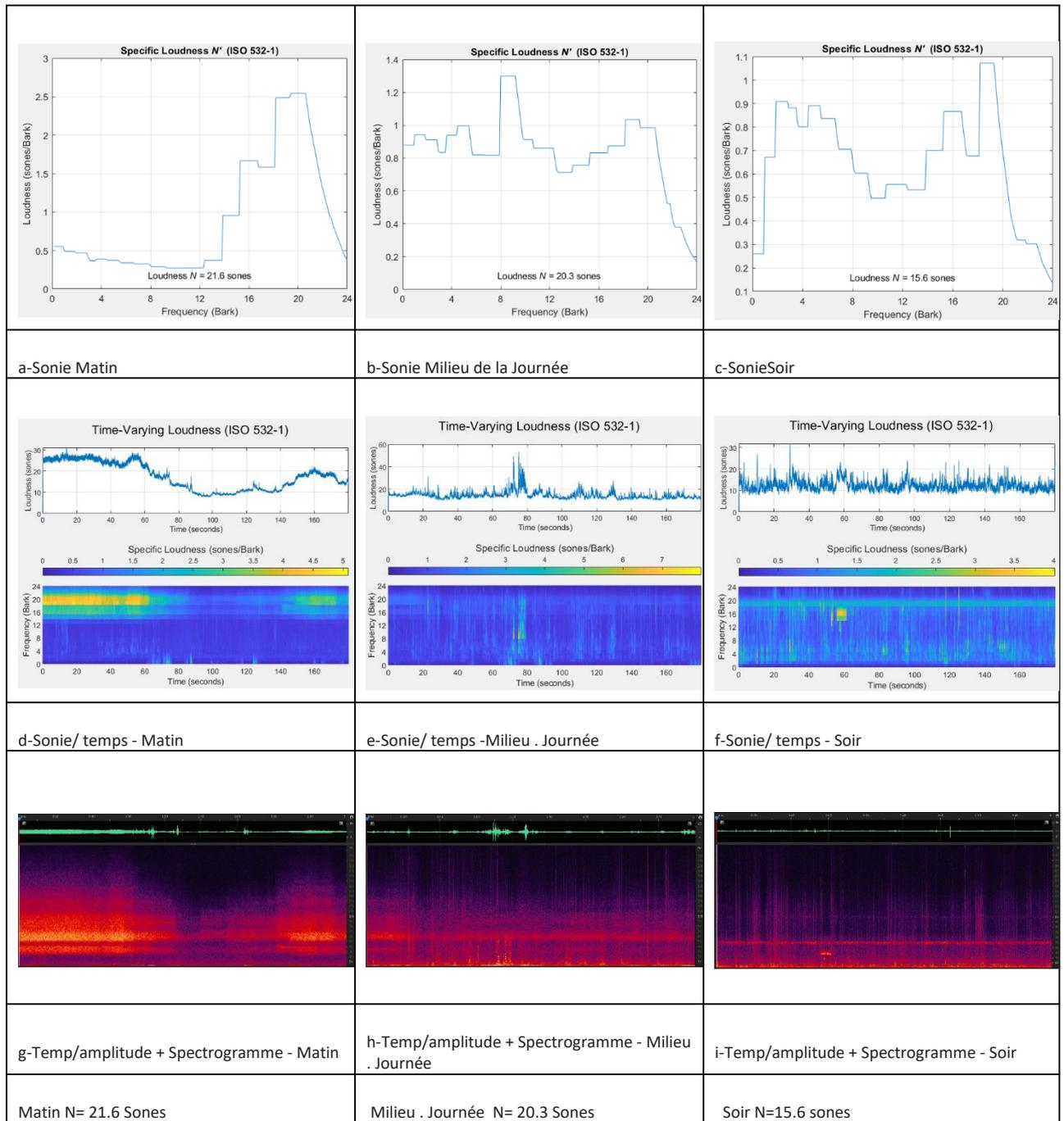


Figure III.85 Point 11 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

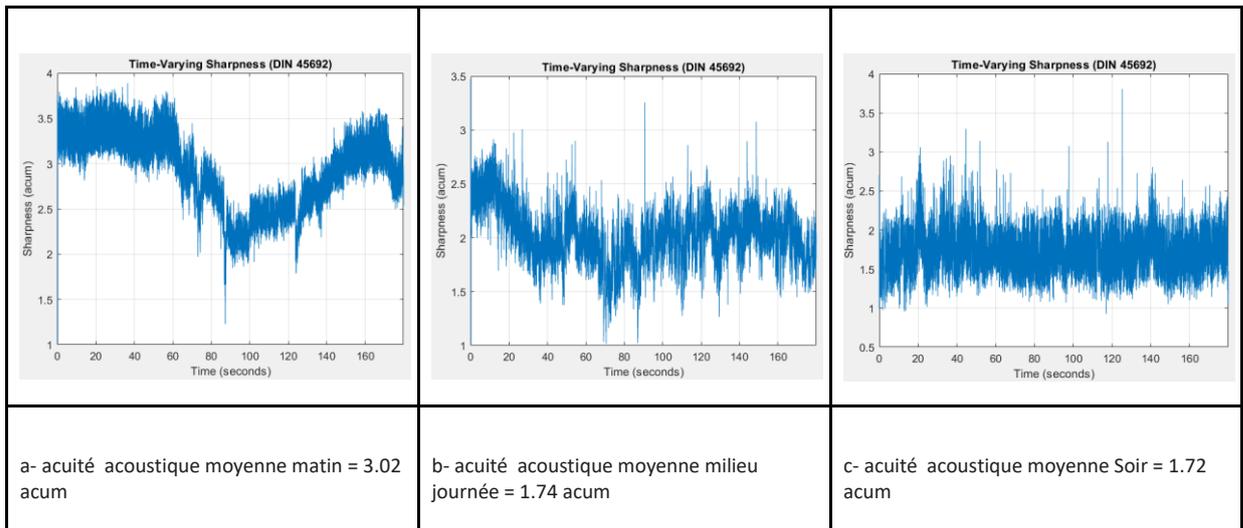
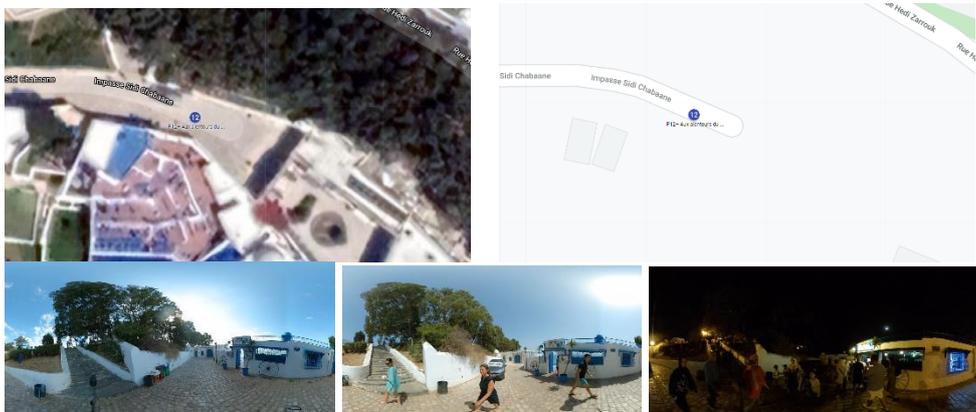


Figure III.86 Point 11 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.12 Point 12 - Aux alentours du Café des Délices position 1

III.2.12.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point représente un lieu mythique connu mondialement par sa vue d'en haut sur le surplomb du port de Sidi Bou Saïd, Les mesures ne sont pas réalisées dans ce café mais à l'extérieur du café qui fait partie de notre parcours.



Matin – Milieu de la journée - Soirée

Figure III.87 Point 12 - Aux alentours du Café des délices position 1

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où il contient une végétation et des escaliers qui nous ramènent vers un mini jardin public, on revient au niveau normal en hauteur de notre parcours (Figure III.87).

III.2.12.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=77.2$ dbA, en milieu de journée $Leq=58.7$ dbA, et en fin de journée $Leq=55.6$ dbA.

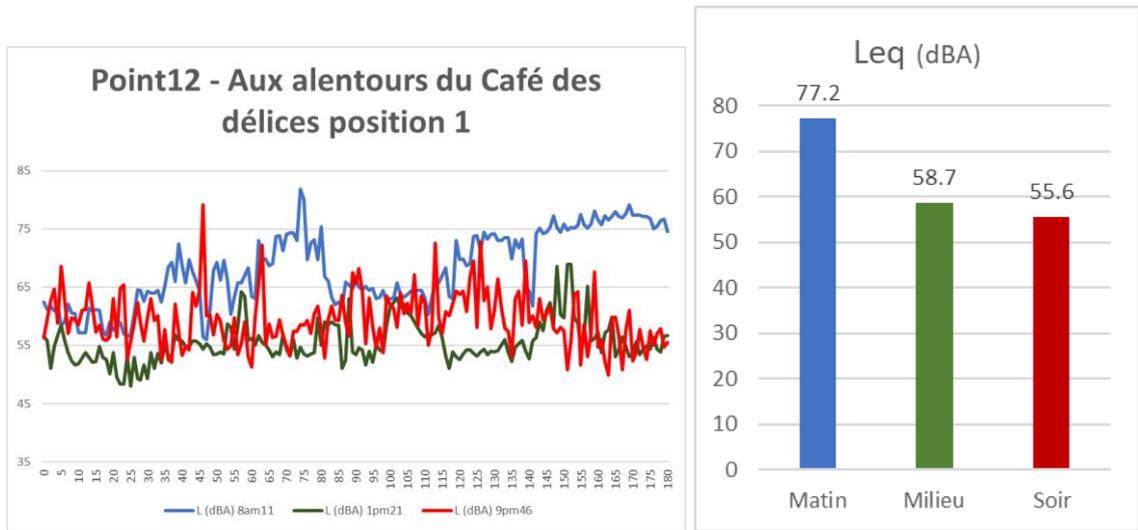


Figure III.88 Morphologie sonore du point de mesure n° 12

Pendant nos mesures la Figure III-88 montre que l'environnement sonore de ce lieu est bruyant le matin par rapport aux autres périodes, dans la mesure où le matin, les jardiniers de la municipalité font l'entretien de la végétation.

- Matin : L'environnement acoustique est extrêmement bruyant pendant nos mesures il y avait comme les points 10 et 11 le son des insectes et des oiseaux mais il y avait le son d'un outil utilisé par les agents d'entretien de la municipalité, en mode utilisation, l'outil masquait les sons précédemment cités, on voit bien ce contraste dans la Figure III-89 b,e) cet outil bruyant était à une distance de 6 mètres du point de mesure.

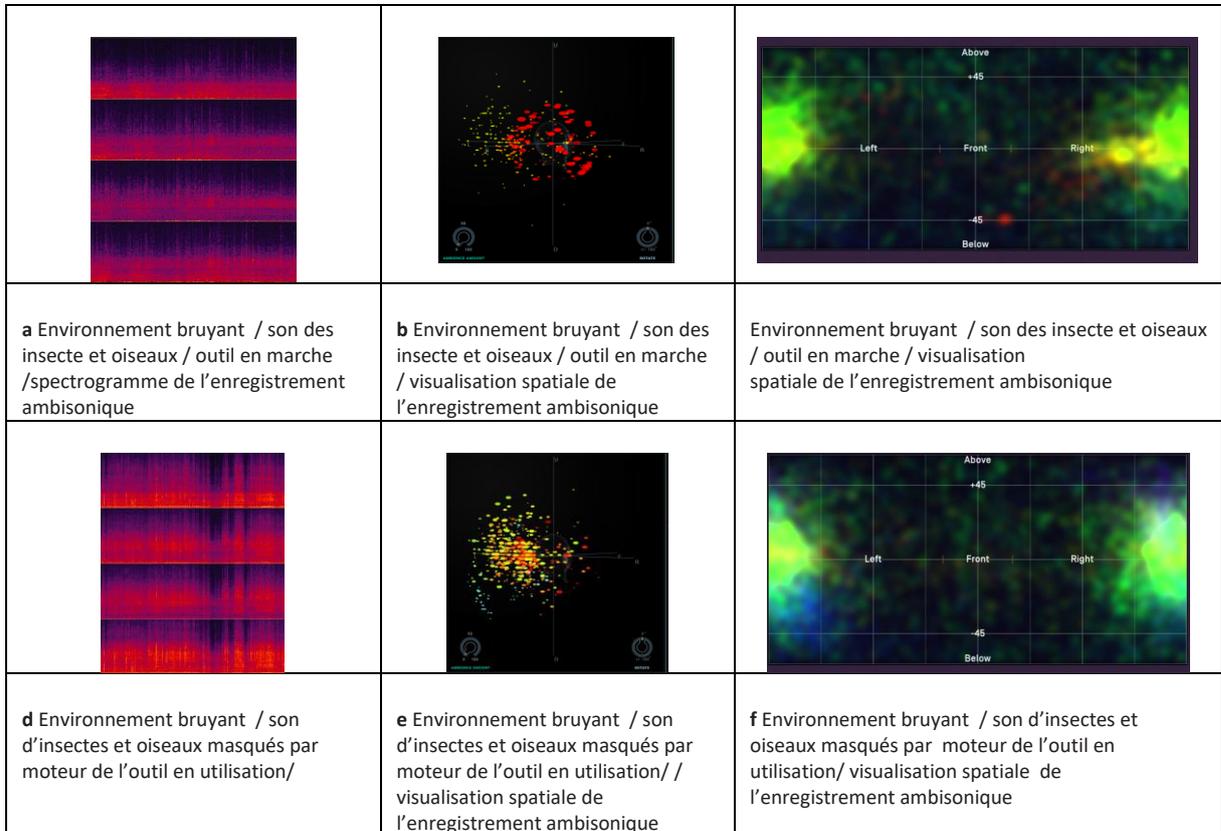


Figure III.89 Point 12 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement calme : sons d'insectes parfois intenses (Figure III-90 a,b,c) et parfois moins intenses (Figure III-90 d,e,f) avec la présence de sons d'humains (conversations, bruits de pas).

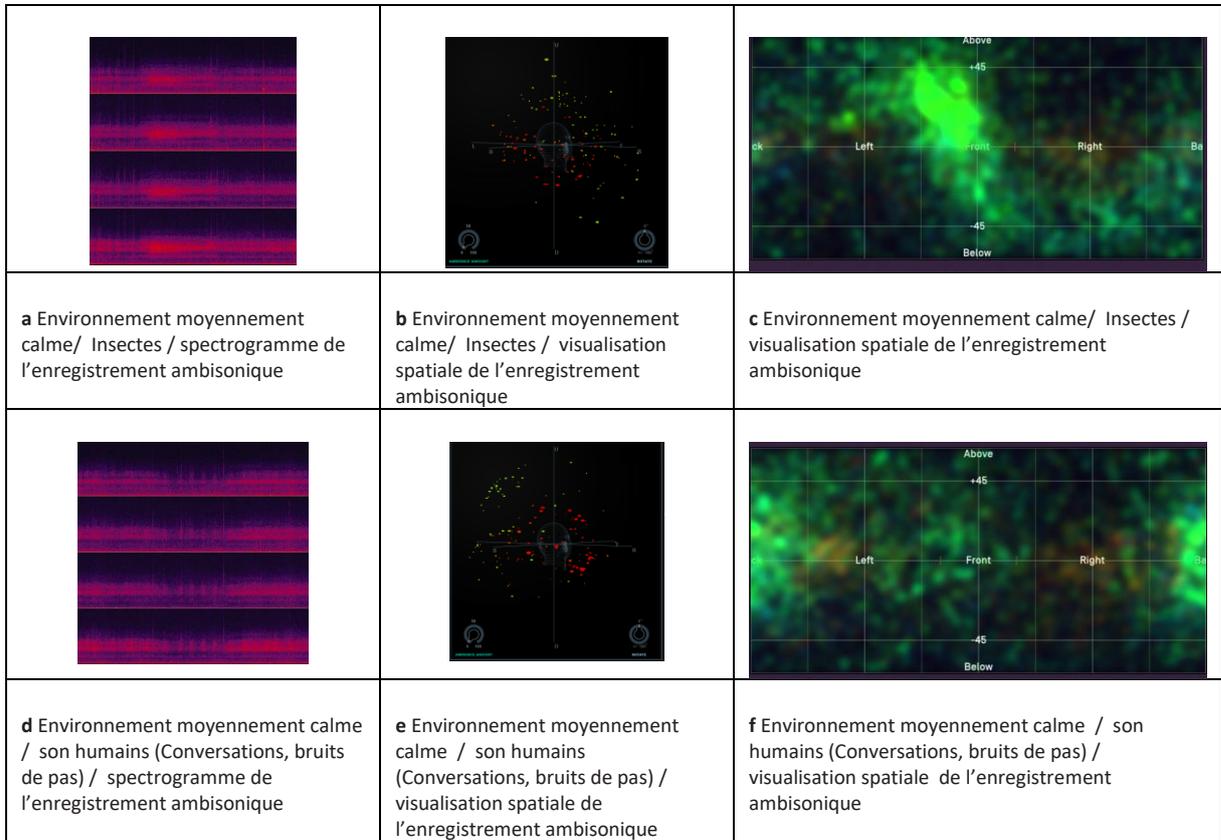


Figure III.90 Point 12 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : L'environnement acoustique est moyennement calme, plusieurs sonorités sont omniprésentes (conversations, bruits de pas). (Figure III-91 a,b,c,d,e,f).

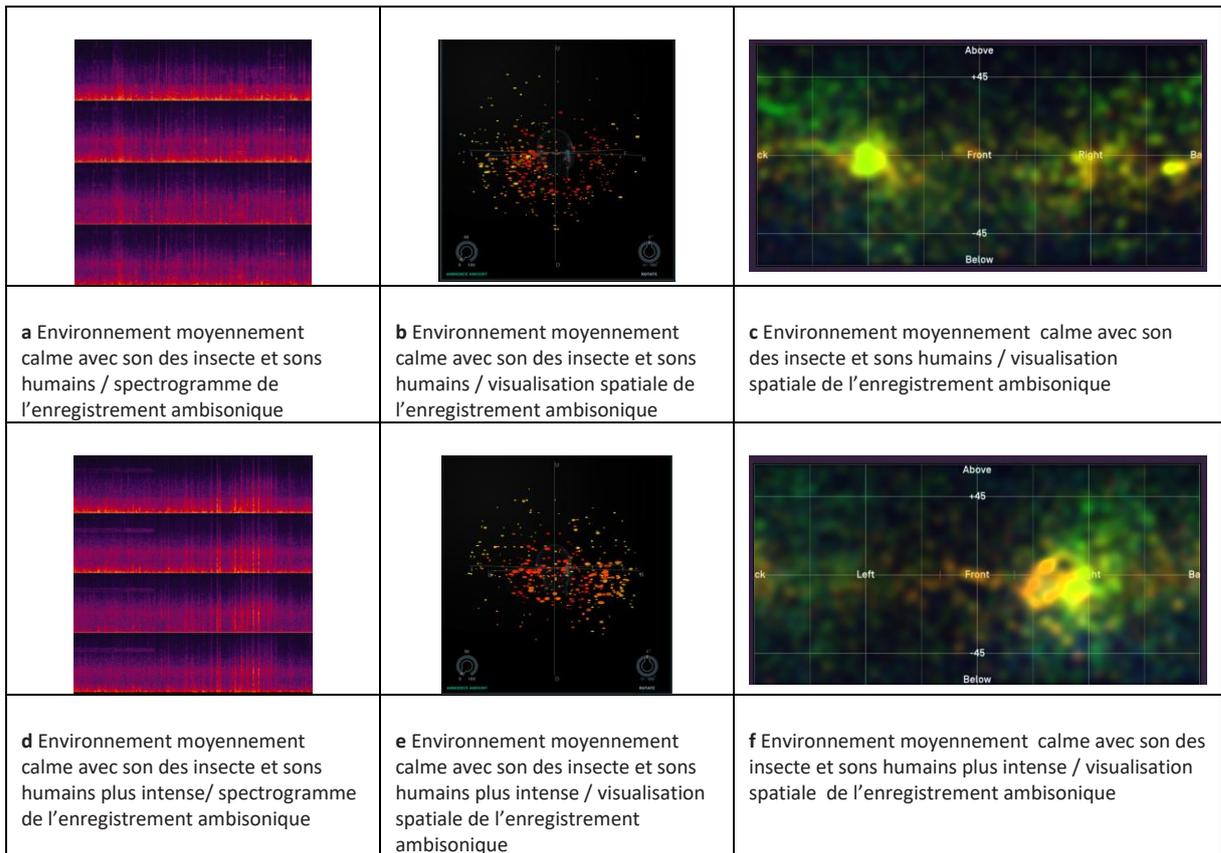


Figure III.91 Point 12 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.12.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivée sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figure III-91). Les différences de sensations énergétiques acoustiques sont bien traduites par les mesures de sonie (Figure III.92). Une légère différence le matin entre le Leq qui présente le milieu comme étant bruyant. Les bruits aigus des insectes et des oiseaux au milieu de la journée et le matin (détectés par le paramètre d'acuité) favorise la présentation du lieu tant que bruyant (McAdams et Bigand, 1994) (Figure III.93).

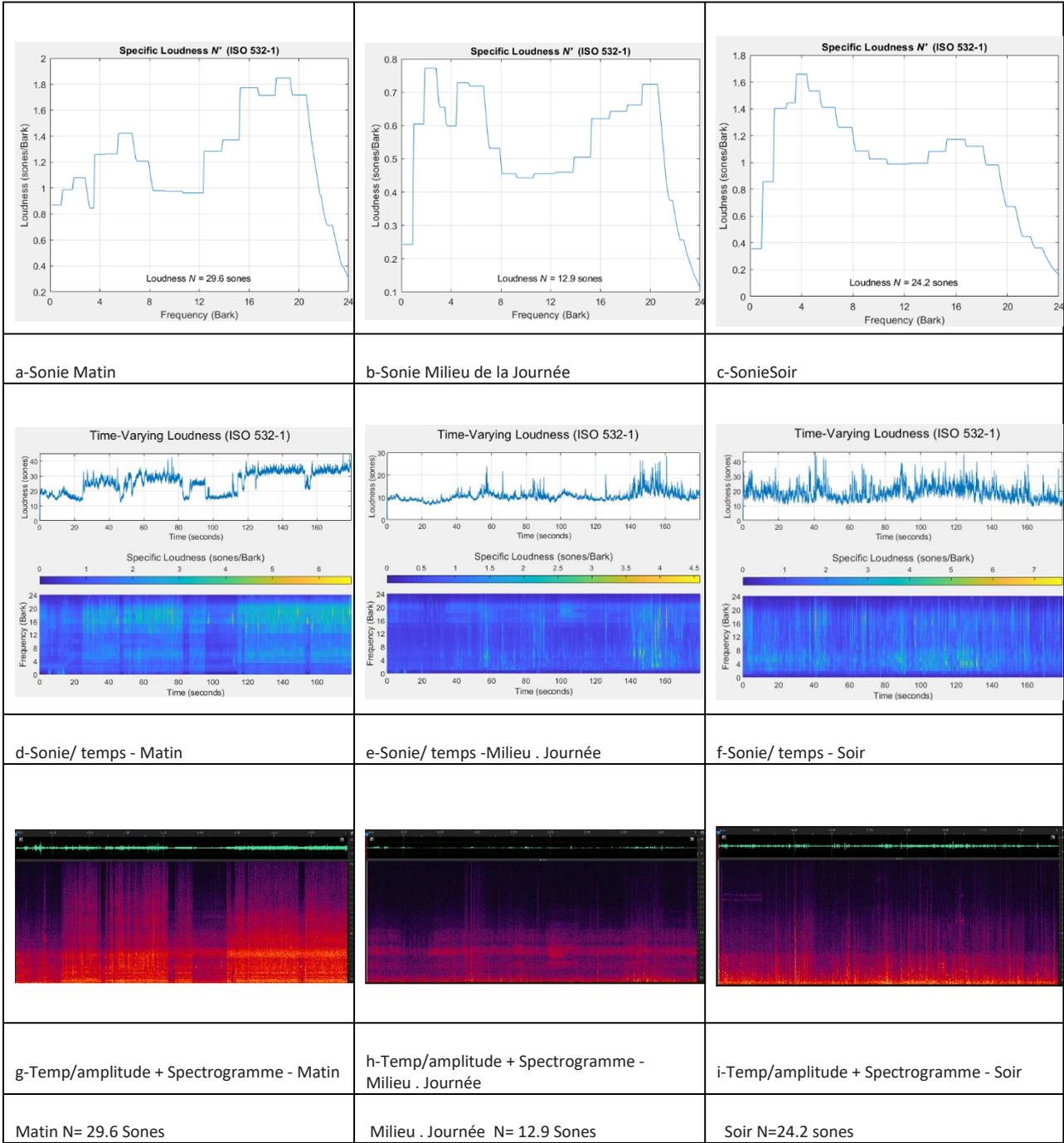


Figure III.92 Point 12 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

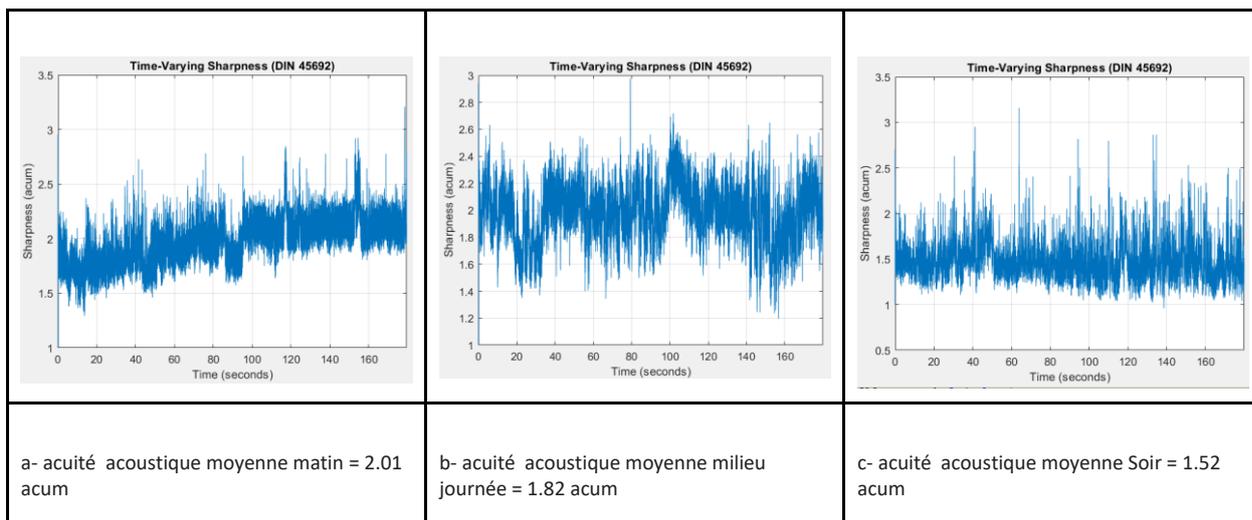
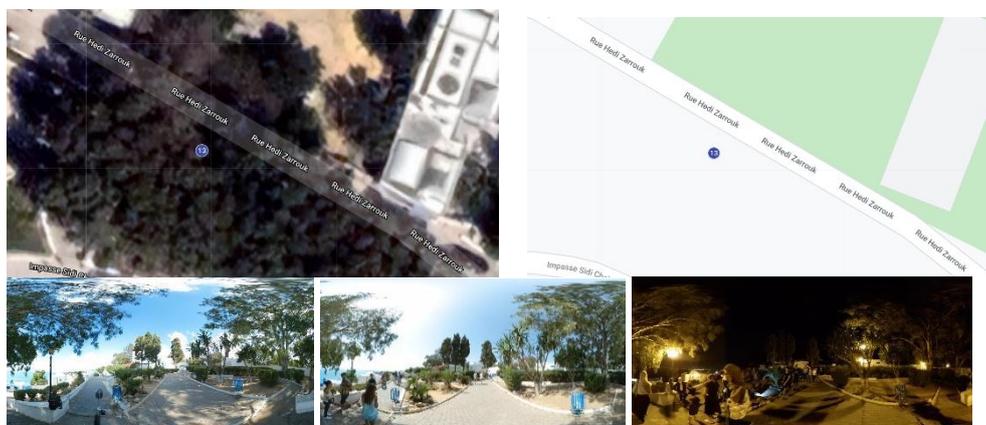


Figure III.93 Point 12 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir

III.2.13 Point13 - Aux alentours du Café des Délices position 2

III.2.13.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure est la continuité du point précédent mais sur un niveau plus haut. En haut des escaliers le point de mesure se trouve sur un mini jardin public, cet espace est ouvert mais présente à gauche et à droite un léger mur végétal (Figure III.94).



