



**HAL**  
open science

# Traitement spatial du bruit des transports terrestres

Erwan Quesseveur

► **To cite this version:**

Erwan Quesseveur. Traitement spatial du bruit des transports terrestres. Géographie. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2001. Français. NNT: . tel-00081288

**HAL Id: tel-00081288**

**<https://theses.hal.science/tel-00081288>**

Submitted on 22 Jun 2006

**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.

**UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – GRENOBLE 1  
SCIENCES ET GEOGRAPHIE**

**THESE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – GRENOBLE 1**

**Discipline : Géographie**

Présentée et soutenue publiquement  
par

**Erwan Quesseveur**

**Le 26 mars 2001**

**Titre :**

**TRAITEMENT SPATIAL  
DES IMPACTS DU BRUIT  
DES TRANSPORTS TERRESTRES**

---

**Directeur de thèse :**

Pierre DUMOLARD

---

**COMPOSITION DU JURY :**

- Nathalie DUBUS
- Monique ZIMMERMANN
- Jean Paul CHEYLAN
- Jean Marie RAPIN

Thèse préparée au sein du laboratoire SEIGAD  
- Université Joseph Fourier - Grenoble 1 -

**UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – GRENOBLE 1  
SCIENCES ET GEOGRAPHIE**

**THESE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – GRENOBLE 1**

**Discipline : Géographie**

Présentée et soutenue publiquement  
par

**Erwan Quesseveur**

**Le 26 mars 2001**

**Titre :**

**TRAITEMENT SPATIAL  
DES IMPACTS DU BRUIT  
DES TRANSPORTS TERRESTRES**

---

**Directeur de thèse :**

Pierre DUMOLARD

---

**COMPOSITION DU JURY :**

- Nathalie DUBUS
- Monique ZIMMERMANN
- Jean Paul CHEYLAN
- Jean Marie RAPIN

Thèse préparée au sein du laboratoire SEIGAD  
- Université Joseph Fourier - Grenoble 1 -





# REMERCIEMENTS

Comment ne pas oublier quelqu'un, tant les soutiens ont été nombreux durant ces quelques années à la poursuite de mes études ?

Je commencerais tout d'abord par remercier l'équipe qui va me juger sur la ligne d'arrivée : Jean Paul Cheylan, Nathalie Dubus, Jean Marie Rapin et Monique Zimmermann.

Mais tout au long de ce parcours j'ai naturellement profité d'un nombre important de coups de pouce de toutes natures.

En premier lieu, le laboratoire SEIGAD dirigé par Pierre Dumolard m'a servi de refuge pendant des années qui furent très enrichissantes. Marie Françoise, Sonia, Didier, Lucho, Steph, Eric, Remi, Fabien, John, Mathew, Pierre Gérard, Gwenaël, Manu, Jim, ... que j'ai eu la chance de côtoyer dans cette structure, ont tous contribué à leur façon, au "machin" que vous avez aujourd'hui entre les mains.

Je remercie aussi les membres du département acoustique du CSTB et de Acoustb, Jean Marie Rapin, Jean Marc Abramovitch, Jérôme Defrance et Dirk Van Maerck pour leur contribution au projet SIGAUR.

Lors de la réalisation de ce manuscrit, j'ai en outre bénéficié du soutien stratégique de Fanch, Ludo, Yannick et encore plus spécialement celui de Lucho. J'espère avoir à l'avenir, de nombreuses occasions pour leur rendre la pareille.

Une pensée particulière à Jean Yves et à Fanch qui m'ont incité à rater quelques marées pour aller voir la géographie sous un jour différent.

Et aussi les appuis de dernière minute de Christine, Pascale, Ana, Paulo, Jean Michel, Lassine, Ibrahim, Bruno, Laurent ... qui m'ont fourni un avant goût du bonheur que doit sans doute procurer une thèse quand elle est terminée ... !!

Je n'oublie pas non plus les soutiens moraux et logistiques. Ce sont des domaines à ne pas sous estimer ... j'y met ma petite famille qui m'a donné l'envie d'aller au bout de ce projet, simplement par passion, mais aussi tous les amis ... ceux qui ont des voitures, des maisons bien agréables, ceux qui sont doués pour la cuisine, ceux savent chanter et les autres qui ont su profiter de cet énorme potentiel pour faire du quotidien un truc vraiment chouette à vivre. Je prend le risque de faire une liste ... Anna, Amédouille, mon très Beau-Frère, Cristina, Christian, Christoph, Fanch, Florian, mes Grand Parents, Jim, Lucho, Ludo, Manu, Maria, ma Moman, Nicklas, Petra, Raymond, le staff technique des Tourmentins, Tony, Yane, Yannig ...

Bref, vous êtes formidables !!!!

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	5
SOMMAIRE .....	6
INTRODUCTION .....	7
<b><u>PARTIE 1</u> - L'acoustique environnementale, une nouvelle approche d'analyse du bruit et de ses impacts .....</b>	<b>11</b>
1.1. L'acoustique environnementale, un champ d'étude pluridisciplinaire.....	13
1.2. L'émergence de l'acoustique environnementale .....	16
1.3. Apports méthodologiques potentiels de l'approche spatiale pour l'étude des impacts du bruit des transports terrestres .....	75
<b><u>PARTIE 2</u> - Un cadre méthodologique pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres .....</b>	<b>87</b>
2.1. Formalisation spatiale de la nuisance et de la pollution sonore des transports terrestres .	89
2.2. Contexte technique d'application du traitement spatial des impacts du bruit.....	122
2.3. Contexte de décision et réalité des données pour le traitement spatial des impacts du bruit .....	154
2.4. Les différentes étapes pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres .....	163
<b><u>PARTIE 3</u> .....</b>	<b>165</b>
<b>Exemples d'application du cadre de traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres .....</b>	<b>165</b>
3.1. Exemples de traitements en zone urbaine dense : Grenoble.....	168
3.2. Exemples de traitements en zone périurbaine : Montmélian.....	221
3.3. Les travaux actuellement en cours .....	271
CONCLUSION .....	272
BIBLIOGRAPHIE .....	275
TABLE DES CARTES.....	282
TABLE DES FIGURES .....	284
TABLE DES PHOTOGRAPHIES .....	286
TABLE DES TABLEAUX.....	286
TABLES DES MATIERES .....	287

# INTRODUCTION

Dans les territoires urbanisés, le son est une composante incontournable de l'environnement quotidien. Cette information perçue par l'homme n'a pas systématiquement un caractère néfaste. Dans des contextes d'isolement extrême, elle peut même s'avérer rassurante. Malheureusement, la ville tend aujourd'hui à concentrer toujours plus de sources de bruit et les environnements sonores agréables se raréfient. Les sons émis sont très souvent désordonnés, le brouhaha qui en résulte n'a aucun caractère informatif. Dans certaines conditions, le bruit peut même affecter la santé des populations qui y sont soumises.

Dès l'Antiquité, le problème du bruit dans la ville a constitué une source importante de récriminations. La croissance urbaine ininterrompue, associée à l'explosion des déplacements individuels, a largement aggravé le problème au cours des deux derniers siècles. Le bruit est partout aujourd'hui et seuls quelques sanctuaires acoustiques peuvent encore être préservés.

La production de bruit, comme l'émission de gaz polluant par les transports, est une « œuvre collective ». Sa gestion est d'autant plus complexe qu'elle met en cause et affecte en même temps, la collectivité dans son ensemble. La réalité de ses méfaits est de même très difficile à cerner. Le bruit ne fait pas tousser les enfants, il ne noircit pas non plus les façades des bâtiments, à la différence des gaz d'échappement... Dans notre société marquée par la domination du visuel, l'environnement sonore est longtemps resté une préoccupation secondaire pour les pouvoirs publics. Depuis quelques décennies, cette situation évolue lentement au rythme de la modification des rapports qu'entretient la population urbaine occidentale avec son cadre de vie.

La lutte contre le bruit s'est d'abord essentiellement portée sur le développement de solutions acoustiques (au niveau de l'émission, de la propagation comme de la réception du bruit). Cette approche semble aujourd'hui insuffisante pour rattraper les erreurs du passé. Elle n'est pas non plus en mesure d'endiguer à elle seule, l'augmentation générale des niveaux de bruit, conséquence de l'accroissement permanent de l'activité économique à l'échelle mondiale. De même, cette forme de lutte ne répond pas complètement aux nouvelles aspirations de la population, qui ne se satisfait plus d'une isolation performante pour l'habitat, mais qui recherche un cadre de vie agréable.

La nouvelle sensibilité de la population pour son environnement a favorisé le développement de recherches pour une meilleure compréhension des phénomènes acoustiques. Entre autres, ces travaux ont abouti à des modèles de simulation de la propagation du bruit en espace extérieur qui autorisent aujourd'hui une réflexion véritablement prospective sur l'environnement sonore.

L'acoustique environnementale est un champ d'étude émergent qui exploite ces avancées techniques pour étudier l'environnement sonore à l'échelle d'une population. Cette approche propose une analyse des effets situés du son dans le territoire, ce qui nécessite une description du phénomène acoustique dans l'espace et dans le temps, ainsi qu'une réflexion sur les éléments du territoire qui sont susceptibles de recevoir le son.

L'acoustique environnementale peut favoriser une plus grande objectivation des décisions dans le domaine de la lutte contre le bruit. Le thème du bruit n'est plus uniquement traité en terme d'unité physique mais au regard des populations potentiellement exposées, ce qui favorise une plus grande ouverture des processus de décision en direction des non spécialistes. Par ailleurs, le recours à un modèle de simulation acoustique autorise l'élaboration de

scénarios. Plusieurs options de décision peuvent ainsi être comparées en terme d'impact lié au bruit.

Les obstacles à l'application d'une telle approche résident essentiellement dans son caractère pluridisciplinaire. Elle suppose en effet tout un travail de mise en conformité des vocabulaires et des échelles spatiale et temporelle d'analyse des différentes composantes de l'environnement sonore. De ce fait, l'acoustique environnementale reste encore aujourd'hui très exploratoire.

