

**SIGAUR III :
une approche interactive et
dynamique de l'environnement
sonore urbain**

Rapport final

Eric Premat
Aurélien Gillard
Luc Merchez

**SIGAU III :
une approche interactive et dynamique de
l'environnement sonore urbain**

Rapport final

Eric Premat
Aurélien Gilliard
Luc Merchez

Responsable du suivi de l'étude pour le compte de la DRAST : Nathalie FURST

**N/Réf. 2003-367 EP/CM
20 août 2003**

SOMMAIRE	3
INTRODUCTION	4
1. LE PROGRAMME DE RECHERCHE SIGAUR	7
1.1. <i>Problématique générale</i>	7
1.2. <i>Le projet SIGAUR I</i>	7
1.3. <i>Le projet SIGAUR II</i>	8
2. LE PROJET SIGAUR III	9
2.1. <i>Objectifs de SIGAUR III</i>	9
2.2. <i>Partenaires de l'étude</i>	10
2.3. <i>Le site d'expérimentation retenu : le quartier de la Soie</i>	11
3. L'APPROCHE METHODOLOGIQUE SUIVIE	14
3.1. <i>Principe de l'outil</i>	14
3.2. <i>Exploitation des données du SIG du Grand Lyon et acquisition des données nécessaires à la réalisation des cartes de bruit</i>	15
3.3. <i>Création des cartes élémentaires</i>	18
3.4. <i>Superposition des cartes élémentaires</i>	20
3.5. <i>Problèmes rencontrés et remarques critiques</i>	25
4. PRESENTATION DE LA MAQUETTE INFORMATIQUE	27
CONCLUSION	32
ANNEXE : CALCUL DES NIVEAUX DE PUISSANCE EMIS	34
BIBLIOGRAPHIE	37

INTRODUCTION

La gestion et l'aménagement de l'environnement urbain impliquent, aujourd'hui, une plus grande participation du public et des associations qui le représentent aux décisions. Dans ce cadre, l'apparition et le développement des Systèmes d'Information Géographique dans la gestion des villes permet de collecter, d'ordonner et de mettre en interaction des informations autrefois disparates. Les SIG représentent donc un véritable outil d'information sur l'environnement et d'aide à la décision en matière de programmation urbaine.

L'environnement sonore représente quant à lui une composante majeure du cadre de vie des habitants des villes. La représentation des niveaux sonores produits dans l'environnement par les infrastructures de transport et les grands équipements a en particulier engendré un intérêt croissant pour la cartographie acoustique, sous l'action des pouvoirs publics et notamment de la Communauté Européenne (Livre Vert de la C.E. « *La politique future de lutte contre le bruit* »). La Directive Européenne du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement [1] définit ainsi la notion de cartographie stratégique du bruit devant servir de base de départ pour l'élaboration de plans d'action, tout en soulignant l'aspect d'information des citoyens.

La réalisation de cartes de bruit fait appel à des logiciels de prévision du bruit qui nécessitent un certain nombre d'informations sur le bâti et les sites. L'idée de croiser cartographie sonore et SIG a donc émergé naturellement et a motivé un ensemble de travaux de recherche : le programme SIGAUR (Système d'Information Géographique pour l'Acoustique URbaine) qui vise à développer un outil permettant une approche plus globale des impacts des projets sur l'environnement et les activités humaines.

La présente étude, baptisée SIGAUR III, s'insère dans ce contexte où la publication des cartes de bruit ne peut plus se contenter d'être un constat de nuisance mais doit être accompagnée d'une ouverture sur des projets de réhabilitation de l'environnement sonore permettant des initiatives et des choix publics. Il convient

aujourd'hui de chercher à développer une approche évolutive et interactive permettant l'étude d'hypothèses d'aménagements et l'intégration du paramètre sonore dans une approche plus globale en terme de développement durable et de concertation, approche motivée notamment par une forte demande des élus.

La carte de bruit doit ainsi devenir un véritable outil décisionnel pour :

- évaluer l'impact des projets en considérant non seulement une situation figée à un instant déterminé mais un environnement et un mode d'occupation des sols en évolution
- intégrer le paramètre bruit dans la gestion des villes, les projets d'aménagement et de protection acoustique, en apportant une vision globale du cadre de vie et en utilisant les cartes comme outil de simulation et de comparaison des différentes hypothèses
- communiquer auprès du public les conséquences des différents choix urbains par des moyens interactifs et faire participer au processus de décision.

Ce travail a deux objectifs. Le premier est de réfléchir à l'introduction d'études dynamiques (reconstitution de situations passées, simulation d'hypothèses d'aménagement), afin de pouvoir comparer les impacts de différents projets, de pouvoir suivre l'évolution de certains sites. Le second objectif est de pouvoir dialoguer avec les aménageurs et la population, en offrant un outil interactif qui dans le cadre de scénarios préalablement définis pourra permettre à l'utilisateur de simuler ses propres projets.

Ce rapport d'étude présente le projet SIGAUR III dans ses grandes lignes, projet qui est illustré par une maquette informatique sur CD-Rom développée sous MapInfo/MapBasic. La première partie résume l'évolution des réflexions dans le cadre de la « recherche-action » menée dans le programme SIGAUR, au cours des projets SIGAUR I et SIGAUR II. La deuxième partie expose plus précisément le projet SIGAUR III et ses objectifs, ainsi que le site retenu en vue d'effectuer une expérimentation en vraie grandeur sur un quartier d'une commune du Grand Lyon.

Dans la troisième partie est décrite la méthodologie suivie dans ce projet et les principaux résultats obtenus au cours de SIGAUR III.

1. LE PROGRAMME DE RECHERCHE SIGAUR

1.1. Problématique générale

Le projet "Systèmes d'Information Géographiques et Acoustique Urbaine" (SIGAUR) est né d'une volonté d'associer à l'acoustique urbaine la puissance de traitement de l'information que permettent les S.I.G., dans une perspective d'aménagement. Grâce à l'apport des SIG permettant la collecte et la mise en ordre et en interaction des informations, il est désormais possible de confronter des données provenant de différents domaines d'expertises.

La réalisation de cartes de bruit fait appel à des logiciels de prévision du bruit tels que le logiciel MITHRA (Méthode Inverse de Tracé dans l'Habitat de Rayons Acoustiques) développé au CSTB [2, 3]. Sous ses différentes versions, ce logiciel permet, par l'implémentation d'un modèle prévisionnel de propagation des bruits dans l'environnement, d'éditer des cartes prévisionnelles de propagation sonore en milieu urbain avec une précision satisfaisante pour l'analyse spatiale. Toutefois, ce logiciel nécessite un certain nombre d'informations sur le bâti et les sites, disponibles par ailleurs dans la majorité des bases de données.

L'idée de croiser cartographie sonore et S.I.G. a donc émergé naturellement et a motivé un ensemble de travaux de recherche : le programme SIGAUR (Système d'Information Géographique pour l'Acoustique Urbaine). Ce programme a été initié au sein du pôle "Acoustique Environnementale" du C.S.T.B. par Jean-Marie Rapin, dans le cadre de la mission "bruit urbain". Il vise à développer un outil permettant une approche plus globale de l'impact sonore des aménagements sur l'environnement et les activités humaines. Le développement de cet outil passe par l'intégration de la cartographie du bruit réalisée sous MITHRA à la gamme des S.I.G.

L'association de Mithra à la gamme des S.I.G. vise donc à intégrer la cartographie sonore à la gamme de données disponibles au sein des bases de données dédiées aux S.I.G. De cette façon, l'environnement sonore urbain peut être relié de façon efficace aux problématiques d'aménagement et d'urbanisme. Ce projet s'appuie autant que possible, dans ses développements successifs, sur des cas concrets.

1.2. Le projet SIGAUR I

Le projet de recherche SIGAUR I [4] a permis de jeter les bases de la relation S.I.G. – logiciel acoustique. Le traitement de la cartographie sonore en relation avec les données spatiales concernant la population recensée a permis d'élaborer une méthodologie d'évaluation de l'impact des aménagements par rapport à la législation européenne et nationale en matière d'environnement sonore, et d'affiner par là même cette évaluation.

Outre les avancées méthodologiques qu'il apporte en matière d'intégration des données issues de logiciels acoustiques aux S.I.G., son travail a offert l'occasion de mettre au point l'interfaçage S.I.G. - logiciel acoustique, aboutissant ainsi à l'élaboration d'un outil de dialogue entre le logiciel de prévision du bruit MITHRA et le Système d'Information Géographique MapInfo.

Le logiciel extrait les données topographiques nécessaires de la base de données géographique et la carte de bruit créée devient une couche exploitable par le S.I.G. Deux premières expérimentations sur le terrain, sur le site des grands boulevards à Grenoble et sur le site de Montmélian pour l'impact de la future ligne de TGV Lyon-Turin, ont permis de tester l'outil développé et ont donné des résultats encourageants.

Le logiciel MITHRA comporte désormais une fonction d'exportation des cartes sonores en format MapInfo (.MIF), assurant le lien technique entre la cartographie sonore et l'ensemble des S.I.G.

Des travaux complémentaires sont alors apparus nécessaires, afin de développer les outils de traitement de données multicritères. Ceci afin de pouvoir prendre en compte le bruit dans un système global d'évaluation et d'estimation de l'environnement sonore des sites. Pour cela, il est apparu nécessaire de pouvoir intégrer le suivi et la prévision de leur évolution économique et sociale.

1.3. Le projet SIGAUR II

Le projet de recherche SIGAUR II [5, 6] a alors été initié dans un double objectif. Le premier objectif était d'approfondir la notion de population soumise au bruit ainsi que les moyens de l'estimer à différentes échelles. Le second était de réfléchir à une approche multi échelle de la production et de la réception du bruit, de l'immeuble au quartier urbain.

Les résultats de cette recherche méthodologique ont montré, par comparaison entre les différentes échelles, la validité de l'approche macroscopique. C'est donc cette approche qui sera suivie dans SIGAUR III.

Cette étude a également permis de développer un outil nouveau permettant à une commune la connaissance complète de son exposition au bruit de trafic, le recensement des points noirs et l'évaluation des populations concernées. Ce travail a été appliqué au cas de la ville d'Ecully et la base de donnée S.I.G. a été livrée à l'Agence d'Urbanisme de Lyon.

A ce stade d'avancement du travail dans le cadre de cette "recherche-action", il convenait de chercher à développer une approche évolutive et interactive de l'aménagement de l'environnement sonore urbain. Il est apparu intéressant de développer un outil permettant l'étude des impacts sur l'environnement sonore à partir

d'hypothèses d'aménagements. Cette approche, notamment motivée par une forte demande des élus, responsables et acteurs locaux vise plus globalement à intégrer le paramètre son en termes de développement durable et de concertation.