Matin – Milieu de la journée - Soirée

Figure III.94 Point 13 - Aux alentours du Café des Délices position 2

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où il représente la frontière entre la partie basse de notre parcours et le retour vers le niveau des autres points.

III.2.13.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin sont $Leq=68.1$ dbA, en milieu de journée $Leq=55.5$ dbA, et en fin de journée $Leq=59.4$ dbA. La Figure III-95 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez calme le reste de la journée.

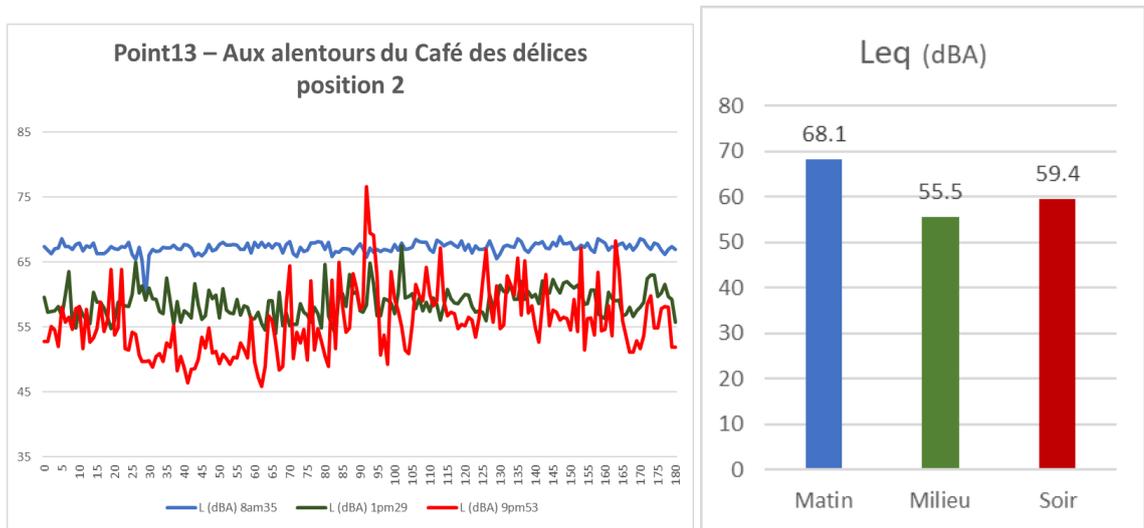


Figure III.95 Morphologie sonore du point de mesure n° 13

- Matin : L'environnement acoustique est moyennement bruyant, le milieu contient du vent et le son des jardiniers (Figure III-96 d,e,f).

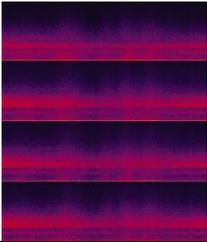
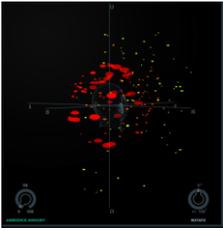
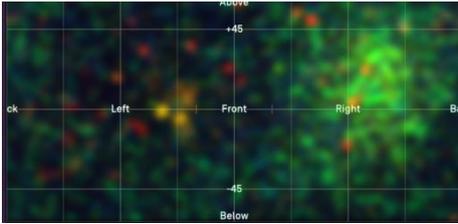
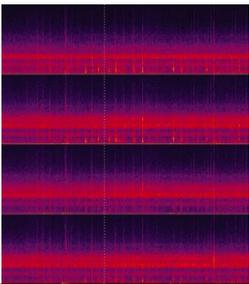
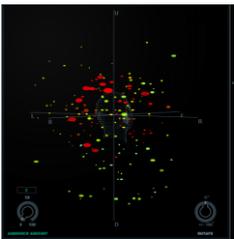
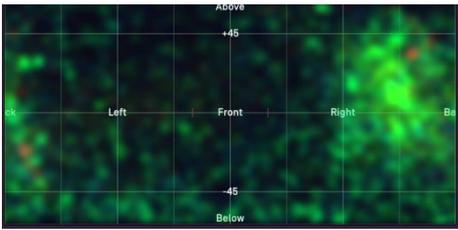
		
a Environnement moyennement bruyant / Jardinier/ insectes et oiseaux / vent / spectrogramme de l'enregistrement ambisonique	b Environnement moyennement bruyant / Jardinier/ insectes et oiseaux / vent / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique	c Environnement moyennement bruyant / Jardinier/ insectes et oiseaux / vent / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique
		
d Environnement moyennement bruyant / son des insecte et oiseaux / vent	e Environnement moyennement bruyant / son des insecte et oiseaux / vent / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique	f Environnement moyennement bruyant avec son des insecte et oiseaux / vent / visualisation spatiale de l'enregistrement ambisonique

Figure III.96 Point 13 Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est calme, notons la présence de sons anthroponiques : humains (conversations, bruits de pas) et géophonique (vent sur la végétation) (Figure III-97 b,c) représenté par la couleur rouge et le son des insectes en continu.

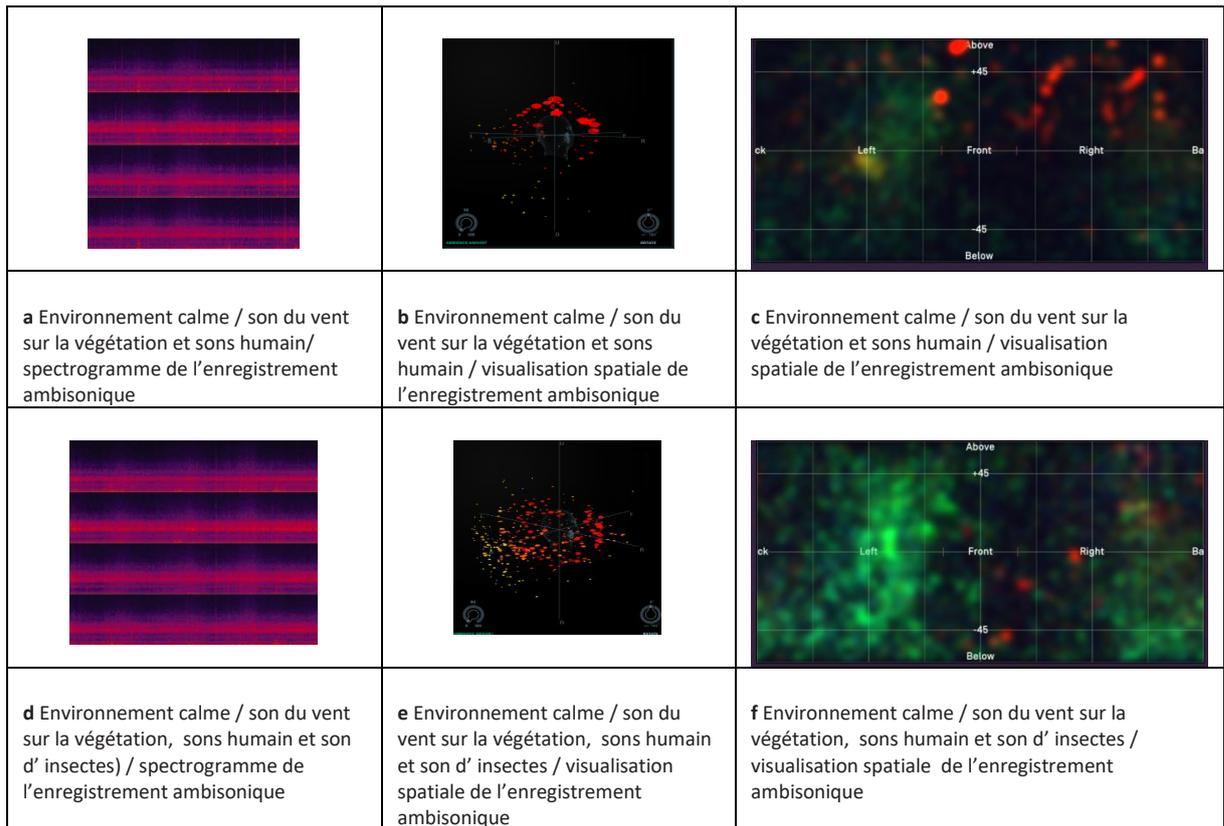


Figure III.97 Point 13 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir: Le soir, l'environnement acoustique est calme, avec essentiellement des sonorités humaines (pas, rire, disputes) (Figure III-98 a,b,c,d).

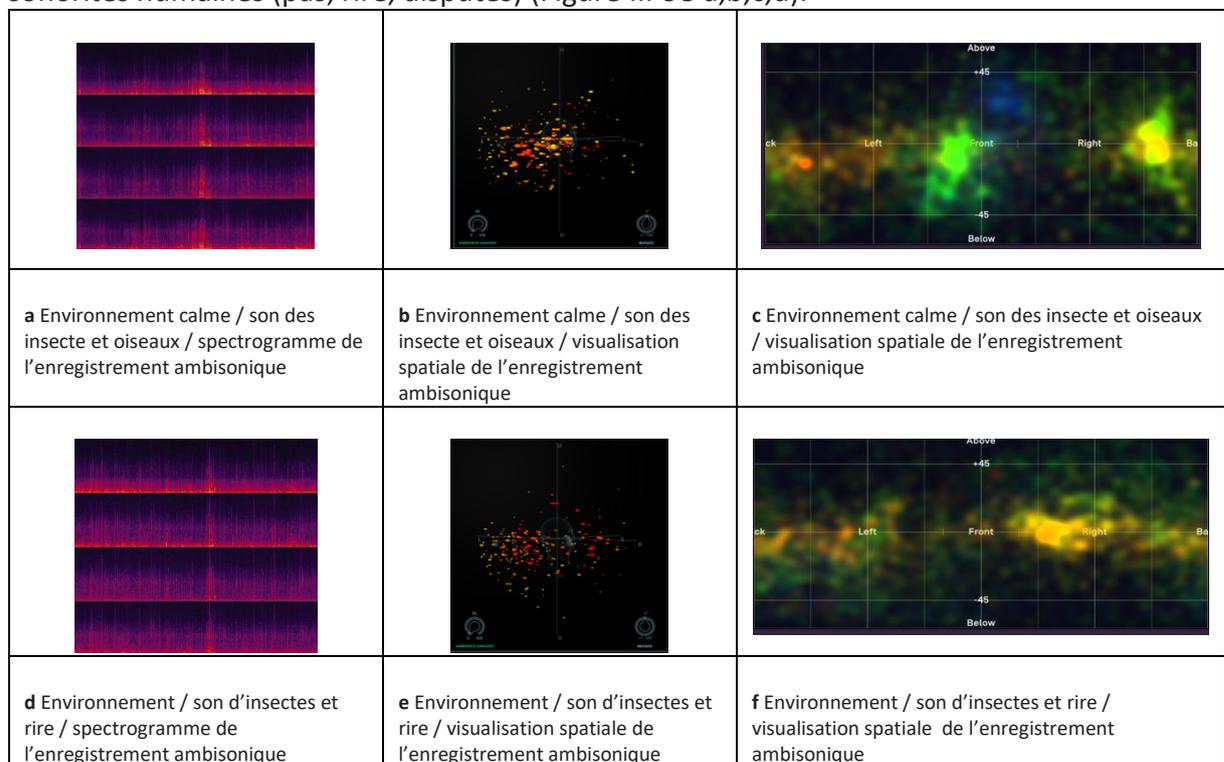


Figure III.98 Point 13 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.13.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figure III-99). On note cependant une légère différence le matin causé par des sonorités émises par les jardiniers de la municipalité. Une deuxième particularité le matin et le milieu de journée, l'environnement sonore est relativement aigu dû au son des insectes, ce qui a été prouvé par l'acuité (Figure III.100).

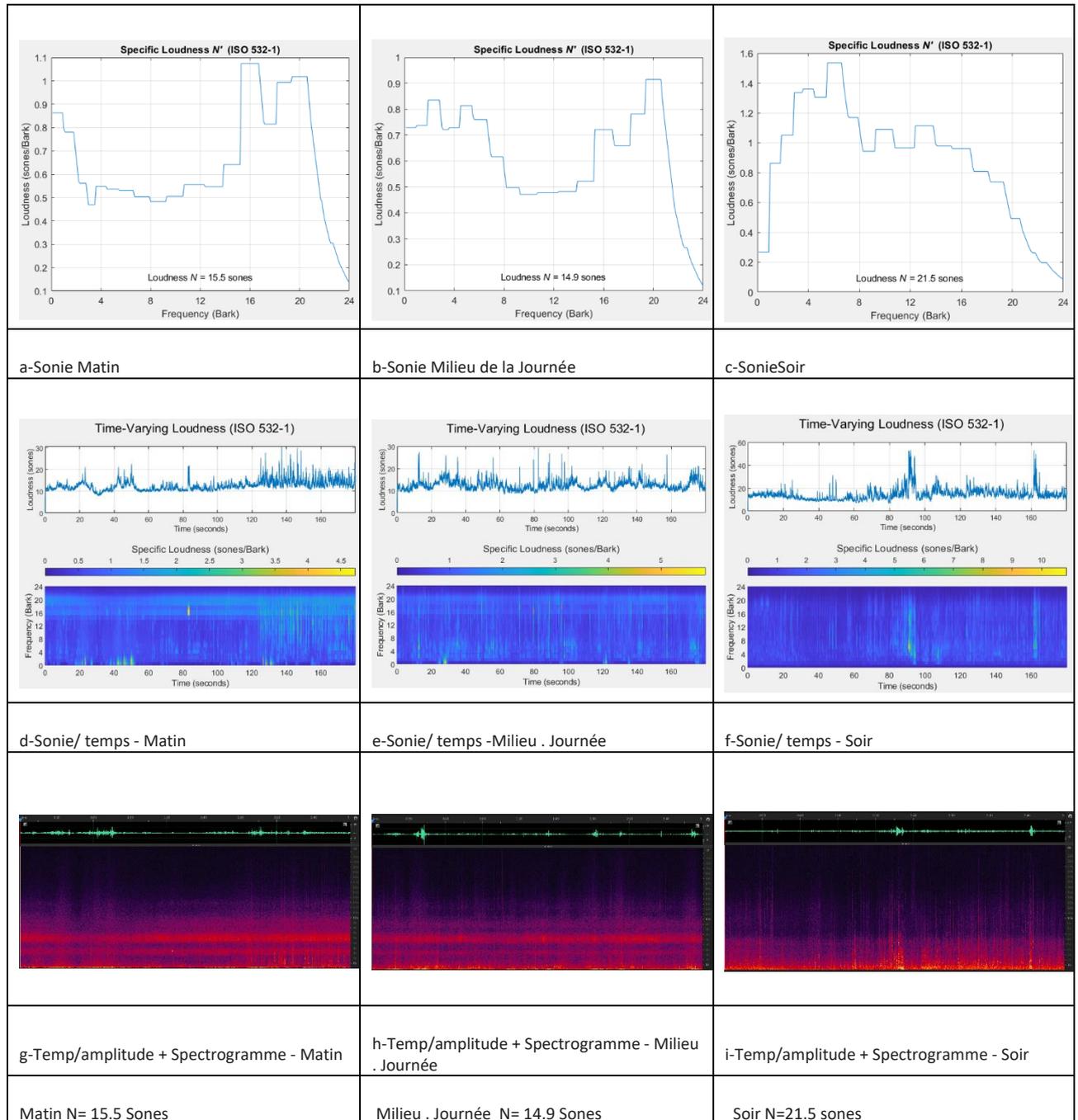


Figure III.99 Point 13 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

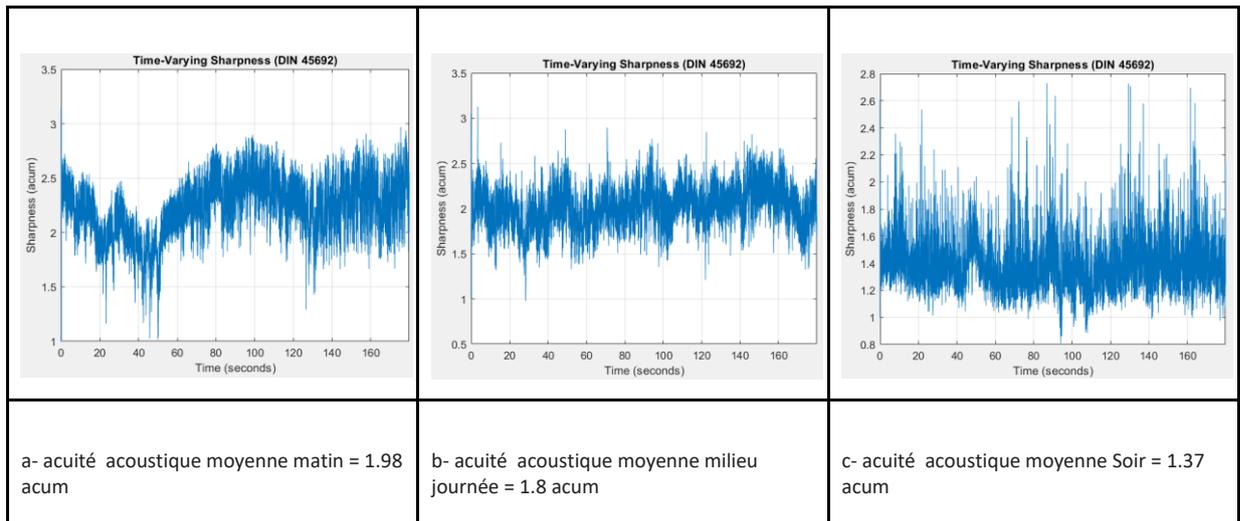
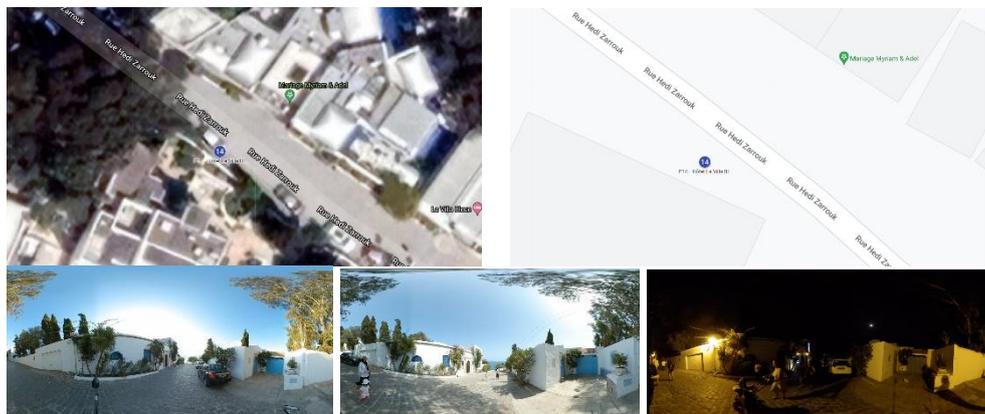


Figure III.100 Point 13 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir

III.2.14 Point 14 - Hôtel La Villa Bleue

III.2.14.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure se situe à la frontière entre la falaise et à proximité d'un hôtel et d'habitations, son caractère est différent des autres car il est constitué de plusieurs éléments acoustiquement différents (hôtel, début de la falaise, végétations) (Figure III.101).



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.101 Point 14 – Hôtel La Villa Bleue

III.2.14.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=39.3$ dbA, en milieu de journée $Leq=53.1$ dbA, et en fin de journée $Leq=54.5$ dbA.

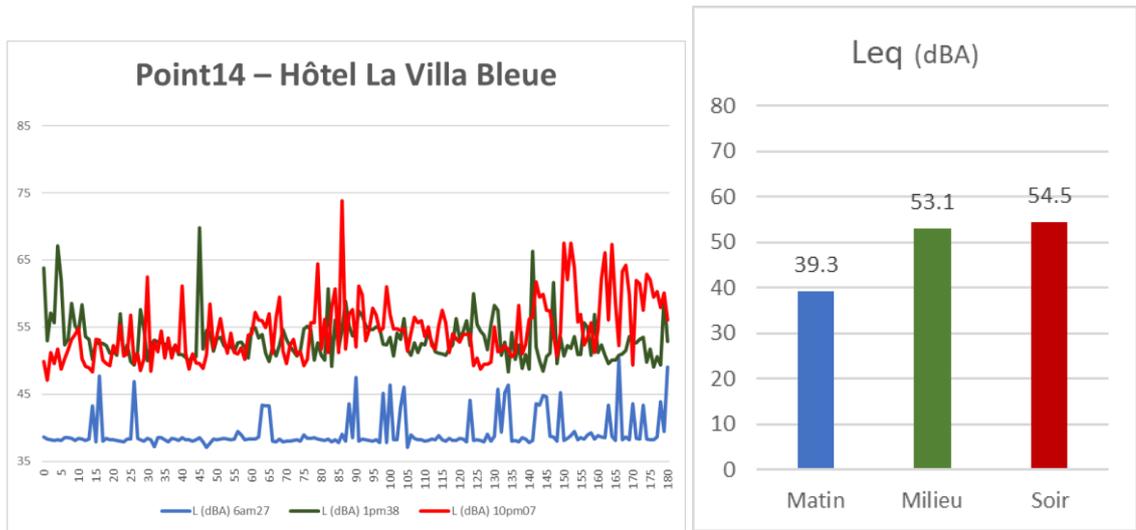


Figure III.102 Point 14 - Morphologie sonore du point de mesure n° 14

La Figure III-102 montre que l’environnement sonore de ce lieu est très calme le matin et assez calme le reste de la journée.

- Matin : L’environnement acoustique est très calme, les accidents sonores sont inexistant à l'exception d'un léger son de vent (géophonique) et celui provenant des oiseaux (biophonique)(Figure III-103).

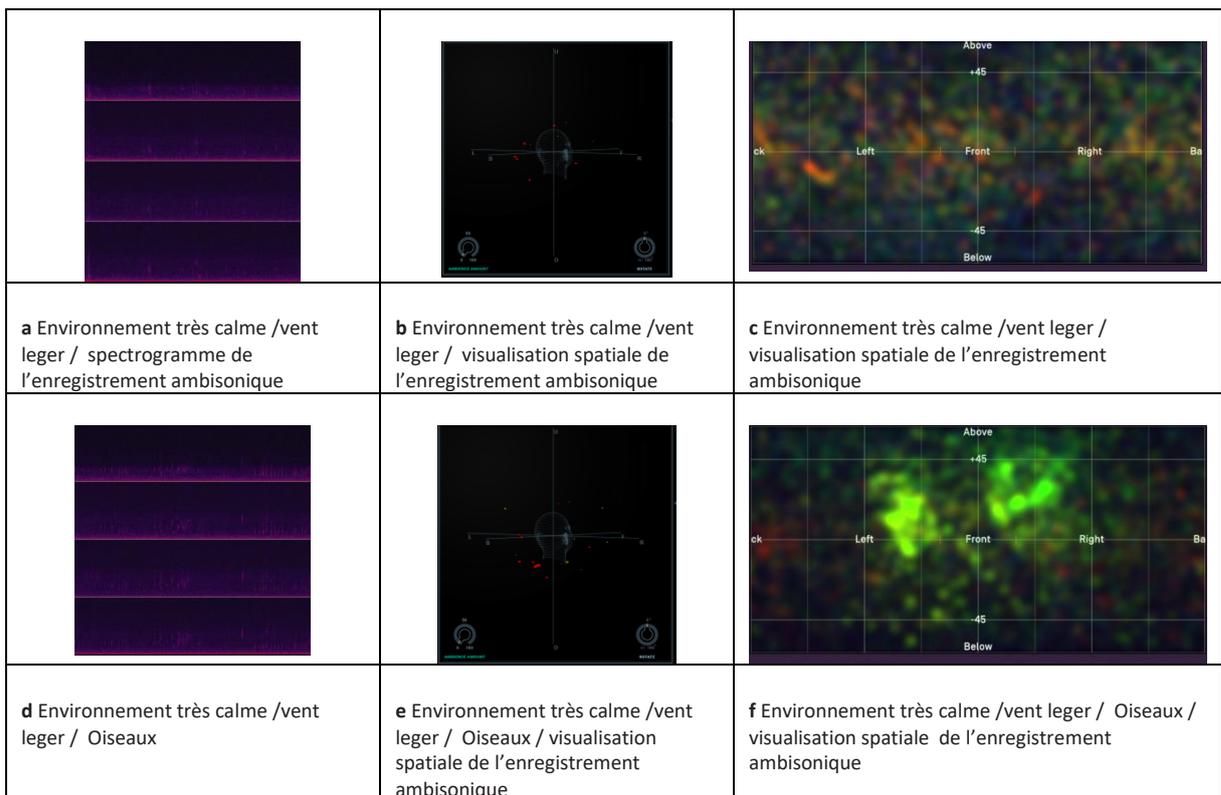


Figure III.103 Point 14 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique- matin

- Milieu de la journée : L’environnement acoustique est très calme, notons la présence de sons anthroponiques : humains (pas, discussions, cris d’enfants : touristes algériens) (Figure III-104 a,b,c), géophonique : son du vent sur la végétation et biophonique : son

d'insectes (détecté précédemment dans plusieurs points comprenant de la végétation) (Figure III-104 d,e,f).

