

CFA/VISHNO 2016

**Développement d'une méthodologie logicielle d'aide à
l'aménagement durable du paysage sonore urbain
(URBASON)**

J. Defrance^a, J. Maillard^a, E. Bertrand^b, D. Bozzetto^b, C. Becarie^c, O.
Balay^d et J.-B. Dufour^e

^aCSTB, 24 rue Joseph Fourier, 38400 Saint-Martin-D'Hères, France

^bAcouphen, 33 Route de Jonage, 69330 Pusignan, France

^cENTPE, 3 Rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-En-Velin Cedex, France

^dCASA, 20 rue Leynaud, 69001 Lyon, France

^eGeomod, 89 rue de la Villette, 69003 Lyon, France

jerome.defrance@cstb.fr



LE MANS

Le projet UrbaSon vise à développer une méthodologie logicielle d'aide à l'aménagement durable du paysage sonore urbain, en intégrant les résultats de recherches et d'expériences des 15 dernières années, notamment concernant des indicateurs dédiés, des représentations innovantes de l'espace urbain ainsi que la restitution sonore 3D (auralisation), ceci comme outils de compréhension complémentaires à ce qui est proposé actuellement dans les logiciels de cartographie du bruit, peu adaptés à la ville. Nous présentons ici les résultats des deux premières tâches du projet de recherche : dans un premier temps, les besoins méthodologiques et logiciels ont été définis par la réalisation d'une phase d'acculturation réunissant les partenaires du projet et un panel d'acteurs concernés par l'amélioration de l'environnement sonore urbain. Le but a été de rassembler, par le biais d'ateliers d'échanges, les connaissances et expériences en matière de données qui permettent de représenter puis d'envisager un aménagement sonore urbain « réussi ». Quatre domaines ont été traités en priorité : les sources de bruit de transport particulières, les autres sources de bruits naturels, humains ou technologiques créant les ambiances sonores de la ville selon des temporalités propres, la représentation dynamique du bruit et l'amélioration de la modélisation physique de l'urbain. A partir de la synthèse de ces ateliers, nous avons défini précisément les attentes conduisant à la réalisation d'un futur logiciel visant la caractérisation d'ambiances sonores urbaines locales et la simulation de solutions de gestion de cet environnement sonore. Ceci nous a permis d'alimenter une seconde tâche dont le but était double : développer une méthodologie d'aide à la prise de décision pour l'aménageur sonore urbain et formuler des « fonctionnalités cibles » d'un futur logiciel dédié.

1 Introduction

La pollution sonore est actuellement l'un des principaux problèmes environnementaux, en France et dans l'ensemble des pays de l'Union Européenne. Toutes les enquêtes depuis trente ans placent l'environnement sonore comme une des principales causes d'insatisfaction en ville.

Mais au cours de ces dernières années, alors que l'urbanisation s'accroissait, parfois avec de fortes contraintes de densité, et que les transports terrestres se développaient, avons-nous créé les outils logiciels adaptés à la gestion du bruit dans la ville et nécessaires à la compréhension des phénomènes physiques auprès des aménageurs et des citoyens ? Avons-nous répondu à l'attente de certains décideurs de pouvoir davantage appréhender, quantitativement et qualitativement, le paysage sonore urbain afin de le mieux gérer, notamment pour le piéton et le cycliste, qui sont au cœur des enjeux des déplacements doux ?

En matière de lutte contre le bruit des transports, le cadre technico-réglementaire actuel date des années 1980-1990 s'adressant initialement aux grands axes routiers et ferroviaires reliant les agglomérations. Les indicateurs, les méthodes d'évaluation et de prévision ainsi que les valeurs limites retenues sont peu pertinentes dans une problématique urbaine caractérisée par la densification, la recherche de qualité des ambiances de vie et le partage plurifonctionnel de l'espace public.

Le bruit reste un sujet de préoccupation majeur des gestionnaires de la ville mais la volonté de mieux gérer l'environnement sonore urbain existe cependant (pour exemple, la Directive Européenne 2002/49/CE qui nous incite à travailler sur des « indicateurs de bruit supplémentaires » - Annexe I, point 3). Au-delà de la réduction du bruit à la source, l'aménagement à l'échelle du bâtiment, de la rue, du quartier offre de nombreuses opportunités pour réduire la gêne et améliorer la qualité sonore des espaces extérieurs. C'est pourquoi aujourd'hui, de nouvelles perspectives de recherche mènent à prendre en compte des données et des techniques permettant de mieux appréhender la relation constructive des citoyens à l'environnement sonore de leurs lieux de vie.