2. LE PROJET SIGAUR III

Dans la continuité des travaux menés dans le cadre du programme de recherche SIGAUR, le projet SIGAUR III se propose de développer une approche interactive et dynamique de l'environnement sonore urbain. La cartographie de l'environnement sonore est encore limitée, pour une grande part, aux études d'experts acousticiens. L'objectif principal du projet SIGAUR III est d'élargir le champ d'application de cette cartographie à l'aménagement du territoire, afin d'intégrer le paramètre du bruit dans les dynamiques d'aménagement territorial au sein des collectivités locales.

2.1. Objectifs de SIGAUR III

L'objectif de l'étude est de faire en sorte que la carte de bruit devienne un véritable outil décisionnel pour évaluer l'impact des projets d'aménagement, en considérant non plus seulement une situation figée à un instant déterminé, mais un environnement et un mode d'occupation des sols en évolution. En outre, la carte de bruit doit remplir une fonction de communication dans la concertation entre aménageurs et acteurs locaux, et ce de la façon la plus claire possible. Ce projet s'inspire à cet égard des expériences de concertation territoriales allemandes, où il est apparu qu'en proposant au public de réaliser des scénarios d'aménagement tenant compte des contraintes économiques et matérielles, les blocages en matière de concertation se levaient plus facilement.

En accord avec la démarche suivie auparavant, il s'agit donc de continuer à intégrer le paramètre bruit dans la gestion des villes, des projets d'aménagement et de protection acoustique, en apportant une vision globale du cadre de vie et en utilisant les cartes comme outil de simulation et de comparaison des différentes hypothèses. Cette démarche offre la possibilité de communiquer au public les conséquences des différents choix urbains par des moyens interactifs, et ainsi d'intégrer plus largement les acteurs locaux aux processus de décision en matière d'aménagement sonore.

Il faut pour cela que les cartes de bruit soient plus indépendantes de MITHRA, afin que leur utilisation puisse être prolongée au-delà de la simple consultation d'une carte figée. S'il est actuellement difficilement envisageable de réaliser les calculs de cartes sonores sous un S.I.G., tout au moins peut-on adapter les cartes de bruit de telle façon qu'elles soient utilisables et modifiables dans un S.I.G. courant, et non plus uniquement consultables. Le but est donc de rendre les cartes de bruit accessibles à un utilisateur S.I.G.

L'objectif de cette démarche de mise à disposition des cartes de bruit est double : il s'agit premièrement de réfléchir à l'introduction d'études dynamiques (reconstitution

de situations passées, simulation d'hypothèses d'aménagement), afin de pouvoir comparer les impacts de différents projets, de pouvoir suivre l'évolution de certains sites. En outre, le second objectif est de pouvoir dialoguer avec les aménageurs et la population, en offrant un outil interactif qui dans le cadre de scénarios préalablement définis pourra permettre à l'utilisateur de simuler ses propres projets. L'outil réalisé s'adresse donc à un public diversifié : d'une part les décideurs et techniciens de l'aménagement familiers des S.I.G., d'autre part les acteurs locaux participant d'autres domaines d'expertise. Ces acteurs locaux associés au projet sont d'une part la mission déplacements du Grand Lyon, d'autre part l'association Acoucité. Ces deux associations fournissent les données pour la réalisation d'une version de démonstration de l'outil fabriqué, et bénéficient d'un retour sur les résultats du projet.

2.2. Partenaires de l'étude

Afin de répondre aux objectifs proposés, le projet SIGAUR III associe d'une part géographes et acousticiens, d'autre part des acteurs locaux associés à la gestion de l'environnement sonore urbain sur le territoire du Grand Lyon.

Les partenaires de ce projet sont donc :

- le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Etablissement de Grenoble, Département Acoustique et Eclairage, Service Acoustique (Eric Premat et Jean-Marie Rapin)
- le Laboratoire SEIGAD Systèmes Environnementaux Information Géographique et Aide à la Décision, université Joseph Fourier (Pierre Dumolard, directeur, et Aurélien Gillard, étudiant en DESS)
- le laboratoire Géophile de l'école Normale Supérieure (Luc Merchez, enseignant chercheur)
- la Mission Ecologie du Grand Lyon (Olivier Laurent)
- l'association Acoucité (Bruno Vincent)

Le CERTU (Nathalie FURST) est responsable du suivi de l'étude pour le compte de la DRAST.

2.3. Le site d'expérimentation retenu : le quartier de la Soie

La zone d'étude a été définie en accord avec les représentants de la mission déplacements du Grand Lyon, M. Olivier Laurent, et de l'association Acoucité, M. Bruno Vincent.

Dans la perspective de l'aménagement du Boulevard Urbain Est [7], la zone couverte par le projet de maquette de carte interactive inclut la rue Franklin Roosevelt, située dans le quartier de La Soie à la frontière de Vaulx-en-Velin et de Décines-Charpieu, au nord de Bron. Cette zone présente l'intérêt de mêler zones industrielles et zones résidentielles. D'autre part, elle est la cible d'aménagements visant à réguler la circulation dans le cadre du projet urbain du Boulevard Urbain Est [8].

Les figures 1 et 2 présentent le terrain d'expérimentation retenu pour réaliser la maquette de carte interactive. Les figures 3 à 6 illustrent le site d'étude.

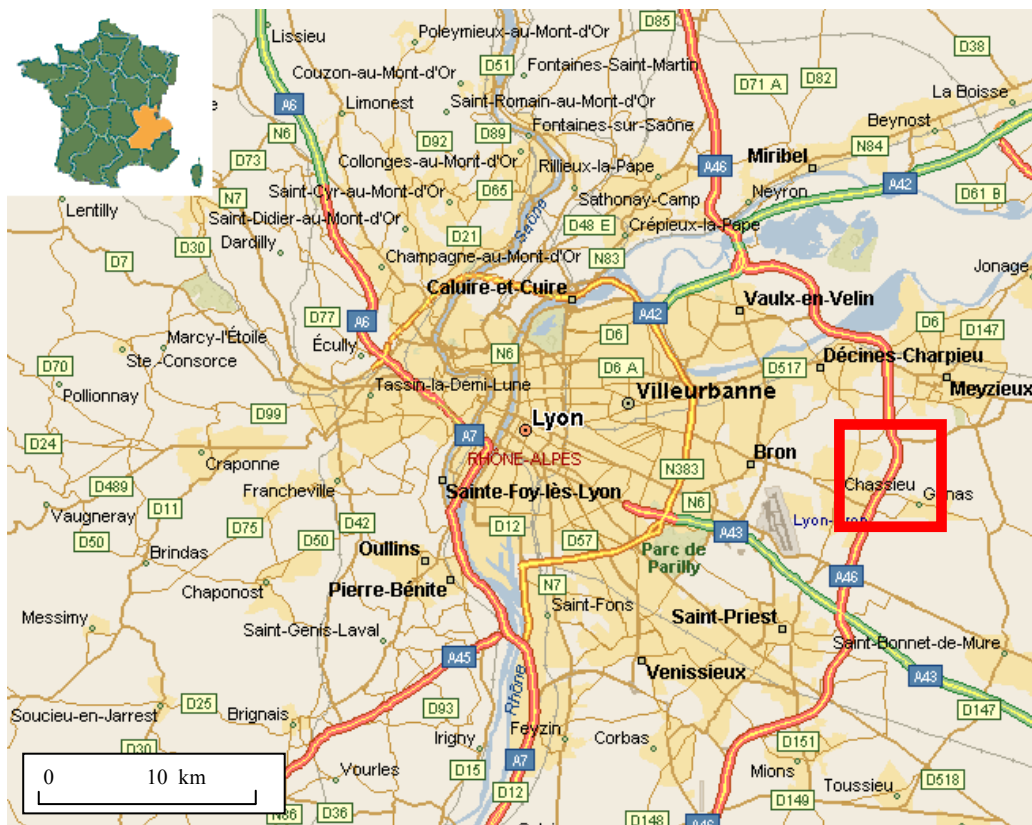


Figure 1: Définition de la zone d'étude au sein du Grand Lyon : le quartier de la Soie. Source : Internet, <http://www.expedia.com>.



Figure 2: Le quartier de la Soie.

Source : Internet, <http://www.viamichelin.com>.



Figure 3 : Rue Franklin Roosevelt



Figure 4 : Rue Roger Salengro



Figure 5 : Allée des Glycines



Figure 6 : Rue de la Perlerie

3. L'APPROCHE METHODOLOGIQUE SUIVIE

3.1. Principe de l'outil

Pour pouvoir réaliser un outil interactif, le modèle se base sur une partition de la carte de bruit, reposant sur une décomposition en objets élémentaires, modulables isolément. La carte finale réside dans la somme ou la superposition de ces objets.

Ainsi, la modélisation acoustique préalable à la réalisation de cet outil cartographique doit être réalisée par un pré calcul de cartes de bruit élémentaires, associées à des sources élémentaires. Ces cartes élémentaires, inaptes telles quelles à la présentation, seront exportées vers les S.I.G. afin de moduler les résultats (par exemple modification de trafic, limitations de vitesse, implantation d'écrans, changement de revêtement de la chaussée).

Toutes les modifications des différents paramètres devront alors être effectuées directement à l'intérieur du S.I.G. Ainsi, une augmentation de trafic sur un axe par exemple, ou une augmentation de vitesse, pourra être prise en compte par une simple opération sur les cartes élémentaires dans le S.I.G., sans avoir besoin de recourir à MITHRA pour recalculer une nouvelle carte de propagation du bruit. De fait, on peut postuler que les impacts de tout aménagement affectant non pas la propagation de l'énergie acoustique, mais l'intensité de l'émission sonore, peuvent être modélisés dans le S.I.G. sans refaire de calculs sous MITHRA. Il suffit pour cela d'implémenter dans le S.I.G. les formules nécessaires à la conversion de l'intensité sonore mesurable en chaque point pour chaque modification de paramètre, en fonction d'un modèle de propagation de l'énergie acoustique donné. Ainsi, une augmentation de trafic sur un axe par exemple, ou une augmentation de vitesse, pourra être prise en compte par une simple opération (multiplication par un coefficient calculé) sur les cartes élémentaires dans le S.I.G.

Les modifications de paramètres seront donc affectées à la source, et les cartes élémentaires recalculées seront à nouveau combinées, afin d'obtenir une nouvelle représentation générale de la répartition spatiale de l'énergie acoustique.

Il est bien entendu que le logiciel de prévision (MITHRA) restera indispensable dès lors qu'un aménagement modifiera de façon notable le trajet de l'énergie acoustique: édification ou destruction de mur, de barrière, modification de bas-côté, élargissement de la chaussée, nouvelle configuration des bâtiments, etc.