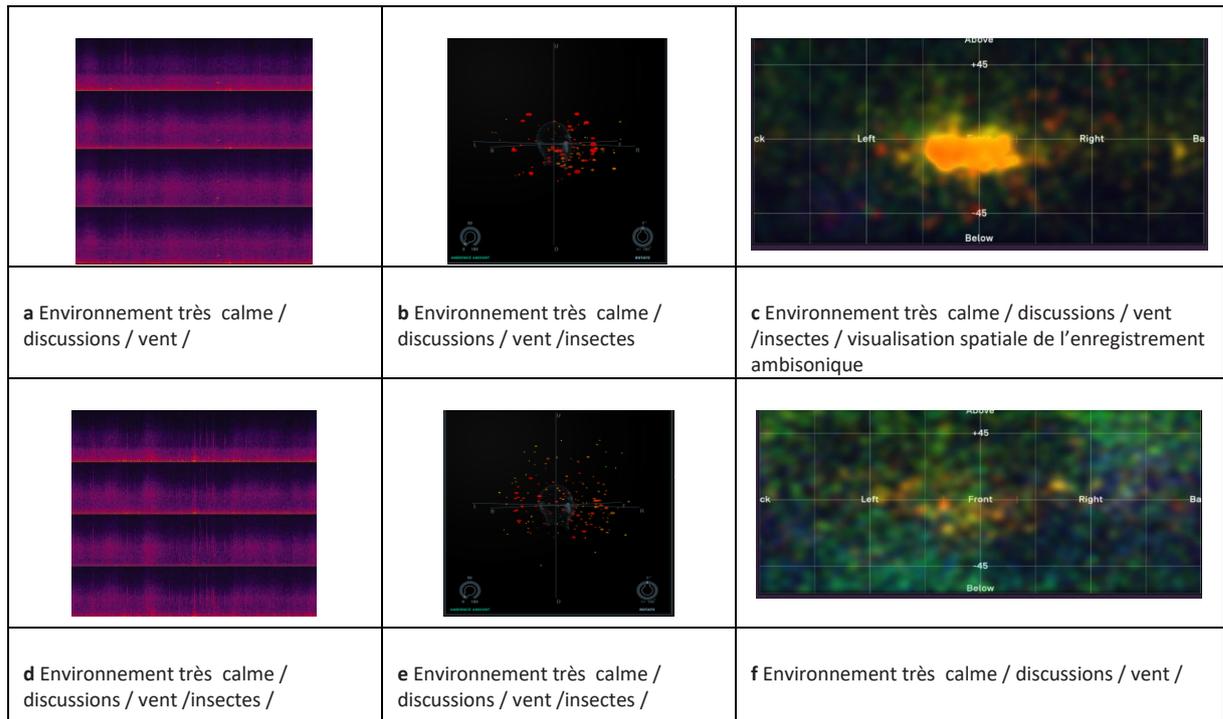


Figure III.104 Point 14 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : L'environnement acoustique est calme, on relève le son de criquets et le son des oiseaux ainsi que des passants (Figure III-105).

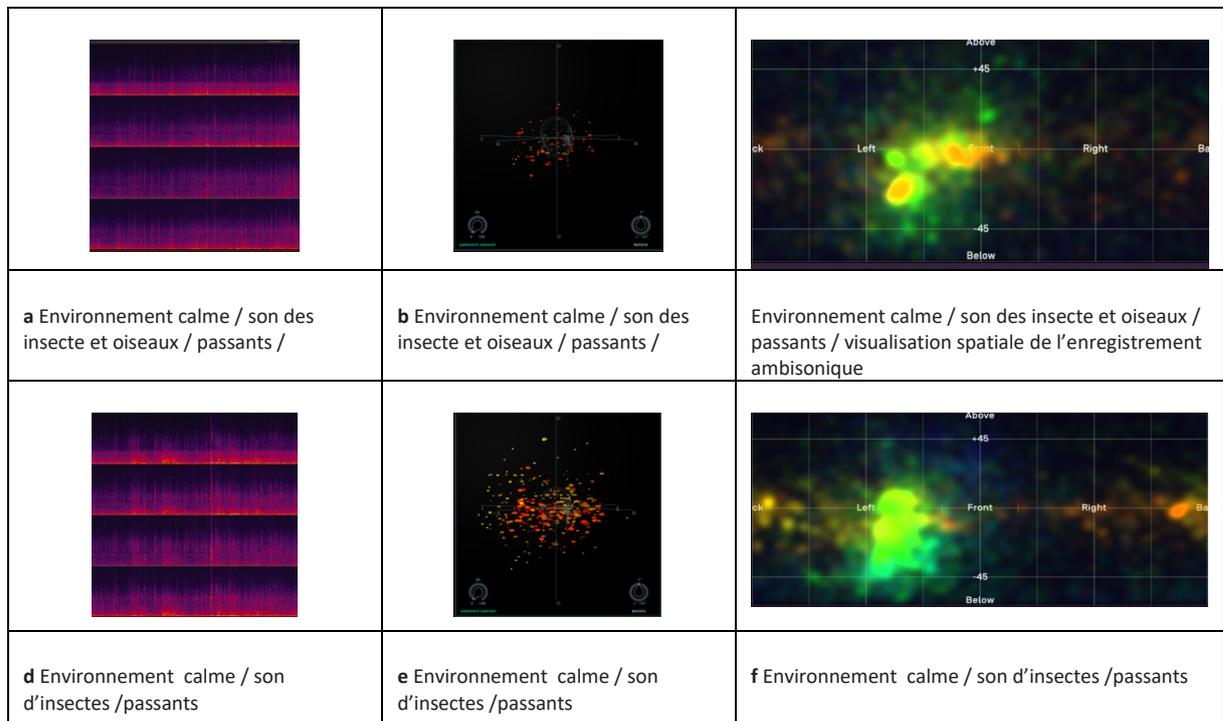


Figure III.105 Point 14 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.14.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figure III.106), les mesures d'acuités, nous montre un environnement aigü en milieu de la journée (Figure III.107).

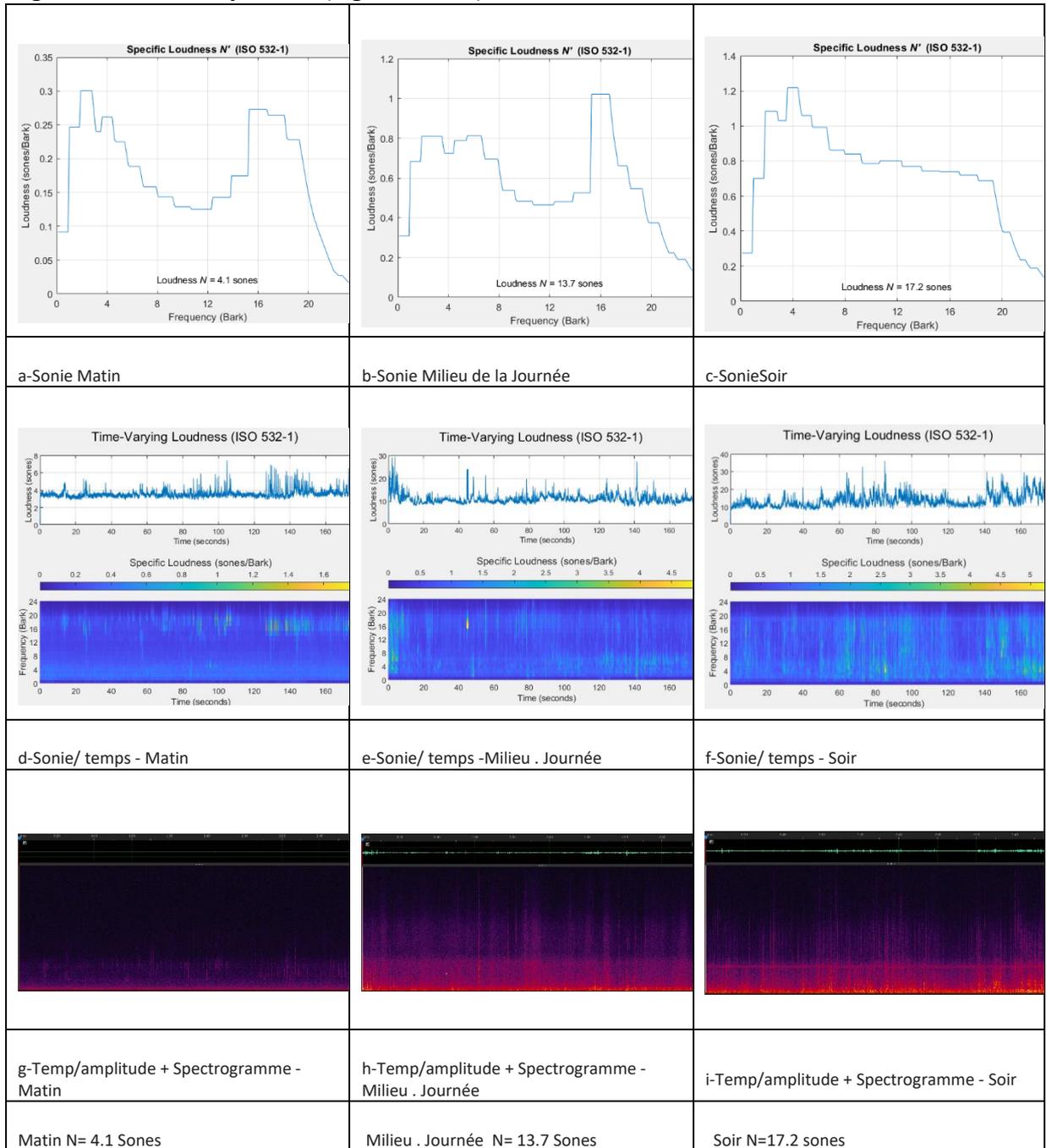


Figure III.106 Point 14 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

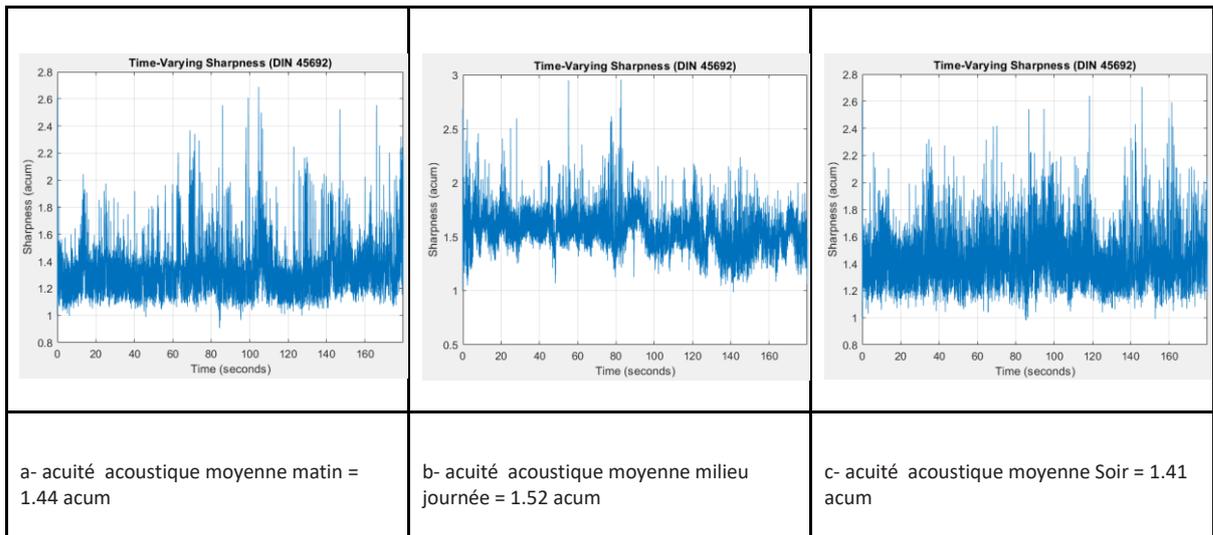
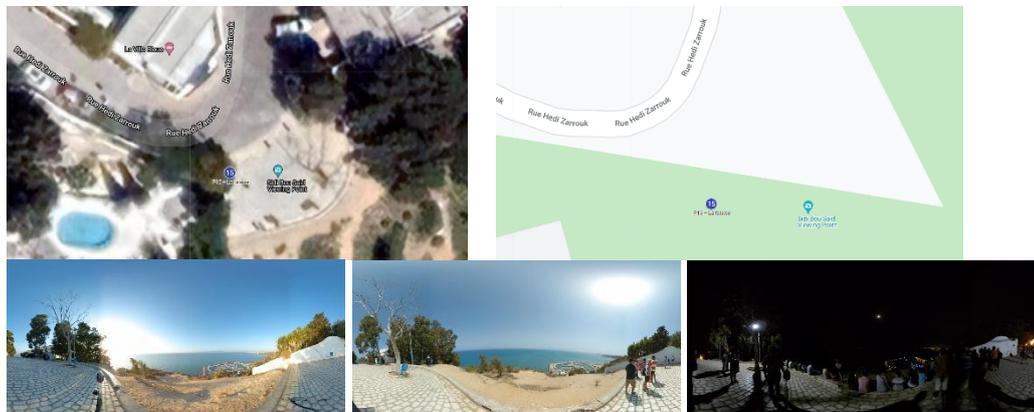


Figure III.107 Point 14 - Acuité moyenne Matin-Milieu de la journée - Soir

III.2.15 Point 15 - La Falaise

III.2.15.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure représente le dernier point que les visiteurs de Sidi Bou Saïd atteignent pendant leur parcours avant de rebrousser chemin. On peut apercevoir à partir de ce point et au loin le golfe de Tunis et le port de plaisance de de Sidi Bou Saïd vers le bas (Figure III.108).



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.108 Point 15 - La Falaise

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où l'environnement nocturne du lieu est différent du reste de la journée.

III.2.15.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu : le matin $Leq=43.1$ dbA, en milieu de journée $Leq=52.3$ dbA, et en fin de journée $Leq=77.7$ dbA.

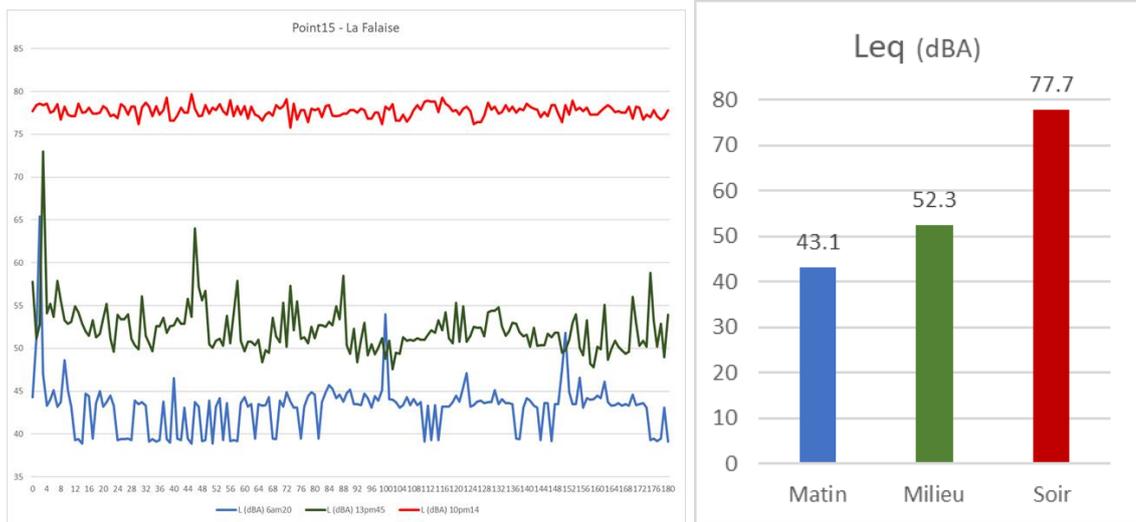


Figure III.109 Morphologie sonore du point de mesure n° 15

La Figure III-109 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez représentatif, notamment la nuit dans la mesure où le nombre de visiteurs est au maximum.

- Matin : L'environnement acoustique est très calme, avec une absence d'accidents sonore. Ce point est loin des commerces mais proche des activités en relation avec l'hôtel qui se trouve en face de la falaise, le matin les seuls bruits sont géophonique : vent léger et biophonique : les oiseaux (Figure III-110).

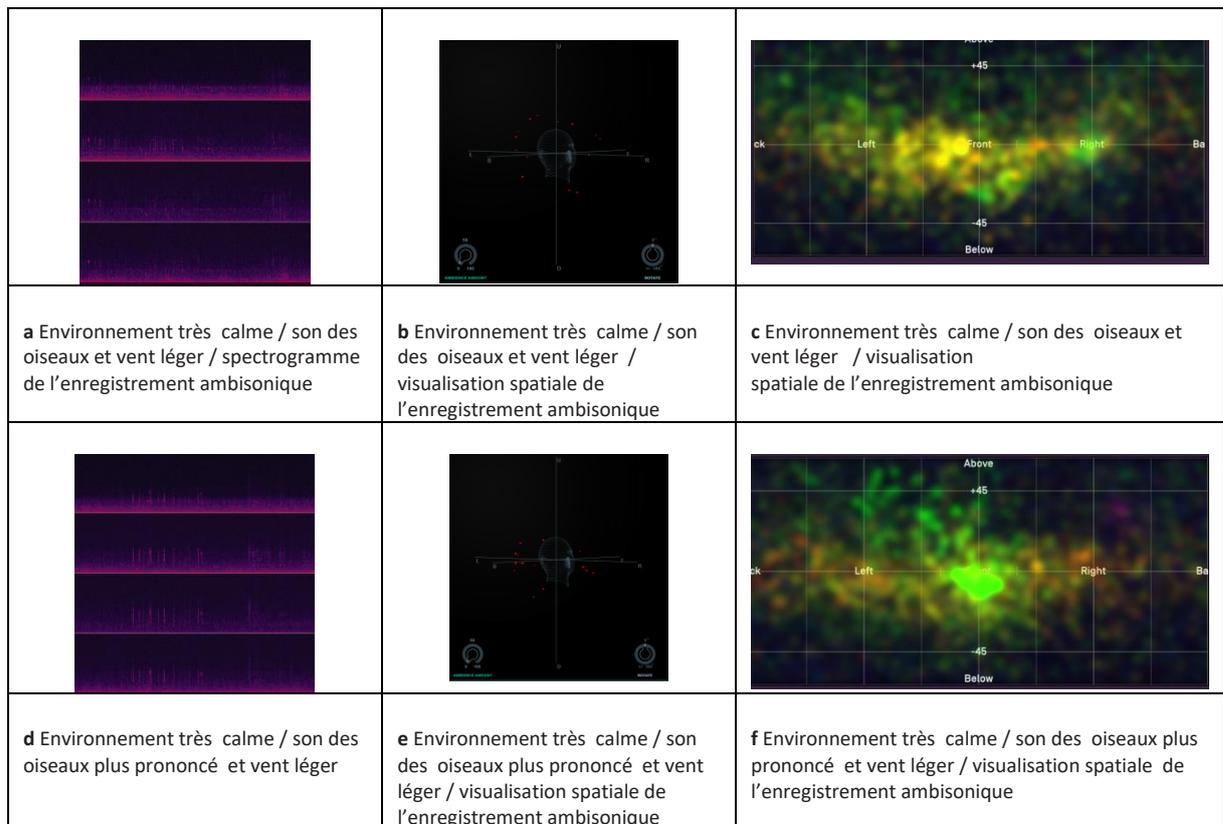


Figure III.110 Point 15 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique- matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est calme, avec cependant plusieurs accidents sonore liés à l'arrivée de personnes vers la Falaise en émettant des bruits divers, un vent léger et les oiseaux et de loin nous avons détecté les sons de vedettes et de jet skis (Figure III-111).

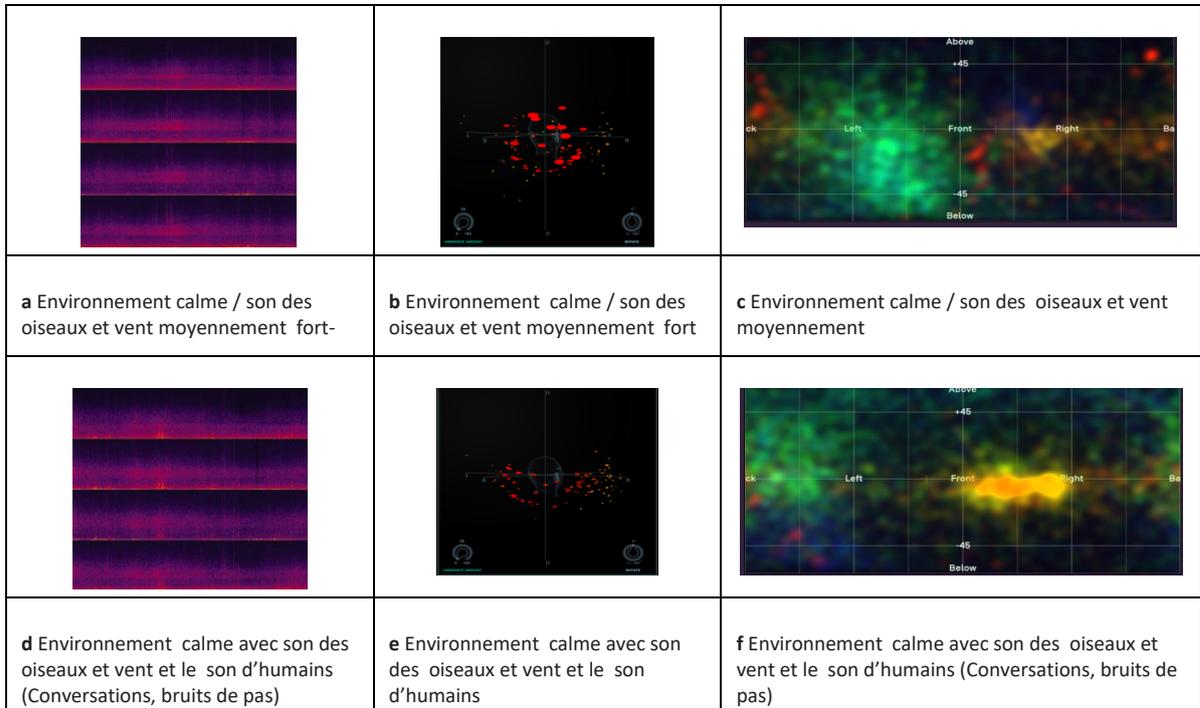


Figure III.111 Point 15 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : L'environnement acoustique est très bruyant comparé aux précédentes périodes. Plusieurs sonorités sont omniprésentes (conversations, bruits de pas, passage de motos et voiture, animation d'hôtel (Figure III-112).

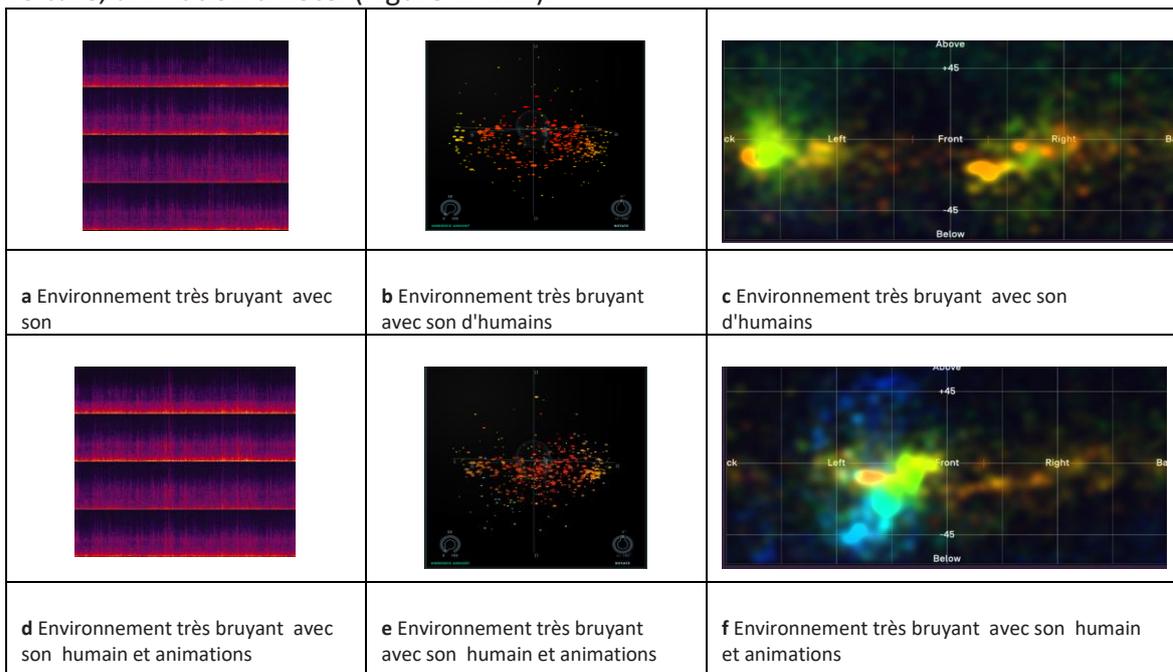


Figure III.112 Point 15 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.15.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues, sauf pour le soir avec une différence de moyennement calme vers bruyant (Figure III-113). L'environnement n'a pas de caractère aigu (Figure III-114).