Notre projet a pour objectif de fournir une méthodologie d'analyse et de gestion des impacts du bruit dans le territoire, pour intégrer pleinement les problématiques de l'acoustique environnementale dans les processus de décision en aménagement du territoire. La construction d'un cadre formel de traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres sera l'occasion de structurer les apports croisés de l'acoustique et de la géographie pour répondre aux nouvelles préoccupations liées à l'environnement sonore dans les pays industrialisés. Nous voulons démontrer par cette voie l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire pour faire émerger de nouveaux outils méthodologiques de gestion du territoire.

L'approche spatiale en acoustique doit favoriser une meilleure compréhension des situations sonores, rendre possible une confrontation de données acoustiques aux réalités socio-économiques du territoire et permettre de sensibiliser les acteurs de l'aménagement du territoire aux problématiques de l'acoustique environnementale. Du point de vue technique, les géographes exploitent aujourd'hui des outils dédiés à l'information géographique qui peuvent aisément s'adapter aux outils acoustiques existants.

Inversement, la géographie va se nourrir des progrès réalisés en matière de modélisation de la propagation acoustique en espace extérieur. Ce paramètre qui participe à la différenciation des territoires, est souvent ignoré du fait de la complexité de son évaluation. Tout projet d'aménagement du territoire a pourtant forcément une dimension sonore.

Nous avons choisi de nous limiter à l'étude du phénomène acoustique en tant que bruit environnemental et plus particulièrement celui qui est émis par les transports terrestres. Cette limitation du champ de notre étude se justifie par plusieurs aspects. Tout d'abord la croissance des trafics de transports terrestres doit se poursuivre à long terme, ce qui va inévitablement entraîner de nouveaux impacts sur notre environnement sonore. On sait par ailleurs que l'activité de transport est vitale dans notre société basée sur l'économie de marché. La marge de manœuvre pour lutter contre le problème du bruit est donc d'autant plus étroite. L'acoustique des transports est un domaine en pointe, où la compréhension des phénomènes de propagation de long terme a fait l'objet de nombreux travaux. On dispose donc aujourd'hui d'une bonne connaissance des processus d'impacts potentiels du bruit des transports terrestres sur les populations.

Notre projet a pour cadre une collaboration de recherche entre le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) qui est le concepteur d'un modèle de propagation du bruit en espace extérieur et le laboratoire SEIGAD de l'Institut de Géographie Alpine (IGA). Le projet SIGAUR (Système d'Information Géographique et Acoustique URbaine) qui fut à l'origine de cette collaboration avait pour objectif principal d'identifier les usages d'un système d'information géographique (SIG) en acoustique environnementale. Ce travail a permis de produire les connexions informatiques nécessaires à la valorisation de cartes d'exposition sonore. Dans la continuité de ces travaux, nous proposons ici de formaliser le champ du traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres, afin de rendre ces approches reproductibles dans un contexte opérationnel.

La première partie de ce document est consacrée à la situation de notre thème de recherche. Elle présente le champ d'étude de l'acoustique environnementale et évalue l'opportunité du développement d'une approche spatiale des impacts du bruit des transports terrestres pour une rénovation des moyens de lutte aujourd'hui en vigueur.

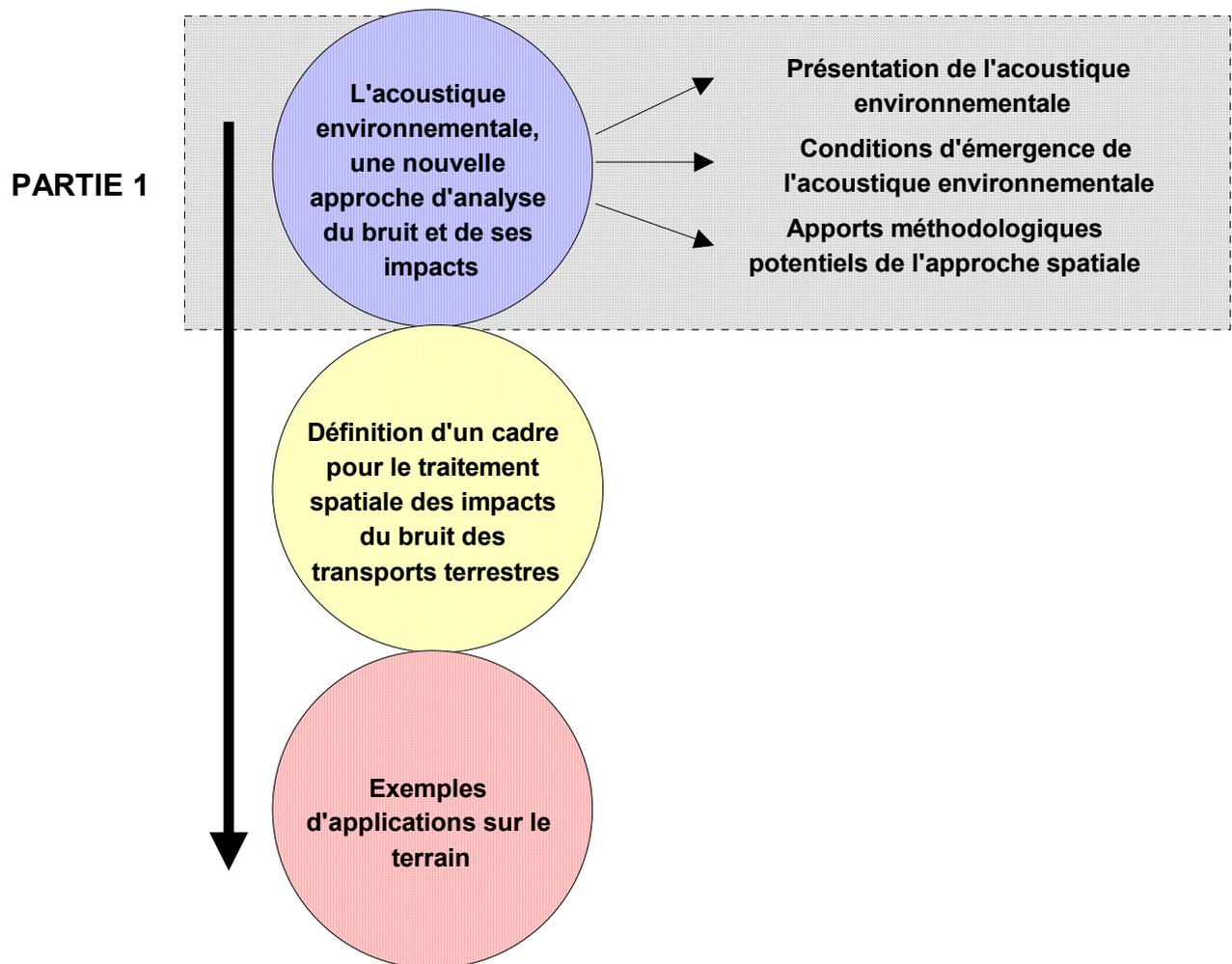
La seconde partie va présenter un cadre formel pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres. Les paramètres de la genèse des impacts du bruit dans le territoire sont d'abord détaillés. Il s'agit des modes d'émission, de propagation, de réception du bruit et de la vulnérabilité du territoire au regard de ce bruit. En s'inspirant d'une méthodologie générale d'évaluation des risques, nous proposons de distinguer deux approches de traitement spatial. La première doit fournir les moyens pour une meilleure gestion des impacts du bruit. La seconde explore les nouvelles voies d'évaluation des impacts du bruit dans le territoire. Enfin, les conditions d'exploitation de ce cadre de traitement sont évaluées au regard des moyens techniques existants, des contextes de décision de l'acoustique environnementale et de la réalité des données aujourd'hui disponibles.

La troisième et dernière partie de ce document propose deux exemples d'application de notre cadre de traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres. Ces réalisations concernent l'évaluation d'un projet de tramway dans un quartier urbain dense et l'analyse des impacts du bruit dans une zone périurbaine.



## **PARTIE 1**

**L'acoustique environnementale, une  
nouvelle approche d'analyse du bruit et de  
ses impacts**



L'objectif de cette première partie est de présenter l'environnement dans lequel se placent nos travaux de recherche. Après avoir défini le champ d'analyse de l'acoustique environnementale, nous détaillons les différents paramètres qui ont favorisé son émergence dans les pays industrialisés. Enfin, les opportunités d'une approche spatiale des impacts du bruit sont évaluées.

## 1.1. L'acoustique environnementale, un champ d'étude pluridisciplinaire

L'acoustique environnementale traite des phénomènes sonores et de leurs effets, aux échelles spatiale et temporelle du cadre de vie d'une population. Son but essentiel est de donner les moyens de mieux comprendre et de gérer notre environnement sonore. En ce sens, cette discipline émergente suppose de multiples connexions interdisciplinaires, où se trouvent mêlés l'acoustique théorique et appliquée à l'architecture, la psychologie, la sociologie ainsi qu'aux sciences du territoire comme l'urbanisme et la géographie.

*« La finalité de ces actions est [...] de préserver ou de créer des conditions d'ambiances acoustiques tels qu'elles ne puissent nuire à la santé des personnes, qu'elles ne perturbent pas les activités sociales, communications, repos, échanges, travail au bureau, etc. Souvenons nous en la matière que l'étude du bruit, l'acoustique se situe à l'interface d'approches bien différentes [...]. Les connaissances acquises pour situer et gérer notre action, reprennent des éléments de chacun de ces domaines. Elles constituent un tissu, selon les cas, de connaissances établies, de présomptions fortes ou d'interprétations provisoires ». [BAR 83]*

Cette approche du bruit, en tant que problème de santé, prend ses racines dans le premier principe de la constitution de l'Organisation Mondiale de la Santé en 1946 : *«La santé est un état complet de bien-être physique, mental et social et non pas seulement l'absence de maladie ou d'infirmité » [BER 98].*

L'objet d'étude de ce champ pluridisciplinaire émergent n'est pas le monde sonore d'un individu. Le propos est ramené à l'ensemble d'une communauté occupant un territoire [TAY 98], afin de généraliser les situations particulières et donner ainsi les moyens de décider aux échelles courantes de l'aménagement du territoire. Trois axes de travail se distinguent en acoustique environnementale : la description des phénomènes acoustiques à l'échelle collective, l'identification des effets situés du son sur la collectivité, l'analyse de la dimension sonore des aménagements du territoire.