Une part importante du travail concerne donc l'identification des situations élémentaires à pré-calculer, permettant de visualiser l'impact de différents types d'aménagement ou mesures de réduction du bruit. Le but est ainsi de pouvoir comparer diverses configurations d'aménagement, reconstituées à partir des

aménagements élémentaires. Il sera donc requis en particulier d'identifier différents types de scénarios possibles, de les calculer par avance afin de pouvoir les charger dans une couche du S.I.G. à la demande. La figure 7 présente l'organigramme de construction de la maquette de carte interactive.

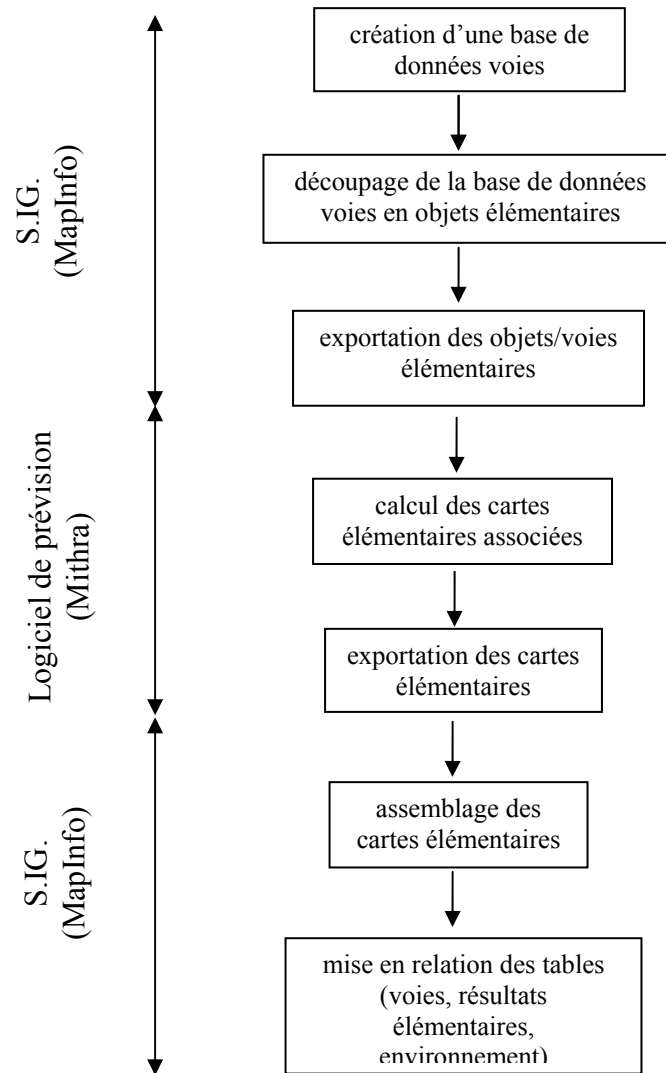


Figure 7: Organigramme de construction de la maquette de carte interactive

3.2. Exploitation des données du SIG du Grand Lyon et acquisition des données nécessaires à la réalisation des cartes de bruit

L'étude s'applique à un quartier d'une commune du Grand Lyon dans le cadre de l'Observatoire du Bruit : le quartier de la Soie. Les données proviennent en majeure

partie du Grand Lyon et de l'association Acoucité, qui participe à la gestion de l'environnement sonore sur ce territoire.

Ces données sont :

a) les fichiers fournis par le Grand Lyon au format MIF/MID, contenant 85 couches, dont les principales (celles pouvant avoir une réelle utilité dans notre étude) sont:

- 2 couches de bâtiments
 - 1 couche de bâti "dur": 16560 objets
 - 1 couche de bâti "léger": 5315 objets
- 3 couches de courbes de niveau: 1005, 196 et 251 objets
- 1 couche de points cotés au sol: 18281 objets
- 1 couche de points cotés au bord de toit ou à la faîtière: 27121 objets
- 1 couche d'îlots de recensement INSEE: 576 objets

b) les fichiers fournis par l'association Acoucité:

- 1 couche de voies de circulation: 11102 objets
- les comptages au format papier des trafics routiers de 18 voies et rues du quartier sur 95 voies retenues en fin de compte. Les données disponibles sont les trafics d'une vingtaine de tronçons, relevés sur plusieurs jours (semaine et week-end) et décomposés par heure (24 valeurs), séparés en comptage pour tous types de véhicules et véhicules lourds.

Après délimitation du champ d'étude, 4098 bâtiments durs, 1155 bâtiments légers et 95 voies ont été conservés.

Pour permettre les traitements futurs des données et également pour leur intégration dans le logiciel Mithra, il est préférable que l'ensemble de ces données soit traité et organisées au sein de Systèmes d'Information Géographique.

Ce travail est d'autant plus laborieux que dans les couches au format DXF les données thématiques (nom, altitude, etc...) ne sont jamais directement associées aux objets spatiaux. Or tout l'intérêt des SIG réside justement dans le fait que la base de données est liée aux entités spatiales correspondantes. Par conséquent, les possibilités offertes par le format MIF ne sont pas exploitées.

Différents pré-traitements ont été réalisés au sein du SIG sur les couches bâtiments et les courbes de niveau.

a) Les couches bâtiments

Plusieurs traitements ont été menés afin que chaque bâtiment soit renseigné sur son altitude au sol, son altitude au toit, sa hauteur. Les deux 'champs' posant vraiment problème sont l'altitude au sol et au toit de chaque bâtiment. Ils ont été estimés de la manière suivante :

- En ce qui concerne les altitudes au sol des bâtiments, les couches DXF dont on dispose ne permettent pas de les connaître directement : les points cotés au sol et les contours des bâtiments sont dans des couches différentes. De plus, seule une très infime partie (moins de 1 %) de ces points cotés 'tombent' à l'intérieur des bâtiments, la quasi-totalité correspondant à des altitudes relevées sur les routes ou en zone dégagée. Il convient donc de trouver une méthode qui permette de déduire pour chaque bâtiment une altitude au sol réaliste au vu des points cotés existants. La méthode choisie a consisté à créer un modèle numérique de terrain (MNT). Pour l'ensemble de la zone d'étude, un MNT consistant en un quadrillage orthonormé d'une résolution de 10 mètres a été créé. L'altitude de chaque cellule de la zone d'étude est ensuite calculée par la valeur moyenne des points cotés contenus à l'intérieur. Au final, on dispose pour presque chaque cellule de 10m*10m d'une estimation de l'altitude au sol. Cette approximation n'est pas préoccupante: la zone d'études est en effet extrêmement peu accidentée. A l'aide d'une simple opération, il est ensuite possible de calculer pour chaque bâtiment la moyenne des altitudes des différentes cellules contenues dans ces mêmes bâtiments. On obtient donc une altitude unique pour chaque bâtiment.
- Le problème des altitudes au toit des bâtiments est différent. Les couches 'points cotés en bord de toit' et 'points cotés au faîtage' correspondent bien aux bâtiments, mais le lien n'est pas fait, et il existe d'autres sources d'erreur dues à des données incomplètes. En effet, dans l'idéal, chaque bâtiment contient un ou plusieurs points cotés avec leurs altitudes respectives, c'est le cas de la majorité d'entre eux, mais une bonne part des bâtiments ne sont pas renseignés par des points cotés, surtout les bâtiments légers. La démarche a donc été différente selon que les bâtiments contiennent ou non des points cotés avec altitudes. Pour les bâtiments 'renseignés', il est possible grâce à des requêtes d'inclusion dans MapInfo de pouvoir affecter directement aux bâtiments les altitudes des points cotés inclus. Ainsi, lorsqu'un bâtiment contient un seul point coté, il lui est affecté l'altitude du point contenu. Lorsqu'un bâtiment contient plusieurs points cotés, il lui est affecté la moyenne des différentes altitudes des points contenus. Pour les bâtiments 'non renseignés', il leur a d'abord été affecté par défaut l'altitude sol + 3 m pour les bâtiments légers et sol + 5 m pour les bâtiments durs. Par la suite, certaines de ces approximations ont pu être levées grâce à des observations sur le terrain.

b) Les courbes de niveau

Les courbes de niveau disponibles ont été utilisées essentiellement dans les calculs d'environnement sonore sous MITHRA et ont servi de niveau de référence pour l'altitude au sol des bâtiments, car considérées comme plus fiables que l'altitude calculée par interpolation.

3.3. Création des cartes élémentaires

La décomposition de la carte de bruit en fichiers élémentaires, liés à des tronçons de voies élémentaires et exportés sous MapInfo pour le traitement aboutissant à la carte finale est préparée de fait dès que les données sur les voies sont disponibles. Ce sont des tronçons de voie élémentaires qui sont exportés sous MITHRA pour le calcul de l'environnement sonore qu'elles génèrent. Les calculs doivent être lancés séparément pour chaque voie, afin d'obtenir des cartes élémentaires. Une fois les cartes calculées puis exportées en format MapInfo, il sera possible dans une deuxième phase de passer à la structuration de la carte interactive elle-même.

Sous MITHRA : fonctionnement général.

L'environnement sonore est calculé sous MITHRA par tir de rayons. A partir des sources de bruit urbain (routes, voies ferrées ou de tram, aéroports...) d'une part, et d'informations sur le relief du terrain d'autre part, le logiciel établit un semis de points. Le niveau de pression acoustique est calculé pour chacun de ces points. Dans le cas d'un calcul d'environnement sonore en vue d'une cartographie de l'environnement sonore, le semis de points est calculé de façon à couvrir l'intégralité de la zone d'étude.

La carte horizontale est donc établie en tirant les rayons à partir des points de calculs, ou récepteurs, en direction de la source. Le logiciel commence par déterminer les trajets acoustiques élémentaires, puis calcule la réflexion des rayons sur les obstacles de façon adéquate, et peut ainsi calculer la longueur du trajet des ondes. La longueur du trajet parcouru par l'onde, ainsi que les informations sur la capacité d'absorption des parois sur lesquelles le son se réfléchit, permettent de calculer l'altération subie par le niveau de puissance émis par la source. On obtient ainsi une cartographie des niveaux sonores équivalents reçus en une journée en chaque récepteur. La cartographie est réalisée à partir de l'interpolation des valeurs calculées pour chacun de ces points.

Les calculs relatifs à la propagation du son dans l'espace sont donc calculés sous MITHRA et serviront de base à la carte interactive. Le principe de base est qu'à conditions égales de propagation du son (relief identique, homogénéité de l'air et capacités d'absorption inchangées), les modifications du niveau de pression acoustique enregistrées en divers points sont fonction directe du niveau de puissance émis par la source. Ainsi, toutes conditions de propagation égales par ailleurs, les altérations du niveau de puissance générées par une source se répercuteront sur l'environnement sonore de façon linéaire. Les opérations et aménagements n'engageant que des variations de la puissance acoustique émise par les sources, mais aucun changement notable dans les conditions de propagation du son peuvent donc théoriquement être calculées par un simple processeur d'images ou de tables, à partir du moment où l'altération du niveau de puissance émis par la source peut être calculée. De cette façon, si l'influence d'un paramètre dans le niveau de puissance

émis par une source est connue, alors il est possible de calculer le niveau de puissance émis par cette source en fonction des variations de ce paramètre.