Nous vivons un moment de rupture où nous avons en notre possession le savoir et les briques d'outils permettant de créer cette nouvelle façon de concevoir et gérer un paysage sonore urbain confortable.

En réponse à ces attentes et élaboré dans le cadre de l'Appel à Propositions de Recherche 2013 de l'ADEME "Urbanisme durable et environnement sonore : outils, guides, solutions techniques ou matériaux", le projet UrbaSon consiste à développer une méthodologie logicielle d'aide à l'aménagement durable du paysage sonore urbain, en intégrant les résultats de recherches et retours d'expérience de ces 15 dernières années.

Le projet est organisé autour de quatre tâches (T1-T4) telles que présentées en Figure 1.

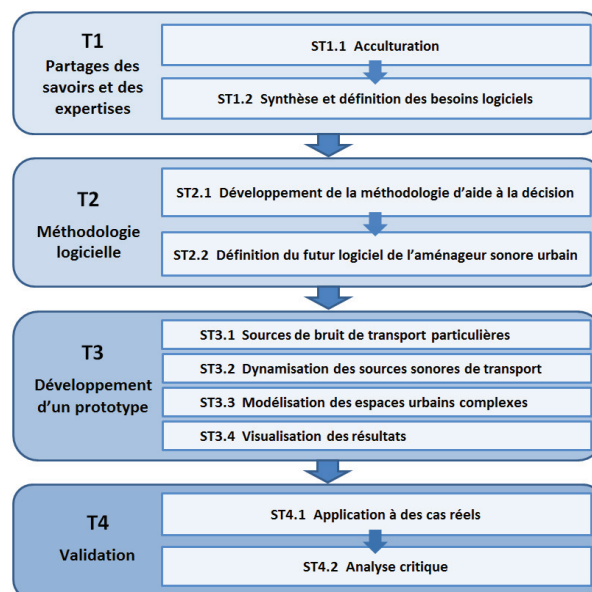


Figure 1 : organisation du projet UrbaSon

Dans cet article, nous présentons les objectifs et les résultats des deux premières tâches.

2 Tâche 1 : Partage des savoirs et des expertises

2.1 Objectifs

Le but de la Tâche 1 du projet UrbaSon a été de définir nos besoins méthodologiques et logiciels. Pour ce faire, une première action d'acculturation a été menée. Son objectif

était de rassembler les connaissances et expériences en matière de données permettant de représenter puis d'envisager un aménagement sonore urbain « réussi ». Deux ateliers d'échanges (à Paris et Lyon) réunissant les partenaires du projet ainsi qu'un ensemble d'acteurs concernés par la réussite de l'ambiance sonore de la ville (architectes, BE...) ont été organisés. Chacun a pu évoquer les simulations d'environnement sonore pour l'espace bâti (imaginées ou réalisées), les outils de représentations ainsi que les supports utilisés.

Pour les partenaires du projet, il s'est agi de faire partager leur propre expérience acquise, autour de projets acoustiques concrets. Un certain nombre d'outils dédiés ont été évoqués, notamment :

- Mithra-SIG, développé par GEOMOD et le CSTB : logiciel de prévision du bruit dans l'environnement, dédié à la cartographie grande échelle et aux études d'impact,
- MithraSON, développé par le CSTB : logiciel dédié à l'auralisation des bruits extérieurs permettant l'écoute d'une scène sonore urbaine projetée,
- SIG ChAOS, développé par CASA et le CRESSON : logiciel visant à la représentation qualitative des phénomènes sonores urbains à partir d'un SIG,
- Symuvia, développé par le LICIT : moteur de trafic permettant la représentation du trafic et de la détermination des comportements des sources sonores dynamiques
- EveCity, développé par le CSTB : plateforme de visualisation de résultats de simulations physiques de l'urbain autour d'une maquette numérique.

Le mode d'échange et de discussion de ces ateliers est resté très ouvert, donnant largement la parole aux personnes invitées. Les sujets abordés ont concerné notamment les 4 domaines qui structurent notre projet :

- Les sources de bruit de transport particulières (Bus, tramway, BHNS...),
- Les autres sources de bruits urbains, naturels, humains ou technologiques (PAC, fontaine...)
- La représentation dynamique du bruit (sources mobiles, auralisation, représentation temporelle d'indicateurs...),
- L'amélioration de la modélisation de l'urbain (traitement des façades, traitement des voiries et des sols, végétalisation, sources sonores créant l'ambiance...),

mais aussi les aspects qualitatifs du sonore, la représentation et description de l'espace urbain, l'accès et la disponibilité des données, les limites des simulations acoustiques, la pertinence des indicateurs, la visualisation des résultats...