La **description des phénomènes acoustiques** peut être envisagée selon deux modes d'observation du son. L'approche dite qualitative, tente d'identifier les paramètres acoustiques définissant la qualité d'un environnement sonore, pour en préserver la diversité et la qualité. Un des objectifs est par exemple de réconcilier le paysage visuel avec le paysage sonore<sup>1</sup>. Cette approche des phénomènes sonores est encore exploratoire. Un problème couramment rencontré, touche à l'absence de moyen de généralisation de l'information sonore qualitative. La recherche d'une méthode de description exhaustive des phénomènes sonores est peut être une étape nécessaire pour la mise en place future de procédures d'analyses plus systématiques.

L'approche quantitative du son est celle que nous allons favoriser dans notre projet. Elle s'attache à l'étude des paramètres physiques déterminant les phénomènes sonores. Elle traite de la description, de la mesure physique du son ainsi que de sa variabilité spatiale et temporelle. Pour s'intégrer pleinement dans une logique d'acoustique environnementale, l'information sonore est généralisée dans le temps. Les points 1.2.1.2. et 12.1.3. vont décrire les bases de cette approche du son.

---

<sup>1</sup> D'après Y. Decaens, Des oreilles pour écouter vivre Nantes, Le Monde, Paris, 27-28 février 1994.

**L'identification des effets situés du son** concerne tout autant les approches qualitatives que quantitatives. Le son est une information perçue à certaines longueurs d'onde par notre appareil auditif. Il s'agit ici d'étudier les rapports complexes qui existent entre le phénomène sonore et ses impacts différenciés sur l'homme à travers le territoire. Pour de faibles doses d'énergie, les effets psychosociologiques prennent le pas sur les constats médicaux. Dans le cadre de notre projet nous nous sommes limités aux seuls effets néfastes du son. Dans ce cas le son devient un **bruit** (cf. point 1.2.1.1).

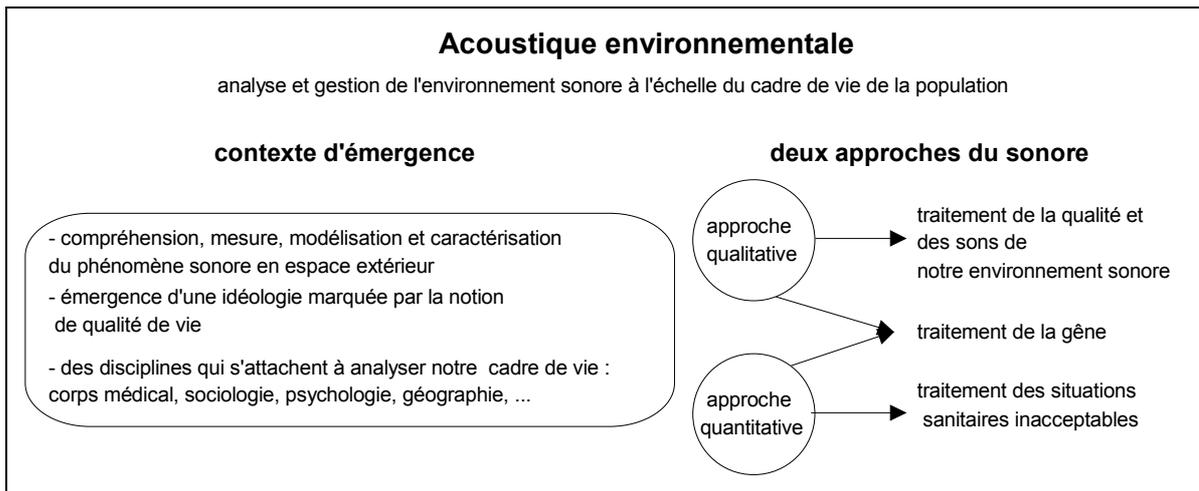
**L'intégration d'une réflexion acoustique dans le domaine de l'aménagement du territoire** est l'objectif ultime de l'acoustique environnementale. De façon générale, cette approche permet de relativiser l'exposition sonore observée ou calculée par des réflexions relatives au contexte spatial et temporel de réception du bruit [ROU 99]. Ceci doit favoriser l'intégration des considérations acoustiques dans le panel de critères de décision de l'aménagement du territoire en traduisant des données acoustiques en impact potentiel sur la population.

Certains auteurs soulignent le danger d'une approche uniquement quantitative des effets du son. Elle tend à réduire de façon abusive le champ d'analyse à la seule dimension sanitaire du son [AUG 95]. Ainsi, B. Delage écrit : *« C'est pour échapper à une partition de la ville entre bruit et silence, entre gris-blanc et gris-noir, qui détruit les relations entre les citoyens aussi sûrement que d'autres solutions totalitaires, que nous cherchons à mieux comprendre ce qui, dans le bruit qui est le propre de la ville, peut être limité, ou développé, ou rejeté, ou réinventer sans endommager ce qui fonde l'identité sonore d'une ville, d'un quartier, d'un espace public, mais bien au contraire en le consolidant. »* [DEL 93/1]. Cette approche rejette l'optique « hygiéniste » qui tendrait à nier l'importance des sons dans l'équilibre de notre environnement, en ne traitant que des situations sonores désagréables. Malheureusement, la connaissance des conditions d'un mieux-être urbain reste souvent rudimentaire [DUP 96]. L'approche qualitative de l'environnement sonore manque donc encore d'objectif clair.

De notre point de vue, la réalité de l'environnement sonore actuel est suffisamment grave pour traiter en priorité des **impacts** du bruit d'un point de vue quantitatif, avant même de parler de qualité. Selon le rapport de R. Lamure sur les points noirs acoustiques en France [LAMU 98] (cf. point 1.2.3.3.), les situations d'exposition critiques de la population au bruit sont encore très nombreuses et le coût d'un possible assainissement reste un problème. Nous reviendrons sur la justification de notre approche quantitative du bruit dans le point 1.3.1.2..

Pour intégrer une dimension sonore dans les décisions d'aménagement, les environnements technique, politique et social doivent y être préparés. Le développement de l'acoustique environnementale suppose donc au préalable, une bonne compréhension des phénomènes acoustiques (mesure, effets sur l'homme, méthode de généralisation à la collectivité), une prise de conscience des enjeux du bruit de la part de l'opinion publique, une reconnaissance politique du problème et enfin des moyens d'analyse adaptés. La mise en œuvre pratique des problématiques de l'acoustique environnementale va ensuite nécessiter des collaborations pluridisciplinaires.

La figure 1 projette l'ensemble des dimensions de l'acoustique environnementale évoquées ci-dessus.



*Figure 1 - Présentation de l'acoustique environnementale*

Le point suivant décrit le contexte d'émergence de l'acoustique environnementale et réalise un rapide état de l'art du traitement spatial des impacts du bruit sur la population.

## 1.2. L'émergence de l'acoustique environnementale

Après avoir défini les différentes dimensions de la notion de bruit au sens acoustique du terme, nous allons détailler dans ce point les conditions d'émergence des problématiques de l'acoustique environnementale.

Le bruit est successivement présenté au travers de ces différentes définitions, du détail de sa description physique, des moyens disponibles pour sa mesure, de ses effets sur l'homme et enfin, des différentes sources qui en sont la cause.

Nous détaillons ensuite la nature de la mobilisation de l'opinion face à ce problème environnemental et les moyens politiques qui sont mis en œuvre pour y répondre. Pour finir, un état des lieux de l'usage actuel de l'approche spatiale des impacts du bruit est proposé.

### 1.2.1. Les origines de l'acoustique environnementale : compréhension, mesure, effets des phénomènes sonores

L'objectif de ce point est d'introduire les différentes approches d'identification du « danger » que représente le bruit dans le monde industrialisé [MAY 88].

#### 1.2.1.1. La notion de bruit

Le bruit en tant que sensation auditive est une notion complexe. Il peut être décrit selon des plusieurs approches qui sont présentées dans la figure 2.

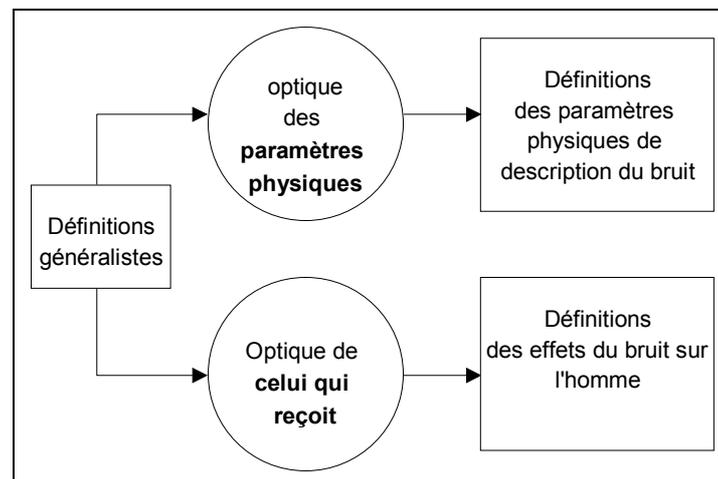


Figure 2 - Schématisation des dimensions diversifiées du bruit

Pour le Littré, le bruit est **un mélange confus de sons**. R. Murray Schaffer [MUR 79] propose quant à lui de définir le bruit comme **un son non désiré**.

Demengeaut [DEM 62] intègre le point de vue de celui qui perçoit le bruit, afin de préciser les définitions généralistes précitées. Cette perspective introduit le caractère gênant, perturbant du bruit. Dans le point 1.2.1.4., à travers la description des effets reconnus du bruit sur l'homme, nous allons préciser cette dimension du bruit.

Le Petit Robert définit le bruit comme « *ce qui, dans ce qui est perçu par l'ouïe, n'est pas senti comme son musical; le phénomène acoustique dû à la superposition des vibrations diverses non harmoniques* ». Cette approche du bruit s'appuie, quant à elle, sur la description physique du phénomène acoustique. Le point 1.2.1.2. de ce même chapitre en détaille les paramètres.