Pour des raisons de temps de calcul, dû à la superficie de la zone couverte, il s'est avéré nécessaire d'une part de réduire cette zone d'étude, et d'autre part de ne pas réaliser de calculs pour les axes tertiaires, limiter le nombre de réflexions des rayons acoustiques à trois et la distance de propagation maximale à 2500 mètres (valeurs de ces paramètres couramment utilisées lors d'études classiques d'ingénierie acoustique).

Sous MapInfo

On dispose d'un ensemble de formules qui permet de calculer le niveau de puissance acoustique généré par une voie [2, 3]. Ces formules sont celles qui sont implémentées sous MITHRA pour réaliser les calculs de niveau de puissance acoustique. Elles sont rappelées en annexe de ce rapport. Grâce à ces formules, qui seront implémentés dans l'outil programmé, certains aménagements pourront être pris en compte directement dans MapInfo pour actualiser la cartographie de l'environnement sonore sans avoir à refaire tous les calculs sous MITHRA.

Dans un premier temps, les 95 cartes de bruit élémentaires ont été calculées sous MITHRA, à partir des données fournies par Acoucity, ou de données estimées. La figure 8 montre un exemple d'une carte élémentaire - et de son environnement sonore associé - calculée sous MITHRA.

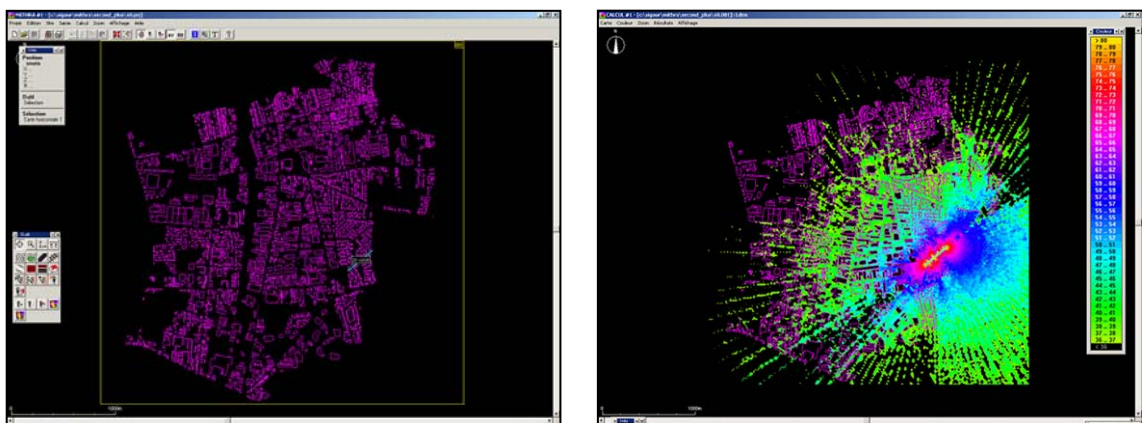


Figure 8: Carte horizontale élémentaire calculée sous MITHRA pour la voie source n°48 : Avenue des Platanes.

A gauche : cartographie élémentaire de la zone d'études.

A droite : calcul de l'environnement sonore en "carte horizontale".

Les paramètres suivants ont été implémentés dans la base de données concernant les voies sources de bruit: l'identifiant et le nom des voies, le type de voie, la vitesse maximale autorisée, le nombre de files de la voie, la nature du revêtement, la longueur des voies (nécessaire au calcul de l'énergie acoustique totale émise par la voie), la pente de la voie, la fluidité du trafic, le pourcentage de poids lourds dans le trafic total et le débit en véhicules/heure. En outre, il est important pour la suite des opérations de noter le niveau de puissance généré par la source, noté L_w .

Structure de la table globale des voies : voies (*identifiant*, nom_voie, type_voie, lim_max, nb_files, revetement, longueur_voie, pente_voie, fluidité, pourcentage_poids_lourds, debit, lw).

La table devant recevoir les calculs élémentaires issus de MITHRA devra avoir une structure propre à recueillir l'information et à en assurer la transformation pour obtenir la carte finale. Il est primordial de conserver une trace des calculs élémentaires réalisés en fonction de chaque voie, afin de pouvoir modifier la carte d'ensemble en conséquence des modifications opérées sur les sources de bruit élémentaires.

3.4. Superposition des cartes élémentaires

La superposition des cartes élémentaires repose d'une part sur le principe de sommation des énergies sonores provenant des différentes sources élémentaires et d'autre part sur la relation linéaire entre niveaux de bruit en tout point récepteur et niveaux de puissance des sources, toutes conditions de propagation restant inchangées par ailleurs. Ainsi l'environnement sonore global est la somme des environnements élémentaires dus aux différentes sources et une modification du bruit émis par une voie de circulation se traduit par une augmentation proportionnelle de l'énergie globale résultante.

Par conséquent, comme l'illustre la figure 9, si le bruit émis par une voie change, on peut calculer en tout point la variation de l'intensité sonore due à cette source. L'environnement sonore peut donc être recalculé en fonction des aménagements opérés sur les sources de bruit.

La figure 10 montre de manière schématique comment l'environnement sonore global peut être considéré comme résultant de la superposition des zones de propagation du bruit dû à chaque source. La figure 11 illustre le cas de la superposition de deux zones de propagation tel qu'il sera traité dans la maquette informatique fournie à l'issue de ce travail.

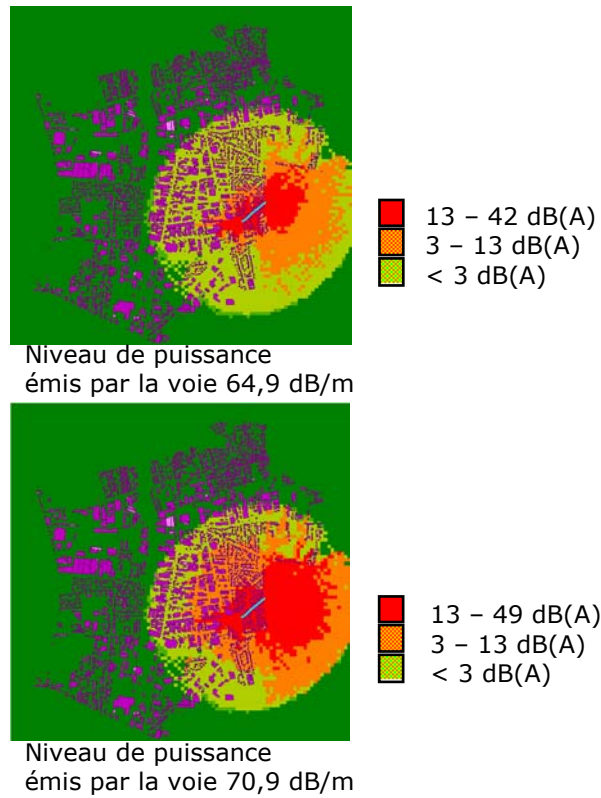


Figure 9 : Illustration du principe de variation de l'intensité sonore en fonction de la variation du bruit émis par une source

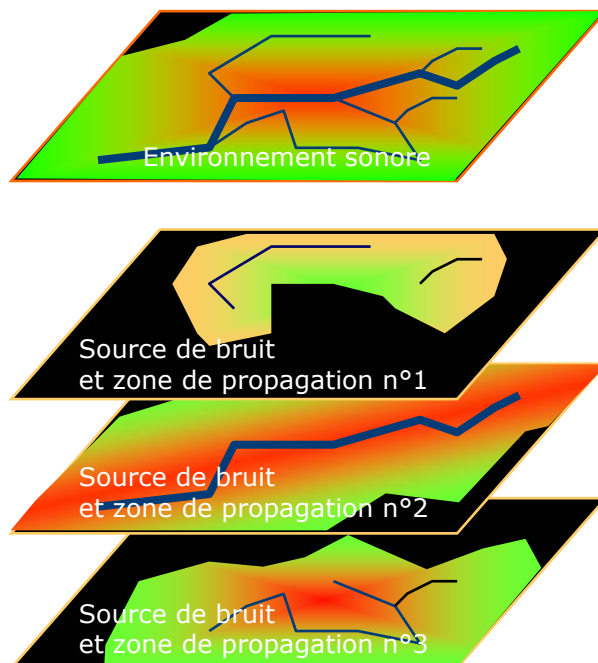


Figure 10 : Environnement sonore global résultant de la superposition des zones de propagation élémentaires

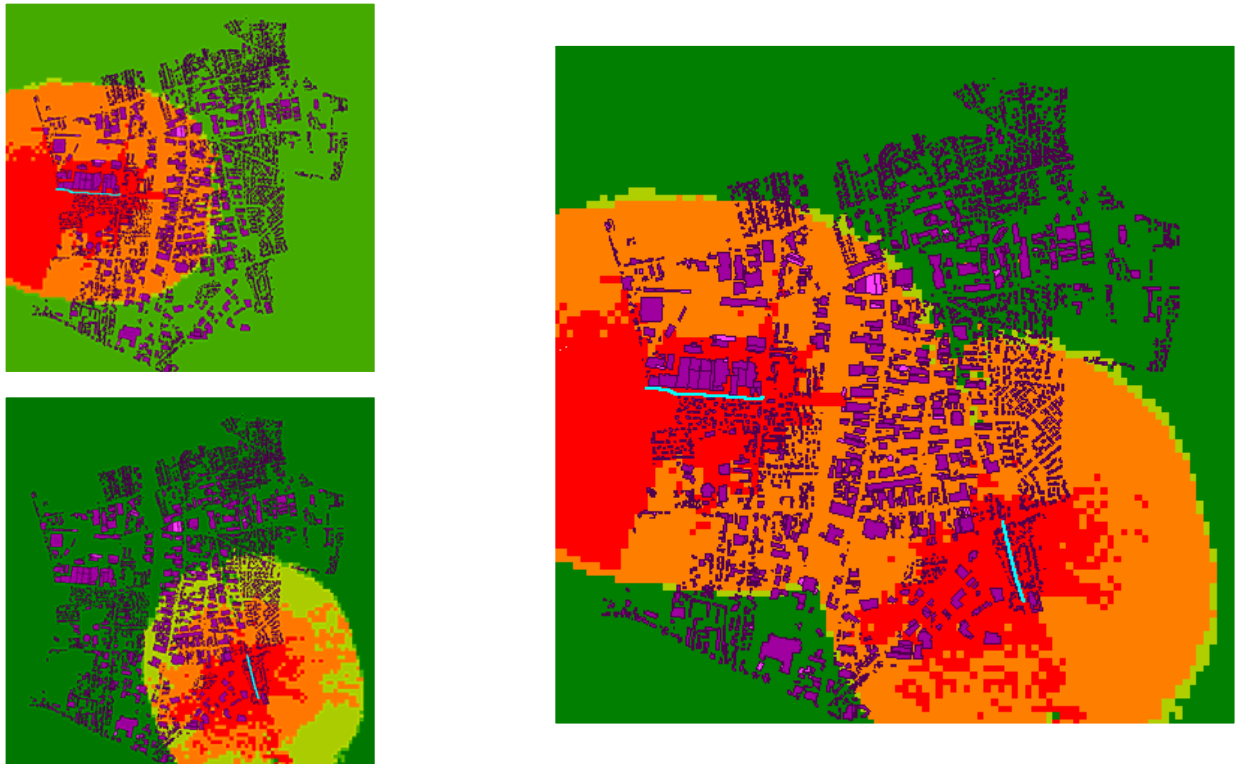
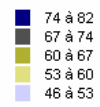


Figure 11 : Superposition de deux zones de propagation dans la maquette informatique

Le principe de superposition des cartes élémentaires dans la maquette informatique a été validé sur le cas de l'environnement sonore global résultant de la superposition de deux environnements sonores élémentaires, ainsi que l'illustrent les figures 12 à 15.