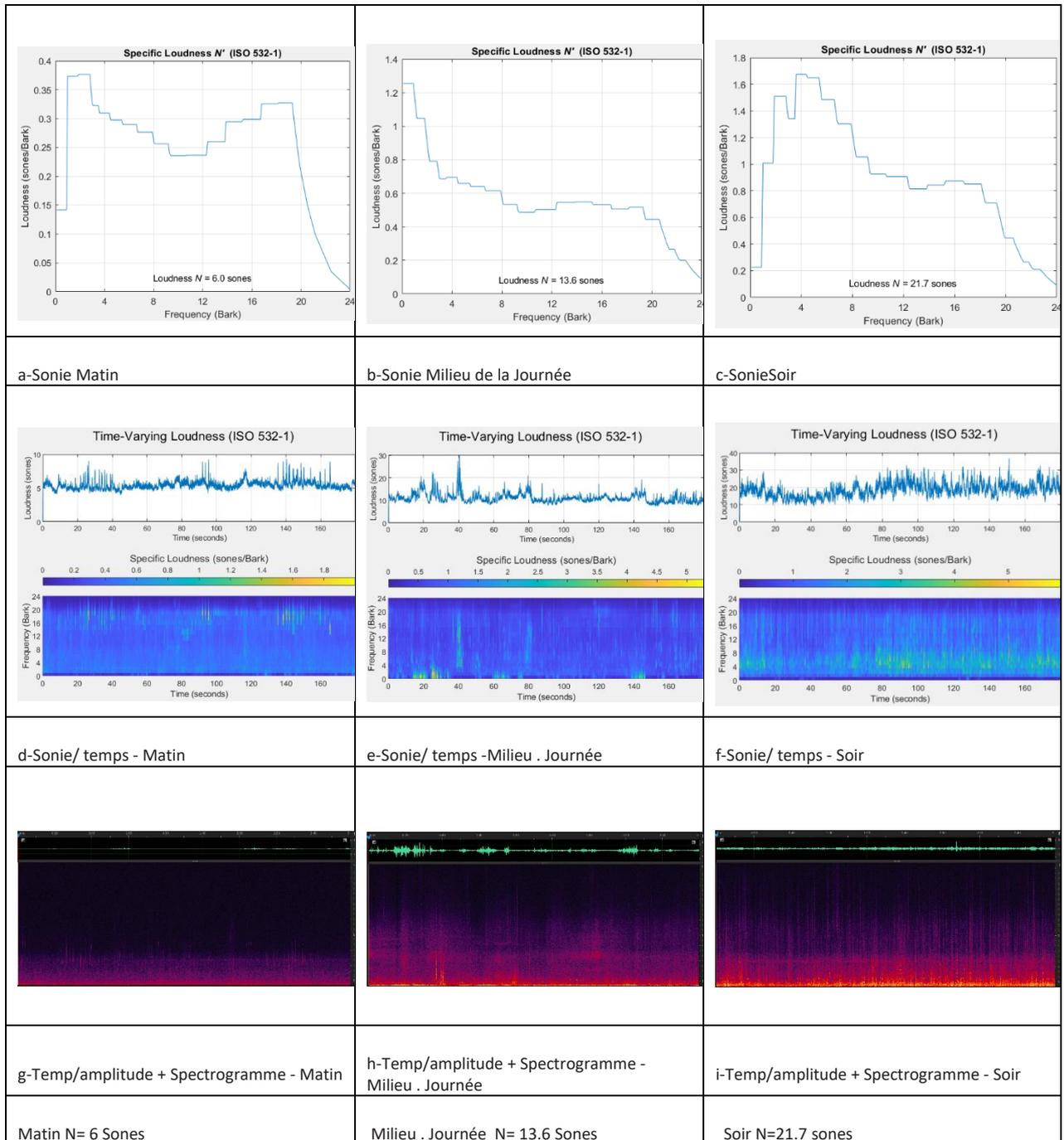


Figure III.113 Point 15 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

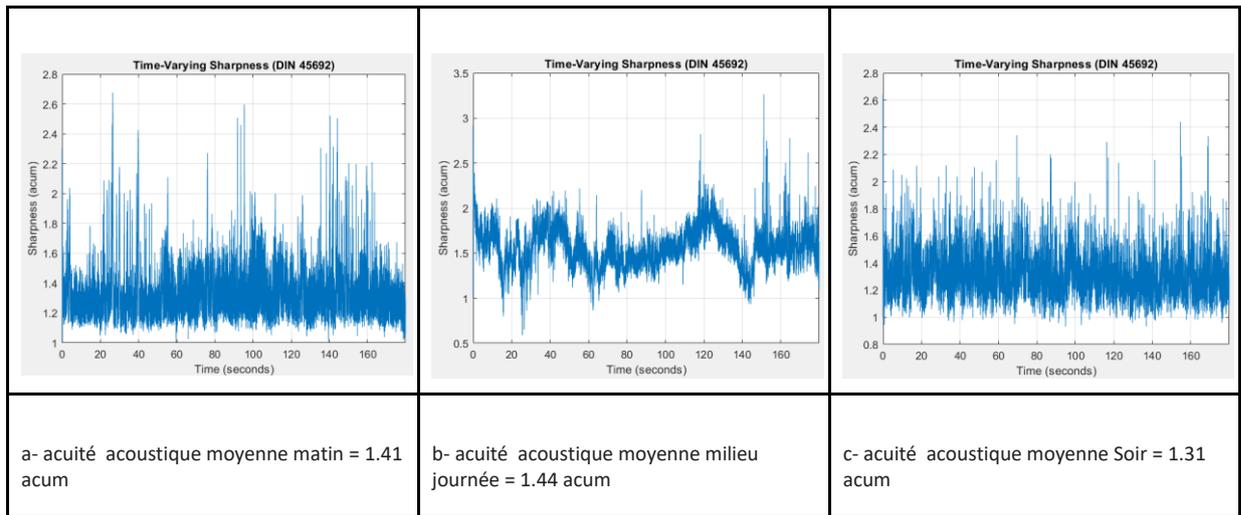
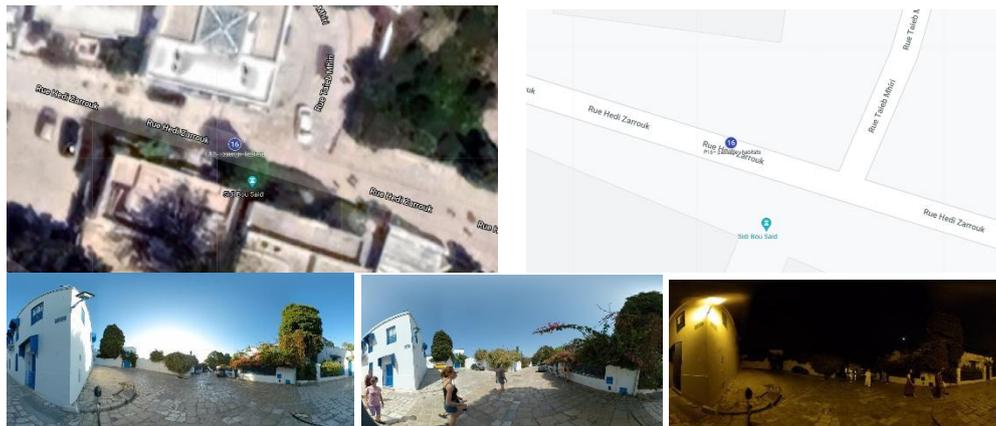


Figure III.114 Point 15 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir

III.2.16 Point 16 - Passage - habitats

III.2.16.a Caractéristique paysagère et patrimoniale du lieu

Ce point de mesure est différent des autres car il n'est constitué que d'habitations.



Matin – Milieu de la journée - Soirée
Figure III.115 Point 16 - Passage - habitats

Ce lieu est très intéressant dans la mesure où il ne comprend pas de sources d'attraction ou d'activités commerciales, c'est juste un lieu de passage (Figure III.115), on voulait comparer ce point aux autres qui ont des fonctionnalités.

III.2.16.b Mesures expérimentales et restitution

Les niveaux sonores moyens de ce lieu pour le matin, $Leq=39.2$ dbA, en milieu de journée $Leq=57$ dbA, et en fin de journée $Leq=52.4$ dbA.

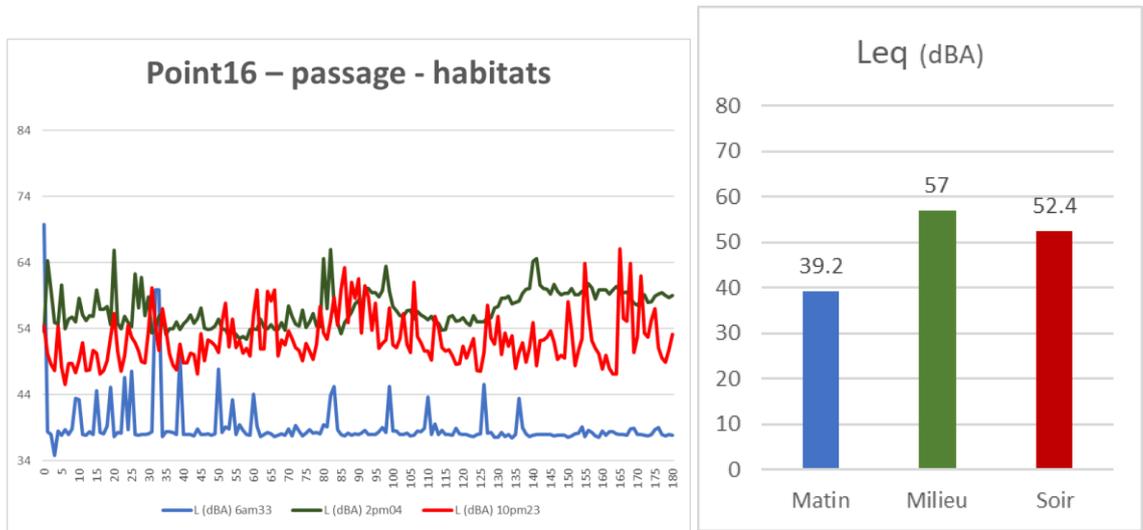


Figure III.116 Morphologie sonore du point de mesure n° 16

La Figure III-116 montre que l'environnement sonore de ce lieu est assez calme, surtout le matin.

- Matin : L'environnement acoustique est très calme, notons la non présence d'accidents sonores sauf à caractère biophonique et géophonique : insectes, vent et les oiseaux qui ont deux genres d'émissions par rapport à la distance, la première émission est distante, illustré dans la figure III-117-c par un nuage de couleur jaune-vert et une autre proche illustrée dans la figure III-117-f par un nuage vert intense.

<p>a Environnement très calme / son d'oiseaux loins et son du vent– et parfois des conversations</p>	<p>b Environnement très calme / son d'oiseaux loins et son du vent– et parfois des conversations</p>	<p>c Environnement très calme / son d'oiseaux loins et son du vent– et parfois des conversations</p>
<p>d Environnement très calme / son d'oiseaux loins + près et son du ven</p>	<p>e Environnement très calme / son d'oiseaux loins + près et son du vent</p>	<p>f Environnement très calme / son d'oiseaux loins + près et son du vent</p>

Figure III.117 Point 16 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique - Matin

- Milieu de la journée : L'environnement acoustique est moyennement calme, par rapport au matin, des sonorités apparaissent comme le flux de personnes de passage, les insectes avec une sonorité plus intense (Figure III-118 a,b,c), le passage de voitures et le vent plus fort (Figure III-118 d,e,f)

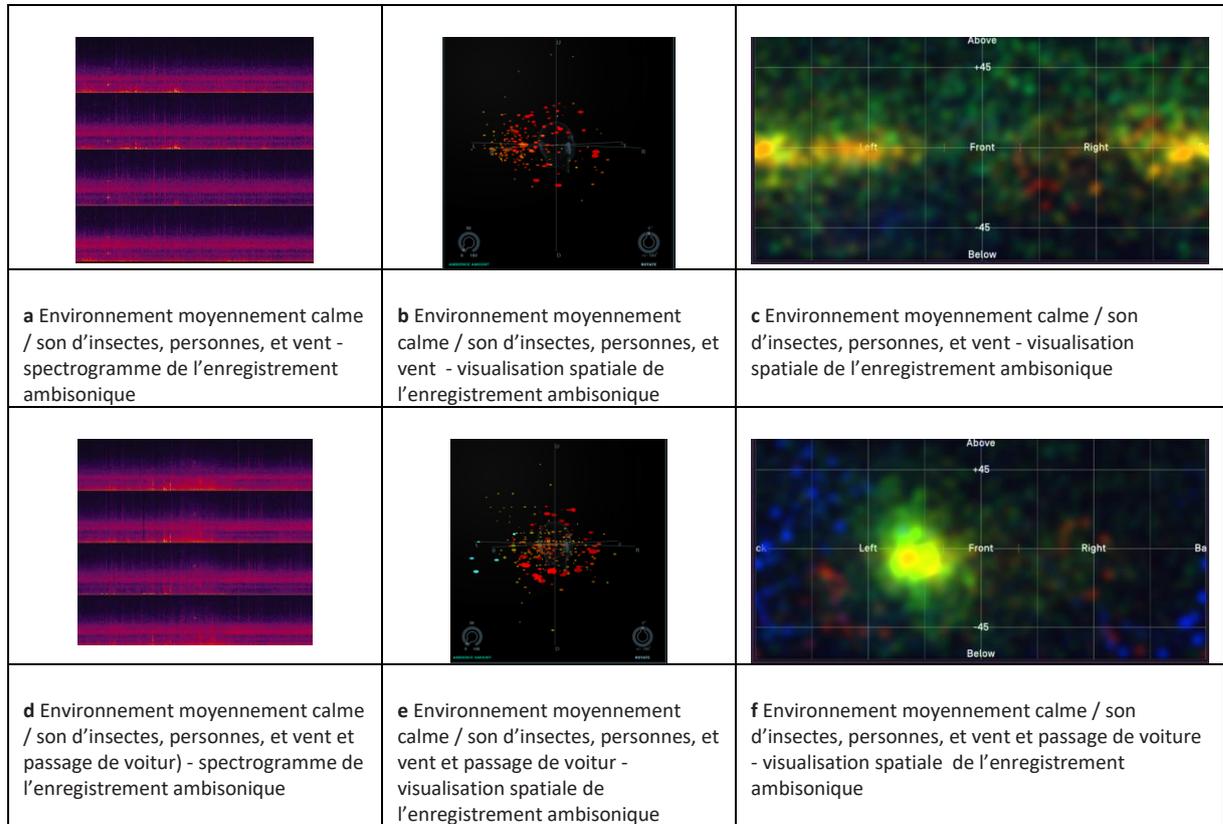


Figure III.118 Point 16 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Milieu de la journée

- Soir : Le soir, l'environnement acoustique est moyennement calme et représente la même configuration du milieu de la journée à la seule différence la disparition du son des insectes (Figure III-Point 16.5).

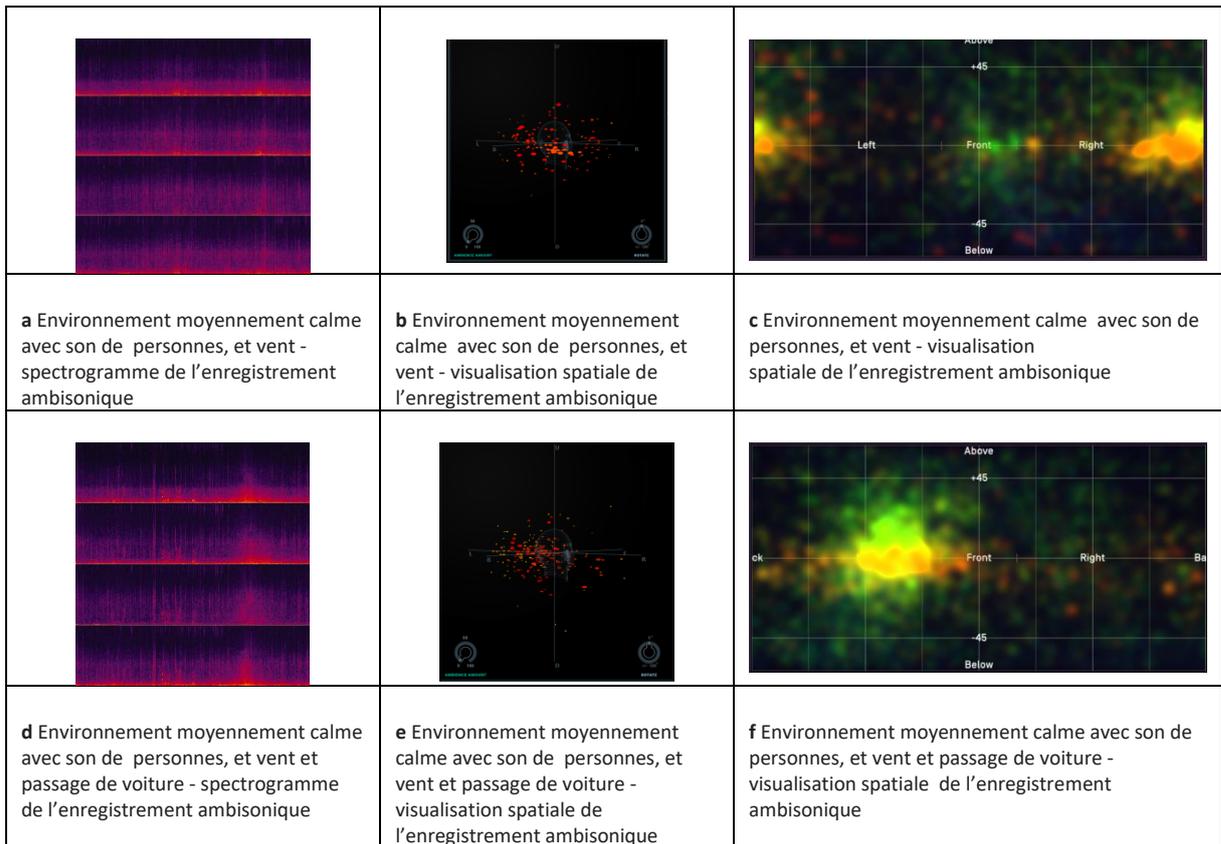


Figure III.119 Point 16 - Spatialisation psychoacoustique et ambisonique – Soir

III.2.16.c Analyse des indicateurs psychoacoustiques

Les mesures psychoacoustiques de sonie dérivées sont en adéquation avec les valeurs acoustiques obtenues (Figure III-120). L'environnement sonore le matin et en milieu de journée est relativement aigu (Figure III-121).

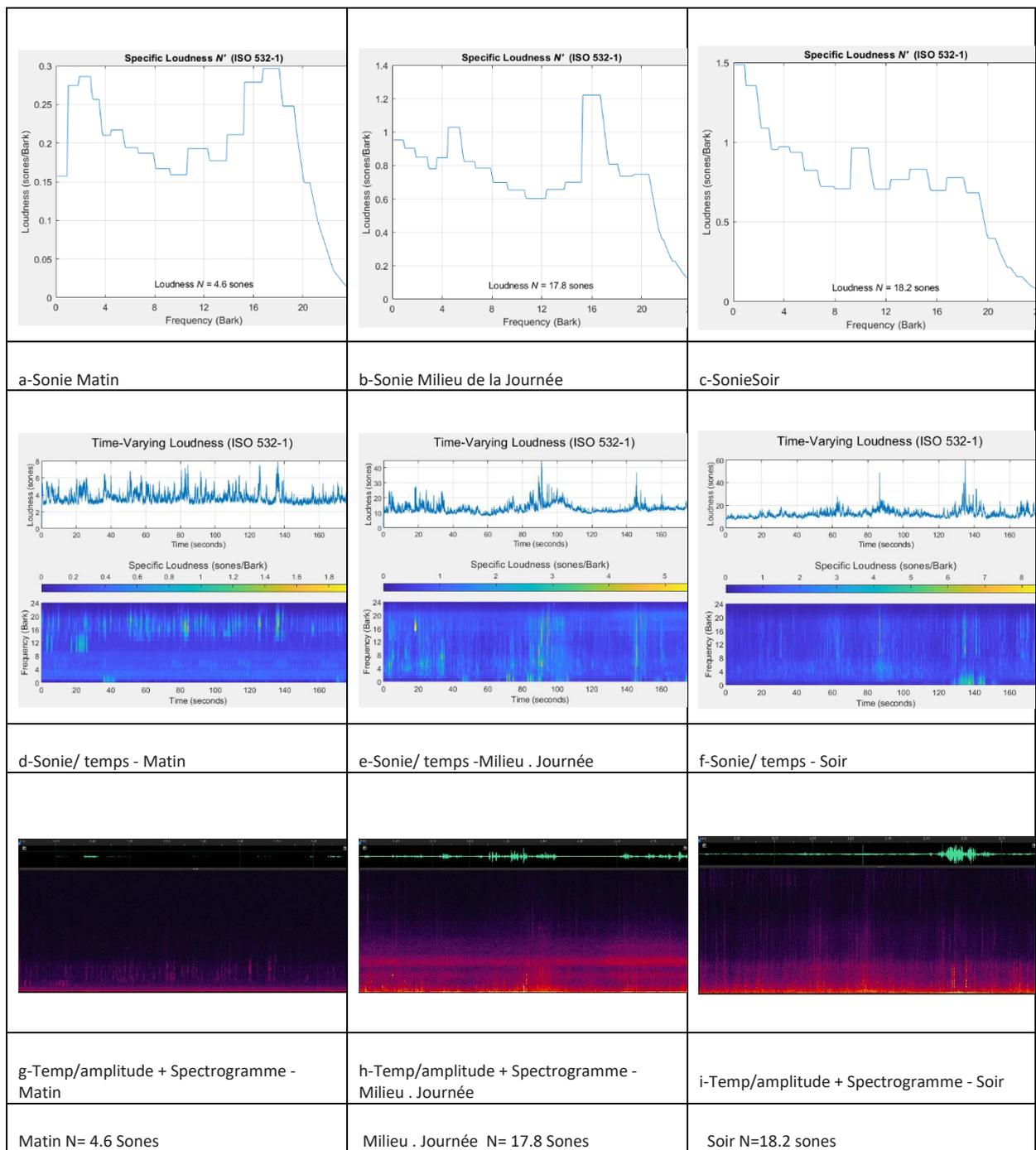


Figure III.120 Point 16 - Variation de la sonie à travers le temps en la comparant avec les mesures acoustiques

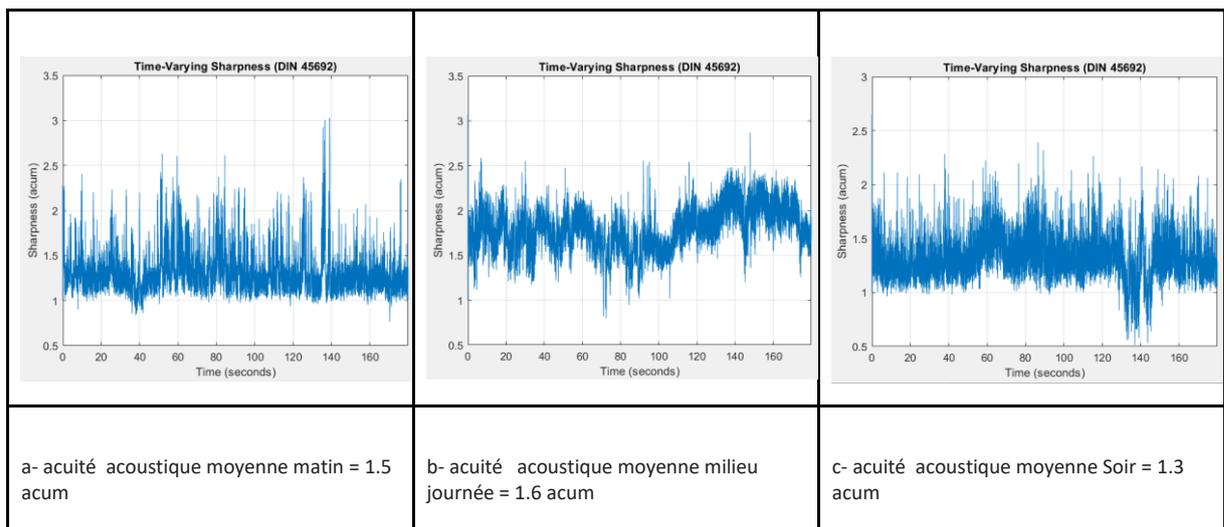
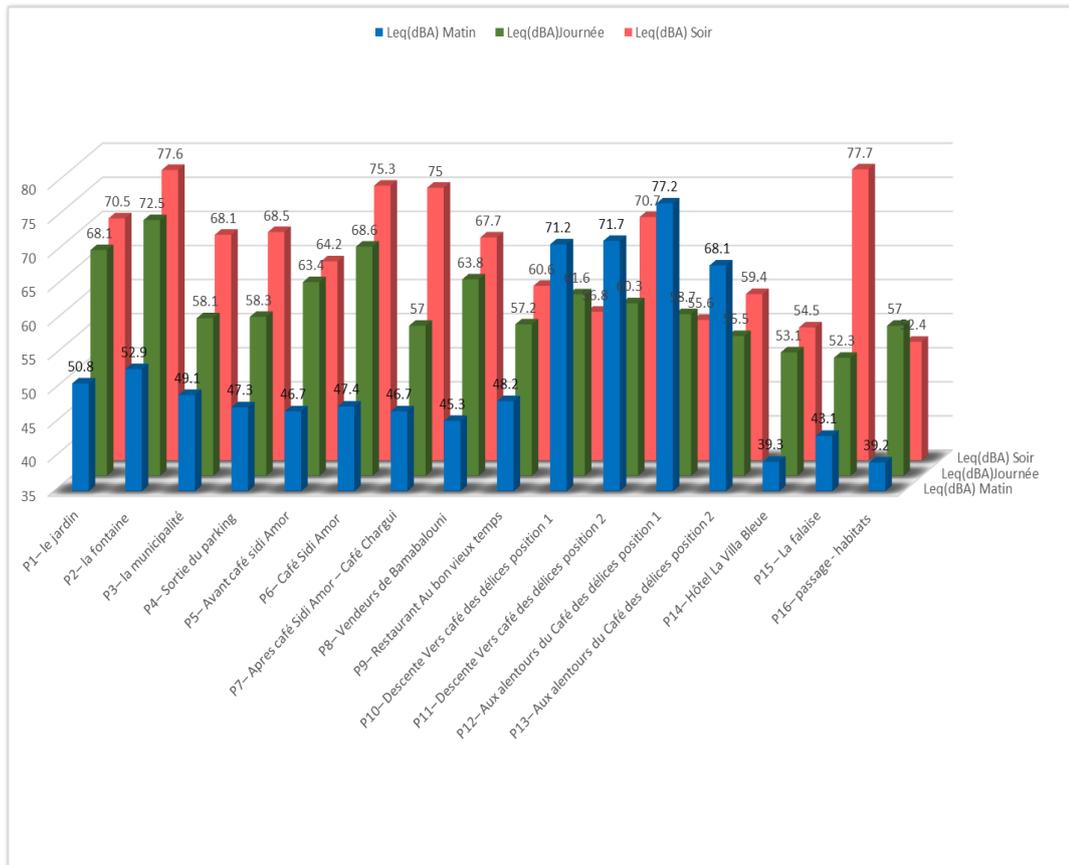


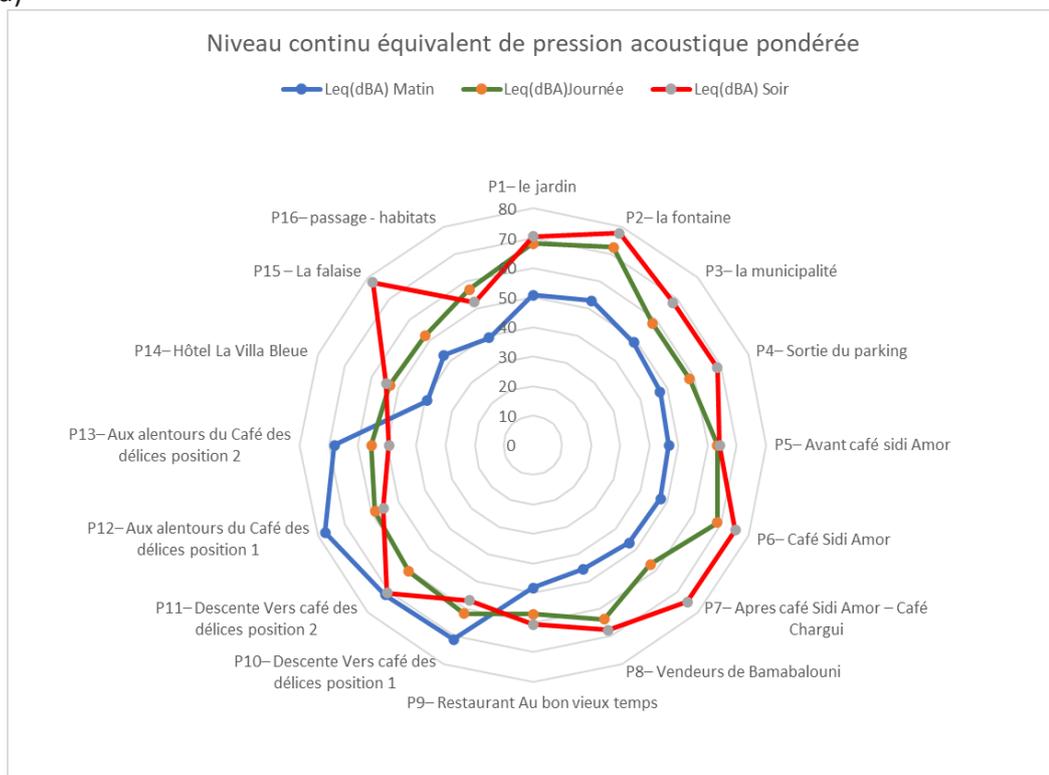
Figure III.121 Point 16 - Acuité moyenne Matin - Milieu de la journée - Soir

III.3 Récapitulatif des mesures acoustiques et psychoacoustiques des 16 points

Selon la classification de Schafer (1977), les sonorités maîtresses ou toniques de notre lieu d'expérimentation sont constituées de (1) sons anthrophoniques : les personnes dans la rue, dans les cafés ou dans les lieux de commerce, circulation de voitures : (2) sons biophoniques : insectes, oiseaux, chats et chiens et (3) sons géophoniques : vent, source d'eau. Cette couche sonore est parfois constituée d'un ou de plusieurs sons de ces catégories, suivant l'emplacement du point de mesure. Quant aux sons à valeur signalétique, plusieurs sonorités ont été détectées comme des « accidents » et plus généralement en fonction du lieu : klaxons de voitures, de bus ou l'appel à la prière... Enfin les marqueurs sonores de notre lieu ont aussi une relation étroite avec la fonction du lieu de mesure (rues marchande, parkings, marché, cafés, magasins, artisanat et tourisme). La Figure III.122 représente le récapitulatif des 16 mesures pendant les trois phases de la journée et une représentation continue équivalente de pression acoustique pondérée. La figure III.122(a) présente une visualisation en histogramme et la figure III.122(b) une visualisation en radar. On remarque le matin une similitude des points 1 à 9 avec un environnement moyennement calme alors que du point 10 au point 13 l'environnement devient bruyant et redevient très calme du point 14 au point 16. Au milieu de la journée les similitudes sont notables pour les points 1,2, 5,6, 8. Quant à la nuit, on note une similitude des environnements sonores bruyants des points 2, 6, 7 et 15. Si l'on prolonge notre analyse en relation avec les fonctions et occupations des lieux, on remarque que ces variations, tout comme les similitudes, sont souvent en phase avec les fonctions du lieu, comme les habitations, les commerces (café, restaurant) et l'artisanat. Prenons l'exemple du Café Sidi Amor p6 et le Café Chergui p7, le matin une similarité de comportement sonore apparaît avec les fonctions commerciales et touristiques le soir quand ces lieux se métamorphosent avec une augmentation progressive des volumes sonores.