L'A.F.N.O.R. (Association Française de Normalisation) propose deux définitions qui vont clairement différencier les deux approches de la notion de bruit. La première définition décrit le bruit par ses effets sur l'homme<sup>2</sup> : « *Est bruit toute sensation désagréable ou gênante, tout phénomène acoustique produisant cette sensation, tout son ayant un caractère aléatoire qui n'a pas de composante définie* ». La seconde définition de l'AFNOR introduit les paramètres physiques du bruit<sup>3</sup> : « *vibration acoustique erratique, intermittente ou statistiquement aléatoire* ».

Pour aller plus loin dans la définition du bruit, deux voies complémentaires peuvent donc être empruntées. A travers la description et la mesure physique du phénomène sonore, le bruit peut être différencié du son. La description des effets du bruit sur l'homme est l'autre voie de différenciation possible. Cette dernière s'attache à plusieurs paramètres tel que la sensibilité individuelle (influence de l'âge et prédispositions naturelles) ou encore le contexte social, économique, psychologique et spatial de l'environnement de réception du bruit.

### ***1.2.1.2. Description du phénomène sonore :***

#### *1.2.1.2.1. Les ondes sonores :*

Le son est un phénomène ondulatoire. Il est provoqué par le mouvement vibratoire initial d'un corps et se propage de proche en proche dans l'espace environnant, par la mise en mouvement de tranches d'air successives [SER 97].

Ce type de mouvement, dans lequel ce n'est pas le milieu de propagation lui-même mais une perturbation qui se déplace, est définie comme une **onde**. Il y a de nombreux types d'ondes mais quand elles sont observées dans un milieu liquide ou gazeux (excepté les ondes de surface), on les appelle des **ondes acoustiques**. Par ailleurs, quand une onde est audible, elle est définie comme une **onde sonore** [MIY 99].

Les ondes acoustiques se déplacent normalement à vitesse constante en fonction des conditions de l'environnement de propagation (température, coefficient de dilatation du gaz, densité du gaz). La vitesse du son dans l'air est d'environ 341 km/h dans des conditions normales (16°C). En cas de gradient thermique, la vitesse du son modifie la forme de son parcours en tendant vers une courbe. C'est la raison pour laquelle notre perception est trompée lorsque l'on tente de localiser un avion dans le ciel, uniquement par le bruit que l'on en perçoit.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Norme française N.F S30-105, terme 08-25-005.

<sup>3</sup> Norme française N.F S30-101, terme 08-05-130.

<sup>4</sup> Nous développerons la description des paramètres de propagation d'émission et de réception du bruit dans le point 2.1.1.

### Les ondes périodiques :

Nous avons introduit la notion de propagation ondulatoire à travers une perturbation unique dans un milieu. En fait, la plupart des ondes sont les résultats de plusieurs perturbations successives du milieu. Quand ces perturbations sont générées à des intervalles réguliers et ont toutes la même forme, on parle d'onde périodique.

### Les ondes apériodiques :

La plupart des sons observés dans la nature sont apériodiques, c'est à dire que les oscillations successives de l'onde ne sont pas réparties de façon égale dans le temps et ne sont pas de forme constante. Le **bruit**, au sens technique peut être composé d'un ensemble d'ondes apériodiques, à l'image du brouhaha urbain ou du bruit du vent et de la mer.

#### *1.2.1.2.2. La fréquence :*

La fréquence est la dimension temporelle de l'onde, c'est à dire le nombre de perturbations par unité de temps. Elle correspond au nombre de crêtes et de creux qui se succèdent pendant une période d'une seconde. Elle est exprimée en **Hertz** (1 Hz = 1 oscillation/seconde). La gamme des sons perceptibles par l'être humain s'étend, pour les jeunes sujets, entre 15 et 20000 Hz environ; et plus particulièrement entre 1500 et 4000 Hz (zone conversationnelle). La sensibilité en fréquence (notamment pour les hautes fréquences : sons aigus) diminue avec l'âge. Les sons sont classés en :

- graves (15 à 300 Hz)
- médiums (300 à 1600 Hz)
- aigus (1600 à 20000 Hz)

Les sons inférieurs à 15 Hz et ceux supérieurs à 20000 Hz ne provoquent pas de sensation sonore chez l'être humain. Ce sont, respectivement, les domaines de l'infrason et de l'ultrason [DEG 99].

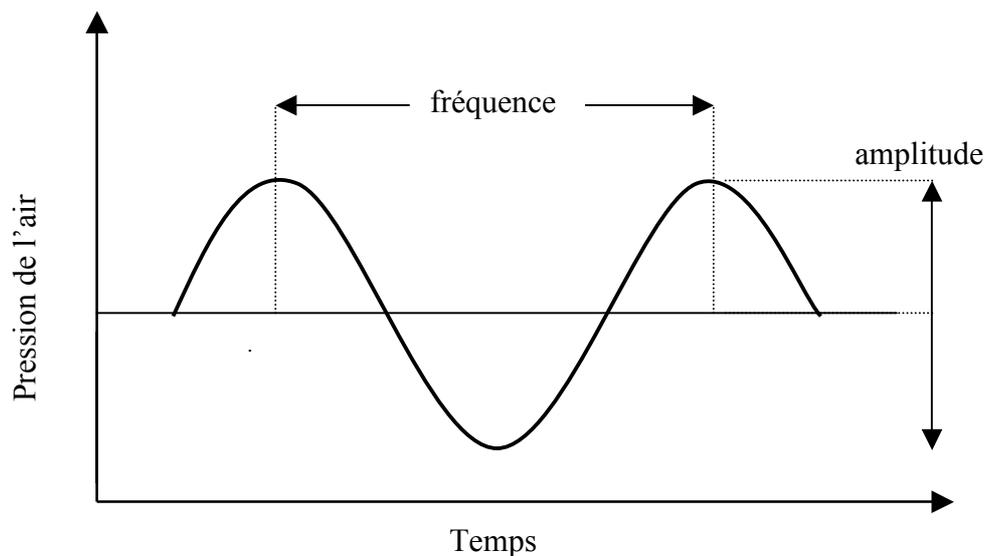


Figure 3 – Forme d'une onde périodique dans le temps

### 1.2.1.2.3. Le spectre :

Le spectre est un concept central en acoustique. Quand nous avons introduit la notion de fréquence, nous avons dit que les ondes périodiques avaient une fréquence associée. En fait elles ont plusieurs fréquences en même temps (cf. figure 4. et 5.). Selon le théorème de Jean Baptiste Joseph Fourier :

*« Tout mouvement périodique complexe se décompose en une somme de mouvements périodiques simples (sinusoïdes) appelés harmoniques, et dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence la plus basse (la plus grave) appelée fondamentale ».*

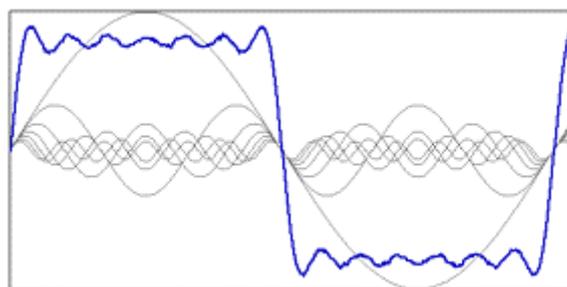


Figure 4 - Une forme d'onde carrée (en gras) et les harmoniques qui la composent (en gris)<sup>5</sup>

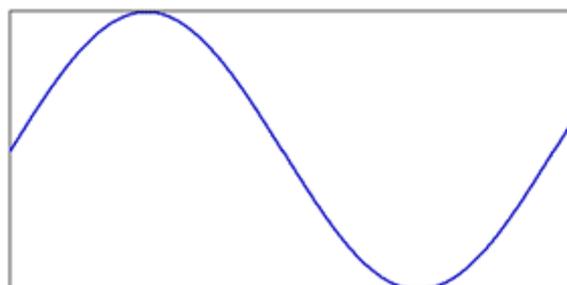


Figure 5 - Un son dont l'onde a une forme sinusoïdale ne comprend qu'une fondamentale de même hauteur et de même amplitude.

La description des ondes sinusoïdales qui composent un son est appelée le spectre du son. Un son périodique peut être ainsi décomposé par ce que l'on nomme la série de Fourier, donnant les amplitudes des composantes du son et leurs fréquences respectives. Le théorème de Fourier peut être étendu au cas des sons apériodiques, qui sont alors considérés comme des sons périodiques de période infiniment grande. De cette façon, ils peuvent être décomposés en somme infinie de composantes fréquentielles infiniment proches. Cette technique est la transformation de Fourier.

<sup>5</sup> Référence Internet <http://www.imagnet.fr/keyboards/SYNTHE1/SYNTHSE/additive.html>

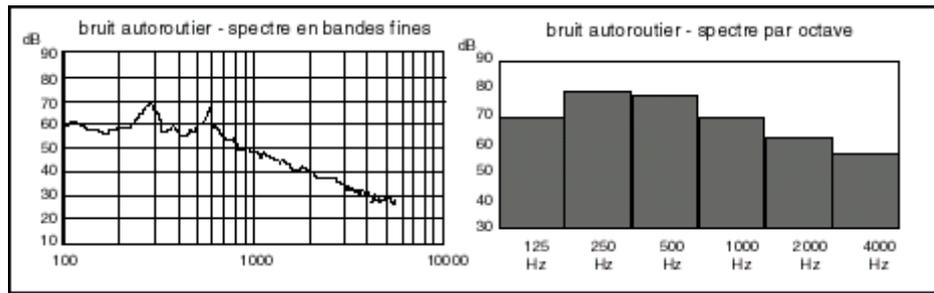


Figure 6 - Deux modes de représentation du bruit autoroutier en fonction de la fréquence [RAP 97]

L'analyse spectrale d'un son consiste à étudier l'énergie contenue par intervalle de fréquence (cf. figure 6.). Ces intervalles sont appelés des bandes d'octave. Elles répondent à la logique du théorème de Fourier puisque les bandes adjacentes ont un rapport de deux à un. Un son peut être identifié comme un bruit dans le cas où son spectre montre une surreprésentation d'une certaine bande de fréquence. Le cas des basses fréquences qui dominent le spectre du bruit routier n'est pas véritablement pris en compte dans les normes d'isolation sonore actuelle [MAT 92]. Lors de la propagation d'un son dans l'espace, les surfaces qu'il rencontre peuvent avoir un coefficient d'absorption variable selon les fréquences, c'est l'effet de filtrage. En acoustique appliquée, l'analyseur de spectre permet de choisir les matériaux de construction selon leur comportement de filtrage au type de son de l'environnement courant [AUG 95].