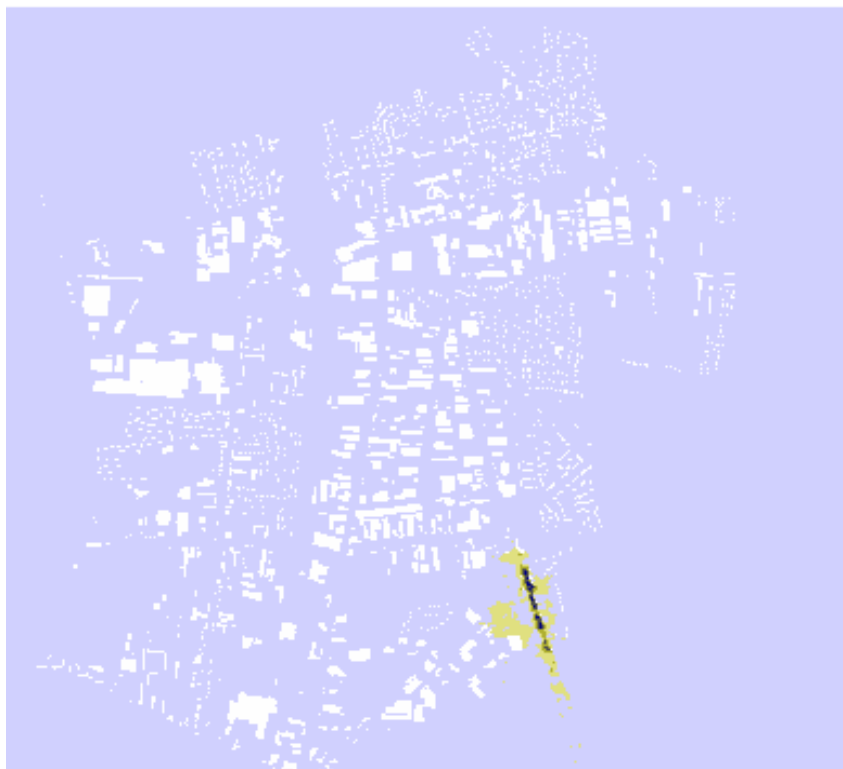


Calcul sous MITHRA: Leq de la Voie 1

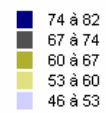


Voie 1

Figure 12 : Carte sonore élémentaire du bruit engendré par la source de bruit "Voie 1"

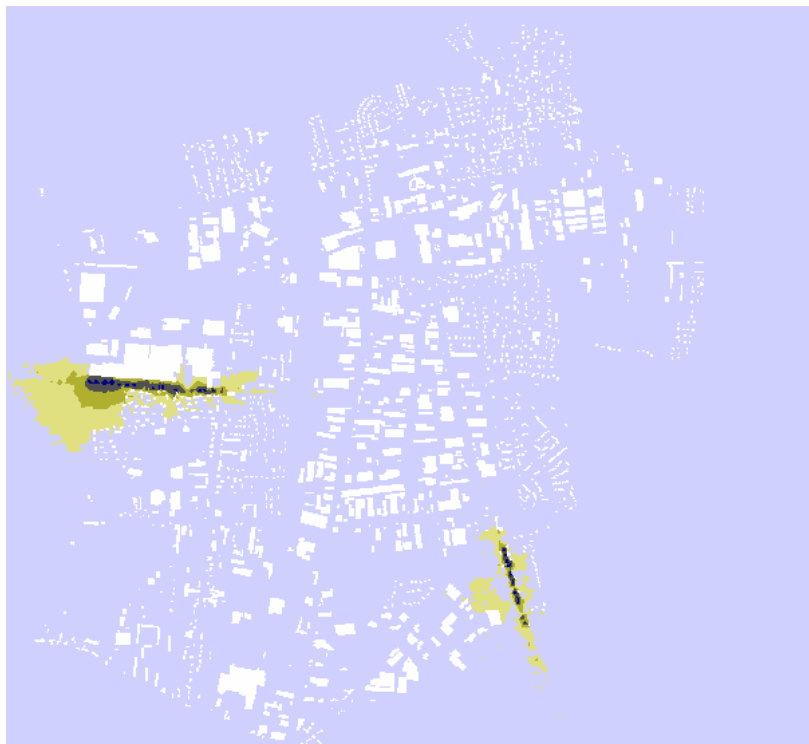


Calcul sous MITHRA: Leq de la voie 2



Voie 2

Figure 13 : Carte sonore élémentaire du bruit engendré par la source de bruit "Voie 2"



Calcul sous MITHRA: Leq des voies 1 et 2

- 74 à 82
- 67 à 74
- 60 à 67
- 53 à 60
- 46 à 53

Voie 1 + Voie 2:
Calcul sous
MITHRA

Figure 14 : Carte de l'environnement sonore global "Voie 1 + Voie 2", calcul sous MITHRA



Calcul sous MAPINFO: Leq des voies 1 et 2

- 74 à 82
- 67 à 74
- 60 à 67
- 53 à 60
- 46 à 53

Voie 1 + Voie 2:
addition sous
MapInfo

Figure 15 : Carte de l'environnement sonore global "Voie 1 + Voie 2", addition sous MapInfo

3.5. Problèmes rencontrés et remarques critiques

La création de la base de données pâtit de quelques lacunes, dont certaines inhérentes aux données elles-mêmes. Ces manques peuvent évidemment influencer sur la précision des résultats, mais ne remettent pas en cause la méthodologie générale suivie. A titre d'exemple, on peut citer deux points précis qui mériteraient d'être grandement améliorés :

- une couche bâtiment très incomplètement renseignée (on ne connaît pas la hauteur de près de 1500 bâtiments)
- la non prise en compte de la quasi-totalité des murs de clôture situés dans la zone d'études (ce qui modifie considérablement la propagation des ondes sonores le long de certaines voies).

Ce problème reste généralement posé à l'ensemble des bases de données.

Les données reçues demandaient en outre une adaptation pour être utilisées dans un S.I.G. proprement dit. La majorité des données semble avoir été implémentée pour la visualisation davantage que pour une utilisation S.I.G. et bases de données associées. Cette structure spécifique tient probablement à la grande diversité des besoins au sein du Grand Lyon; toutefois, elle présente de gros obstacle à une utilisation S.I.G. immédiate et notamment l'exploitation à des fins d'analyse spatiale.

Une rue, par exemple, n'est pas constituée d'un objet unique, mais d'une série de polygones juxtaposés de manière à simuler visuellement l'effet d'une ligne continue. Cette organisation particulière n'aurait aucune conséquence si les objets implémentés à partir d'une même rue ou voie étaient liés par un identifiant commun associé à l'objet. Or le seul lien entre ces tronçons de ligne est aux mieux spatial, sinon purement graphique : bien que certains tronçons semblent en prolonger d'autres, les coordonnées des extrémités communes de ces tronçons, pour être proches, ne sont pas identiques. Par ailleurs, les noms de la voirie, s'ils s'affichent le long des tronçons, n'y sont pas associés en termes de bases de données. Ils sont implémentés comme objets graphiques dans une table à part. Là encore, le seul lien possible est spatial. Dans le cadre d'une utilisation S.I.G., il est important de disposer du nom des voies traitées; il était donc impératif d'affecter un nom aux tronçons utilisés. Dans les deux cas, une jointure spatiale est extrêmement délicate à réaliser : en effet, certains noms de voie sont situés à égale distance de deux voies ne portant pas le même nom; l'étiquette est parfois plus proche d'une voie qui porte un autre nom que de la voie qu'elles désignent, allant jusqu'à chevaucher une voie proche de celle à laquelle elle est associée. Dans ces conditions, seul le sens de lecture, associé au sens commun, permet d'associer un nom à une rue. Et il n'est pas toujours aisé de deviner où commence et où finit chaque voie.

De même, l'altitude du sommet des bâtiments était enregistrée non comme variable associée aux tables des bâtiments, mais comme une couche à part, ponctuelle, présentant des points de mesure parfois situés en dehors des polygones représentant les constructions. Les points de mesure de l'altitude au sol constituent de plus un semis irrégulier de variables concurrentes.

Par conséquent, la réalisation de telles opérations dans un S.I.G. a nécessité une grande part, longue et fastidieuse, de traitement manuel au cas par cas : 200 voies ont été identifiées dans la zone d'étude, chiffre ramené par la suite à 189, divisées en plus de 800 tronçons. La mise en conformité des données a donc pris un temps certain, malgré la création d'un certain nombre d'exécutables sous MapBasic.

En ce qui concerne les données sur le bâti, de nombreux bâtiments n'étant pas renseignés, il a fallu effectuer des inventaires in situ pour compléter la base de données selon la méthodologie mise au point au cours du projet SIGAUR II. Cette méthodologie repose sur le principe que si tous les bâtiments d'une zone sont d'une hauteur sensiblement égale, alors les bâtiments non renseignés à l'intérieur de cette zone sont probablement approximativement de la même hauteur que leurs voisins. Suivant ce principe, il est alors possible d'interpoler dans le S.I.G. la hauteur manquante des bâtiments d'après la hauteur la plus fréquente pour les bâtiments voisins.