2.2 Résultats

Lors de ces ateliers d'échanges, trois principaux besoins ont été exprimés :

Le premier concerne la place de la dimension sonore dans un projet d'aménagement urbain, car il arrive aux acousticiens et aux paysagistes sonores de collaborer avec des architectes et urbanistes pour faire en sorte que

l'aménagement soit le moins pénalisant possible sur le plan du vécu sonore futur. Cependant, l'aménagement sonore n'est en général pas prioritaire et ces spécialistes arrivent trop tard dans le projet, sans pouvoir modifier certains points fondamentaux du plan masse décidés sans eux en phase amont.

Le second est l'adaptation de nos logiciels d'acoustique environnementale, ainsi que de nos démarches, à la spécificité urbaine, adaptation aux approches « développement durable » actuelles bien éloignées du cadre technico-réglementaire des années 1990 propre aux grandes infrastructures de transports.

Le troisième consiste à simplifier l'approche sonore en allant au-delà de l'aspect normatif et de la réglementation, car une démarche plus qualitative est clairement attendue par les architectes, les urbanistes, les citoyens et de manière générale les aménageurs lors des phases amont d'un projet. Elle doit s'inscrire dans une « démarche collaborative » et permettre de désamorcer le côté négatif du bruit en partant plutôt de la notion de bien-être et en introduisant du multifactoriel et des connaissances liées aux vécus sonores urbains

Les discussions ont ainsi fait émerger deux cahiers des charges pour de futurs logiciels pouvant répondre à ces besoins et ayant un rôle à des étapes différentes du processus de conception de la ville :

Le premier logiciel, outil de pré-dimensionnement, s'utiliserait dans une phase très en amont d'un projet urbain (quand rien n'est encore figé sur le plan masse) : les différents acteurs pourraient travailler à l'échelle du plan masse (pour notre projet *UrbaSon*, à l'échelle d'un petit quartier, d'une place, d'un boulevard) et le logiciel serait capable de fournir quasiment instantanément des résultats ou des orientations concernant la qualité de l'espace sonore en fonction de paramètres rentrés (paramètres davantage macros, usages) sans passer par une méthode prévisionnelle sophistiquée et précise.

Aujourd'hui quand on travaille sur un bâtiment ou un quartier, il y a de très forts moments de partage entre les architectes et les BET. Sachant que les citoyens préfèrent les bruits qu'ils peuvent distinguer, ce logiciel permettrait de comparer plusieurs scénarios (variations de la géométrie, de l'aménagement, du trafic...) et de procéder par itérations successives (à l'image de l'Héliodon qui permet, avec le logiciel Sketchup, de discuter un plan masse d'aménagement selon la course du soleil sur les façades et l'espace public) pour anticiper l'environnement sonore futur à partir de quelques requêtes simples (langage commun des aménageurs / concepteurs) :

- Effets des sons *donneurs de temps* (CRESSON) (terrasses de café, école, cloches, véhicules poubelle...) dans l'espace public et sur les terrasses ou balcons des logements (sons qu'on pourrait entendre, dont l'intensité calculée apparaîtrait sur l'écran)
- Niveau sonore du trafic dans son rapport avec les distances de conversation à voix normale au sol ou sur un balcon
- Effet de filtrage des formes urbaines par rapport à une source de bruit de trafic bien identifiée

- Effet de filtrage selon les enveloppes de l'habitat (simple peau, double peau) par rapport à la voix humaine, par rapport au bruit routier...

D'autres requêtes pourraient être proposées concernant notamment le rôle du rythme dans la perception sonore des temporalités de vie (réveil, endormissement d'un quartier).

Le second logiciel, outil de modélisation plus précis, s'utiliserait dans une phase de conception pour simuler plus finement l'ambiance sonore urbaine en restituant les situations sonores par auralisation. Il permettrait de comparer qualitativement différents scénarios, comme par exemple des variations du bruit moyen qui restent faibles alors que le ressenti peut être important (déplacement d'une voie de bus ou de tramway, ajout d'éléments végétaux, de formes naturels, de protections de faible hauteur, etc...). L'influence des formes et des matériaux pouvant jouer un rôle de filtre devra être d'avantage valorisée par le logiciel lors des étapes de démarche collaborative afin d'obtenir des optimisations liées aux conceptions urbaines

Concernant le premier type de logiciel, nos outils sont actuellement trop lourds pour qu'en réunion, avec des architectes, on puisse en temps réel « modéliser » ou représenter au niveau du plan masse projeté et donner immédiatement des résultats, montrant par exemple que tel seuil est respecté ou non, ou plus simplement que l'environnement sonore est acceptable, de qualité, en adéquation avec les lieux,... Cette approche qui n'a pas été prise en compte initialement dans le programme UrbaSon devra être intégrée dans l'étude.