#### 1.2.1.2.4. Intensité ou amplitude du son :

L'amplitude ou l'intensité d'un son correspond à la hauteur maximum de pression au passage de l'onde sonore (cf. figure 3.). Un bruit, au sens physique du terme, peut avoir une amplitude qui change continuellement.

#### 1.2.1.2.5. Longueur d'onde :

Outre sa périodicité temporelle, dont on déjà parlé à propos de la fréquence, une onde sonore se caractérise par une « périodicité spatiale » appelée longueur d'onde (cf. figure 7). Elle correspond à la distance qui sépare deux crêtes ou deux creux de l'onde. Elle est relative à la fréquence (en Hz) et à la vitesse du son (en m par seconde).

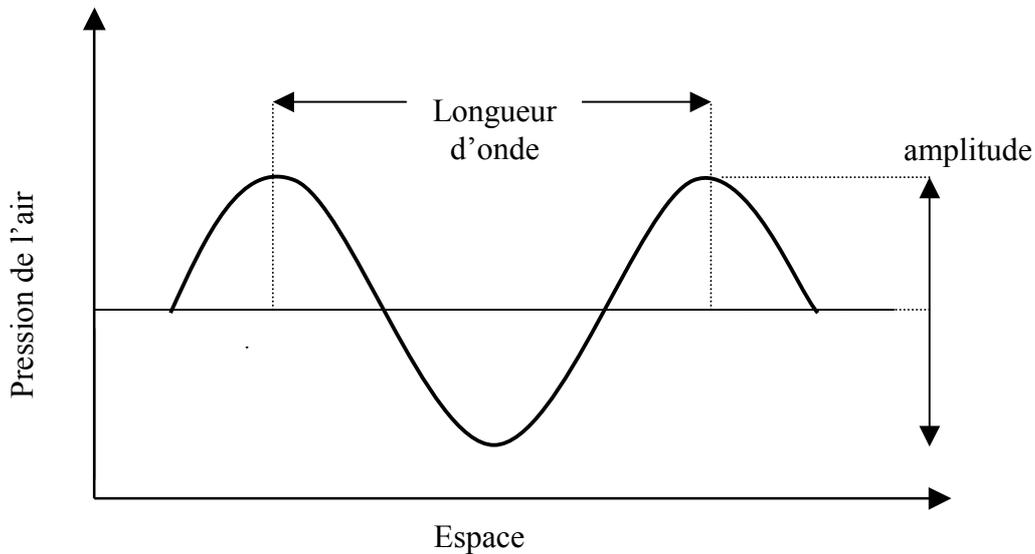


Figure 7 - Forme d'une onde périodique dans l'espace

### 1.2.1.3. Mesure du phénomène sonore :

Les moyens de mesure du phénomène sonore sont multiples. Dans l'optique de l'acoustique environnementale, l'information doit être facile à manipuler et la mieux corrélée possible aux effets du bruit sur la population. Nous allons rapidement présenter les bases de la mesure en acoustique et son adaptation aux caractéristiques du système auditif de l'homme. Nous aborderons ensuite quelques méthodes de généralisation de l'information acoustique aujourd'hui disponibles pour décrire les caractéristiques du bruit auquel est soumise une population. Dans cette partie le terme « mesure du phénomène sonore » s'entend comme l'expression de l'exposition de la population à une énergie acoustique donnée.

#### 1.2.1.3.1. Pression sonore :

Le différentiel entre la pression atmosphérique courante et la pression mesurée au moment du passage du mouvement ondulatoire définit la pression sonore ( $p$ ). Il s'exprime en Pascal ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ Newton/m}^2$ ) et correspond au flux de puissance acoustique en un point par unité de surface.

#### 1.2.1.3.2. Le décibel :

Le domaine de variation de l'amplitude des sons est immense, bien que, par rapport à la pression atmosphérique normale, la pression acoustique soit relativement petite. Entre le seuil de perception de l'oreille humaine normale ( $20 \mu \text{ Pa}$ ) et le seuil de douleur ( $20 \text{ Pa}$ ), le rapport est de 1 million. Pour exprimer par des nombres simples des phénomènes compris dans ce domaine de variation, une échelle logarithmique est utilisée. Ce choix n'est pas arbitraire et se justifie par le fait que, physiologiquement la perception du niveau sonore est proportionnelle au logarithme de l'intensité de l'excitation [MIY 99].

Augmenter le niveau sonore de	C'est multiplier le niveau sonore de :	C'est faire varier l'impression sonore :
<b>3 dB</b>	<b>2</b>	Très légèrement : on fait difficilement la différence entre deux lieux où le niveau diffère de 3 dB.
<b>5 dB</b>	<b>3</b>	Nettement : on ressent une aggravation ou on constate lorsque le bruit augmente ou diminue de 5 dB.
<b>10 dB</b>	<b>10</b>	Comme si le bruit était deux fois plus fort
<b>20 dB</b>	<b>100</b>	Comme si le bruit était 4 fois plus fort. Une variation brutale de 20 dB peut réveiller ou distraire l'attention
<b>50 dB</b>	<b>100000</b>	Comme si le bruit était 30 fois plus fort. Une variation brutale de 50 dB fait sursauter.

Tableau 1 - Les niveaux de bruit et les impressions sonores [RAP 98]

Le décibel est le rapport entre une pression sonore mesurée et le seuil d'audibilité fixé à 20  $\mu$  Pa. pour une fréquence de 1000 Hz.

$$\text{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{P}{P_{ref}} \right)$$

Où  $P$  est la pression mesurée et  $P_{ref}$  la pression de référence

L'échelle des décibels va ainsi de 0 à 130 dB, respectivement le seuil d'audibilité (théorique) et le seuil de douleur pour l'homme. C'est une première expression quantitative du bruit en tant que sensation auditive, mais elle ne permet pas d'avoir une approche réaliste de l'information véritablement perçue par un individu. Il est important de tenir compte des spécificités de l'oreille humaine, car sa perception n'est pas homogène à toutes les fréquences.

#### 1.2.1.3.3. Acoustique de l'audition :

L'acoustique de l'audition a pour objet la mise en rapport des paramètres acoustiques et perceptifs. Les expériences montrent par exemple que l'intensité sonore subjective, c'est à dire l'unité d'égale sensation sonore, dépend certes de l'intensité physique (niveau de pression sonore) mais aussi de la fréquence, du spectre et de sa durée ... Comme le montre la figure 8, l'oreille est un très mauvais instrument de mesure de la pression acoustique et a un comportement plus linéaire pour les niveaux sonores élevés. Il a donc fallu créer des unités spécifiques qui puissent rendre compte de ces relations complexes.

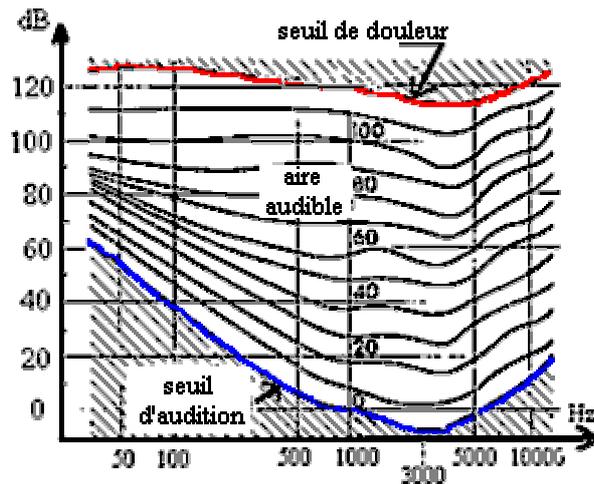


Figure 8 - Courbes d'égale sensation sonore pour des sons purs (isonomie), d'après Fletcher et Munson [MIY 99]

#### 1.2.1.3.4. Les modes de pondération de l'unité décibel

Notre oreille étant plus sensible aux fréquences du milieu de la plage des ondes sonores qu'à celles des marges, il a été mis au point des filtres afin d'intégrer les variations de sensibilité en fonction de la fréquence.

Le filtre, ou pondération est choisi pour les fréquences dominantes du bruit étudié. Il existe trois filtres courants, nommés respectivement A, B et C. La pondération A est la plus utilisée en acoustique environnementale, car elle traite le centre de la zone de sensibilité de l'oreille humaine (entre 500 et 8000 Hz) qui correspond à la zone conversationnelle pour des niveaux sonores centrés sur 40 dB. Les filtres B et C sont respectivement les plus adaptés à la représentation des niveaux sonores centrés sur 70 dB et 100 dB.