Pour les bâtiments non renseignés dont la hauteur n'était pas similaire à celle des bâtiments renseignés du voisinage, nous avons procédé à une double estimation : d'une part en termes de rapport de hauteur (facteur ou constante, selon le cas), d'autre part en termes de hauteur absolue estimée par comparaison avec la hauteur de bâtiments environnants.

4. PRESENTATION DE LA MAQUETTE INFORMATIQUE

Les développements informatiques ont été réalisés sous MapInfo/MapBasic version 6.5. Un exécutable a été créé : sigaur3_1.MBX. Il est recommandé d'ouvrir d'abord MapInfo avant de lancer l'exécutable. Il faut ensuite saisir l'espace de travail contenant les scénarios étudiés : La_Soie.WOR.

La carte de l'environnement sonore correspondant au projet étudié du quartier de la Soie s'affiche alors, les valeurs d'émission des différentes sources de bruit étant les valeurs de la situation initiale par défaut (basée sur les données disponibles, notamment en termes de trafic, lors de ce travail). La figure 16 montre la carte de l'environnement sonore global obtenue initialement.

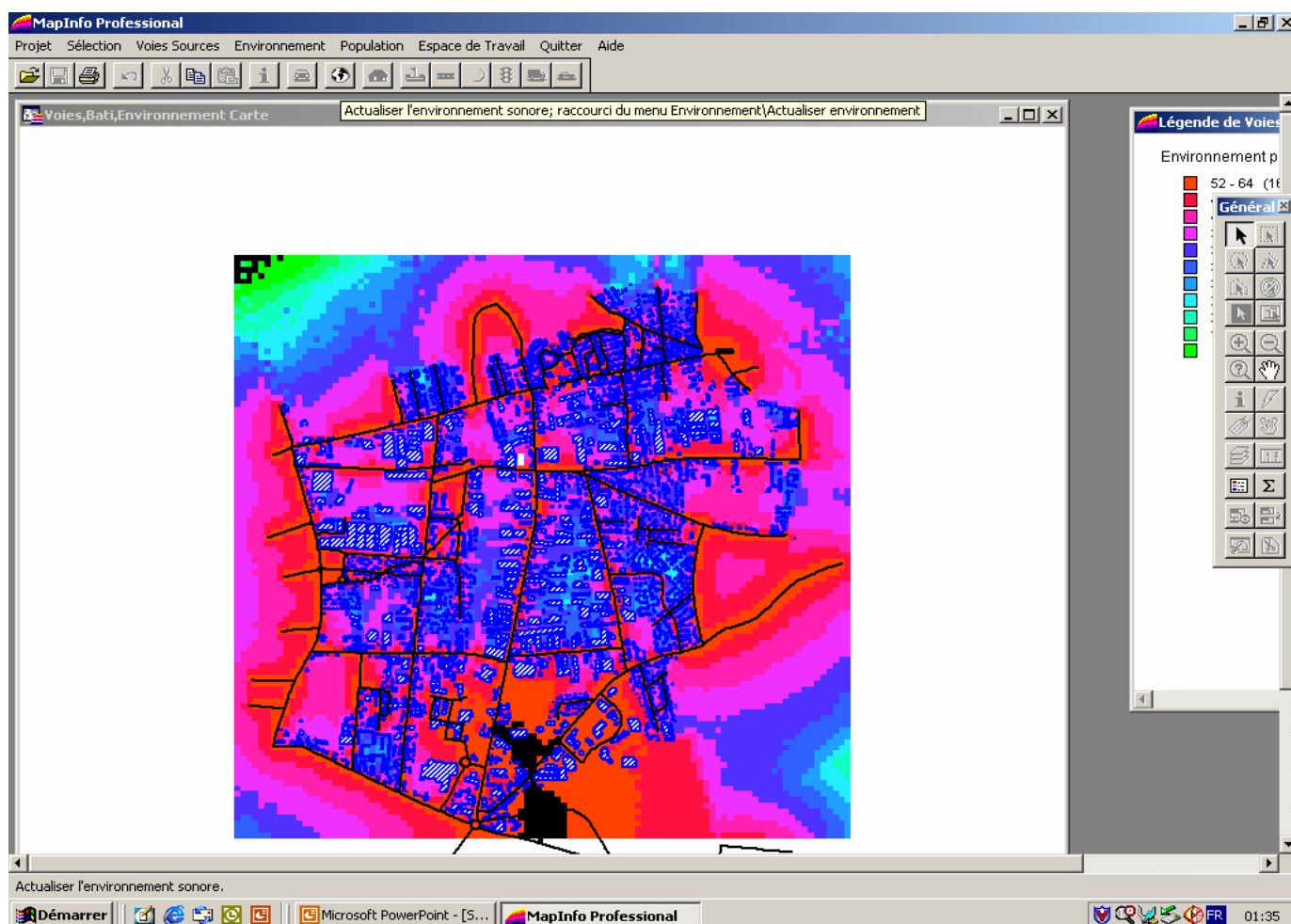


Figure 16 : Carte de l'environnement sonore global initial du quartier de La Soie

A partir du constat initial de la situation acoustique actuelle, il est ensuite possible de tester différents scénarios de plans de déplacements urbains et d'évaluer leur impact sur l'environnement sonore global. On peut ainsi sélectionner une voie, source de

bruit élémentaire, et modifier ses caractéristiques (type de voie, pente, type de revêtement, limitations de vitesse, fluidité du trafic, débit, proportion de poids lourds...) en fonction de la variante étudiée comme l'illustre la figure 17.

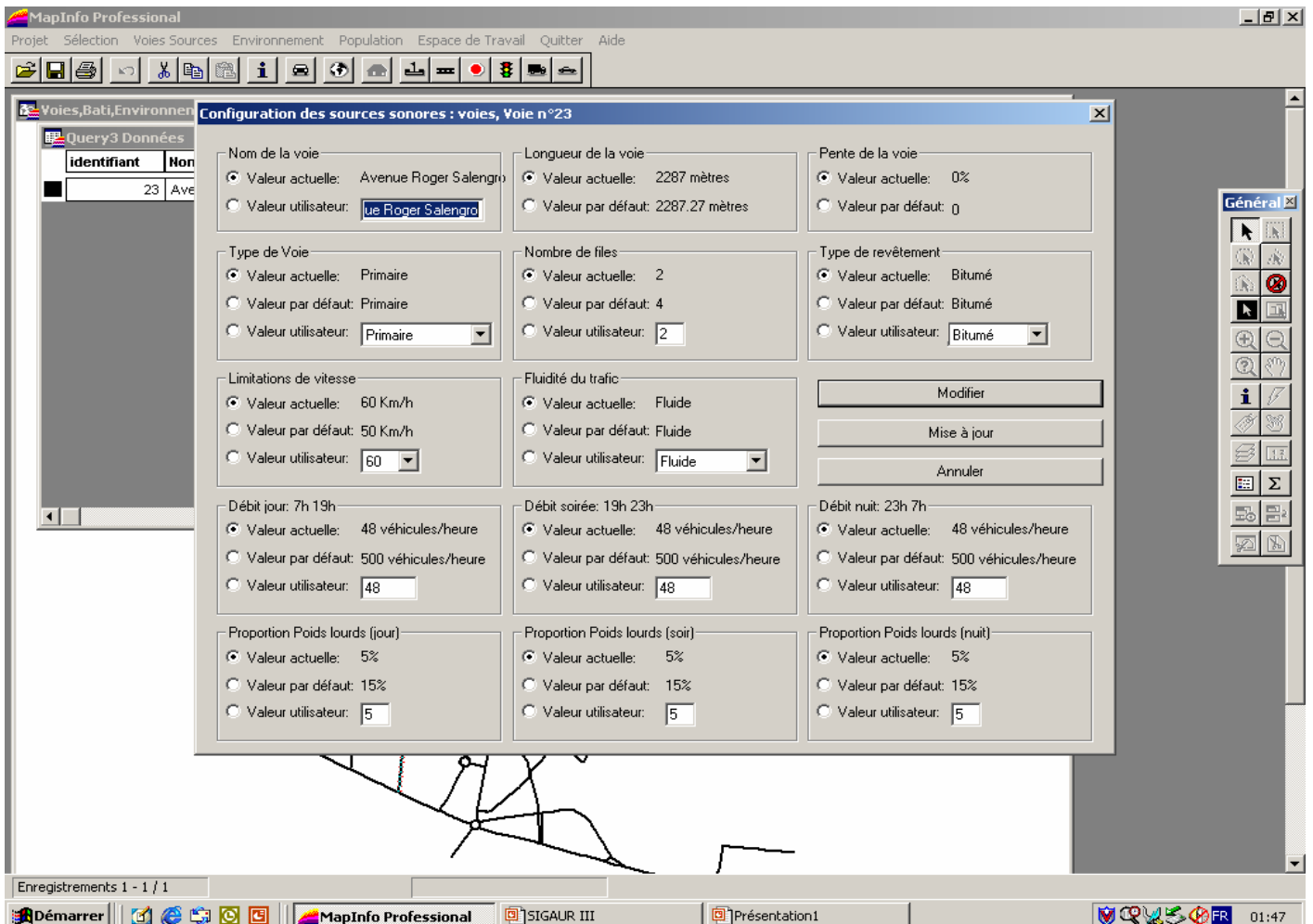


Figure 17 : paramètres pour une voie - source sonore élémentaire

Après modification des caractéristiques de la voie, le niveau de puissance émis par cette source de bruit est recalculé (voir figure 18), puis l'environnement sonore global est réactualisé sous la forme d'une carte de couleurs de Leq, de LDEN ou de différence de LDEN entre le nouvel état et l'état initial (figure 19). La dynamique d'affichage en termes de plage de niveaux de décibels représentée peut être choisie par l'utilisateur. Pour finir, une carte d'environnement sonore global permet de représenter les niveaux sonores calculés, mais aussi de mettre en évidence la part de population gênée en termes d'effectifs de la population résidente, selon la méthodologie simple développée dans le projet SIGAUR II et basée sur les courbes de réponse au bruit de Miedema [9]. La figure 20 illustre cette dernière carte.