Concernant le second type de logiciel, les trois axes directeurs que nous nous sommes fixés dans UrbaSon semblent pertinents suite aux réactions lors des ateliers d'échange : 1/ La prise en compte de sources sonores urbaines particulières, 2/ La représentation dynamique du bruit et son écoute, 3/ L'amélioration de la modélisation de la propagation en site urbain en prenant en compte certaines spécificités géométriques et acoustiques d'un tel milieu complexe.

La plupart des personnes qui se sont exprimées lors de ces ateliers sont absolument d'accord avec l'idée d'aller vers plus de qualificatif, avec parfois la nécessité d'inventer un langage commun, un vocabulaire plus clair et donc mieux partagé par les non-spécialistes, ainsi que des représentations qui, si elles utilisent des couleurs, se limitent à quelques teintes (3 ou 4) pour plus de clarté (cependant, tous les invités ne sont pas d'accord avec cette approche de quelques couleurs). Il paraît aussi souhaitable de parler davantage d'ambiance sonore, de qualité sonore, et non plus uniquement de bruit et de nuisance.

La carte de bruit en tant qu'instrument de compréhension et de décision a été vivement critiquée, notamment parce qu'elle est rarement saisie par les citoyens, parce qu'elle occulte le caractère dynamique et multi-sources du bruit urbain ainsi que sa dimension temporelle. Il a cependant été suggéré de garder la carte de bruit comme rendu mais en ne se focalisant que sur certains lieux de vie pertinents de la ville, voire certains trajets, avec un nombre limité de couleurs. Il a notamment été noté que la représentation des parcours (avec pourquoi pas des points d'écoute sonore) pourrait être un outil très efficace pour la création de voies vertes, d'itinéraires piétons et de voies cyclables. La carte de bruit pourrait ainsi permettre de

montrer du positif, d'objectiver telle amélioration par exemple.

Pour ce qui est de l'auralisation et de la restitution sonore, cette approche a déjà été testée par certains invités aux ateliers et ils la jugent pertinente et utile, bien qu'ait été évoqué la dangerosité de l'utilisation d'un tel outil en réunions publiques. Il apparaît bénéfique, en terme d'immersion et de compréhension des objets sonores, d'ajouter une vue plus ou moins réaliste de l'environnement, avec comme proposé dans MithraSON un affichage simplifié des points sources automobiles se déplaçant dans le site urbain. Sans ce repère géographique et temporel, on risque d'être vite perdu. Les invités ont dans leur grande majorité mis en avant le très bon réalisme acoustique des restitutions sonores présentées, comparé à ce qui pouvait être produit il y a 20 ans.

Un certain nombre d'idées ont été données pour l'utilisation d'indicateurs qualitatifs :

- L'accès à des requêtes pour préparer un dialogue collaboratif de façon à ce que les aménageurs se rendent compte de la distinctibilité de l'environnement sonore, de l'intelligibilité de la voix d'une qualité acoustique adaptée à l'usage, ce que tout le monde peut comprendre,
- Le niveau maximum (L_{max}) pourrait être un bon indicateur de la présence d'éléments sonores « agressif » même si le niveau moyen reste modéré,
- Le niveau de présence de moments « apaisés »,
- L'indicateur Harmonica pourrait être utilisé.

Certains indicateurs pourraient être transposés sur une échelle de 3 ou 4 valeurs, du type : satisfaisant / légèrement satisfaisant / légèrement dégradé / dégradé (calme, modéré, bruyant) ou selon l'usage des territoires habitat, loisirs, commerces, travail avec 2 qualificatifs : acceptable ou non acceptable. Ont été évoqués aussi des indicateurs liés aux espaces sonores existants, de type espace sonore communicant, appropriables, saturés, permettant aux aménageurs de faire des propositions contextuelles.