(a)

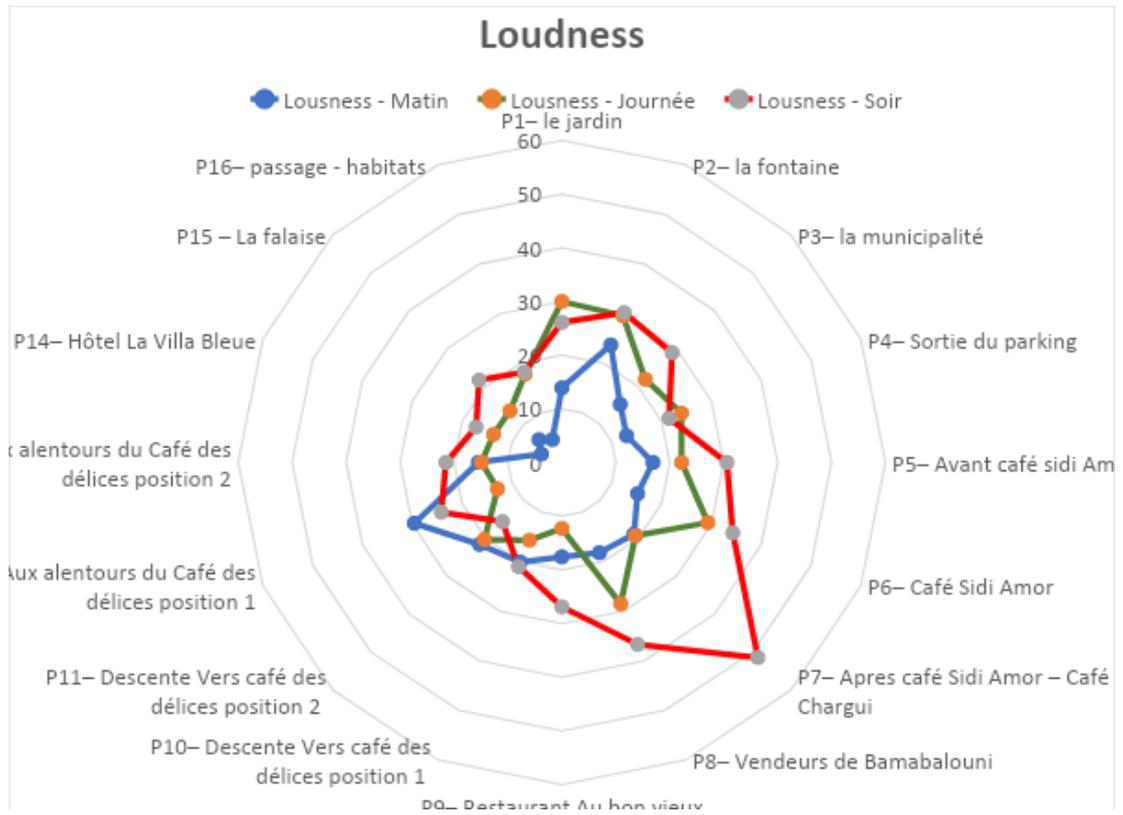


(b)

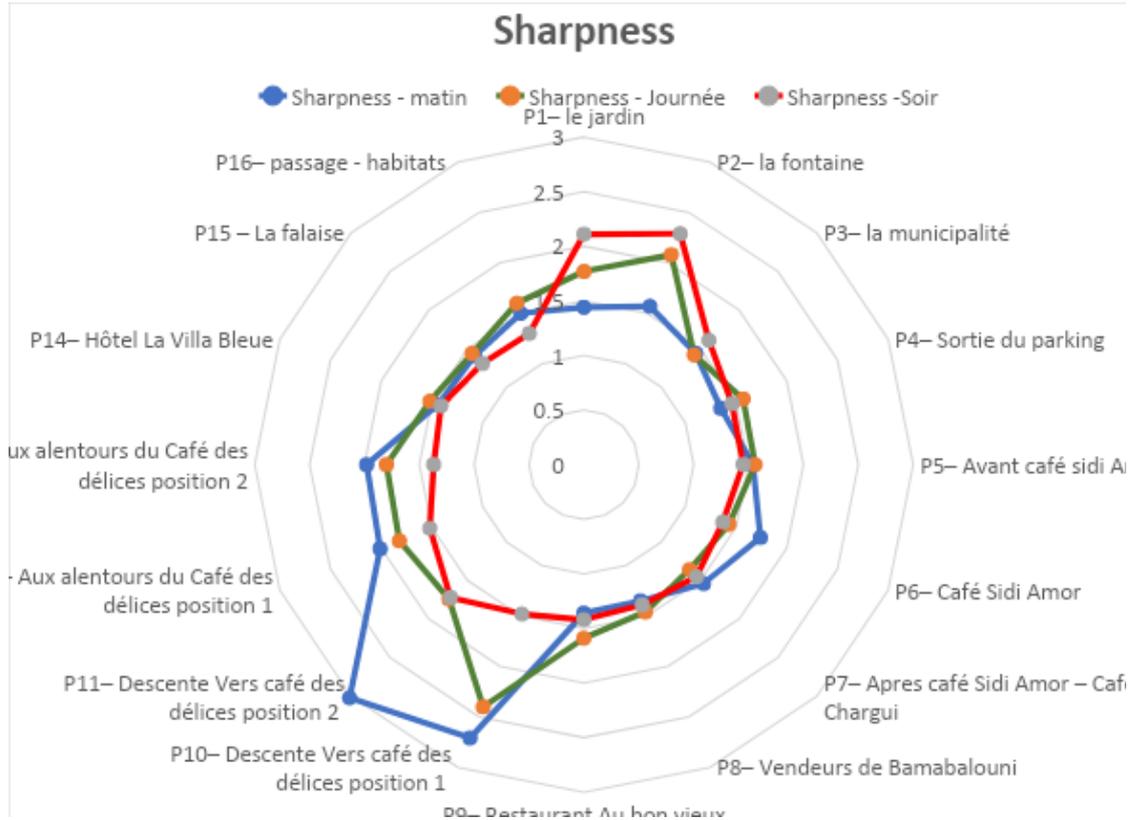
Figure III.122 Niveau continu équivalent de pression acoustique pondérée. (a) visualisation en histogramme (b) visualisation en radar

La Figure III.123 introduit une visualisation de la morphologie sonore des points du parcours, c'est à dire du point de vue psychoacoustique avec (a) la sonie et (b) l'acuité qui nous donnent une couche d'interprétation avec une représentation plus "humanisée" des sensations. Une telle approche permet de détecter les lieux perçus comme bruyants ou aigus. On remarque des similitudes assez proches de celles identifiées par les mesures acoustiques. Néanmoins des différences sont relevées par exemple au point 15 de la falaise au niveau des mesures acoustiques et psychoacoustiques : bien que les mesures acoustiques identifient ce lieu comme très bruyant, les perceptions recueillies caractérisent ce lieu comme moyennement calme. Cette tendance provient de la nature spécifique des signaux caractérisant les usagers et l'architecture de ces lieux.

La sonie permet notamment de détecter que le matin à peu près tous les points représentent une même sensation de calme à l'exception du point 12 aux alentours du café des délices position 1 (Figure III.123, a). Un tel phénomène coïncide avec les travaux d'entretien de la municipalité qui produisent un bruit assez fort mais pour une courte période le matin. Les points de mesures se ressemblent en milieu de la journée à l'exception de deux légers pics (points 12 et 2) où la sensation de bruit est légèrement supérieure. Notons le soir une similitude entre les points sauf pour le point 6 café sidi Amor, le point 7 après le Café Sidi Amor et le point 8 vendeurs de bambalouni où l'activité et le mouvement sont au maximum dans notre parcours car nous avons deux types d'usagers : plusieurs en consommation dans le café, plusieurs en mouvements dans une petite ruelle et le point 7 qui est l'objet d'une activité artistique assez bruyante. L'acuité est révélatrice de la présence d'une bande fréquentielle assez aiguë aux alentours de 5 KHz surtout dans les points de mesure avec de la verdure et la présence d'insectes (typique en été), ces pics d'acuité sont notables dans les points 1, 2, 10, 11 et 12 (Figure III.123, b). Ces sonorités sont de plus amplifiées par l'architecture de ces lieux et la présence de murs réfléchissants.



(a)



(b)

Figure III.123 Morphologie sonore des points du parcours :(a) la sonie (b) l'acuité

III.4 Analyses et confrontation entre les mesures acoustiques, psychoacoustique et le questionnaire

La confrontation des mesures in situ aux données du questionnaire est analysée dans cette partie, 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. En effet le "calculé" sur le plan acoustique, avec les pondérations appliquées, nous donne des mesures assez proches de l'humain, mais les paramètres psychoacoustique nous apportent des informations encore plus qualitatives et proches de l'humain et des sensations perçues. Le questionnaire et son analyse nous permettront enfin de vérifier si cette sensation est bien réelle sur la véracité des calculs du perçu acoustiquement.

La Figure (III.124, a) pour le Leq (Everest et Pohlmann ,2015 ; Brixen 2020 ; Benocci et al., 2022; Bryce et al., 2022), la Figure (III.124, b) pour la Sonie en « Categorical Unit (CU) » (Heeren et al., 2013; Rasetshwan et al., 2015; Meunier et al., 2018) et la Figure (III.124, c) pour l'acuité (Zwicker et Fastl, 1999; Sottek, 2016; Swift et Gee,2017; McLean et Jiricek, 2020) caractérisent les ordres de grandeur de référence des valeurs sonores acoustiques et psychoacoustiques mesurées, qui seront utilisées dans la Figure III.128. Ces grandeurs sont aussi liées au temps d'exposition de l'humain (Figure III.125) selon la législation européenne (directive n° 2003/10/CE). Les sons de notre environnement peuvent être divisés en 4 classes :

- Jusqu'à 80 dB : quel que soit le temps d'exposition, nos perceptions sonores sont tout à fait acceptables,
- De 80 à 90 dB : nous sommes presque dans la zone nocive dans le cas d'expositions de très longues durées ;
- De 90 à 115 dB : exposition sonore dangereuse ;
- Au-dessus de 115 dB : une très courte exposition provoque immédiatement des dommages définitifs.

D'après nos mesures effectuées le long de notre parcours et sur les 16 points le temps d'exposition n'a pas d'impact nocif sur l'intégrité physique étant donné que pour tous les points, les valeurs sont inférieures à 80 dB (Figure III.122, a), donc nos analyses porteront sur l'affectif et le perçu des sons.

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).

< 45 dB(A)		Très calme	< 15 Sones	< 1.5 acum	normal
45 – 50 dB(A)		Calme			
50 – 55 dB(A)			15 -20 Sones		
55 – 60 dB(A)	Supportable		20-25 Sones		
60 – 65 dB(A)	Fatigant/ Pénible	Bruyant	25-30 Sones	1.5 - 2 acum	moyennement aigu
65 – 70 dB(A)					
70 – 75 dB(A)					
> 75 dB(A)	Dérangeant / désagréable	Très bruyant	>30 Sones	> 2 acum	aigu
A partir de 90 dB(A)	Risque pour la santé	Danger	A partir de 50 Sones		
Leq (a)			Sonie (b)	Acuité (c)	

Figure III.124 Ordre de grandeurs des niveaux sonores acoustiques et psychoacoustiques

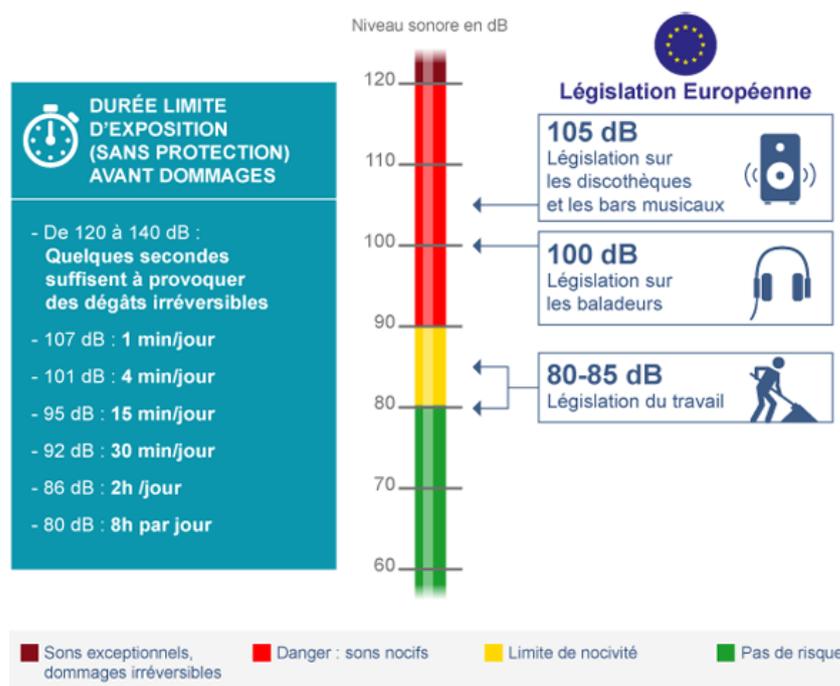


Figure III.125 Relation niveau/durée, législation.
(©Camilleri, Pujol, Ducourneau, 2017)

Le traitement des résultats collectés du questionnaire nous permet de faire ressortir la médiane des répondants suivant les critères de la qualité sonore des 7 paramètres. Le résultat des interviews suivant les trois périodes de la journée est présenté dans la Figure III.126, ce qui fait ressortir les paramètres A1, A2, B1 et B2 (Figure III.127).

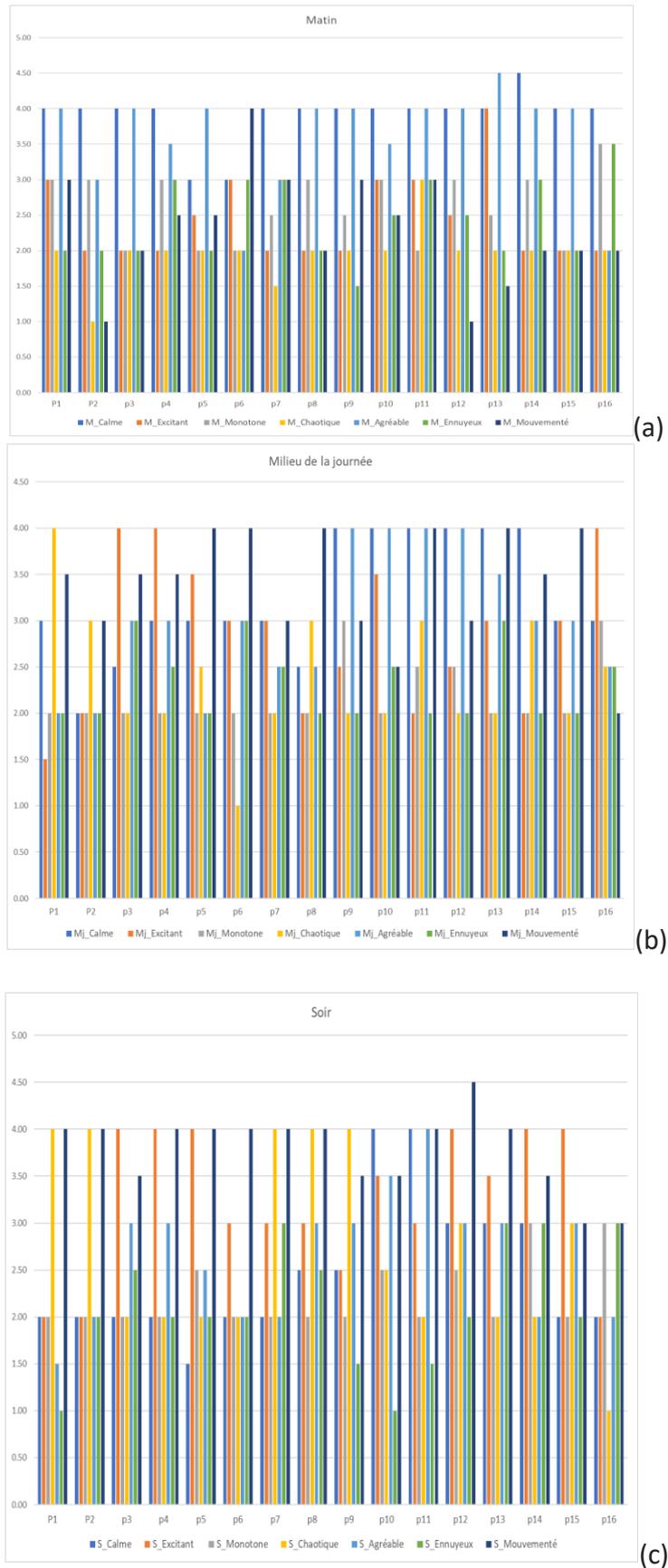
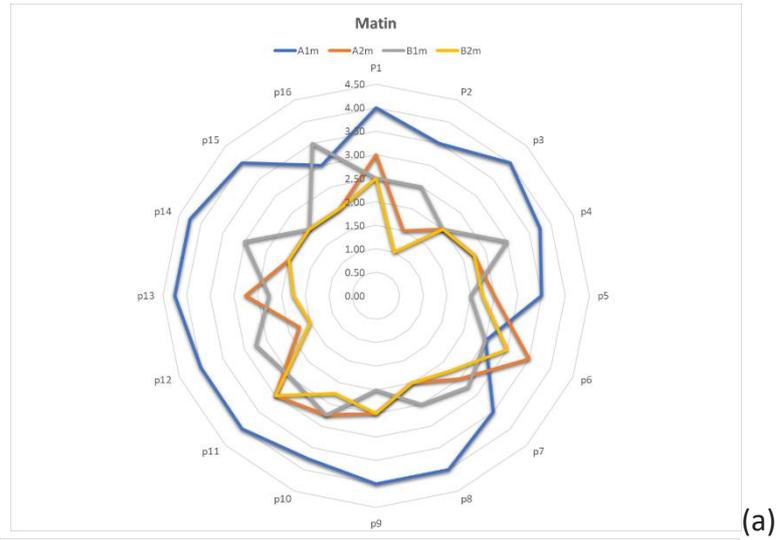
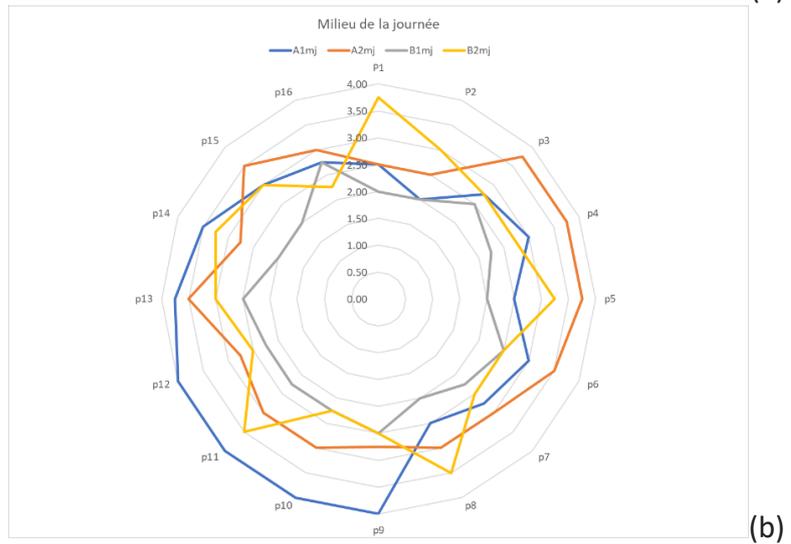


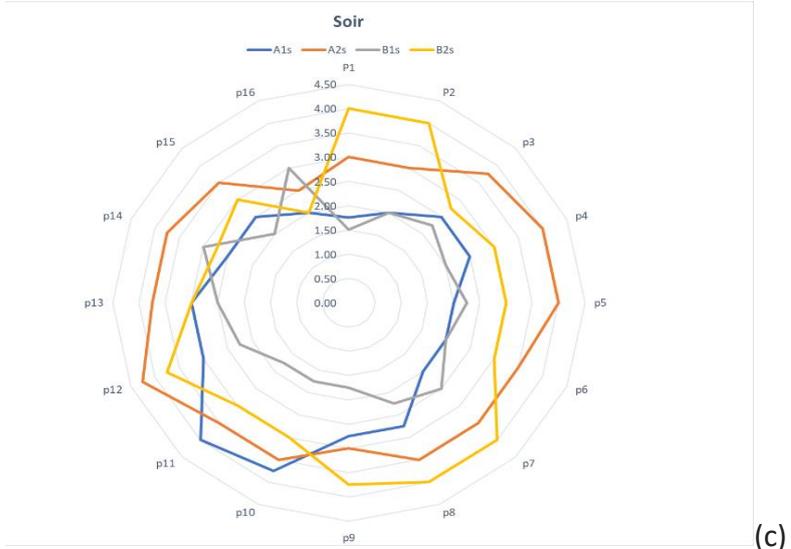
Figure III.126 Médiane des répondant suivant les critères de la qualité sonore (a) Matin (b) Milieu de la journée (c) Soir



(a)



(b)



(c)

Figure III.127 A1-A2-B1-B2 dans les 16 points de mesures (a) Matin (b) Milieu de la journée (c) Soir

Ces calculs et ces traitements nous permettent de de présenter un schéma global d'analyse des mesures acoustiques et psychoacoustiques, et des perceptions qualitatives issues du questionnaire. Cela nous donne une visibilité globale de tous les résultats et la réalisation d'un diagnostic d'ensemble.

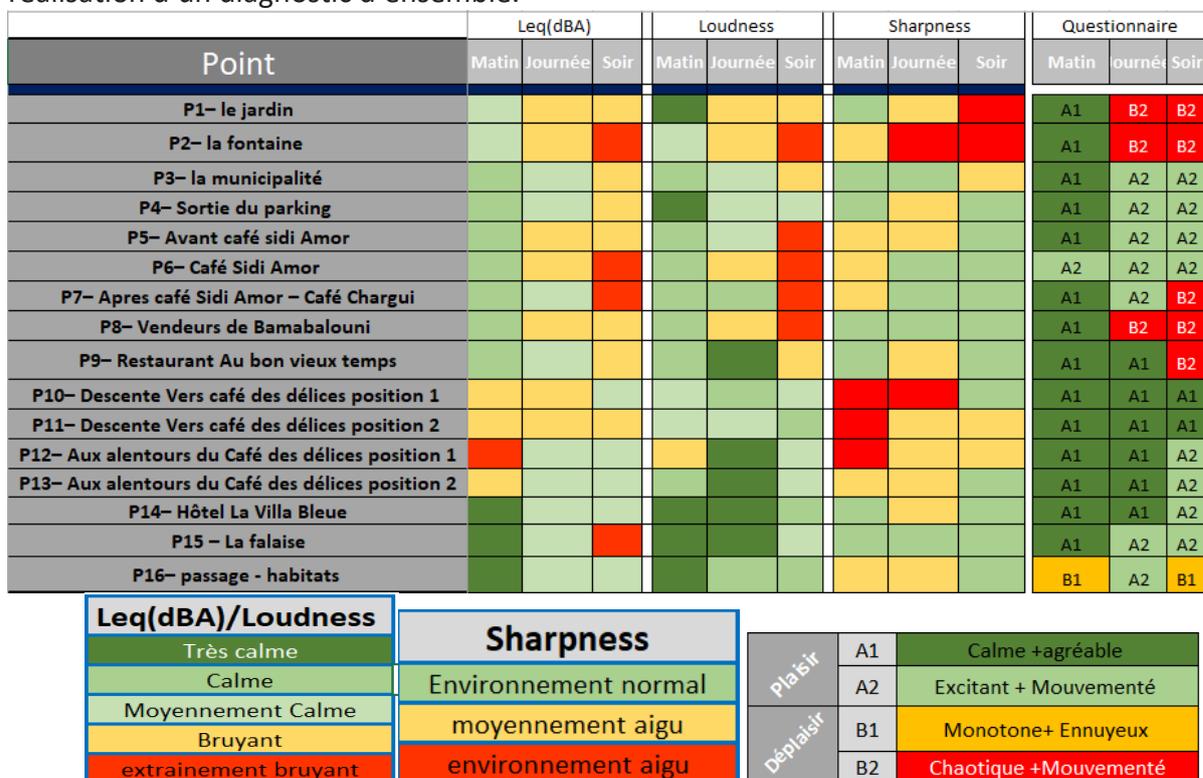


Figure III.128 Du mesuré au perçu (similitudes et différences)

Dans le premier lieu de mesure, « Le Jardin », 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 identifie 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 à travers le passage 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 III.128). Les interviewés ont détecté la prédominance de quelques sons : camions, bus, voitures, conversations, bruits de pas, sons d'insectes, sons d'oiseaux (Figure III.129, p1), et ne ressentent pas ces sonorités comme plaisantes, ces sons ont été bien mesurés et détectés de manière acoustique. L'ambiance générale de ce point 1 est plaisante le matin et déplaisante au milieu de la journée et le soir (Figure III.130 a, b, et c).