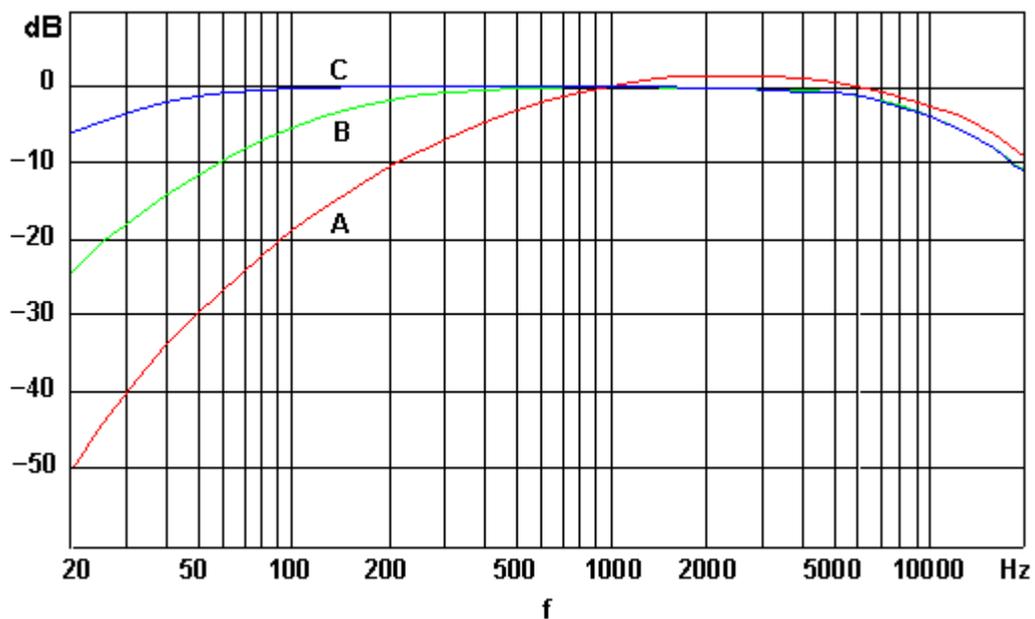


Figure 9 – Courbes A, B, C de pondération de fréquence, [MIY 99]

Le niveau de pression acoustique pondérée A est donné par la formule :

$$L_{pA(t)} = 10 \log \left| \frac{P_{A(t)}}{p_0} \right|^2$$

Où :

$P_{A(t)}$  est la pression atmosphérique efficace pondérée A, en pascals, évaluée sur une constante de temps déterminée qui doit être précisée.

$p_0 = 20 \mu\text{ Pa}$  est la pression acoustique de référence, c'est à dire le seuil moyen d'audibilité pour l'homme.

A travers la figure 9, on constate que des sons ayant des niveaux pondérés A identiques peuvent avoir des spectres assez différents. Le décibel pondéré présente en effet le défaut de faire disparaître toute référence au spectre de fréquence. Malgré ces imperfections, le filtre A est une référence partagée à l'échelle internationale pour la mesure de l'exposition sonore ponctuelle en acoustique environnementale. Ce choix se justifie par la complexité technique d'une mesure simultanée de l'énergie acoustique pour trois filtres de pondérations différents. De plus, l'essentiel des expositions observées dans le domaine de l'acoustique environnementale sont centrées sur des valeurs autour de 60 dB(A) environ. Le tableau 2 propose des exemples de niveaux de pression acoustique pondéré A, pour des bruits de nature courante.

Mesure du bruit	Niveau de pression acoustique pondéré A (dBA)
Seuil d'audibilité à 1000 Hz	0
Ressenti comme calme total	0-20
Bruissement de feuilles	25-30
Rue calme en ville entre 2 et 4 heures	35-45
Conversation normale (à l'intérieur)	45-55
Automobile, au ralenti à 7,5 m	45-55
Automobile à 50 km/h à 7,5 m	60-80
Poids lourd à 50 km/h à 7,5 m	80-95
Motocyclette à 50 km/h à 7,5 m	75-100
Train de marchandises à 100 km/h à 7,5 m (diesel)	95-100
Discothèque (intérieur)	85-100
Train de voyageurs (intercity, 200 km/h, à 7,5 m)	95-100
Train de voyageurs (ICE, 250 km/h, à 7,5 m)	95-100
TGV à 300 km/h à 7,5 m	105-110
Décollage d'un avion à réaction de plus de 100 tonnes à 100 m	110-115
Vol d'avions de combat à basse altitude	105-120
Traumatisme auditif possible	>120

Tableau 2 -- Les bruits de la vie courante [STA 95]

Dans le point 1.2.1.4. nous allons détailler les effets généraux du bruit sur l'homme. Dans certains cas, les conséquences du bruit peuvent être directement liés à un niveau d'énergie acoustique donné en dB(A). Il s'agit essentiellement de traumatismes auditifs qui surviennent lors d'exposition à plus de 100 dB(A) (cf. tableau 2.). Malheureusement, pour des niveaux sonores inférieurs, la relation entre le son et ses effets sur l'homme est souvent plus complexe. Du point de vue des mesures<sup>6</sup>, d'autres modes de représentations et de généralisation du son ont donc du être développés. Nous allons présenter ici quelques indicateurs parmi les plus utilisés actuellement.

<sup>6</sup> nous verrons dans le point 1.2.1.4. que d'autres paramètres non acoustiques peuvent intervenir dans l'explication des effets du bruit sur une population.

### 1.2.1.3.5. Les modes de représentations du bruit dans le temps et dans l'espace

L'objectif des méthodes de mesure de l'énergie acoustique utilisées en acoustique environnementale, est de décrire l'exposition sonore d'une population, afin d'en comprendre la répartition dans le temps et différencier les situations d'exposition. Nous verrons dans le point 1.2.4. que l'approche spatiale est largement sous exploitée actuellement dans ce domaine. A l'image du problème des échelles spatiales de représentation en cartographie, la mesure des phénomènes sonores est confrontée à la cruelle nécessité de généralisation de l'information. En effet, il est techniquement peu réaliste d'espérer disposer de niveaux sonores d'exposition en continu dans le temps et (ou) dans l'espace. Pour caractériser l'exposition d'une population au bruit, il est donc nécessaire de réaliser une « synthèse » de l'information. Entre la réalité technique, économique et la nécessité d'une mesure ou d'un calcul pour lequel la relation aux effets sur la population est la plus forte, les compromis sont complexes et il n'existe pas de véritable convergence à l'échelle internationale [ISO 99]. Ce domaine de recherche en acoustique est encore extrêmement actif. Notre propos n'a certainement pas l'ambition d'y prendre part, mais seulement de présenter les différentes approches envisageables. On peut distinguer plusieurs types de mesure, en fonction de la nature du « son environnemental » observé : son isolé émergent, sons isolés répétitifs, son continu. L'indicateur le plus couramment utilisé ramène l'exposition à un niveau de bruit moyen de long terme, il s'agit du  $L(Aeq, t)$ . Les indicateurs  $L_{dn}$  et  $L_{eu}$  sont des extensions de ce dernier.

Les sons accusent des variations de pression dans le temps qui peuvent être faibles (à quelques distances d'une autoroute) ou très fortes (à proximité des aéroports). Pour pouvoir exprimer tous ces sons en une seule et même unité, les acousticiens sont partis de l'hypothèse que des doses égales de bruit (énergie acoustique multipliée par une durée d'exposition) entraînent des charges acoustiques égales. Cette méthode de combinaison des niveaux et de la durée des bruits donne le niveau acoustique continu équivalent pour une période  $t$ . Il est exprimé en  $L_{eq}$  pondéré A, soit  $L(Aeq, t)$ . Ce niveau acoustique continu équivalent est de plus en plus largement accepté comme unité de mesure de l'exposition prolongée au bruit. C'est l'unité retenue dans la plupart des textes des Etats membres de la Communauté Européenne et des réglementations internationales. Il a été adopté par l'I.S.O.<sup>7</sup> pour mesurer tant l'exposition au bruit ambiant que le risque de traumatisme auditif.

Le  $L(Aeq, t)$  représente le niveau d'exposition acoustique d'un bruit supposé stable, dont la quantité d'énergie acoustique émise pendant la durée déterminée ( $t$ ) serait la même que celle du bruit considéré [KAI 99]. Il est défini par la formule suivante :

$$L_{Aeq, T} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

Où :

$L(Aeq, T)$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A en décibel, déterminé pour un intervalle de temps  $T$  qui commence à  $t_1$  et se termine à  $t_2$ .

<sup>7</sup> International Organisation for Standardization.

Les indicateurs d'exposition sonore Ldn et Leu sont basés sur le  $L(Aeq, t)$ , une pondération supplémentaire est attribuée aux périodes de plus forte sensibilité de la population au bruit. L'indicateur Ldn est défini par la formule suivante [HEA 97] [SCH 78].

$$L_{dn} = 10 \log \left[ 15/24 \cdot 10^{L_{Aeq,d}/10} + 9/24 \cdot 10^{(10+L_{Aeq,n})/10} \right] dB(A)$$

Où :

$L_{Aeq,d}$  : exposition sonore pour la période 7h – 22 h

$L_{Aeq,n}$  : exposition sonore pour la période 22h – 7 h

Le niveau sonore moyen de nuit est aggravé de 10 dB(A) afin de tenir compte de la sensibilité accrue de la population à cette période. Cet indicateur est proposé par le conseil national de la santé aux Pays Bas, afin d'évaluer la population fortement gênée par le bruit à proximité immédiate de son domicile. Une partie du point 1.2.2.3. sera consacrée à la présentation de ce type d'approche qui tente d'évaluer la gêne liée au bruit. L'indicateur Leu est une proposition d'un groupe de travail de l'Union Européenne<sup>8</sup> en charge de la réflexion sur la mise en place d'indicateurs de bruit pour l'ensemble des pays membres. Dans la continuité de la logique du Ldn, le niveau moyen de bruit pour la période de soirée (18h-23h) est aggravé de 5 dB(A).