La temporalité a été souvent évoquée, et il a été proposé de décliner certains indicateurs sur des périodes pertinentes de plus courte durée, comme des plages horaires sensibles (chemin à l'école, midi, fin d'après-midi à l'heure des devoirs,...) ainsi que de déterminer des indicateurs de rythme du quartier (heure de réveil et heure d'endormissement...)

Un autre point abordé est la démarche collaborative, intégrant l'acousticien en phase amont : le futur outil doit être capable de réunir différents champs et il devra être donc plus « ouvert » et plus « interopérable » que les outils classiques. Il devrait pouvoir, par exemple, croiser des données acoustiques et non-acoustiques, traiter des grandeurs quantitatives et qualitatives, et confronter des résultats prévisionnels (état projeté) et des données de terrain (état initial, mesurages in-situ, résultats d'enquête...).

Aussi, il semble que l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) soit une nécessité pour ce futur logiciel.

3 Tâche 2 : méthodologie logicielle

3.1 Objectifs

Le but de cette tâche 2 était triple : il s'agissait tout d'abord de développer une « méthodologie d'aide à la prise de décision » pour l'aménageur sonore urbain. Dans un second temps, à partir de cette méthodologie, des « fonctionnalités cibles » d'un futur logiciel dédié ont été formulées. Enfin, à partir de ces fonctionnalités cibles, on a défini des priorités pour le développement, au sein de ce projet, d'un prototype construit autour de MITHRA-SIG.

3.2 Méthodologie

La méthodologie, issue des résultats de la tâche 1, s'articule suivant deux modes de fonctionnement distincts : le mode « modélisation/détail/études » et le mode « pré-dimensionnement/amont/esquisse ». Le mode « Etudes » inclut le fonctionnement classique du logiciel de prévision, enrichi de plusieurs fonctionnalités nouvelles. Le mode « Esquisse » représente un mode de fonctionnement nouveau. Dans ce dernier l'utilisateur peut aisément éditer certaines parties du projet et obtenir de manière interactive un certain nombre d'indicateurs acoustiques.

Principes méthodologiques du mode « Etudes »

Le mode « Etudes » reprend les fonctionnalités de la plupart des logiciels de cartographie dont le logiciel Mithra-SIG en y ajoutant notamment la gestion dynamique du trafic, des sources autres que transports (bruits d'équipements, humains, naturels), l'auralisation et la prise en compte d'aspects qualitatifs. Il contribue à la fabrication d'un appel d'offre de maîtrise d'œuvre adressé à une équipe d'ingénierie, ou d'un appel d'offre de constructeurs qui conduit à l'aménagement d'un quartier (éco-quartier, réhabilitation de centre-ville...) avec une politique de stationnement et de déplacement..., sachant que d'autres formes de commandes peuvent exister (par exemple, commande à un BET acoustique, étude d'impact...)

La méthodologie décrite ici ne concerne que les aspects nouveaux par rapport aux outils de cartographie acoustique aujourd'hui utilisés par les bureaux d'étude, tel que Mithra-SIG. Nous ne revenons donc pas sur les fonctionnalités des logiciels existants et sur lesquelles le futur logiciel viendra s'appuyer.

Description qualitative de l'existant via de cartes

Cartes du « patrimoine » sonore ordinaire (réputation sonore des lieux et parcours du quartier) / Cartes montrant les aptitudes acoustiques de la morphologie urbaine (carte des types spatio-acoustiques remarquables, carte de la nature du fond sonore ambiant, carte des sociabilités sonores, carte de l'orientation acoustique des logements, cartes des donneurs de temps diurnes et nocturnes) tel que développées dans SIG ChAOS.

Modélisation géométrique

La modélisation géométrique telle que réalisée dans les outils existants se base sur l'importation et/ou la saisie de formes géométriques qui sont converties en objets sémantiques propres aux calculs acoustiques (terrain, bâti, routes, etc.). Les points d'amélioration par rapport aux fonctionnalités visent à accélérer le processus de modélisation grâce à des fonctionnalités d'importation et de conversion nouvelles.

Modélisation des propriétés acoustiques

Propriétés fines d'absorption des façades, définition et prise en compte des écrans bas, définition des types de sol, modélisation des sources de bruit (transports autres que routiers et ferroviaires, équipements de la ville et des bâtiments, sources d'activités humaines notamment liées au nettoyage, sources de bruits naturels)

Modélisation des sources de transports

Selon deux modes : mode classique et mode dynamique. Le mode classique correspond au mode présent dans les outils actuels pour lequel le trafic est défini de manière statistique (intégration d'autres types de source que les véhicules légers et poids lourds telles que les camionnettes, les bus dont BHNS, les 2RM, les tramways, les camions poubelle, les camions/camionnettes de livraison, les véhicules électriques...). Le mode dynamique correspond à une approche nouvelle permettant de simuler finement l'écoulement des véhicules individuels en prenant en compte les spécificités liées au milieu urbain comme la présence de carrefours à feux, d'arrêts de bus, de voies réservées.