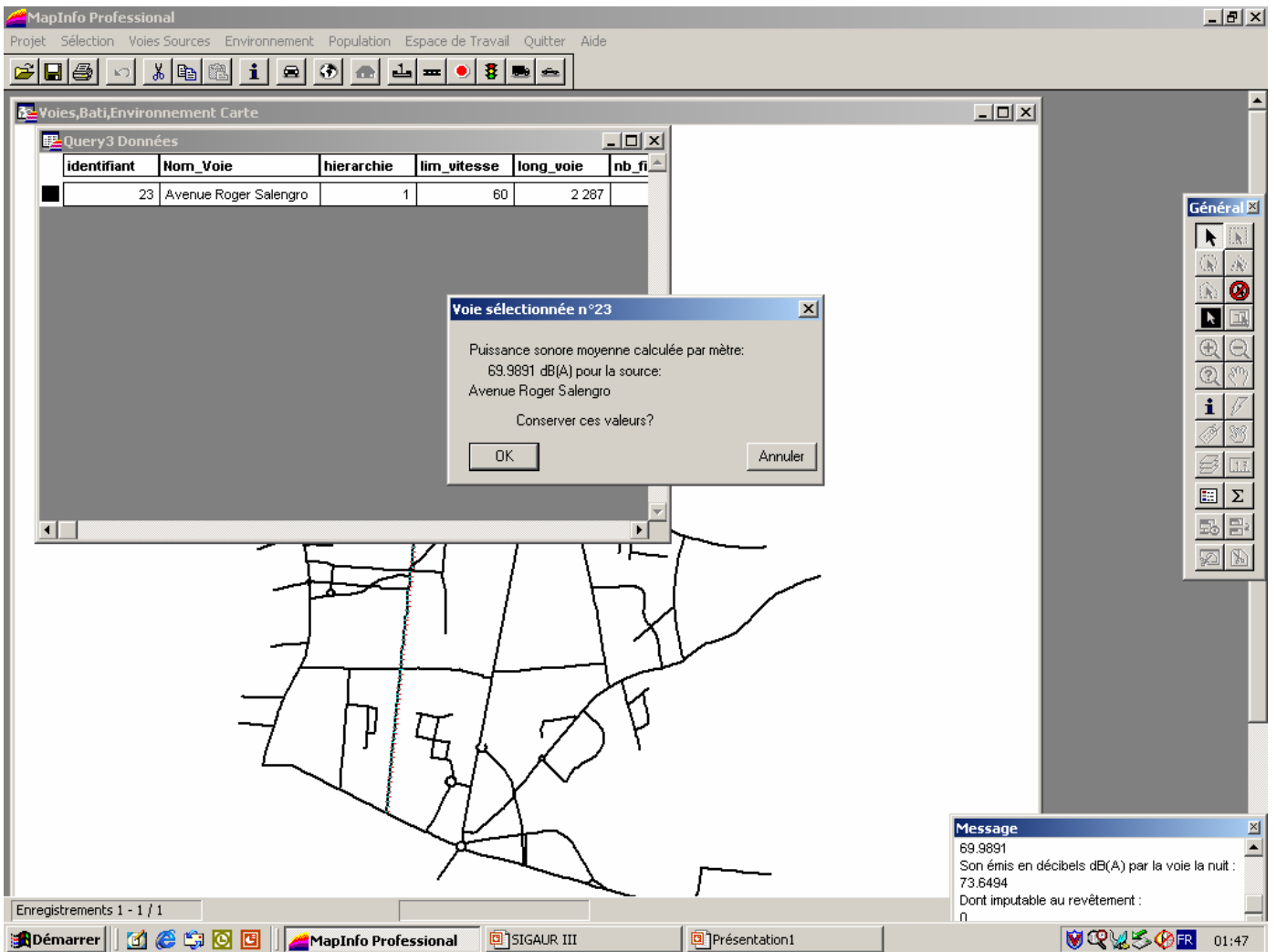


Figure 18 : Réactualisation des niveaux de puissance à l'émission

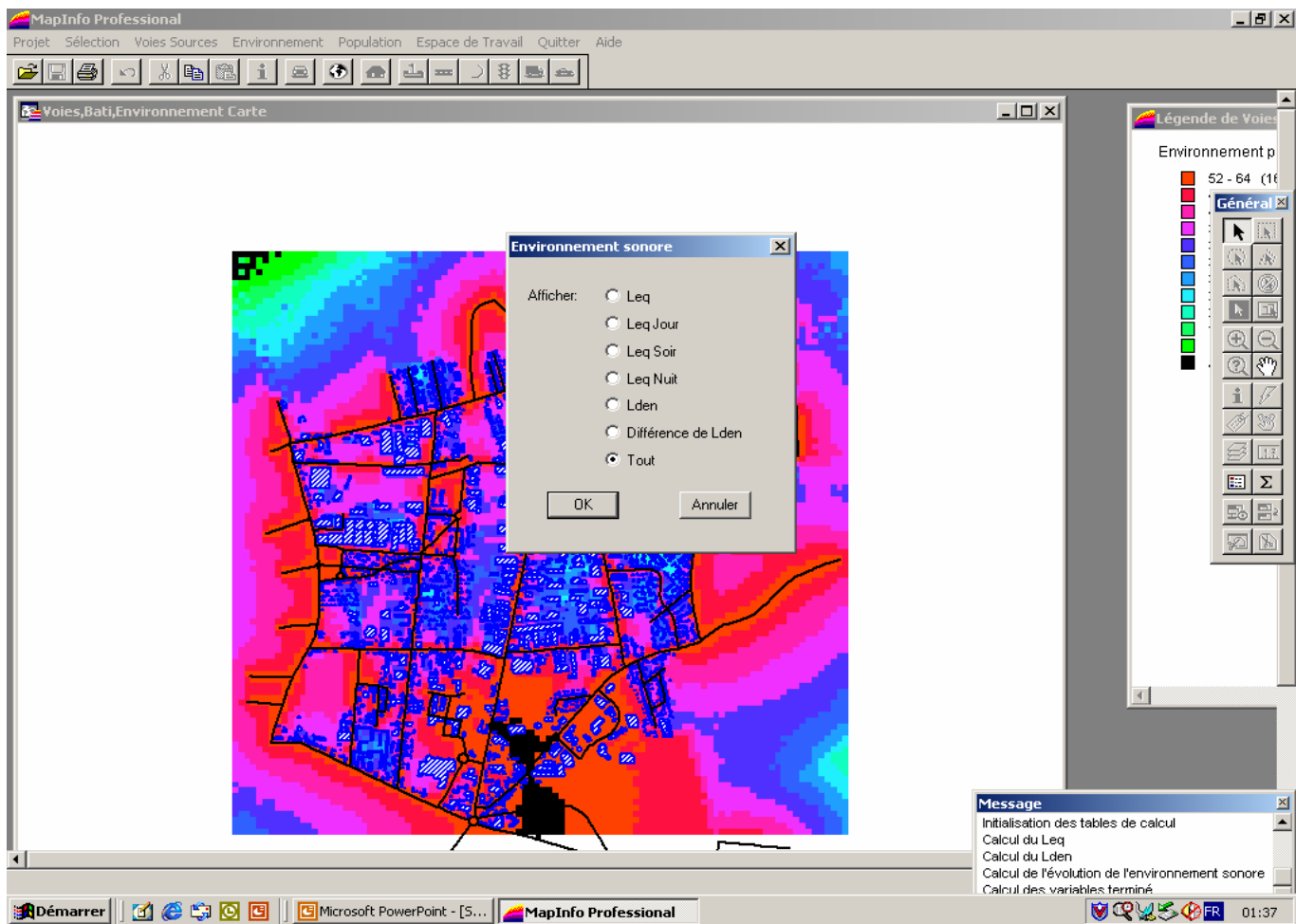


Figure 19 : Réactualisation de l'environnement sonore global en termes de Leq, L_{DEN} ou de différences de niveaux

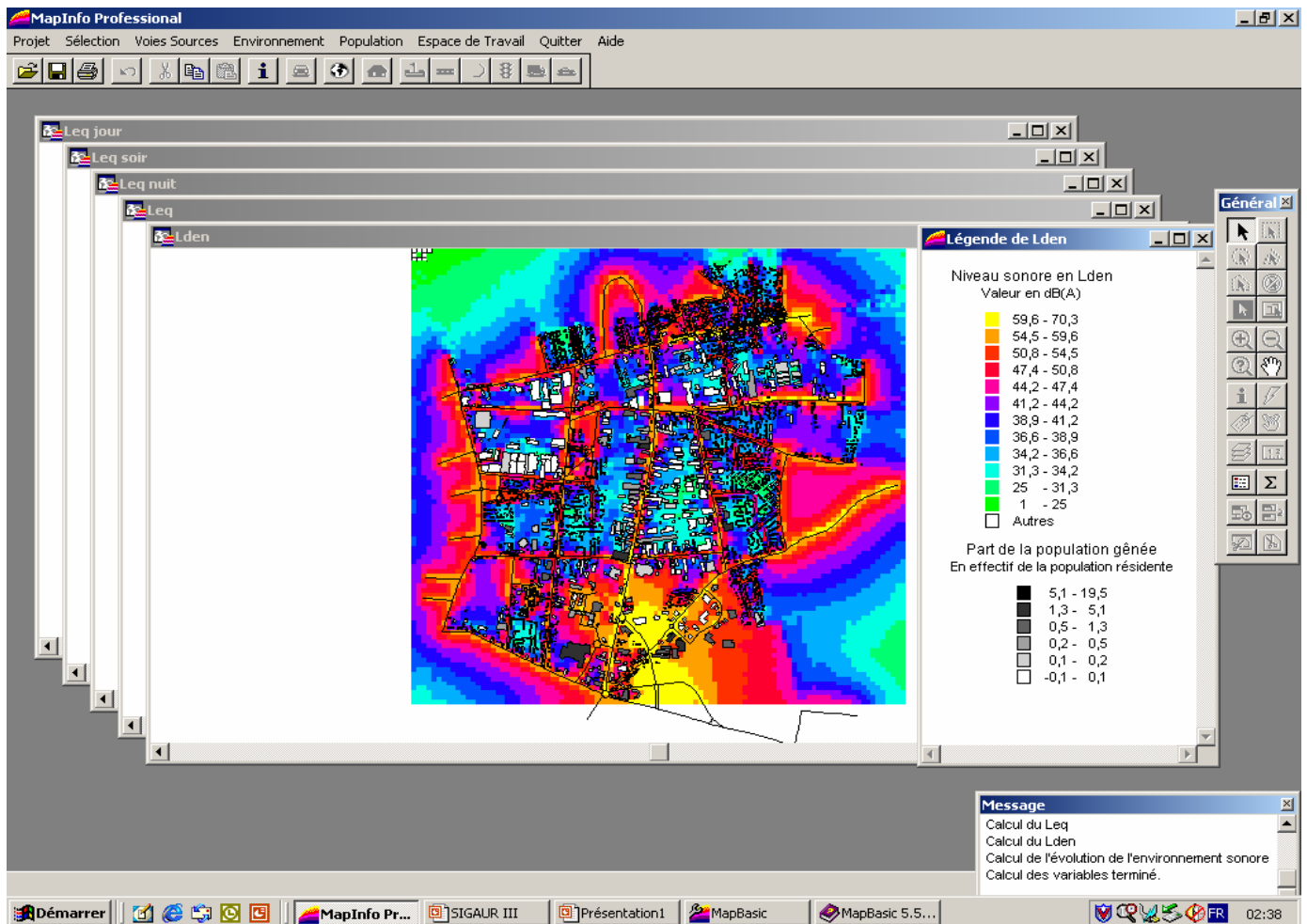


Figure 20 : Carte d'environnement sonore global en termes de niveaux sonores et de part de population gênée

Afin de résumer l'approche suivie, la figure 21 résume les grandes étapes du fonctionnement de la maquette informatique.