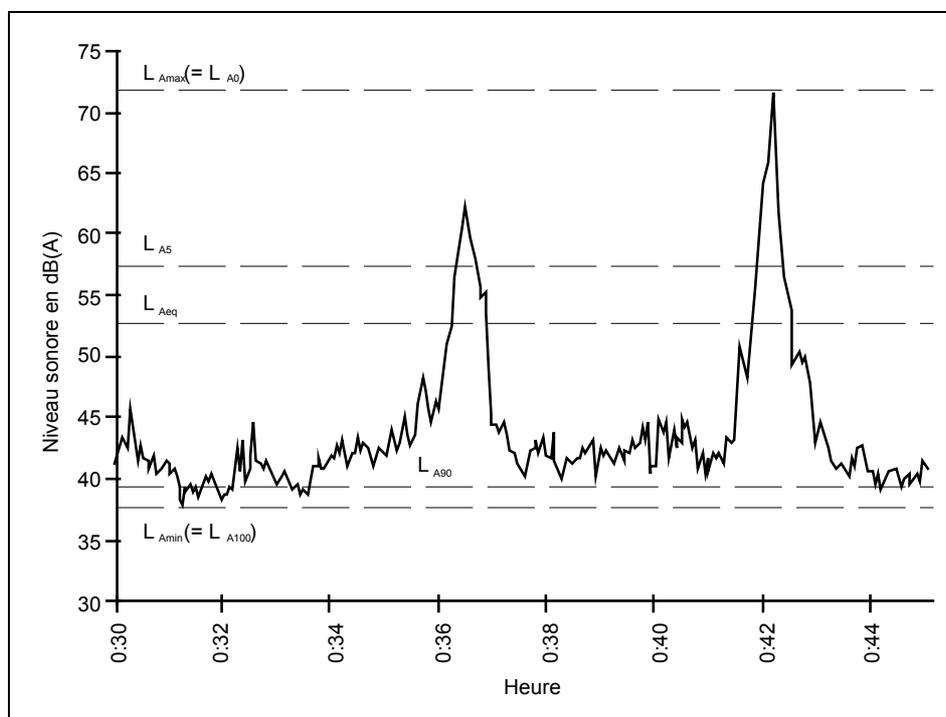


Figure 10 - Exemple de bruit, détermination des niveaux fractiles et du niveau équivalent ( $L_{Amax}$ ,  $L_{A5}$ ,  $L_{A90}$  et  $L(Aeq, t)$ ) [IBG 98]

<sup>8</sup> référence Internet : <http://themes.eea.eu.int/theme.php/issues/noise>

L'intérêt principal de ces indicateurs est qu'ils résument très efficacement l'information d'exposition pour des bruits relativement continu dans le temps, comme celui du trafic routier. Par contre, si la répartition de l'énergie dans le temps n'est pas homogène, avec la présence de fortes émergences ou pour des sons impulsifs très occasionnels, la mesure en  $L(A_{eq}, t)$  n'est pas la plus adaptée [AUB 92/1] [BER 98]. D'autres indicateurs comme le  $L_{Amax}$  et le SEL sont conçus pour représenter des situations d'exposition sonore particulières.

L'indice  $L_{Amax}$  rend compte du niveau acoustique maximum atteint pendant la période considérée (cf. figure 10). Comme les niveaux de bruit sont souvent très variables dans le temps, si l'on ne prend en compte que le seul niveau de crête (le niveau maximal de bruit), l'image de la réalité sera déformée, puisque la notion de répétitivité aura été délaissée au profit de celle d'amplitude. Le problème consiste donc à trouver un compromis entre le niveau moyen de bruit et le niveau maximal, soit introduire un paramètre de « dose reçue » [GUA 98].

C'est l'approche proposée par l'indicateur SEL<sup>9</sup>. Cet indicateur représente l'énergie totale d'un événement sonore. Il est possible de convertir un niveau en  $L_{Amax}$  vers le SEL (et vice versa), si la fluctuation du niveau sonore dans le temps est connue. Trois formes d'événements sonores peuvent ainsi être décrits par le SEL et le  $L_{Amax}$  (cf. figure 11).

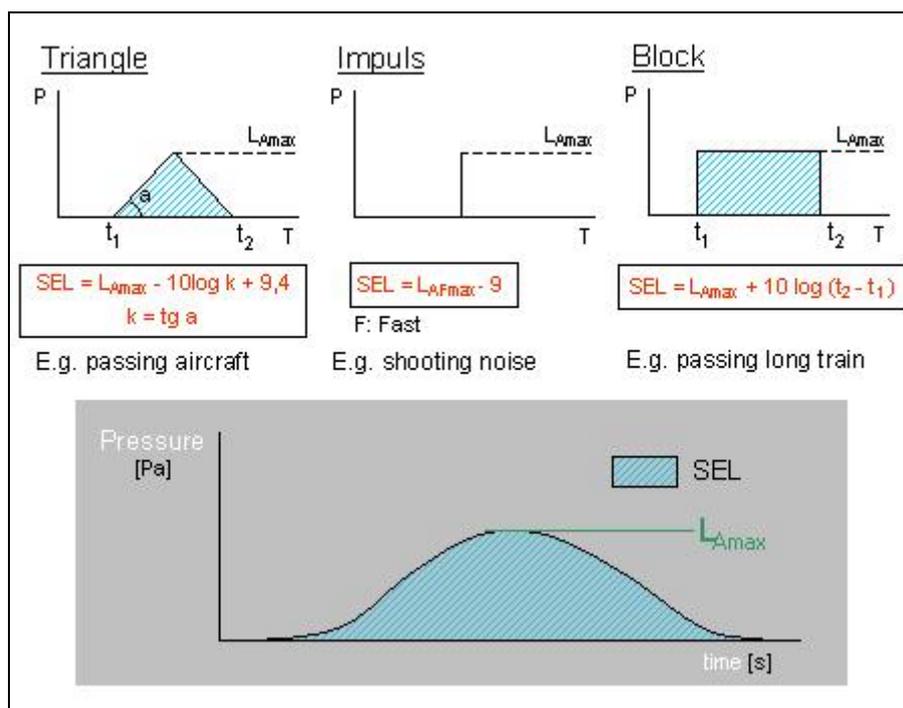


Figure 11 - Les descripteurs SEL et  $L_{Amax}$  d'événements sonores<sup>10</sup>

Les niveaux statistiques de bruit  $L_n$  représentent le niveau dépassé pendant (100 n) % du temps de mesure. Ils sont utilisés quand le niveau sonore subit des modifications importantes et rapides sur de longues périodes à l'image du bruit dans une ville [HAR 91]. L'indicateur

<sup>9</sup> Sound exposure level

<sup>10</sup> source : TNO Prevention and Health - <http://www.health.tno.nl>

**L10** (niveau dépassé pendant 10% du temps de la mesure) est utilisé pour indiquer les niveaux qui émergent. L'indicateur **L95** permet d'évaluer la nature du bruit de fond.

Les deux dernières approches de quantification du son présentées ici nécessitent une information sonore très précise dans le temps. Or, dans l'optique de l'acoustique environnementale, les problèmes acoustiques sont traités à l'échelle d'une population. L'approche en terme de moyenne sera donc favorisée car elle nécessite moins de moyens pour être estimée. Il existe de nombreux autres indicateurs et rien ne dit que ceux présentés ici émergeront de la tendance actuelle à l'harmonisation.

Descripteur	Symbole	Définition	Champ d'application
Niveau de pression sonore maximum	<b>L<sub>Amax</sub></b>	Le niveau de pression sonore maximum durant une période donnée ou lors d'un événement sonore unique	Description des sons de courtes durées. Il est souvent utilisé pour décrire la gêne liée au sommeil
Niveau de pression sonore équivalent	<b>L(Aeq, t)</b>	Le niveau moyen de l'intensité sonore pour une période donnée, 24 h, une journée ou encore la nuit	Mesure de niveau d'exposition sonore environnementale pour une population donnée
Niveau jour/nuit de pression sonore	<b>L<sub>dn</sub></b>	Le niveau de pression sonore équivalent à une période de 24h avec une pondération de tous les sons nocturnes de +10 dB(A).	Description de l'exposition sonore environnementale moyenne en tenant compte de la plus grande sensibilité de nuit
Niveau sonore d'exposition	<b>SEL</b>	Le niveau sonore d'exposition représente l'énergie cumulée dans le temps d'un événement sonore complet.	Description d'événement sonore individuel, plutôt court
Niveau statistique de pression sonore	<b>L<sub>n</sub></b>	Le niveau de pression sonore atteint pour n % du temps de la mesure	Description des propriétés du son dans le temps, le bruit de fond est décrit par le L <sub>95</sub>

Tableau 3 - Les principaux descripteurs du bruit environnemental [VON 92]

On ne sait pas aujourd'hui modéliser de façon certaine la relation complexe entre le bruit et ses effets sur la population. A l'échelle individuelle, il existe des différences biologiques de sensibilité au bruit qui sont des facteurs incompressibles d'imprécision pour les projections d'impacts proposées [GUA 98]. A l'échelle d'une population, l'évaluation des impacts potentiels du bruit est encore plus complexe, surtout lorsque l'on cherche à prévoir des dommages entraînés par de faibles doses de bruit. L'estimation de la gêne liée au bruit pour une population suppose par exemple, la mise en facteur de paramètres très hétérogènes, tel que la représentation des sources de bruit, la satisfaction générale envers son environnement

de vie, la réaction vis à vis des perspectives de transformation de l'environnement de vie ... Nous allons maintenant aborder la thématique des effets reconnus du bruit sur l'homme. Dans ce cadre, nous reviendrons sur la question de la gêne liée au bruit.

#### 1.2.1.4. Les effets du bruit sur l'homme : une autre dimension du bruit

A travers les différents impacts potentiels du bruit, nous allons présenter d'autres facettes de cette notion. Les effets du bruit sur l'homme sont généralement identifiés en deux groupes, les conséquences sur l'appareil auditif et les effets non auditifs. Pour chacune de ces catégories, la recherche en acoustique appliquée a permis de définir des doses de bruit acceptables qui sont ensuite appliquées dans le champ normatif. Cette notion de dose de bruit n'a pas d'interprétation physique, c'est une approximation de l'exposition sonore acceptable, pour une durée d'exposition donnée [HAR 91]. Comme le souligne B. Berglund [BER 00], l'application de limites acceptables de bruit est le résultat des multiples compromis. En effet, la variabilité interindividuelle de la réponse, les contributions complexes du spectre, de l'impulsivité du signal et de la répartition de l'énergie dans le temps, font que les doses proposées doivent être manipulées avec beaucoup de prudence.