Modélisation des autres sources sonores

Bruits d'équipements (bruits technologiques : Bouches de métro, bruit d'équipements du bâtiment...), bruits d'activités humaines (terrasse café, cloches, foule, nettoyage de la voirie...), bruits naturels (faune, eau...). Définition de périodes temporelles spécifiques (matin, soirée, endormissement..., par période d'1 heure ou 30 minutes)

Calculs acoustiques

Prise en charge de l'auralisation sur des récepteurs individuels, des cartes horizontales mais aussi des trajets urbains / Prise en charge du calcul d'indicateurs dynamiques (issus de l'évolution du LAeq,1s lui-même obtenu à partir des séquences auralisées) / Possibilité d'activer et désactiver des sources (une par une, ou par requête sur la nature de la source).

D'autres prescriptions méthodologiques ont concernés la gestion des variantes, les représentations graphiques avec indicateurs associés et la restitution sonore.

Principes méthodologiques du mode « Esquisse »

Le mode « Esquisse » permet la mise à jour automatique d'indicateurs acoustiques associés à un nombre restreint de récepteurs individuels lors de la modification des données de modélisation du projet. L'intérêt réside dans la possibilité d'évaluer de manière simple et interactive l'effet de certains paramètres sur l'exposition au bruit calculée. Le mode « Esquisse » autorise également l'auralisation, c'est-à-dire la restitution sonore de l'environnement pour une évaluation perceptive. L'auralisation est réalisée au choix sur un des récepteurs individuels inclus dans le calcul du mode « Esquisse ». L'auralisation permet ainsi d'associer les niveaux d'exposition calculés à une évaluation subjective à travers l'écoute.

De manière générale, le mode « Esquisse » inclut les principes du mode « Etude » mais les calculs acoustiques peuvent être réalisés « en temps réel » de manière à fournir à l'utilisateur l'influence d'une modification de manière immédiate. Le caractère temps réel du mode « Esquisse » entraîne un certain nombre de limitations en termes de taille et complexité du modèle considéré. Notamment, le mode «

Esquisse » sera en général utilisé à partir d'un projet vide dans lequel on insère uniquement certains éléments dont on veut connaître l'influence acoustique. On peut également utiliser le mode « Esquisse » sur une zone limitée, un « zoom », d'un projet déjà défini en mode « Etude ».

3.2 Fonctionnalités cibles

Suivant les principes méthodologiques énoncés précédemment, un certain nombre de fonctionnalités cibles du futur outil d'aménagement sonore sont définies. L'outil de cartographie existant Mithra-SIG (CSTB-Geomod) servira de plateforme prototype pour les fonctionnalités désignées comme prioritaires dans le cadre d'UrbaSon. Les fonctionnalités décrites ci-après constituent des fonctionnalités nouvelles du logiciel Mithra-SIG dont certaines prennent en compte des résultats issus de ChAOS (CASA-CRESSON) et de Symuvia (LICIT) :