Le deuxième lieu de mesure, « La Fontaine », présente les mêmes caractéristiques que le premier point (Figure III.129, p2). La majorité des interviewés des trois catégories (A, B et C) identifient comme désagréables aussi les passages bruyants des voitures et des camions.

Le mesuré et le perçu convergent : les interviewés identifient un environnement sonore de type A1 (Calme + Agréable) malgré le passage des véhicules et le son des insectes 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 III.128).

Le troisième lieu de mesure, « La municipalité », recèle un environnement peu bruyant le matin du point de vue acoustique, une sensation psychoacoustique similaire a été validée par le questionnaire. En effet, les trois catégories (A, B et C) identifient l'environnement sonore de type A1 (Calme + Agréable) (Figure III.128). Le milieu de la journée et le soir l'environnement devient plus bruyant et aigu ce qui est mesuré par l'acoustique et la psychoacoustique mais les interviewés des trois catégories (A, B et C) l'identifient comme un environnement sonore de type A2 (Excitant et Mouvementé), la taxonomie des événements sonores détectés anthrophoniques et biophoniques pendant la journée est le son des voitures, des motos et les humains et le son des insectes (Figure III.129, p3).

Le quatrième lieu de mesure, « Sortie du Parking », donne une majorité des interviewés des trois catégories (A, B et C) avec des réponses similaires au point précédent pendant les trois périodes de la journée (Figure III.126), les calculs acoustiques sont en adéquation avec ces résultats. Les sons détectés par les utilisateurs étaient essentiellement anthrophoniques et biophoniques : passage des personnes avec leurs sonorités : Sons d'insectes, brouhaha, voitures, bus touristes (Figure III.129).

Le cinquième lieu de mesure, « Avant Café Sidi Amor », présente les mêmes caractéristiques que les points 3 et 4 pour la majorité des interviewés des trois catégories (A, B et C) pour les trois périodes de la journée, même si le mesuré en Sonie présente une valeur calculée élevée le soir due au plaisir que les personnes perçoivent par rapport à ce lieu entouré de magasins d'artisanat, un lieu de passage où les personnes ne s'attardent pas (Figure III.128). Les sonorités détectées dans ce lieu diffèrent des lieux précédents par l'apparition de sons en relation avec l'artisanat mais présente une similitude pour le son biophonique des insectes (Figure III.129).

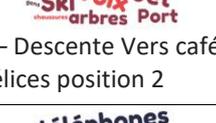
 <p>P1- le jardin</p>	 <p>P2- la fontaine</p>
 <p>P3- la municipalité</p>	 <p>P4- Sortie du parking</p>
 <p>P5- Avant café sidi Amor</p>	 <p>P6- Café Sidi Amor</p>
 <p>P7- Apres café Sidi Amor – Café Chargui</p>	 <p>P8- Vendeurs de Bamabalouni</p>
 <p>P9- Restaurant Au bon vieux temps</p>	 <p>P10- Descente Vers café des délices position 1</p>
 <p>P11- Descente Vers café des délices position 2</p>	 <p>P12- Aux alentours du Café des délices position 1</p>
 <p>P13- Aux alentours du Café des délices position 2</p>	 <p>P14- Hôtel La Villa Bleue</p>
 <p>P15- La falaise</p>	 <p>P16- Passage-habitats</p>

Figure III.129 Taxonomie décrite par les interviewés dans les points de mesures (La taille des mots est proportionnelle à sa présence fréquentielle dans le questionnaire)

Dans le sixième lieu, « Café Sidi Amor », la plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures (Figure III.129) mais également d'autres plus lointains comme le passage des camions et des bus de touristes non détectés et 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 (Figure III.128). 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.

Le septième lieu de mesure, « après café Sidi Amor - café Chargui » présente une bonne diversité tout au long de la journée. La majorité des interviewés des trois catégories (A, B et C) identifient un environnement sonore de type A1 (Calme + Agréable) le matin, de type A2 (Excitant + Mouvementé) au milieu de la journée et enfin B2 (chaotique + Mouvementé) le soir mais avec une particularité dans cette dernière période de la journée dans la mesure où la catégorie A émerge en B2 et les touristes en A2. La psychoacoustique et l'acoustique affirme le résultat du questionnaire pour les catégories A et B (Figure III.128) La plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures malgré que les sons des chants de malouf et de l'appel à la prière sont imposants, ils n'ont pas dérangé les interviewés au contraire cela leur procure un sentiment de plaisir mais pas pour les catégories A. On pourra penser à aménager ce lieu pour lui ajouter la fonction musicale (Jambrošić et al., 2013).

Le huitième lieu de mesure, « Vendeurs de Bambalouni », présente les mêmes caractéristiques que le précédent point le matin avec A1 (Calme + Agréable) pour la majorité des interviewés des trois catégories (A, B et C) mais le lieu devient B2 (Chaotique + Mouvementé) au milieu de la journée et le soir. Ces caractéristiques sont dues au flux croissant des personnes pendant ces périodes, notamment pour réaliser des achats comme des pâtisseries ce qui entraîne un changement notable d'environnement sonore (Figure III.128). Les sonorités détectées sont essentiellement anthroponiques : brouhaha, musique, appel à la prière, son des téléphones portables et groupes de touristes. Les groupes A et B identifient beaucoup plus que le groupe C ce lieu comme étant désagréable, en effet les nuisances sonores dérangent ces groupes pendant la journée mais surtout la nuit.

Dans le neuvième point, « Restaurant Au Bon Vieux Temps », la plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures, les questionnés ont trouvé le lieu A1 (Calme + Agréable) le matin et au milieu de la journée, mais B2 (Chaotique + mouvementé) la nuit (Figure III.128). Ce lieu est un peu spécial dans la mesure où à droite nous avons une descente vers le Café des Délices et devant un parcours vers la falaise : la nuit ce lieu est encombré de nombreuses voitures et une interprétation des questionnés vers B2 la nuit. La taxonomie du lieu reportée par le questionnaire nous donne une prédominance des sons anthroponiques : voitures, voix, brouhaha, son des pas et biophonique pendant la journée avec le son des insectes (Figure III.129). Notons enfin que l'acoustique et la psychoacoustique sont en adéquation avec cette dernière tendance.

Le dixième et onzième point respectivement, Descente vers le Café des Délices position 1 et 2 », sont caractérisés par les questionnés comme A1 (Calme + Agréable) pour toute la journée (Figure III.128, ce qui est identifié par nos mesures de la sonie pendant la journée. Le milieu est considéré comme calme, avec une prédominance dans le questionnaire des sons aigus des insectes ce qui peut à la fois être dérangeant pour les uns mais aussi symbolique de l'été pour d'autres. Les mesures psychoacoustiques ont détecté cette source de gêne ou d'ambiance via les mesures d'acuité (Sharpness).

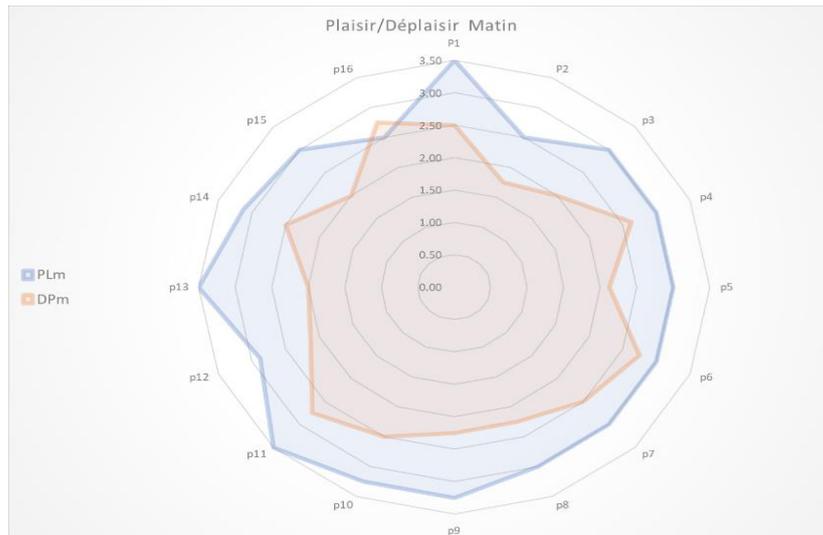
Dans le douzième et treizième point, « Aux alentours du Café des Délices position 1 et 2 », la plupart des interviewés l'ont caractérisé comme A1 (Calme + Agréable) le matin et le milieu de la journée, et A2 (Excitant + Mouvementé) le soir (Figure III.128). Les mesures acoustiques montrent un environnement acoustique très bruyant le matin mais ces accidents sonores interviennent quelques jours de la semaine par des actions des agents d'entretien des espaces verts de la municipalité, ce qui ne dérange pas les habitants dans la mesure où ce bruit est signe de propreté pour les habitants. Ce dernier commentaire nous amène à relever cette importante relation entre perception et fonction. Sous-jacente à une perception, la fonction attachée à une sonorité est de nature à influencer la qualité positive ou négative qui pourra lui être rattachée selon l'essence même de cette fonction, son rôle dans l'environnement et sa perception par un humain.

Dans le quatorzième point, « Hôtel La Villa Bleue », la plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures et ont qualifié le point comme étant A1 (Calme + Agréable) le matin et au milieu de la journée et A2 (Excitant + Mouvementé) la nuit (Figure III.128). Ce point de mesure qui se positionner avant la falaise représente un lieu de passage, on ne s'y attarde pas mais on y détecte les sonorités de la falaise mais aussi de l'hôtel qui parfois apparaît pour les catégories A et C comment étant désagréable quand il y a des animations à l'hôtel.

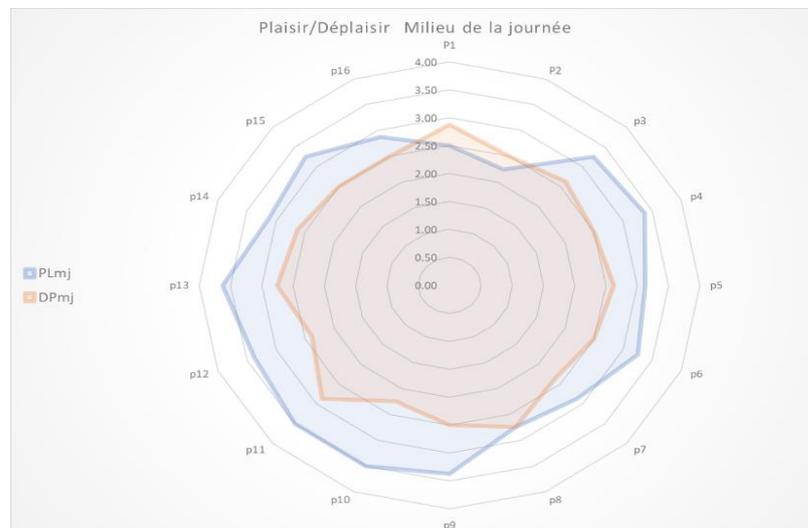
Dans le quinzième point, « La Falaise », la plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures, mais également des sons plus lointains qui viennent du port et de la plage en bas de la falaise comme le bruit des personnes et le mouvement des voitures, le passage de vedettes ou de 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 - 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 (Figure III.128).

Dans le seizième point, « Passage - Habitats », la plupart des interviewés ont détecté les sons identifiés par nos mesures, mais ce lieu a été identifié comme étant B1 (monotone + ennuyeux) pendant le matin et la soirée et A2 (Excitant + Mouvementé) au milieu de la journée (Figure III.128). Ces mesures sont validées par les mesures acoustiques et psychoacoustiques mais ne présentent aucune particularité sur le plan acoustique.

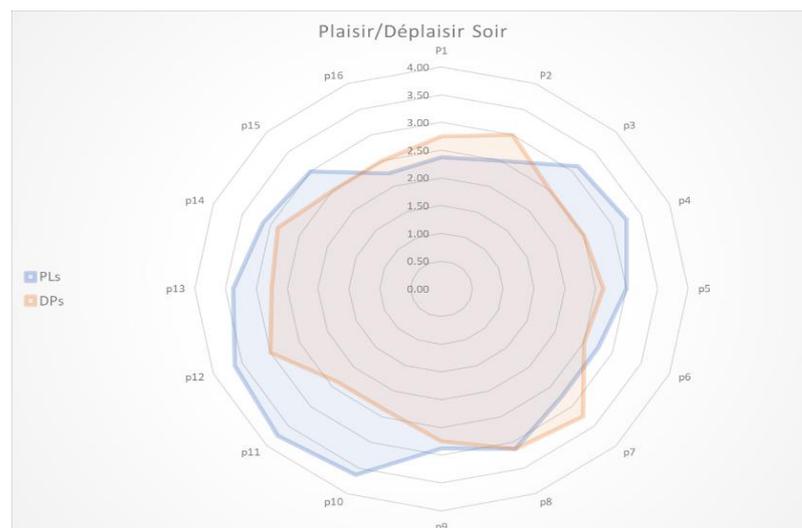
Globalement ces lieux reflètent un environnement sonore diversifié avec des variations temporelles significatives. La confrontation des mesures in situ et de notre questionnaire montre l'importance d'une part du contexte et de la fonction des lieux dans l'interprétation des environnements perçus, tout comme la nature des groupes interviewés dont les attentes et aspirations ne sont évidemment pas les mêmes. Prenons l'exemple des sonorités émises par les bus ou provenant des artisans et pouvant intuitivement être caractérisés comme désagréables. Cependant, d'un autre point de vue, les sonorités provenant des bus procurent aux commerçants une sensation de satisfaction dans la mesure où l'arrivée des touristes est bénéfique pour leur activité. On peut même imaginer que les sonorités des artisans en action procurent auprès des touristes curiosité et intérêt. Finalement nous pouvons qualifier nos points de mesures suivant les périodes de la journée en plaisir et déplaisir (agréable et désagréable) Figure III.130.



(a)



(b)



(c)

Figure III.130 Plaisir/Déplaisir pour les 16 points de mesures (a) Matin (b) Milieu de la journée (c) Soir

Le matin (Figure III.130, a), la plupart des points reflètent un plaisir sur le plan sonore à l'exception du pont 16 en raison de l'absence de sonorités intéressantes dans ce lieu qui représente des habitations et une rue de passage sans commerces. Au milieu de la journée le plaisir prédomine à tous les points de mesure (Figure III.130, b) sauf pour les points P2 et P8 on l'on relève à un équilibre entre plaisir et déplaisir, mais le déplaisir l'emporte sur le plaisir dans le point P1. La nuit (Figure III.130 c) la morphologie sonore du lieu change dans la mesure où le plaisir domine dans tous les points à l'exception de quelques points où l'on a un déplaisir dans les points P1, P2 et P7 et enfin un équilibre entre plaisir et déplaisir dans le point P4.

III.5 Discussion

En conclusion de cette étude, 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 corrélérer si les représentations multidimensionnelles acoustiques et psychoacoustiques 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 les visualisations développées, ont montré leur faisabilité et 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. En effet, ces différents moyens de visualisation apportent des outils complémentaires de représentation et d'analyse des sonorités et ambiances sonores à travers plusieurs dimensions temporelles, fréquentielles et spatiales. Les représentations et dimensions perceptives sont également présentes grâce à la psychoacoustique. A partir de l'apport complémentaire de cet ensemble d'outils, il est possible de mieux qualifier ces environnements urbains, et une originalité apportée par l'analyse immersive de l'environnement en 360°, avec la contribution de l'ambisonique qui conserve la dimension spatiale du son, et enfin les outils d'analyse du traitement du signal. De tels dispositifs donnent aux experts une large gamme d'outils d'interprétation, l'ensemble étant reproductible et potentiellement applicable à plusieurs domaines de recherche comme les études urbanistiques et en architecture, la planification urbaine et les études du patrimoine matériel et immatériel.

Le questionnaire apporte des éléments quantitatifs et qualitatifs, il permet de qualifier les différents types d'ambiances avec des termes spécifiques, des sentiments positifs ou négatifs. Il permet de caractériser des tendances communes voire particulières entre différents points sur le plan émotif, que nous pouvons la plupart du temps vérifier par les mesures et calculs acoustiques et psychoacoustiques. Les questionnaires et leurs retours sont également caractérisés en fonction des panels : âge, sexe, fonction et expérience dans la cité. Les parcours et les ambiances sonores sont qualifiés localement et globalement par le questionnaire. Les tendances globales apparaissent à travers le questionnaire et correspondent à des tendances également mesurées et répétitives sur le parcours.

Plusieurs questionnements sont posés lors de cette recherche à la fois expérimentale et théorique : qu'apporte le questionnaire par rapport aux mesures expérimentales, confirme-t-

on ce qui est mesuré ou apporte-t-on des notions complémentaires ou différentes ? Le mesuré est-il différent du perçu ? Des mesures qui tendraient à apparaître comme 'nuisibles' peuvent être perçues paradoxalement comme un plaisir. Nous avons pu identifier les paradoxes entre mesures et perceptions dans quelques points qui paraissaient déplaisantes mais qui le caractère sonore déplaisant était en fait plaisant car il indiquait l'arrivée de l'été ou l'arrivée des touristes ce qui implique un gain d'argent pour les commerçants comme le son des bus. De tels phénomènes confirment le rôle de la fonction attachée à une perception, ce qui apporte une différenciation fondamentale entre le mesuré et le perçu.

Les différentes captations ambisoniques et mesures psychoacoustiques offrent de nouvelles possibilités multidimensionnelles de visualisation et d'interprétation de ces ambiances sonores dans l'espace et le temps. La prise en compte de la composante temporelle permet en particulier 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. Cette recherche expérimentale 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.

Finalement le choix de Sidi Bou Saïd était un modèle expérimental approprié dans la mesure où il combine plusieurs fonctions (résidentielles, commerciales, touristiques, culturelles), mobilités et occupations du sol, et catégories sociales concentrées sur une relative petite surface. La morphologie sonore identifiée par notre démarche, et analysée sous différentes dimensions, montre que la logique des perceptions acoustiques a été validée ou corrigée par le perçu grâce à la psychoacoustique et optimisée par le retour des questionnaires.

IV.1 Synthèse de la recherche

En conclusion, ces trois chapitres développent et mettent en œuvre les étapes nécessaires à l'élaboration d'une approche permettant de caractériser par de multiples capteurs et techniques associées le paysage sonore d'un environnement urbain. De fait, nous avons construit une méthodologie expérimentale combinant plusieurs technologies et connaissances issues de domaines scientifiques complémentaires :

- La physique de terrain à savoir l'acoustique et l'électroacoustique pour les traitements nécessaires à la caractérisation d'un environnement sonore urbain à partir de signaux enregistrés ;
- La psychoacoustique, une branche de la psychophysique, qui mesure l'effet de l'environnement sonore sur les personnes à partir de leur propre perception.
- L'informatique, la géomatique et le traitement du signal pour analyser, visualiser et interpréter les contenus spatiaux-temporels multi-dimensionnels ;
- La composante sciences sociales pour faire émerger un diagnostic de terrain grâce au questionnaire pour corrélérer l'approche quantitative aux impressions des utilisateurs de ces espaces urbains.

Une telle approche théorique et pratique de caractérisation fine des différents environnements sonores urbains sont réunies dans cette stratégie pluridisciplinaire (Ma et al., 2021). La perspective offerte par la création d'un modèle de représentation des connexions organiques entre les environnements sonores, leur qualité instantanée, les interactions et les perceptions de ces environnements par les personnes qui habitent et visitent des lieux urbains est abordée dans le premier et deuxième chapitre de la thèse. Une telle démarche apporte une première contribution méthodologique qui tend à poser les fondations de ce que pourrait être une caractérisation fine d'ambiances sonores dans des environnements urbains.

Afin de caractériser les paysages sonores dans toutes leurs dimensions et particularités, nous avons retenu plusieurs fondements scientifiques et méthodologiques pour retenir une vision la plus complète et quantitative possible. Dans cette optique, les principes développés de notre démarche s'ancrent dans un paysage urbain et une série de procédures et processus basés sur de multiples capteurs sonores qui permettent de le caractériser, de le comprendre, et de l'analyser dans l'espace et le temps. Il devient clair dans le chapitre 2 que le concept de paysage sonore est un produit de maturation scientifique qui intègre de multiples perspectives (Lionello et al., 2020).

En sus de développer et de mettre en valeur le rôle des mesures acoustiques et psychoacoustiques, le deuxième chapitre intègre le domaine croissant du diagnostic socio-acoustique pour incorporer des facteurs qualitatifs comme le contexte social et cognitif dans des analyses quantitatives (Kaymaz et al., 2016 ; Torresin et al., 2020). Sur la base de ce diagnostic socio-acoustique, nous proposons un modèle expérimental qui offre une couche d'analyse immersive qui permet de caractériser ces ambiances sonores à partir de multiples représentations bidimensionnelle, tridimensionnelles et interactives, et qui offrent un

environnement interactif d'analyse fine des ambiances sonores captées. Une grande variété de capteurs et d'instruments sont utilisés pour enregistrer ces environnements sonores dans toute leur variété. Associé à une enquête par questionnaire à une écoute analytique, le modèle expérimental de cette étude a pu vérifier si les représentations multidimensionnelles acoustiques et psychoacoustiques dérivées sont conformes ou non à leur perception humaine et dans quelle mesure les contextes et les fonctions des lieux interprétés, ainsi que la nature des environnements sociaux considérés dans la perception, sont pris en compte (Kang et al., 2019). Grâce à l'analyse et à la comparaison des valeurs acoustiques et des interprétations humaines, nous avons montré que les convergences entre les mesures quantitatives et leurs perceptions humaines sont généralement le cas, à quelques exceptions notables (comme lorsque le contexte représente fidèlement la qualité et le type des interprétations disponibles).

Notre approche a pu aussi bénéficier des évolutions substantielles et la sophistication des outils de mesure et de restitution des ambiances acoustiques, l'ensemble, combinant une grande variété de mesures in-situ avec des instruments acoustiques et psychoacoustiques, prouvant la viabilité et l'intérêt de notre approche méthodologique correspondante. De multiples dimensions temporelles, spectrales et spatiales peuvent être présentées et analysées en relation avec les sons et les paysages sonores à l'aide de diverses techniques de visualisation. La psychoacoustique permet en particulier aux représentations et aux dimensions perceptives d'être prises en compte. Ensemble, l'examen immersif de l'environnement à 360 degrés, les apports de l'ambisonique, qui préservent la dimension spatiale du son, et les outils d'analyse du traitement du signal permettent de mieux cerner ces environnements urbains. Les experts ont ainsi accès à des outils d'interprétation complémentaires, et dont les principes et techniques pourraient être reproduits et utilisés dans divers domaines d'étude, à travers les études urbaines et architecturales, l'urbanisme et les études du patrimoine matériel et immatériel.

Les résultats expérimentaux acquis à partir de calculs et d'analyses de visualisations peuvent être interprétés de plusieurs manières, selon l'approche adoptée et la communauté considérée. Par exemple, la construction du questionnaire donne des caractéristiques à la fois quantitatives et qualitatives vu que les répondants évaluent la qualité de divers paramètres en utilisant des termes prédéterminés et précisent s'ils éprouvent des émotions positives ou négatives (Lionello et al., 2020). Dans la plupart des cas, les mesures, les calculs acoustiques et psychoacoustiques confirment les tendances émotionnelles, nous permettant de décrire des tendances communes ou particulières à travers des sites distincts. Les caractéristiques du panel, telles que la fonction et le positionnement local dans l'environnement, peuvent également permettre de catégoriser les ressentis au regard des résultats quantitatifs.

Plusieurs préoccupations surgissent lors de ces expérimentations et analyses théoriques, notamment en confrontant le questionnaire aux données expérimentales, afin d'évaluer si des conceptions complémentaires ou différentes de ces ambiances sonores apparaissent. Pouvons-nous dire par exemple si des divergences apparaissent entre les réalités mesurées et perçues ? Contrairement aux idées reçues, des mesures qui paraissent « dommageables » peuvent notamment être vécues comme une source de satisfaction (Kang et al., 2019). Nous avons pu en effet identifier les zones où il y avait un certain écart entre les données objectives et les impressions subjectives, comme par exemple des environnements bruyants sont néfastes pour certains, mais une aubaine économique pour les artisans et commerciaux locaux. Ces occurrences fournissent une preuve supplémentaire que la fonction

associée à la perception joue un rôle crucial dans l'établissement d'une distinction fondamentale entre ce qui peut être mesuré et perçu.

Il existe de nombreuses façons de visualiser et d'analyser ces environnements auditifs dans l'espace et dans le temps, grâce aux enregistrements ambisonics et aux mesures psychoacoustiques. En particulier, refléter l'utilisation variable et les paramètres acoustiques le long d'un itinéraire est rendu possible en incluant la dimension temporelle. Il est évident que la confrontation de l'ensemble de ces mesures à leur perception permet d'apprécier en premier lieu les similitudes et les différences entre le mesuré et le perçu, tout en confirmant l'intérêt des quelques convergences qui apparaissent et met en évidence la nécessité d'évaluer les possibles corrélations entre mesures in-situ et les analyses de perception afin d'apprécier pleinement la richesse et la diversité de ces paysages sonores urbains (Fusaro et al., 2018). Les résultats de cette étude expérimentale devraient fournir aux aménageurs une référence méthodologique utile pour améliorer leur prise en compte de la qualité de l'ambiance sonore en milieu urbain, leur permettant ainsi de mieux répondre aux besoins des populations qui fréquentent ces espaces.

Dans les quartiers commerciaux, par exemple, les sonorités des activités humaines jouent un rôle crucial dans l'évaluation des paysages sonores. Ceci n'est qu'un exemple de la façon dont la science et les études urbaines contribuent aux paysages (Engel et al., 2021). Il est de notoriété publique que le bruit de la circulation est la nuisance acoustique la plus répandue dans les zones résidentielles et commerciales. De plus, les sonorités humaines provenant des activités récréatives ont contribué de manière significative à la formation d'un paysage sonore fonctionnel dans les espaces ouverts urbains.