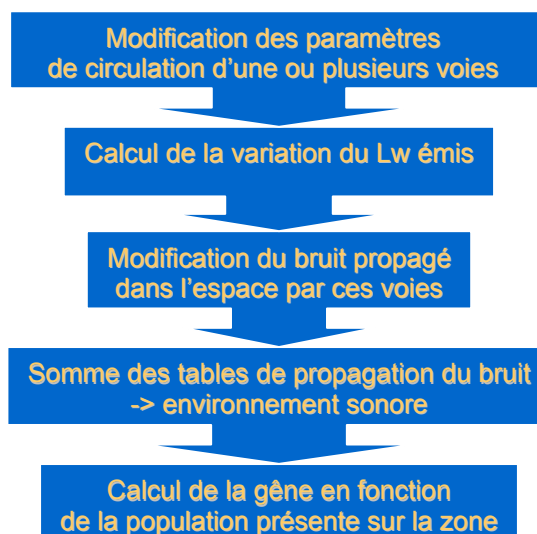


Figure 21 : Organigramme résumant les grandes étapes de fonctionnement de la maquette informatique

CONCLUSION

Le projet de recherche SIGAUR III s'inscrit dans la continuité d'une logique de rapprochement entre techniciens de l'acoustique environnementale et acteurs de l'aménagement territorial. Plus spécifiquement, ce projet vise à approfondir la démarche de consultation des acteurs territoriaux et de clarification des politiques des collectivités locales, par le biais de la maquette de carte interactive mise en œuvre.

Ce rapport présente dans ses grandes lignes les travaux menés au cours du projet SIGAUR III :

- exploitation des données du SIG du Grand Lyon
- acquisition des données nécessaires à la réalisation des cartes de bruit élémentaires
- décomposition de la carte de bruit en fichiers élémentaires
- exploitation des fichiers élémentaires dans le SIG et développement du calcul pour l'assemblage interactif des fichiers élémentaires
- addition et superposition des cartes élémentaires
- réalisation d'une maquette informatique sur le terrain d'expérimentation du quartier de La Soie.

La maquette informatique réalisée sous MapInfo/MapBasic représente une première ébauche de réponse, avec toutes les limitations discutées dans ce rapport, à la demande d'un outil de représentation interactif et dynamique de l'environnement sonore urbain.

Deux réunions ont été organisées dans le but de collecter un premier ensemble de réactions auprès de différents acteurs impliqués dans l'aménagement urbain et l'environnement sonore. La première réunion a eu lieu le vendredi 11 avril dans les locaux d'Acoucité et mettait en présence Olivier Laurent (Mission Ecologie du Grand Lyon), Bruno Vincent, Frédéric Audy et Valérie Buffet (Acoucité), Luc Merchez (Laboratoire Geophile de l'ENS Lyon), Eric Premat et Aurélien Gillard (CSTB). La deuxième réunion s'est tenue le jeudi 19 juin à la COURLY et rassemblait les mêmes acteurs avec cette fois-ci la participation de trois personnes supplémentaires du Grand Lyon : Christelle CHARAT (mission déplacements : en charge du secteur concerné pour la politique des déplacements), Jean-Pierre COCHARD (responsable de l'urbanisme territorial dans ce secteur) et Bernard GARNIER (chef du projet BUE à la direction de la voirie). Le but de ces discussions était de regrouper autour du thème de l'aménagement urbain et de l'environnement sonore différents acteurs aux profils

variés : ingénieurs, techniciens, urbanistes, aménageurs, dont les contraintes, objectifs et intérêts ne sont pas nécessairement les mêmes. Les réactions des différents intervenants se sont avérées riches d'enseignement.

Premièrement, l'ensemble des participants a souligné la nécessité de réfléchir à une représentation dynamique et interactive de l'environnement sonore urbain, notamment dans le contexte de la Directive Européenne relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. Il apparaît ainsi nécessaire de pouvoir évaluer l'impact de différents projets, de fournir un outil de simulation et de comparaison de différentes hypothèses, tout en communiquant auprès du public et en l'intégrant autant que possible au processus de décision.

Ceci a soulevé deux remarques : d'une part, plus le public concerné par l'outil est spécialisé, plus il aura tendance à travailler en utilisant directement les logiciels de prévision du bruit tels que MITHRA ; d'autre part, dans le cas contraire, il faut renforcer l'aspect « scénario et communication » d'un tel outil auprès de publics non spécialisés.

Par conséquent, plusieurs perspectives à ce travail ont pu être esquissées, qui devraient faire l'objet d'études plus approfondies. Les légendes ainsi que l'aspect sémiologique global de manière plus générale des différentes cartes peuvent être améliorés dans une optique de communication auprès de non spécialistes de tous horizons. En ce qui concerne l'analyse de différentes variantes d'aménagement, la nécessité de fournir des ordres de grandeur afin de fixer les idées et clarifier le discours, est également un point qui a été mentionné. En particulier, un tel outil devrait à terme permettre de comparer situations initiales et variantes aux objectifs réglementaires à respecter ou atteindre. Il pourrait même être très intéressant de réfléchir à un outil d'aide à la décision qui pourrait proposer, pour un environnement sonore urbain donné, un ensemble de « scénarios minimum » plausibles pour atteindre les objectifs réglementaires.

ANNEXE : CALCUL DES NIVEAUX DE PUISSANCE EMIS

Pour calculer le niveau d'énergie acoustique L_W produit par d'un mètre de voie de circulation automobile, on utilise la relation suivante :

$$L_W = L_{WvL} + 10 \log \left[\frac{\text{débit} (1 + 0.01 * \%PL(Eq - 1))}{\text{vitesse}} \right] - 30$$

où :

$$L_{WvL} = 46 + 30 \log (\text{vitesse}) + C$$

- C = 0 pour un trafic fluide
2 pour un trafic pulsé
3 pour une zone de très forte accélération

La variable Eq est déterminée par la vitesse de circulation et la pente de la voie, selon le tableau suivant :

Vitesse / pente	2% et moins	3%	4%	5%	6% et plus
50 Km/h	10	13	16	18	20
80 Km/h	7	9	10	11	12
100 Km/h	5	5	6	6	7
120 Km/h	4	5	5	6	6

Le paramètre "vitesse" employé dans le calcul du niveau de puissance émis par une voie est la vitesse réelle des véhicules ; celle-ci peut être estimée à partir du débit enregistré sur cette voie.

La vitesse réelle est estimée à partir du débit corrigé. Le débit corrigé s'exprime ainsi :

$$\text{débit corrigé} = \text{débit} * (1 + 0.02 * \%PL)$$

La valeur obtenue est le débit en UVP (Unité Véhicule Personnel)

On peut alors calculer la vitesse réelle des véhicules en fonction du type de voie :

- pour une route de type **urbaine rapide**,

$$Vitesse = 137 - \left[7 * \log(\text{débit corrigé}) + \left(\frac{\text{débit corrigé}^3}{10^8} \right) \right]$$

- pour une voie **primaire** :

$$vitesse = 60 \sqrt{\left(\frac{300}{\text{débit corrigé}} \right)}$$

Toutefois, si le débit corrigé est inférieur à 300, la vitesse est estimée à 60 Km/heure.

- pour une voie **secondaire**,

$$vitesse = 50 \sqrt{\left(\frac{150}{\text{débit corrigé}} \right)}$$

Toutefois, si le débit corrigé est inférieur à 150, la vitesse réelle est estimée à 50 Km/h.

On considère cependant que la vitesse moyenne ne peut être supérieure à la vitesse maximale autorisée ; toute vitesse moyenne calculée est donc ramenée à la vitesse maximale autorisée si elle dépasse les limitations en vigueur.

Le revêtement entre aussi en compte dans le calcul de la puissance acoustique générée par les voies de circulation. Le revêtement apporte un modificateur au niveau sonore final.

- pour un revêtement drainant :
 - 3.5 dB (A) pour les vitesses supérieures à 100 km/h,
 - 0 dB (A) pour les vitesses inférieures à 50 Km/h,
 - 0.7 dB (A) par tranche de 10 Km/h au-dessus de 50
- pour un revêtement clouté
 - + 2 dB (A)
- pour du béton strié, des pavés
 - + 3 dB (A)

On estime le débit par défaut selon les règles suivantes :

- Pour une voie primaire prioritaire, débit de 700 UVP/heure
- Pour une voie primaire non prioritaire, 500 UVP/heure
- Pour une autoroute, prendre 1400 UVP/heure
- Pour une voie secondaire, pas d'estimation standard (200 UVP/heure en ville)

Le débit moyen le jour est égal à 10% du débit total sur 24 heures.

Le débit d'heure de pointe est calculé de la façon suivante :

(Circulation totale du jour)/17,

ou

(Circulation totale du jour)/15 pour une autoroute

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Directive 2002/49/CE du Parlement Européen et du Conseil, 25 juin 2002, relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement*, Journal officiel des communautés européennes, 18 juillet 2002.
- [2] *Bruit des infrastructures routières, méthode de calcul incluant les effets météorologiques*, NMPB routes 1996, édition janvier 1997, CERTU, SETRA, LCPC, CSTB.
- [3] *Mithra 4.0, manuel technique*, 01 dB-Stell, 1999.
- [4] *Traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres*, Erwan Quesseveur, Thèse de géographie, Université Joseph Fourier, Grenoble, 2001.
- [5] *Représentation et observation de l'environnement sonore urbain, SIGAUR II*, Luc Merchez, Jean-Marie Rapin, Pierre Dumolard, Rapport CSTB N° ER 712.98.0108B, 2000.
- [6] *Un nouvel outil pour évaluer la gêne en milieu urbain – Cartographie sonore et Systèmes d'Information Géographiques*, Luc Merchez, Eric Premat et Jean-Marie Rapin, Congrès Français d'Acoustique, Lille, mars 2002.
- [7] *Boulevard Urbain Est, étude globale d'aménagement et de Déplacements*, Mission Déplacements du Grand Lyon – Rapport ISIS, octobre 2000.
- [8] *Le Boulevard Urbain Est, cahier des charges et prescriptions paysagères*, Communauté Urbaine de Lyon - Olivier Poëtte, mars 2001.
- [9] *Exposure-response relation-ships for transportation noise*, JASA 104(6), pp. 3432-3445, H. Miedema, décembre 1998.