- **Saisie et représentation du patrimoine sonore urbain ordinaire** : saisir et représenter des informations liées au « patrimoine sonore » ordinaire d'un secteur d'étude. Les éléments incluent la description des lieux d'écoute remarquables avec des données sonores enregistrées sur place, ou encore des données sous la forme d'entretiens avec les riverains.
- **Saisie et représentation de cartes montrant l'aptitude acoustique des formes urbaines** : saisir et représenter des informations liées à « l'aptitude acoustique » d'une zone d'étude. Trois types de cartes : types spatio-acoustiques remarquables, fonds sonores ambiants et clarté des sociabilités sonores.
- **Outils d'aide à la modélisation géométrique** : faciliter et accélérer la construction géométrique du projet. Cela concerne d'une part, les fonctions de dessin de l'outil et d'autre part, les fonctions d'importation de données externes.
- **Modélisation acoustique des bâtiments** : améliorer la prise en compte de matériaux absorbants spécifiques et des propriétés de diffusion acoustique sur les façades de bâtiment. D'une part, on souhaite pouvoir si besoin spécifier le type d'absorption par face et par étage de manière individuelle. D'autre part, on souhaite introduire la prise en compte du caractère diffus de certaines façades non lisses.
- **Modélisation acoustique des écrans anti-bruit** : améliorer la prise en compte des écrans anti-bruit particuliers dont les écrans inclinés d'une part, et les écrans comportant une partie basse réfléchissante, d'autre part. Il s'agit également de simplifier la modification géométrique des écrans.
- **Modélisation acoustique des sols** : simplifier la saisie des propriétés acoustiques des sols.
- **Gestion avancée des variantes d'un projet** : comparer facilement différentes solutions d'aménagement, qu'il s'agisse de géométries différentes, ou bien de configurations de sources sonores différentes. Dans tous les cas, on souhaite comparer interactivement à l'intérieur d'un même projet les résultats de simulations issus de ces différentes solutions. On propose pour ce faire une organisation du projet en variantes.
- **Aide à la saisie des trafics classiques** : saisir plus rapidement les paramètres de trafics et de géométrie des sources routières.
- **Saisie et modélisation des trafics dynamiques** : une étape nécessaire vers le calcul d'indices de bruit dynamique complétant les indices de bruit moyens et l'auralisation du bruit de trafic concerne la modélisation dynamique du déplacement individuel des véhicules. Le projet UrbaSon propose de coupler le moteur de simulation de trafic SymuVia au logiciel Mithra-SIG. Cette fonctionnalité permettrait de construire un réseau de circulation et de saisir ses paramètres de trafic depuis Mithra-SIG. Ces données de trafic dynamique sont ensuite converties automatiquement en données d'entrées du moteur SymuVia.
- **Saisie et modélisation avancées des trafics dynamiques** : enrichir les éléments de trafic dynamique afin d'ajouter d'une part, des éléments particuliers le long de tronçons indépendants (feux de circulation, arrêts de bus/tram, zones de vitesse limitées) et, d'autre part, de connecter les tronçons entre eux de manière à enrichir les scénarios de trafics modélisables.
- **Ajout d'autres types de véhicules** : les méthodes de calcul standardisées considèrent un nombre limité de véhicules typiques. Pour la méthode NMPB par exemple, il s'agit des véhicules légers et des poids-lourds. Cette fonctionnalité doit permettre à l'utilisateur d'ajouter des véhicules particuliers à une base de données véhicules de manière à enrichir les possibilités de modélisation.
- **Ajout d'autres types de sources** : faciliter la modélisation de sources particulières habituellement rencontrées en milieu urbain à l'aide d'une base de données de sources particulières à créer. On distingue les sources d'équipement ou bruits technologiques (pompes à chaleur,...), les sources de bruits naturels (eau, oiseaux,...) et enfin les activités humaines (paroles, pas,...).
- **Calcul d'indices de bruit dynamiques** : le calcul d'indices de bruit dynamique se base sur la simulation de trafics dynamiques et l'auralisation. Ces deux modules permettent de simuler le déplacement individuel des sources mobiles et de reconstruire le signal de pression acoustique généré par l'ensemble des sources mobiles et fixes en un point d'écoute ou bien le long d'un parcours. Ce signal de pression est ensuite analysé de la même manière que lorsque l'on dépouille des mesures sur sites pour obtenir un certains nombres d'indices de bruit tels que les niveaux moyens, les niveaux maximum, les niveaux statistiques ou d'autres types d'indices habituellement utilisés pour caractériser l'exposition sonore en présence de bruits non-stationnaires.