IV.2 Réponses aux questionnements scientifiques

1. Quels sont les fondements scientifiques et méthodologiques permettant d'aborder les paysages sonores avec une vision quantitative et qualitative la plus complète possible, permettant de caractériser les paysages sonores, dans toutes leurs dimensions et particularités ?

-> Notre proposition de démarche quantitative prenant en compte les différentes dimensions acoustiques et psychoacoustiques apporte un environnement très complet de caractérisation quantitative d'un environnement sonore urbain. L'étude complémentaire qualitative à base d'une enquête sociale de terrain apporte une vision complémentaire qui enrichit la démarche quantitative.

2. Quels sont les senseurs et outils qui permettent de capter les ambiances sonores dans toutes leurs diversités, et à partir de quelles calibrations et outils de restitutions ? Ces capteurs devront couvrir une large palette de restitutions intégrant des images, des vidéos, et des mesures physiques, comment trouver le bon équilibre de restitution de ces mesures ?

-> Nous proposons un environnement expérimental à base de multiples capteurs sonores bidimensionnels et tridimensionnels qui apporte une caractérisation fine d'un environnement urbain. La combinaison d'images 2D, 360° et de fonctions temporelles constitue et offre une palette complète de caractérisation et de compréhension de ces environnements sonores urbains.

3. Quels outils de visualisation et d'analyse permettent une approche combinée et une représentation à la fois quantitative et qualitative des perceptions d'ambiances sonores (i.e. Du calcul à l'humain) ?

-> Les différents outils de visualisation de ces ambiances sonores offrent de véritables interfaces interactives de perception et d'analyse aux niveaux locaux (identification d'événements sonores) ou plus globaux (analyse de l'ambiance sonore d'un lieu), de son évolution, voire de comparaison des ambiances sonores de plusieurs lieux. Il devient ainsi possible de caractériser plusieurs catégories d'ambiances sonores.

4. Comment construire une démarche permettant de confronter, de compléter et d'interpréter les résultats expérimentaux obtenus par les calculs et les analyses des visualisations à la diversité de communautés utilisatrices de ces espaces et quelles démarches et quels protocoles permettront de caractériser sur un terrain expérimental du nord de la Tunisie, Sidi Bou Saïd, choisi pour sa richesse patrimoniale et acoustique, permettront de démontrer et de valider expérimentalement notre recherche.

-> Notre région d'étude nous a permis de mettre en œuvre avec succès notre modèle expérimental dans un terrain d'étude, Sidi Bou Saïd, riche de par ses activités et sa dynamique, que nous avons pu étudier en prenant en compte les caractéristiques des lieux et de leurs usages. Notre méthode d'identification et d'analyse de la morphologie sonore à travers de multiples dimensions démontre que la logique des perceptions acoustiques a été vérifiée ou ajustée par la psychoacoustique perceptive et optimisée par les réponses aux questionnaires.

5. Quel apport pour les sciences et études urbaines pourrait constituer une démarche à la fois méthodologique et expérimentale de caractérisation de paysages sonores ?

-> Notre méthode de caractérisation d'ambiances sonores, sa confrontation aux usages et perception, et sa mise en œuvre à partir d'outils de mesures multidimensionnels, peut constituer une référence à la fois quantitative et qualitative pour la caractérisation d'un environnement urbain et son état actuel, voire un outil de simulation de développements futurs. Bien évidemment de telles approches imposeront une collaboration fine entre des spécialistes qui pourront s'approprier une telle démarche, et les aménagistes et décideurs.

IV.3 Perspectives

La grande variété de capteurs utilisés dans notre approche expérimentale n'est pas à périmètre borné. Tout d'abord l'évolution constante des technologies de capteurs, et leur rationalisation progressive en termes de prix et d'utilisation, continuera d'ouvrir de multiples perspectives. On peut citer par exemple la possibilité d'utiliser des capteurs ambisonics de niveau supérieur (high order Ambisonics - HOA) comme le Zylia 6DoF VR/AR qui peut fonctionner en réseau et jouer le rôle d'une prise de son tridimensionnelle et multispace en temps réel. Une telle solution permettrait la représentation d'un espace dans sa totalité et en continu, et rendrait la visualisation tridimensionnelle des lieux plus interactive et plus

complète. Ces perspectives techniques entraînent des défis supplémentaires vu le calcul nécessaire à leur réalisation ; c'est une nouvelle perspective de recherche expérimentale que nous pourrions envisager. La vidéo 3D est aussi à explorer en complément de l'expérimentation de la vidéo 360°, mais une telle démarche demandera d'appréhender les conséquences sur les perceptions cognitives des utilisateurs, ce qui nous imposera une réflexion de recherche. Les sonomètres également ont été déjà expérimentés en réseaux de capteurs, mais l'amélioration à apporter reste encore la précision et leur couplage avec la captation acoustique ambisonique dans une solution logicielle centralisée. Reste bien évidemment que devra être recherchée une bonne complémentarité des outils utilisés avec ceux actuellement développés dans notre protocole expérimental, afin d'apporter une véritable contribution à la compréhension de ces ambiances sonores, et afin d'éviter un basculement technologique qui pourrait noyer le propos).

Dans notre approche actuelle, il s'agit de restituer un ensemble de lieux sonores observés dans l'espace et dans le temps. Leur juxtaposition dans un environnement cartographique nous permet de visualiser des ambiances sonores à des niveaux locaux ou plus généraux. On pourrait imaginer, à partir d'un protocole de saisie des données adapté, voire partiel, un enregistrement d'ambiances sonores sur un mode continu, qui pourrait correspondre à une notion de parcours sonore, à partir d'une navigation d'un humain dans son environnement. Une telle approche, permettant de caractériser un parcours sonore, pourrait avoir un intérêt dans la caractérisation d'une dynamique de parcours, et du point de vue des utilisateurs au sens large. Sur le plan de la mise en œuvre cela demanderait l'exploration d'outils agiles et flexibles pouvant être utilisés par une large gamme d'utilisateurs.

Nos protocoles expérimentaux montrent déjà de nouvelles possibilités exploratoires d'ambiances sonores à partir de visualisations 3D. On pourrait imaginer de voir ces différentes visualisations 2D et 3D ambisoniques pouvant être associées à des sonorités correspondantes par des interactions dynamiques à partir de curseur, voire des immersions en réalité virtuelle ou augmentée qui favoriseraient leurs interprétations, ou même des immersions dans ces paysages urbains avec associations en temps réel d'ambiances sonores correspondantes.

Du point de vue de l'ingénierie logicielle la mise en œuvre d'un environnement 'software' intégré intégrant l'ensemble des outils de mesure et de traitement serait un débouché industriel potentiellement intéressant mais qui demanderait une association forte avec une société informatique spécialisée et/ou des financements spécifiques venant de l'Agence Nationale de la Recherche ou d'autres ressources institutionnelles et/ou privés.

Le caractère explicite du questionnaire entraîne une démarche relativement coûteuse en temps d'acquisition et d'implication des interviewés. Sur le long terme nous pourrions envisager des modes d'intégration de données plus qualitatives, notamment à travers le recueil d'émotions in-situ à partir de techniques issues de l'intelligence artificielle bien que cela ne semble pas complètement au point à ce jour. Plus raisonnablement nous pourrions envisager la mise en œuvre d'un diagnostic social assisté par ordinateur qui prendrait la forme d'un parcours ludique et un questionnaire ergonomique et facile d'utilisation pour collecter les données de plusieurs manières. Important également d'envisager le recueil et la conservation de ces données multidimensionnelles par des bases de données centralisées permettant de conserver l'ensemble des données (et leur manipulation par des outils adaptés).

Du point de vue des utilisations, une telle approche, et un tel environnement, ouvre de nombreuses perspectives d'utilisation pour les différents acteurs de la planification urbaine,

qu'ils soient institutionnels ou provenant du monde socio-économique. Pour les institutionnelles et aménagistes un tel outil apporte une véritable perspective d'utilisation pour réaliser des outils qualitatifs d'un environnement urbain, voire de son développement, les ambiances sonores jouant un rôle non négligeable dans l'appréciation d'un confort et bien vivre urbain. Pour les aménagistes une telle approche est de nature à apporter un plus dans le choix de scénarios d'aménagement et de conception de quartiers urbains voire de leur développement. A un niveau plus global, en imaginant sa généralisation, notre méthode pourrait constituer un référentiel d'analyse comparée d'ambiances sonores dans différents contextes socio-culturels (e.g. : villes touristiques, villes côtières, différences culturelles dans l'émergence d'ambiances sonores).

Enfin, un tel outil et ses principes méthodologiques, peut jouer un rôle dans le développement de formations post graduées dans de nombreux domaines : en géomatique à partir de l'intégration d'une nouvelle dimension sonore enrichissant les visions cartographiques des données, en acoustique en offrant de nouveaux débouchés d'utilisation, en informatique et visualisation de par la mise en œuvre de nouvelles interfaces, en aménagement urbain en offrant de nouveaux outils d'observation.

- Aletta F, Kang J, Astolfi A, Fuda S. (2016) Differences in soundscape appreciation of walking sounds from different footpath materials in urban parks. *Sustain Cities Soc.*27:367–76.
- Aletta F., Kang J. (2016) Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models. *Landscape and Urban Planning*, 149:65–74.
- Aletta F., Kang J. (2020a). Historical acoustics: relationships between people and sound over time. *Acoustics*, 2 (1), 128-130.
- Aletta F., Osborn D. (2020b). The COVID-19 global challenge and its implications for the environment – what we are learning. UCL Open Source, :<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10100409/>
- Aletta, F.; Oberman, T.; Kang, J. (2018) Associations between positive health-related effects and soundscapes perceptual constructs: A systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15, 2392.
- Aletta, Francesco & Oberman, Tin & Axelsson, Östenet, et al. (2020c). Soundscape assessment: Towards a validated translation of perceptual attributes in different languages.
- Allen, I. E., & Seaman, C. A. (2007). Likert scales and data analyses. *Quality Progress*, 40, 64-65. Retrieved from <https://library.iau.edu.sa/magazines/likert-scales-data-analyses/docview/214764202/se-2?accountid=136546>
- Andringa, T.C. & Lanser, Jolie. (2013). How Pleasant Sounds Promote and Annoying Sounds Impede Health: A Cognitive Approach. *International journal of environmental research and public health*. 10. 1439-61. 10.3390/ijerph10041439.
- Aumond P. et al. (2018). Modélisation stochastique pour la production de cartes de bruit multi-sources, 14ème Congrès Français d'Acoustique, Le Havre, France.
- Axelsson Ö, Nilsson ME, Berglund B. (2010) A principal components model of soundscape perception. *J Acoust Soc Am.*128(5):2836–46.
- Axelsson Ö, Nilsson ME, Hellström B, Lundén P. (2014) A field experiment on the impact of sounds from a jet-and-basin fountain on soundscape quality in an urban park. *Landsc Urban Plan.*123:49–60.
- Axelsson Ö. (2015) How to measure soundscape quality. In *Proceedings of Euronoise*. Maastricht, The Netherlands: Nederlands Akoestisch Genootschap and ABAV — Belgian Acoustical Society. Paper 67.
- Axelsson Ö. (2020) Soundscape revisited, *Journal of Urban Design*, 25:5, 551-555.
- Bahalı S, Tamer-Bayazit N. (2017) Soundscape research on the Gezi Park-Tunnel Square route. *Appl Acoust.*116 :260–70.
- Balay, O., (2003), *L'espace sonore de la ville au XIXe siècle*, Collection « Ambiance, ambiances » A la croisée, Bernin, 291 p.

- Barchiesi D, Giannoulis D, Stowell D, Plumbley, M. D (2015) Acoustic Scene Classification: Classifying environments from the sounds they produce," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 32, no. 3, pp. 16-34.
- Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. (2014) Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*. 383(9925):1325–32.
- Bassarab R, Sharp B, Robinette B. (2009) An updated catalog of 628 social surveys of residents' reaction to environmental noise (1943–2008). Arlington : Wyle Laboratories;.
- Belakehal, A., (2012), Ambiances patrimoniales. Problèmes et méthodes, dans Siret D., J-P Thibaud., *Ambiances en acte(s)*, Montréal, pp. 505-510.
- Ben Hadj Salem M., Chtara C. (2018). Le paysage sonore comme révélateur de l'esprit du lieu : une sécrétion latente. *Vertigo*, 18(3).
- Benocci R, Potenza A, Bisceglie A, Roman HE, Zambon G. (2022) Mapping of the Acoustic Environment at an Urban Park in the City Area of Milan, Italy, Using Very Low-Cost Sensors. *Sensors*. 22(9):3528.
- Berglund B, Nilsson ME. (2006) On a tool for measuring soundscape quality in urban residential areas. *Acta Acustica United Acustica*.92(2):938–44.
- Bernie & Napoletano, Brian & Gage, Stuart & Pieretti, Nadia. (2011). *Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape*. *BioScience*. 61. 10.1525/bio.2011.61.3.6.
- Bild E, Pfeffer K, Coler Matt, Rubin O, Bertolini L. (2018) Public Space Users' Soundscape Evaluations in Relation to Their Activities. An Amsterdam-Based Study. *Frontiers in Psychology Journal*, VOL 9.
- Bjerre LC, Larsen TM, Sørensen AJ, Santurette S, Jeong CH. (2017) Onsite and laboratory evaluations of soundscape quality in recreational urban spaces. *Noise Health*.19(89):183–95.
- Bjørner TB. (2004) Combining socio-acoustic and contingent valuation surveys to value noise reduction. *Transp Res Part D : Transp Environ*.9(5):341–56.
- Bonesio, L., (2001), *Paysage et sens du lieu. Éléments, Le localisme, une réponse à la mondialisation*, n° 100, Groupement de recherche et d'études pour la civilisation européenne.
- Botteldooren D. et al. (2011). Understanding urban and natural soundscapes. *Forum Acusticum*, Danemark.
- Botteldooren D., De Coensel B., De Muer T. (2006). The temporal structure of urban soundscapes. *Journal of Sound and Vibration*, 292 (1-2):105-123.
- Brambilla G, Gallo V, Asdrubali F, D'Alessandro F. (2013) The perceived quality of soundscape in three urban parks in Rome. *J Acoust Soc Am*.134(1):832–9.
- Brambilla G, Maffei L, Di Gabriele M, Gallo V. (2013) Merging physical parameters and laboratory subjective ratings for the soundscape assessment of urban squares. *J Acoust Soc Am*.134:782–90.

- Brambilla G, Maffei L. (2006) Responses to noise in urban parks and in rural quiet areas. *Acta Acustica United Acustica*.92(6):881–6.
- Brixen, E.B. (2020) *Audio Metering: Measurements, Standards and Practice*, 6th edition, Focal Press, 428 p.
- Brown A.L., Kang J., Gjestland T. (2011) Towards standardization in soundscape preference assessment. *Appl. Acoust*, 72 (6) pp. 387–392.
- Brown, Lex. (2012). A Review of Progress in Soundscapes and an Approach to Soundscape Planning. *International Journal of Acoustics and Vibrations*. 17. 73-81. 10.20855/ijav.2012.17.2302.
- Bruce NS, Davies WJ. (2014) The effects of expectation on the perception of soundscapes. *Appl Acoust.* ;85:1–11.
- Bryce T. Lawrence, Jonas Hornberg, Timo Haselhoff, Robynne Sutcliffe, Salman Ahmed, Susanne Moebus, Dietwald Gruehn (2022) A widened array of metrics (WAM) approach to characterize the urban acoustic environment; a case comparison of urban mixed-use and forest. *Applied Acoustics*, Vol(185),
- Cain R, Jennings P, Poxon J. (2013) The development and application of the emotional dimensions of a soundscape. *Appl Acoust*.74(2):232–9.
- Camilleri, M., Pujol, R., & Ducourneau, J. (2017). Bruit : attention danger ! Protection. *Voyage au Centre de l’Audition*. Consulté le 17 mars 2022, à l’adresse <http://www.cochlea.org/bruit-attention-danger-!-protection>.
- Canadian University Music Review (1990). *Revue de Musique des Universités Canadiennes*, 10(1), 71–100.
- Caputo, B. (2006). Il potere delle narrazioni: Confini e frontiere a Sidi Bou Saïd. *La Ricerca Folklorica*, 53, 55–70. <https://doi.org/10.2307/30033311>
- Christiane N. (2017). Methods in neuromusicology: principles, trends, examples and the pros and cons in Albrecht Schneider (Ed), *Studies in Musical Acoustics and Psychoacoustics*. Springer, 341-374.
- Chunming L., Yin L. Muki H. (2018). Participatory soundscape sensing. *Landscape and Urban Planning*, Elsevier. 173(64–69).
- Coensel BD, Botteldooren D. (2006) The quiet rural soundscape and how to characterize it. *Acta Acustica United Acustica*.92(6):887–97.
- Cooper, R. (1992). Systems and Organizations: distal and Proximal Thinking. *Syst. Pract.* 5, 373–377. doi: 10.1007/BF01059829
- Davies WJ, Adams MD, Bruce NS, Cain R, Carlyle A, Cusack P, et al. (2013) Perception of soundscapes: an interdisciplinary approach. *Appl Acoust*.74(2):224–31.
- Davies WJ, Adams MD, Bruce NS, Cain R, Carlyle A, Cusack P, Hume KI, Jennings P, Plack CJ. (2007) The positive soundscape project. In *Proceedings 19th International Congress on Acoustics Madrid*.

- Deichmann Jessica L., Andrés Hernández-Serna, J. Amanda Delgado C., Marconi Campos-Cerqueira, T. Mitchell Aide, (2017) Soundscape analysis and acoustic monitoring document impacts of natural gas exploration on biodiversity in a tropical forest, *Ecological Indicators*, Volume 74, Pages 39-48.
- Dekoninck C., Botteldooren D. (2014). Measurement network for urban noise assessment: comparison of mobile measurements and spatial interpolation approaches. *Applied Acoustics*, 83:32–39.
- Denzin N.K. (2006) *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods*. (Aldine, Chicago, IL), p. 300.
- Eberhard Zwicker et Hugo Fastl, *Psychoacoustics. Facts and models*, Berlin, Springer, 2007, 3e éd. (1re éd. 1990), 463 p.
- EC, 2002. Environmental Noise Directive. ([Http://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm)).
- Edler, D., Keil, J., WiedenlÜbbert, T., Sossna, M., Kühne, O., & Dickmann, F. (2019). Immersive VR experience of redeveloped post-industrial sites: The example of “Zeche Holland” in Bochum-Wattenscheid. *KN-Journal of Cartography and Geographic Information*, 69(4), 267-284.
- EEE (2014), Règlement (UE) No 540/2014 Concernant le niveau sonore des véhicules à moteur et des systèmes de silencieux de remplacement.
- Eleinen, Osama & Elrayies, Ghada & Hussein, Reem. (2016). A Soundscape Approach for Analyzing and Evaluating Acoustic Environments in Urban Parks. *Port Said Engineering Research Journal*. 20. 10-16. 10.21608/pserj.2016.33572.
- Engel M.S., Fiebig A., Pfaffenbac, C., Fels J. (2018). A review of socio-acoustic surveys for soundscape studies. *Curr. Pollut. Rep.*, Springer International Publishing, 4:220–239.
- Engel M.S., Fiebig A., Pfaffenbac, C., Fels J. (2021). A Review of the Use of Psychoacoustic Indicators on Soundscape Studies. *Current Pollution Reports*. 7. 10.1007/s40726-021-00197-1.
- Erfanian, M., Mitchell, A. J., Kang, J., & Aletta, F. (2019). The psychophysiological implications of soundscape: A systematic review of empirical literature and a research agenda. *International journal of environmental research and public health*, 16(19), 3533.
- Erfanian, M., Mitchell, A., Aletta, F., & Kang, J. (2020). Psychological well-being, age and gender can mediate soundscapes pleasantness and eventfulness: A large sample study. Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Evans GW, Johnson D. (2000) Stress and open-office noise. *Journal of applied psychology*. ;85(5):779.
- Evensen KH, Raanaas RK, Fyhri (2016) A. Soundscape and perceived suitability for recreation in an urban designated quiet zone. *Urban For Urban Green*.20:243–8.
- Everest F., Pohlmann K. (2015). *Master Handbook of Acoustics*, 6th edition, McGraw Hill Education, 1462 p.
- Farina A, (2014) *Soundscape ecology*. New York, Londres : Springer, 315 p.

- Farina, A., Eldridge, A., and Li, P. (2021). Ecoacoustics and multispecies semiosis: Naming, semantics, semiotic characteristics, and competencies. *Biosemiotics* 14, 141–165. DOI: 10.1007/s12304-021-09402-6.
- Farina, A, Pieretti N. (2012). The soundscape ecology: A new frontier of landscape research and its application to islands and coastal systems. *Journal of Marine and Island Cultures*. 1. 10.1016/j.imic.2012.04.002.
- Fiebig André, Jordan Pamela, Moshona Cleopatra Christina, (2020) Assessments of Acoustic Environments by Emotions – The Application of Emotion Theory in Soundscape. *Journal Frontiers in Psychology*, Vol (11).
- Fields J, de Jong R, Brown A, Flindell I, Gjestland T, Job R, Kurra S, Lercher P, Schuemer-Kohrs A, Vallet M, Yano T, (1997) Guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys, *J Sound Vib*, 206; 685-695.
- Fu, Y. (2021) *Evoking the Post-industrial Landscape Memories through Mixed Reality Soundscape* (Doctoral dissertation, Carnegie Mellon University).
- Fusaro, G., D’Alessandro, F., Baldinelli, G., & Kang, J. (2018). Design of urban furniture to enhance the soundscape: A case study. *Building Acoustics*, 25(1), 61-75.
- Gawron VJ. (1982) Performance effects of noise intensity, psychological set, and task type and complexity. *Human factors*. ;24(2):225–43.
- Ge J, Hokao K. (2004) Residential environmental evaluation of local cities considering regional characteristic and personal residential preference-a case study of Saga City, Japan. *J Environ Sci (China)*. 16(1):138-44. PMID: 14971469.
- Ge J, Lu J, Morotomi K, Hokao K. (2009). Developing Soundscapegraphy for the Notation of Urban Soundscape: Its Concept, Method, Analysis and Application. *Acta Acustica united with Acustica*. 95. 65-75. 10.3813/AAA.918128.
- Genuit K. (2008). Significance of psychoacoustic aspects for the evaluation of vehicle exterior noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123. 3134. 10.1121/1.2933092.
- Genuit K., Fiebig A. (2006). Psychoacoustics and its benefit for the soundscape approach. *Acta Acustica United with Acustica*, 92, 952-958.
- Germán Pérez-Martínez, Antonio J. Torija, Diego P. Ruiz. (2018) Soundscape assessment of a monumental place: A methodology based on the perception of dominant sounds, *Landscape and Urban Planning*, Volume 169, Pages 12-21.
- Glasberg B. R., Moore B. C. J. (2002) A model of loudness applicable to time-varying sounds. *Journal of the Audio Engineering Society* 50: 331–342.
- Gonzalo GR, Carmona JT, Morillas JBM, Vílchez-Gómez R, Escobar VG. (2015) Relationship between objective acoustic indices and subjective assessments for the quality of soundscapes. *Appl Acoust*. 97:1–10.
- Green M., Murphy D. (2020). Environmental sound monitoring using machine learning on mobile devices, *Applied Acoustics*, volume 159, 107041.
- Grinfeder E, Lorenzi C, Sueur, J., & Hauptert, S (2022). What do we mean by “soundscape “? A functional description. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 563.

- Guastavino C, Katz BFG, Polack JD, Levitin DJ, Dubois D. (2005) Ecological validity of soundscape reproduction. *Acta Acustica United Acustica*.91(2):333–41
- Guastavino C. (2006) The ideal urban soundscape: investigating the sound quality of French cities. *Acta Acustica United Acustica*.92(6) :945–51.
- Guérin F. (1990). Une Grille d'Analyse des Musiques Electro-acoustiques. *Canadian University Music Review / Revue de musique des universités canadiennes*, 10(1), 71–100.
- Guski R. (1999). Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise and Health*, 1(3) :45-56.
- Habellion,D. (2015). L'objet-exposition « Sonolithe » de Louis Dandrel (1991) Un outil pédagogique patrimonial d'éducation à l'écoute en lien avec l'écologie sonore, thèse de doctorat, Université de Limoges.
- Hall D A, Irwin A, Edmondson-Jones M, Phillips S and Poxon J E W (2013) An exploratory evaluation of perceptual, psychoacoustic and acoustical properties of urban soundscapes *Appl. Acoust.* 74 248-54.
- Hammami M.A, Claramunt C. (2021) An acoustic and psycho-acoustic experimental setup for analysing urban soundscapes. In *Proceedings of the 29th International Conference on Advances in Geographic Information Systems (SIGSPATIAL '21)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 103–106. <https://doi.org/10.1145/3474717.3483916>.
- Hammami M.A, Claramunt C. (2022). Vers une approche psychoacoustique et qualitative des paysages sonores de la commune de Sidi Bou Saïd. *Rev. Int. Geomat.*, 30(3-4). <https://doi.org/10.3166/rig.2021.00113>.
- Hammer MS, Swinburn TK, Neitzel RL. (2013) Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response. *Environmental health perspectives*. 122(2):115–9.
- Hao, Yiyang & Kang, Jian & Krijnders, Dirkjan. (2015). Integrated effects of urban morphology on birdsong loudness and visibility of green areas. *Landscape and Urban Planning*. 137. 10.1016/j.landurbplan.2015.01.006.
- Hatfield J, van Kamp I, Job RFS. (2006) Clarifying "soundscapes": effects of question format on reaction to noise from combined sources. *Acta Acustica United Acustica*.92(6):922–8.
- Heeren W, Hohmann V, Appell JE, Verhey JL. (2013) Relation between loudness in categorical units and loudness in phons and sones. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 133(4)
- Hong J., Jeon J. Y. (2013). Structural equation modeling of urban soundscape based on subjective and objective characteristics of urban environment. In *6th International Symposium on Temporal Design*.
- Hong J., Jeon J. Y. (2014). Soundscape mapping in urban contexts using GIS techniques, *Inter-noise*, Melbourne, Australie.