- **Auralisation** : l'auralisation consiste à restituer auditivement l'environnement simulé. Elle se base, comme le calcul des indices de bruit dynamiques, sur la simulation dynamique du trafic qui permet de considérer le déplacement de chaque véhicule de manière individuelle.
- **Activation des sources** : les sources sonores modélisées contribuent au niveau de pression acoustique calculé aux points récepteurs en fonction de leur puissance et directivité propre et de l'atténuation acoustique des chemins de propagation. Cette fonctionnalité permet d'activer ou désactiver une source interactivement, c'est-à-dire sans relancer les calculs. L'utilisateur peut ainsi analyser la contribution relative des sources.
- **Présentation des niveaux en façade** : les niveaux d'exposition pour les récepteurs en façade de bâtiment sont actuellement affichés à l'intérieur d'une étiquette spécifique à ces récepteurs contenant le numéro d'étage et le niveau de bruit associé. On propose d'enrichir ce type de présentation à l'aide de vues en coupe sur lesquelles sont indiqués pour chaque étage les niveaux d'exposition ainsi que d'autres informations pertinentes comme le niveau de bruit à l'intérieur (fenêtres fermées suivant un isolement de façade donné ou fenêtres entre-ouvertes) ou encore les distances de conversation (distance minimale entre deux personnes pour une conversation intelligible à un niveau de parole normal).
- **Mode « Esquisse »** : mode de calcul particulier en complément du mode « Etude » pour lequel les résultats sont obtenus de manière interactive, c'est-à-dire en un temps très court de quelques secondes maximum. Ce mode est utilisable lorsque le modèle considéré est relativement simple et le nombre de points récepteurs n'excède pas une dizaine. L'intérêt du mode « Esquisse » est de comprendre et analyser rapidement l'influence de certains paramètres sur les niveaux d'exposition.
- **Mode « Esquisse » - Calculs interactifs** : cette fonctionnalité représente le deuxième mode d'opération du mode « Esquisse » pour lequel les calculs sont effectués automatiquement dès la modification d'un paramètre du projet. Ce mode permet à l'utilisateur d'analyser interactivement l'influence d'un paramètre donné, les niveaux aux points récepteurs étant mis à jour en continu.

3.3 Priorisation

La liste des fonctionnalités nouvelles au sein du logiciel Mithra-SIG telles que proposées dans la section précédente est résumée dans le Tableau 1. Pour chaque fonctionnalité, on indique une dépendance éventuelle sur d'autres fonctionnalités, un ordre de priorité de 1 à 3, 1 correspondant à une tâche prioritaire, un coût de mise en œuvre allant de peu coûteux, +, à très coûteux, ++++.

Tableau 1: Priorisation des fonctionnalités.

N°	Fonctionnalité	Prio-rité	Difficulté Temps
1	Saisie et représentation du patrimoine sonore urbain	2	++
2	Saisie et représentation de l'aptitude acoustique des formes urbaines	3	+++
3	Outils d'aide modélisation géométrique	3	++
4	Modélisation acoustique bâtiments	1	++
5	Modélisation acoustique des écrans anti-bruit	1	++
6	Modélisation acoustique des sols	2	+
7	Gestion avancée variantes d'un projet	3	++
8	Aide à la saisie des trafics classiques	3	+
9	Saisie et modélisation trafics dynamiques (fonctionnalité préalable N°8)	1	++
10	Saisie et modélisation avancées trafics dynamiques (fonction. préalable N°9)	2	+++
11	Ajout d'autres types de véhicules	2	++
12	Ajout d'autres types de source urbaine	2	++
13	Calcul d'indices de bruit dynamiques (fonctionnalité préalable N°9)	1	++
14	Auralisation (fonction. préalable N°9)	1	++
15	Activation des sources	3	+++
16	Présentation des niveaux en façade	2	++
17	Mode « Esquisse »	3	+++
18	Mode « Esquisse » - Calculs interactifs (fonctionnalité préalable N°17)	3	++++

4 Conclusion

Ces deux premières tâches du projet UrbaSon ont permis de définir précisément les actions (en cours de réalisation) permettant le développement d'un prototype logiciel et sa validation sur un terrain d'étude réel.

Remerciements

Ce projet de recherche est cofinancé par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), sous la convention n°1417C0001. Merci aussi à toutes les personnes qui ont donné de leurs temps pour participer aux ateliers d'échanges et y apporter leur expertise et vision.

Références

- [1] Livrables 1 et 2 du projet *Ademe UrbaSon* (2014-15)
- [2] O. Balaÿ, S. Servigne, SIG ChAOS, La représentation de l'environnement sonore à l'aide d'un système d'information géographique, CRESSON, LISI (1999)
- [3] <http://geomod.net/gmd-societe/gt-accueil/gt-logiciels/gt-log-mithra-suite/gt-log-mithra-sig>
- [4] Symuvia : <http://www.lba.ifsttar.fr/catalogue-produit>
- [5] J. Maillard, J. Jagla, Real Time Auralization of Non-Stationary Traffic Noise - Quantitative and Perceptual Validation in an Urban Street, *AIA-DAGA* 2013
- [6] J. Maillard, J. Jagla, Effect of load on Engine Noise for the Auralization of Road Traffic, *EuroNoise* 2015
- [7] J. Jagla, J. Maillard, D. Van Maercke, J. Defrance, J. Lelong, J. Picaut, A. Can, L. Leclercq, D. Bécarie, N. Lejri, C. et al. *Projet Ademe Citédyne* (2011-2014)