- Hong J., Jeon J. Y. (2015) Influence of urban contexts on soundscape perceptions: a structural equation modeling approach, *Landscape and Urban Planning*, 141(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*, 126 (382–395).
- Hölling Josefine *Soundscape from an AudioVisual Perspective A study on how visual feedback affects our perception of a soundscape*, Examensarbete Inom Medieteknik, Avancerad Nivå, Hp Stockholm, Sverige 2021.
- Hume K, Ahtamad M. (2013) Physiological responses to and subjective estimates of soundscape elements. *Appl Acoust.*74(2):275–81.
- Hutmacher F. (2019). Why Is There So Much More Research on Vision Than on Any Other Sensory Modality? *Frontiers in psychology*, 10, 2246. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02246>
- Institut National de la Statistique - Tunisie. (2016). Tunis : À travers le recensement général de la population et de l’habitat 2014. INS-Tunisie. <http://www.ins.tn/publication/tunis-travers-le-recensement-general-de-la-population-et-de-lhabitat-2014>.
- Irwin A, Hall DA, Peters A, Plack CJ. (2011) Listening to urban soundscapes: physiological validity of perceptual dimensions *Psychophysiology.*48(2):258–68.
- 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.
- Izumi K, Yano T. (1991) Community response to road traffic noise: social surveys in three cities in Hokkaido. *J Sound Vib.*151(3):505–12.
- Jafari, M. J., Khosrowabadi, R., Khodakarim, S., & Mohammadian, F. (2019). The Effect of Noise Exposure on Cognitive Performance and Brain Activity Patterns. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 7(17), 2924–2931.
- Jambrošić K, Horvat M, Domitrović H. (2013) Assessment of urban soundscapes with the focus on an architectural installation with musical features. *J Acoust Soc Am.*134(1):869–79.
- Jeon J. Y, Hyun I. J. (2020). Effects of audio-visual interactions on soundscape and landscape perception and their influence on satisfaction with the urban environment. *Building and Environment*, volume 169, Elsevier.
- Jeon JH, Hong JY. (2015) Classification of urban park soundscapes through perceptions of the acoustical environments. *Landsc Urban Plan.*141:100–11.
- Jeon JY, Hong JY, Lee PJ. (2013) Soundwalk approach to identify urban soundscapes individually. *J Acoust Soc Am.*134(1):803–12.

- Jeon, Jin Yong & Hong, Jooyoung & Lavandier, Catherine & Lafon, Jeanne & Axelsson, Östen & Hurtig, Malin. (2018). A cross-national comparison in assessment of urban park soundscapes in France, Korea, and Sweden through laboratory experiments. *Applied Acoustics*. 133. 107-117.
- Jin Y, Hong JY, Lavandier C, Lafon J, Axelsson Ö, Hurtig M. (2018) A cross-national comparison in assessment of urban park
- Joo Y, Jin Y. (2017), Exploring spatial relationships among soundscape variables in urban areas: A spatial statistical modelling approach, *Landscape and Urban Planning*, volume 157, 352-364,
- Kang J, Zhang M. (2010) Semantic differential analysis of the soundscape in urban open public spaces. *Build Environ*. 45:150–7.
- Kang, J, Aletta, F., Oberman, T., Erfanian, M., Kachlicka, M., Lionello, M., & Mitchell, A. (2019). Towards soundscape indices. In *Proceedings of the International Congress on Acoustics* (pp. 2488-2495). International Congress on Acoustics.
- Kang, J., & Schulte-Fortkamp, B. (Eds.). (2016). *Soundscape and the built environment* (Vol. 525). Boca Raton, FL, USA:: CRC press.
- Kang J, Schulte-Fortkamp B. (2011). Towards science and practice of soundscape: COST Action TD0804 - Soundscape of European cities and landscapes. *Proceeding of Forum Acusticum 2011*.
- Kaymaz I, Cüre CT, Baki E. (2016) Perceived soundscape of urban historical places: a case study of Hamamönü, Ankara. *Procedia Eng*.161:1920–5.
- Keogan, K., Daunt, F., Wanless, S. et al. (2018) Global phenological insensitivity to shifting ocean temperatures among seabirds. *Nature Clim Change* 8, 313–318.
- Klæboe, R. (2006) Context sensitive noise impact mapping, *Applied Acoustics* 67(7):620-642.
- Kogan, P., Turra B., Arenas J.P., Hinalaf M. A. (2017). Comprehensive methodology for the multidimensional and synchronic data collecting in soundscape. *Sci. Total Environ*. 580, 1068–1077.
- Kongan P, Turra B, Arenas JP, HinalafM. (2017) A comprehensive methodology for the multidimensional and synchronic data collecting in soundscape. *Sci Total Environ*.580:1068–77.
- Konstantinos Vogiatzis, Nicolas Rémy. (2018) Towards sustainable urban sound environment: several case studies in Greece. *Euronoise 2018, HERSONISSOS, CRETE, Greece*.
- Kou, L., Kwan, M.-P, Chai, Y. (2021) ‘The effects of activity-related contexts on individual sound exposures: A time–geographic approach to soundscape studies’, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), pp. 2073–2092.
- Kou, L., Kwan, M.-P, Chai, Yanwei. (2020). The effects of activity-related contexts on individual sound exposures: A time–geographic approach to soundscape studies. *Environment and Planning B Urban Analytics and City Science*. 48.
- Krause, Bernie (2012). *The Great Animal Orchestra: Finding the Origins of Music in the World's Wild Places*. Little Brown. p. 278. ISBN 978-0-316-08687-5.

- Kumar, S., Forster, H. M., Bailey, P., & Griffiths, T. D. (2008). Mapping unpleasantness of sounds to their auditory representation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(6), 3810-3817.
- Langdon FJ. (1976) Noise/nuisance caused by road traffic in residential areas. *J Sound Vib.*47(2):243–63.
- Lavandier C, Defréville B. (2006) The contribution of sound source characteristics in the assessment of urban soundscapes. *Acta Acustica United Acustica.*92(6):912–21.
- Lee J, Francis JM, Wang LM. (2017) How tonality and loudness of noise relate to annoyance and task performance. *Noise Control Engineering Journal.* 65(2):71–82.
- Lee S., Chang S., Park Y. (2008). Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul. *Applied Acoustics*, 69, 704-714.
- Lercher P, Evans GW, Widmann U. (2013) The ecological context of soundscapes for children’s blood pressure. *J Acoust Soc Am.*134(1):773–81.
- Levine N. (1981) The development of an annoyance scale for community noise assessment. *J Sound Vib.*74(2):265–79.
- Li, Chunming & Liu, Yin & Haklay, Muki. (2018). Participatory soundscape sensing. *Landscape and Urban Planning.* 173. 64-69. 10.1016/j.landurbplan.2018.02.002.
- Lionello, M., Aletta, F., & Kang, J. (2020). A systematic review of prediction models for the experience of urban soundscapes. *Applied Acoustics*, 170, 107479.
- Liu F, Kang J. A (2016) grounded theory approach to the subjective understanding of urban soundscape in Sheffield. *Cities.*50:28–39.
- Liu J, Kang J, Behm H, Luo T. (2014) Effects of landscape on soundscape perception. *Landsc Urban Plan.*123:30–40.
- Ma, K. W., Mak, C. M., & Wong, H. M. (2021). Effects of environmental sound quality on soundscape preference in a public urban space. *Applied Acoustics*, 171, 107570
- Maculewicz J, Erkut C, Serafin S. (2016) How can soundscapes affect the preferred walking pace? *Appl Acoust.*114:230–9.
- Mahjoub, N., (1999) « Sidi Abu Said, le raïs des mers, l’homme, le monument », Tunis cité de la mer, Tunis, édition L’or du temps, actes du colloque organisé dans le cadre des manifestations relatives au choix de l’Unesco de Tunis, capitale culturelle.
- Mancini, Simona & Mascolo, Aurora & Graziuso, Gabriella & Guarnaccia, Claudio. (2021). Soundwalk, Questionnaires and Noise Measurements in a University Campus: A Soundscape Study. *Sustainability.* 13. 841. 10.3390/su13020841.
- Marquis-Favre, Premat, Aubree, (2005) Noise and its effects – A review on qualitative aspects of sound. Part II: noise and annoyance, *Acta Acustica united with Acustica*, 91(4):626-642.
- Marry S, Defrance J. (2013) Analysis of the perception and representation of sonic public spaces through on-site survey, acoustic indicators. *Appl Acoust.*74(2):282–92.

- Mathias B., et al. (2015). ICBen review of research on the biological effects of noise 2011-2014. *Noise and Health*, 17(7), 57 – 82.
- MATLAB (2021), The MathWorks Inc. [Audio and Signal processing Toolbox]. Natick, Massachusetts, United State.
- McAdams S, Bigand E, (1994) *Penser les sons : Psychologie cognitive de l'audition*, Paris, PUF, coll. « Psychologie et sciences de la pensée », 1re éd., 402 p.
- McLean F, Jiricek O. (2020). A Comparison of Sharpness Evaluation Models. *Monitoring and modeling methods in acoustics project*. 26. 10-14.
- McPherson, C., Li, Z., & Quijano, J. (2019). *Underwater Sound Propagation Modelling to Illustrate Potential Noise Exposure to Maui Dolphins from Seismic Surveys and Vessel Traffic on West Coast North Island, New Zealand*. Ministry for Primary Industries.
- Medvedev O, Shepherd D, Hautus MJ. (2015) The restorative potential of soundscapes: a physiological investigation. *Appl Acoust.*96:20–6.
- Memoli G.; Bloomfiel, A.; Dixon M. (2008). Soundscape characterization in selected areas of Central London. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 123, 3811.
- Merchan CI, Diaz-Balteiro L, Soliño M. (2014) Noise pollution in national parks: soundscape and economic valuation. *Landsc Urban Plan.*123:1–9.
- Meunier Sabine , Guillaume Lemaitre, (2013) *Les indicateurs psychoacoustiques : approches théoriques et pratiques*. École d'automne « Ville & Acoustique » École Centrale de Nantes.
- Meunier Sabine, Sophie Savel, Jacques Chatron, Guy Rabau. (2018) *La sonie de sons en mouvement*. 14ème Congrès Français d'Acoustique, Le Havre, France.
- 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.
- Miksis-Olds, J. L., Martin, B., & Tyack, P. L. (2018). Exploring the ocean through soundscapes. *Acoust. Today*, 14(1), 26-34.
- 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*, 10 (7), 2397.
- Molla S, Boullet I, Meunier S, Rabau G, Gauduin B. (2010) Calcul des indicateurs de sonie: revue des algorithmes et implémentation. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Lyon, France.
- Monika R., Gerrit V. (2013) Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters, *Applied Acoustics*, 74, 240–247.
- Moscoso, P., Peck, M., & Eldridge, A. (2018). Systematic literature review on the association between soundscape and ecological/human wellbeing. *PeerJ Preprints*, 6. e6570v2. ISSN 2167-9843.

- Murray Shafer R. (2010). *Le Paysage Sonore, le Monde comme Musique*, Wildproject Éditions, (Réédition), Paris.
- Nasanovsky-Lanier, S (1999). *La Musique, Source d'Equilibre pour l'Etre Humain*, Université de Lyon 2.
- National Parks Service. *Soundscapes research and management: Understanding, protecting and enjoying the acoustic environment of our national parks*, *Park Science*, 26(3), (2009–2010).
- Neuhoff J.G. (2004). *Ecological Psychoacoustics*. Elsevier, USA, 386 p.
- Nilsson ME, Berglund B. (2006) *Soundscape quality in suburban green areas and city parks*. *Acta Acustica United Acustica*.92(6):903–11.
- Oliveros, Pauline (2005). *Deep Listening: A Composer's Sound Practice*. iUniverse. p. 18. ISBN 978-0-595-34365-2.
- Ooi, K.; Lam, B.; Hong, J.-Y.; Watcharasupat, K.N.; Ong, Z.-T.; Gan, W.-S. (2022) *Singapore Soundscape Site Selection Survey: Identification of Characteristic Soundscapes of Singapore via Weighted k-Means Clustering*. *Sustainability*, 14, 7485.
- Orban-Ferauge Françoise (2011) *Systèmes d'information géographique participatifs et aménagement du territoire : Expériences philippines citoyennes de désenclavement, Volume 3 d'Éclairage Nord-Sud*, Presses universitaires de Namur. 158 p.
- Owsinski, B (2017) *The Recording Engineer's Handbook*. BOMG Publishing; 4th edition.
- Patchett, R. F. (1979). *Human sound frequency preferences*. *Perceptual and motor Skills*, 49(1), 324–326.
- Payne SR. (2013) *The production of a perceived restorativeness soundscape scale*. *Appl Acoust*.74(2):255–63.
- Péaud Laura, Véronique Mehl. (2019) *Paysages sensoriels : approches pluridisciplinaires*. Presses Universitaires de Rennes, 262p, Hors-Série, 978-2-7535-7696-4.
- Pérez-Martínez G, Torija AJ, Ruiz DP. (2018) *Soundscape assessment of a monumental place: a methodology based on the perception of dominant sounds*. *Landsc Urban Plan*.169:12–21.
- Pheasant R, Horoshenkov K, Watts G, Barrett B (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 – 123(3):1446-1457*.
- Pijanowski, Bryan & Villanueva-Rivera, Luis & Dumyahn, Sarah & Farina, Almo & Krause, (2011) *Project: CUP: Comfort Urban Places*, Euronoise, Prague.
- Prévention des risques liés au bruit (Articles R1336-1 à R1336-16). (2017). *legifrance*. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000035425946
- Putland, R. L., Brey, M. K., & Mensinger, A. F. (2021). *Exploring how vessel activity influences the soundscape at a navigation lock on the Mississippi River*. *Journal of Environmental Management*, 296, 112720.

- Raimbault M. (2006) Qualitative judgments of urban soundscapes: questioning questionnaires and semantic scales. *Acta Acustica United Acustica*.92(2):929–37.
- Raimbault, Manon & Dubois, Danièle. (2005). Urban Soundscapes: Experiences and Knowledge. *Cities*. 22. 339-350. 10.1016/j.cities.2005.05.003.
- Rasetshwane, D. M., Trevino, A. C., Gombert, J. N., Liebig-Trehearn, L., Kopun, J. G., Jesteadt, W., Neely, S. T., & Gorga, M. P. (2015). Categorical loudness scaling and equal-loudness contours in listeners with normal hearing and hearing loss. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(4), 1899–1913.
- Rehan RM. (2016) The phonic identity of the city urban soundscape for sustainable spaces. *HBRC J*.12:337–49.
- Ren X, Kang J, Liu X. (2016). Soundscape perception of urban recreational green
- Ricciardi P., Delaitre P., Lavandier C., Torchia F. M., Aumond P. (2015). Sound quality indicators for urban places in Paris cross-validated by Milan data. *Journal of the Acoustics Society of America*. 138. 2337. 10.1121/1.4929747].
- Russell, James. (1980). A Circumplex Model of Affect. *Journal of Personality and Social Psychology*. 39. 1161-1178. 10.1037/h0077714.
- San Martín R. and al. (2019) Influence of recording technology on the determination of binaural psychoacoustic indicators in soundscape investigations, *Inter-noise Madrid*.
- Santelli, S., (1995) *Tunis, le creuset méditerranéen*, Paris, édition du Demi-Cercle/CNRS, coll. « La Ville ».
- Sattar F, Cullis-Suzuki S, and Jin F. (2016). Acoustic analysis of big ocean data to monitor fish sounds. *Ecological Informatics* 34:102-107. 10.1016/j.ecoinf.2016.05.002.
- Schafer, R.M. (1977) *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*; Simon and Schuster:New York, NY, USA.
- Schiller, M. (2021). *Giacomo Bottà, Deindustrialisation and Popular Music: Punk and 'Post-Punk' in Manchester, Düsseldorf, Torino and Tampere*. London: Rowman & Littlefield, 2020. 213 pp. ISBN 978-1-78660-737-9 (hbk).
- Schulte-Fortkamp B, Fiebig A. (2006) Soundscape analysis in a residential area: an evaluation of noise and people's mind. *Acta Acustica United Acustica*.92(6):875–80.
- Seidman, M. D., Standing R. T. (2010). Noise and quality of life, *Int J Environ Res Public Health*.
- Seong, J. C. et al. (2011). Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County. *Environment International*, 37(8), 1336–1341.
- Simmons KR, Eggleston DB, Bohnenstiehl DR (2021) Hurricane impacts on a coral reef soundscape. *PLoS ONE* 16(2): e0244599.
- Solène Marry. (2011) *Modèle expérimental d'évaluation d'espaces publics par les citoyens à travers la perception spatiale et sonore*. RIDAD (Rencontres Interdisciplinaires Doctorales sur l'Aménagement Durable), Vaulx-en-Velin, France.
- Soloaga;A et al. (2012). Validation of an indicator for the assessment of the environmental sound in urban places.

- Song X, Lv X, Yu D, Wu Q. (2018) Spatial-temporal change analysis of plant soundscapes and their design methods. *Urban For Urban Green*.29:96–105.
- Sottek R. (2016). Sharpness perception and modeling of stationary and time-varying sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 140:4.
- Southworth, M. (1969). The sonic environment of cities. *Environment and Behavior*, 1(1), 49.
- Stansfeld SA, Matheson MP. (2003) Noise pollution: non-auditory effects on health. *British medical bulletin*. 68(1):243–57.
- Steele, Daniel & Steffens, Jochen & Guastavino, Catherine. (2015). The role of activity in urban soundscape evaluations.
- Stendhal, *Vie de Rossini*, Paris, 1823, chap. 8 ; LS, II, p. 106.
- Stevens, S.S. (1961). Procedure for calculating loudness: Mark VI. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 33 (11): p. 1577-1585.
- Sudarsono AS, LamYW, DaviesWJ. (2016) The effect of sound level on perception of reproduced soundscapes. *Appl Acoust*.110:53–60.
- Suhanek, M., & Grubesa, S. (2020). Innovative Approaches to Noise Reduction. In *Noise and Environment*. IntechOpen.
- Suk-Jun Kim et al. (2010) Imaginal listening: a quaternary framework for listening to electroacoustic music and phenomena of sound-images, *Organized Sound: Sonic imagery*. Cambridge University Press, 15(1), 43-53.
- Swift SH, Gee KL. (2017). Implementing Zwicker sharpness using specific loudness calculated from the “Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 141:5.
- Szeremeta B, Zannin PHT. (2009) Analysis and evaluation of soundscapes in public parks through interviews and measurement of noise. *Sci Total Environ*.407(24):6143–9.
- Tamura, A. (2002) Recognition of sounds in residential environments: An indicator of our ambiguous sound environments, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1 (2), 1–8.
- Terhardt, E., and Stoll, G., (1981) Skalierung des Wohlklangs von 17 Umweltschallen und Untersuchung der beteiligten Hörparameter, *Acustica*, in press.
- Thompson, M (2017) *Beyond Unwanted Sound : Noise, Affect and Aesthetic Moralism*. Ed. Bloomsbury Academic.
- Torija AJ, Ruiz DP, Ramos-Ridao AF. (2013) Application of a methodology for categorizing and differentiating urban soundscapes using acoustical descriptors and semantic-differential attributes. *J Acoust Soc Am*.134(1):791–802.
- Torresin, S., Albatici, R., Aletta, F., Babich, F., & Kang, J. (2019). Assessment methods and factors determining positive indoor soundscapes in residential buildings: A systematic review. *Sustainability*, 11(19), 5290.

- Torresin, S., Albatici, R., Aletta, F., Babich, F., Oberman, T., Siboni, S., & Kang, J. (2020). Indoor soundscape assessment: A principal components model of acoustic perception in residential buildings. *Building and Environment*, 182, 107152.
- Triguero-Mas, & All (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*, 12(3).
- Truax B. ed. (1999). *Handbook for Acoustic Ecology*. Second ed. Vancouver, Canada: Cambridge Street Publishing.
- Tversky B., Hemenway K. (1983). Categories of environmental scenes, *Cognitive Psychology*, 15(1), 121-149.
- Tversky B., Morrison, J., Franklin N.; Bryant D. (1999) Three spaces of spatial cognition, *The Professional Geographer*, 51:4, 516-524.
- Van den Bosch, K. A-M. (2015). *Safe and Sound: Soundscape research in special needs care*. University of Groningen.
- Varela Carvajal, G. (2021). The midbrain origin of auditory predictive processing and how dopamine modulates early perception of surprising sounds.
- 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 (Cyprus). *Science of The Total Environment*, 424:162-73.
- Wai-Ming, T. (2018). Integrating artificial intelligence with virtual reality for soundscape appraisal. *Inter-Noise 2018*.
- 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*, 72(8), 556-568.
- Wang S, Yu Y, Feng Y, Zou F, Zhang X, Huang J, et al. (2016) Protective effect of the orientin on noise-induced cognitive impairments in mice. *Behavioural brain research*. 296:290–300.
- Wang, Yun & Deng, Zhiyong. (2011). *Soundscape: In the View of Music*. 10.13140/2.1.3015.6804.
- Watts, G.R & Marafa, Lawal. (2017). Validation of the Tranquillity Rating Prediction Tool (TRAPT): Comparative studies in UK and Hong Kong. *Noise Mapping*. 4. 10.1515/noise-2017-0005.
- Weber, B. (2010) *Identité musicale et musicothérapie, études cliniques auprès de patients présentant des troubles du comportement*.
- Wiemann Nielsen, H., Jørgensen, G., & Braae, E. M. (2021). Resonance–soundscapes of material and immaterial qualities of urban spaces. *Cities & Health*, 5(1-2), 160-178

- William J.D. & al., (2013) Perception of soundscapes: An interdisciplinary approach, *Applied Acoustics*, Elsevier. USA, 74, 224–231.
- Woloszyn, P., (2012), Du paysage sonore aux sonotopes. Territorialisation du sonore et construction identitaire d'un quartier d'habitat social. In : *Communications*, 90, Les bruits de la ville, Numéro dirigé par Anthony Pecqueux, pp. 53-62.
- Woodcock J, Davies WJ, Cox TJ. (2017) A cognitive framework for the categorization of auditory objects in urban soundscapes. *Appl Acoust.*121:56–64.
- Wundt, W. (1906). *Vorlesungen Über die Menschen- und Tierseele*. Hamburg: Voss Verlag
- Xiang Yi, Marcus Hedblom, Sen Wang, Ling Qiu, Tian Gao, (2022) Indicator selection combining audio and visual perception of urban green spaces, *Ecological Indicators*, Volume 137,108772, ISSN 1470-160X.
- Xiao, J., & Hilton, A. (2019). An investigation of soundscape factors influencing perceptions of square dancing in urban streets: a case study in a county level city in China. *International journal of environmental research and public health*, 16(5), 840.
- Xinxin REN, Jian KANG, Xiaoguang LIU. (2016) Soundscape Perception of Urban Recreational Green Space. *Landsc. Archit. Front.*, 4(4): 42–55.
- Yang, W., & Kang, J. (2005). Soundscape and sound preferences in urban squares: a case study in Sheffield. *Journal of urban design*, 10(1), 61-80.
- Yousoufi, S., Houot, H., Vuidel, G., Pujol, S., Mauny, F., & Foltête, J. C. (2020). Combining visual and noise characteristics of a neighborhood environment to model residential satisfaction: An application using GIS-based metrics. *Landscape and Urban Planning*, 204, 103932.
- Zaïer S., Rejeb H. et Donadiou 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*.
- Zannin, Paulo. (2016). *Noise Pollution in Urban and Industrial Environments - Measurements and Noise Mapping*.
- Zbiss, M. S., (1971) *Sidi Bou Saïd, promontoire du soleil éternel*, Tunis, Société tunisienne de diffusion.
- Zeitler A., Fastl H., Hellbrück J., Thoma G., Ellermeier W., Zeller P. (2006) Methodological approaches to investigate the effects of meaning, expectations and context in listening experiments. Presented in *Internoise*. Honolulu. HI
- Zhang, Y. (2014). Research on soundscape restorative benefits of urban open space and promotion strategy of the acoustic environment quality. *New Archit.* 165, 18–22.
- Zhao, Xiaolong, Shilun Zhang, Qi Meng, and Jian Kang. (2018). "Influence of Contextual Factors on Soundscape in Urban Open Spaces" *Applied Sciences* 8, no. 12: 2524.
- Zheng Y., Xie X. and Ma, W. (2010). Geolife: A collaborative social networking service among user, location and trajectory. *IEEE Data Eng. Bulletin*, 33(2), 32–40. <https://doi.org/10.1.1.165.4216>.

- Zheng, Y., Zhang, L., Xie, X., & Ma, W.-Y. (2009). Mining interesting locations and travel sequences from GPS trajectories. In Proceedings of the 18th international conference on World Wide Web - WWW '09, p. 791. <https://doi.org/10.1145/1526709.1526816>.
- Zheni, D., Frihida, A., Claramunt, C., Ben Ghézala H. H. (2015). A semantic-based data model for the manipulation of trajectories: Application to urban transportation. In Proceedings of the 14th International Symposium on Web and Wireless GIS (W2GIS 2015), Springer LNCS, pp. 124-142.
- Zotter, F. and Frank, M (2019) Ambisonics: A Practical 3D Audio Theory for Recording, Studio Production, Sound Reinforcement, and Virtual Reality. Springer International Publishing.
- Zwicker E, Fastl H. (2007) Psychoacoustics: Facts and Models. Berlin : Springer, 3e éd. (1re éd. 1990), 463 p.
- Zwicker E., Fastl H. (1999). Sharpness and Sensory Pleasantness. In: Psychoacoustics. Springer Series in Information Sciences, vol 22. Springer, Berlin, Heidelberg.

Titre : Vers une Méthodologie Duale de Qualification et de Perception de Paysages Sonores : Expérimentation dans le Contexte Urbain de Sidi Bou Saïd.

Mots clés : Acoustique environnementale | Patrimoine urbain | Paysage sonore | Psychoacoustique.

Résumé : La recherche développée dans cette thèse propose de qualifier les ambiances sonores d'un espace urbain en combinant des approches quantitatives et qualitatives. A partir d'une analyse des approches actuelles menant à l'apparition d'un concept de paysage sonore, notre démarche théorique et expérimentale élabore et combine dans un premier temps une série de mesures acoustiques, psychoacoustiques et des analyses immersives tridimensionnelles, réalisées in situ, à partir d'une gamme complémentaire de capteurs sonores multidimensionnels. Afin d'enrichir cette approche quantitative, nous construisons une évaluation qualitative socio-acoustique réalisée sur des humains praticiens d'un environnement urbain qui permet de confronter les réalités mesurées à celles perçues.

Les expérimentations menées dans la commune de Sidi Bou Saïd montrent la faisabilité de la démarche, l'intérêt de combiner mesures quantitatives avec des réalités sonores perçues, tout comme l'opérationnalisation possible d'une telle approche duale permettant de qualifier les paysages sonores dans un riche environnement urbain. Cette recherche devrait contribuer à promouvoir le potentiel offert par les qualifications de paysages sonores en environnement urbain et de nouvelles perspectives pour les aménagistes, décideurs et praticiens.

Title: Towards a Dual Methodology of Qualification and Perception of Soundscapes: Experimentation in the Urban Context of Sidi Bou Saïd.

Keywords: Environmental acoustics | Urban heritage | Soundscape | Psychoacoustics.

Abstract: The main objective of the study is to qualify the urban sonic ambiance by combining quantitative and qualitative approaches. Starting with an analysis of current approaches leading to the appearance of a concept of soundscape, the present theoretical and experimental approach first develops and combines a series of acoustic and psychoacoustic measurements, and three-dimensional immersive analyses carried out in situ from a complementary range of multidimensional sound sensors. In order to enrich this quantitative approach, a qualitative socio-acoustic evaluation was carried out on human practitioners of an urban environment which makes it possible to confront the realities measured with those perceived.

The experiments carried out in the municipality of Sidi Bou Saïd show the feasibility of the approach, the utility of combining quantitative measurements with perceived sound realities, as well as the possible operationalization of such a dual approach making it possible to qualify soundscapes in a rich urban environment. This research should contribute to promoting the potential offered by urban environment soundscapes and new perspectives for planners, decision-makers, and practitioners.