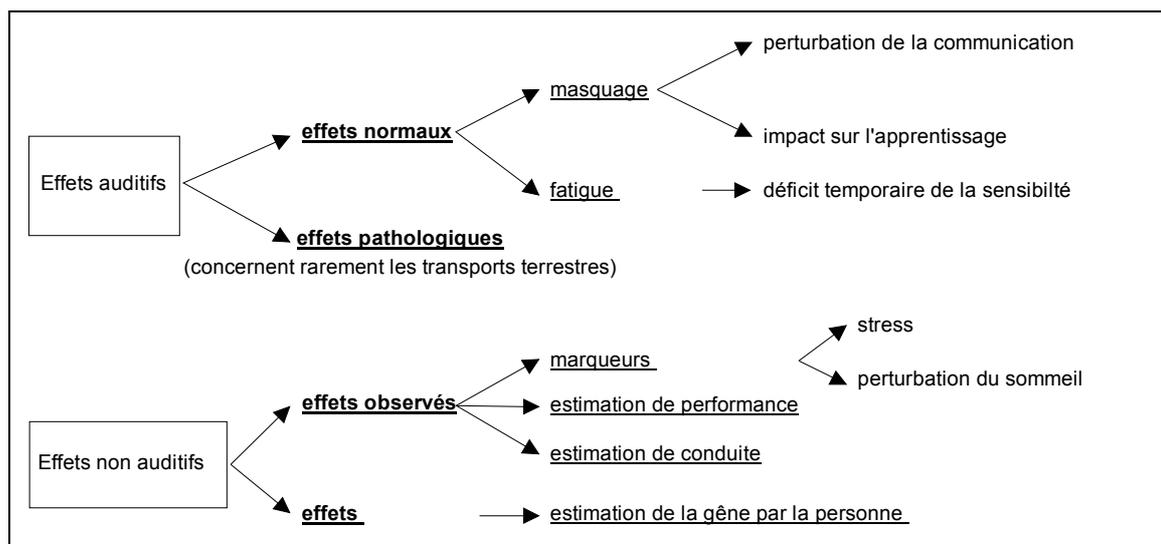


Figure 12 - Les modes d'observations des effets du bruit sur l'homme [QUE 00]

##### 1.2.1.4.1. Les effets auditifs du bruit

En matière d'effet du bruit sur l'audition, on distingue généralement les effets normaux (masquage et fatigue auditive) des effets pathologiques.

#### Les effets pathologiques

Le traumatisme sonore est le mécanisme de détérioration de l'oreille par le bruit entraînant un déficit auditif qui peut être permanent. Une exposition à un bruit très impulsif de 140 dB(A) (une arme à feu par exemple) peut entraîner une perte totale et définitive de l'audition.

Des expositions répétées à des niveaux de bruit dépassant 85 dB(A), pendant au moins une demi-heure, peuvent de même détériorer progressivement l'audition. L'effet de l'intensité sonore est ainsi largement lié à la durée et à la répétitivité de l'exposition [GUA 98]. Le type de situation sonore pour lequel on observe des effets pathologiques n'est que très rarement atteint en espace extérieur, si l'on exclut les aéroports et les abords immédiats des grandes infrastructures de transport terrestre (cf. figure 13). Le bruit émis par les transports terrestres en espace extérieur relèvent donc essentiellement des effets normaux.

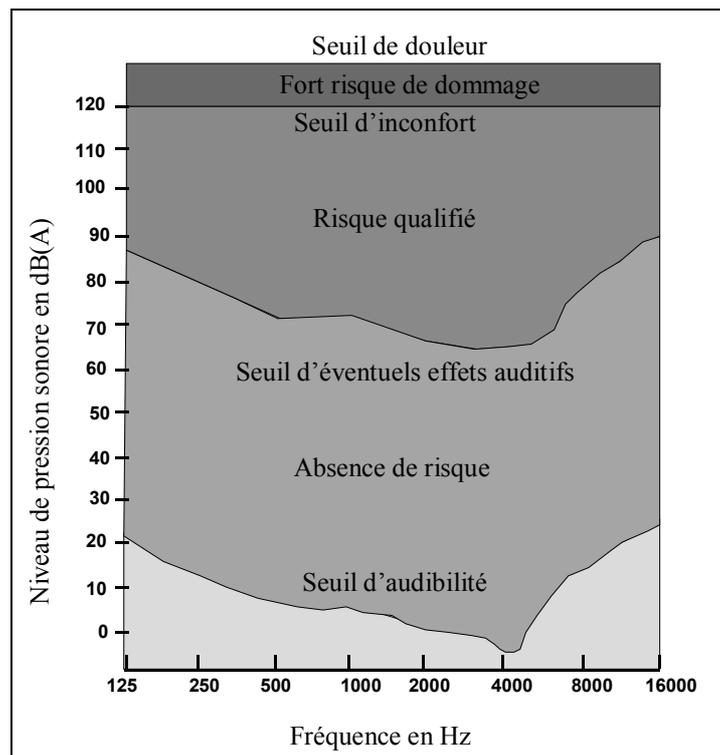


Figure 13 - Les seuils de risques auditifs pour l'oreille humaine [HAR 91]

### Les effets normaux du bruit

La **fatigue auditive** est un déficit temporaire de la sensibilité auditive qui persiste pendant un certain temps après l'arrêt du bruit, en diminuant progressivement jusqu'à une récupération totale de la capacité auditive antérieure.

L'**effet de masque** se manifeste par le fait qu'un son peut être perçu par un observateur, et que le même son, en présence d'un autre bruit (bruit parasite), ne sera plus perçu. Pour qu'un son soit perçu, il n'est pas seulement nécessaire que son niveau soit supérieur au seuil d'audibilité. Il ne doit pas être trop inférieur au bruit de fond [CET 81] [RAP 97]. Il est donc important de distinguer l'audibilité, qui est une qualité purement acoustique, de l'intelligibilité qui implique une relation de pensée. Le spectre de chaque son a une grande importance pour identifier l'effet de masque. Le niveau d'intelligibilité de la parole (I) compare le son utile (celui de la communication) avec le bruit de fond.

$$I = \frac{L - PSIL}{30}$$

Où :

L, la moyenne arithmétique des niveaux du son utile dans les 4 bandes de fréquences centrées sur 500, 1000, 2000, 4000.

PSIL<sup>11</sup>, la moyenne arithmétique des niveaux du bruit de fond, dans les 4 bandes de fréquences centrées sur 500, 1000, 2000 et 4000 Hz.

Si I est supérieur à 0.4, le son utile est suffisamment élevé pour ne pas être masqué. A l'inverse, cet indice peut être utilisé pour caractériser le niveau d'intimité. Dans ce cas l'indice d'intelligibilité doit être proche de 0 [CET 81].

Des travaux réalisés à partir d'observations empiriques ont tenté d'établir une relation entre le niveau d'intelligibilité de la parole et le bruit de fond. La figure 14 présente un exemple de relation.

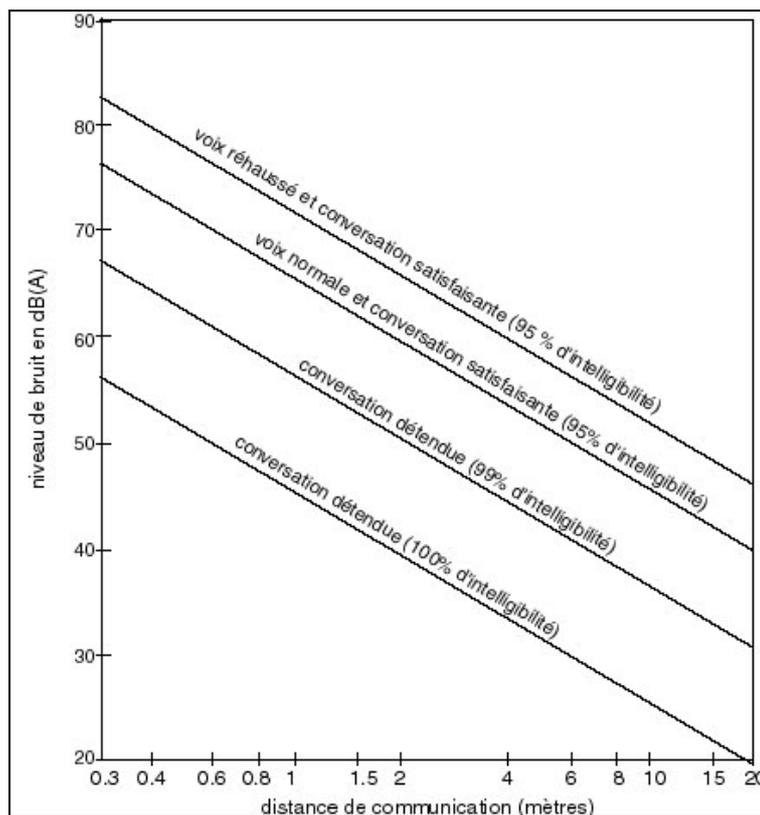


Figure 14 - Distance maximum en extérieur grâce à laquelle une conversation est intelligible avec un bruit stable [BER 95]

Dans de nombreuses situations sonores quotidiennes, l'effet de masque perturbe la perception du langage. Ainsi, il est courant d'observer les occupants de bâtiments fermer leurs

<sup>11</sup> preferred speech interference level

fenêtres afin de converser normalement quand le niveau de bruit continu extérieur atteint 70 dB(A) [CE 96]. L'effet de masque peut aussi entraîner des retards dans l'apprentissage chez les enfants [GUA 98].

Les effets auditifs du bruit sont observés dans des situations d'exposition sonore très localisées dans l'espace (cf. point 1.2.2.1.). Les niveaux de bruit auxquels est soumis la majorité de la population<sup>12</sup> sont inférieurs aux seuils de danger des effets auditifs. Les effets non auditifs du bruit sont beaucoup plus fréquents dans les conditions d'exposition sonore courantes du monde moderne.

#### *1.2.1.4.2. Les effets non auditifs du bruit*

Les effets non auditifs du bruit sur l'homme sont identifiés par observation ou par auto-évaluation (cf. figure 12.).

Par l'observation, on distingue des marqueurs physiologiques tels que le stress, la perturbation du sommeil (qualitatif ou quantitatif) et des estimations de l'effet sur les performances, la conduite.

Le stress est un effet supposé du bruit sur l'homme, mais les expériences réalisées ne permettent pas d'isoler clairement le bruit des autres facteurs qui constituent l'environnement des populations observées.

La perturbation du sommeil intervient dès que le dormeur est soumis à un niveau de bruit continu de 30 dB(A). Le paramètre le plus important reste le niveau de crête qui ne doit pas dépasser 45 dB(A). Des études empiriques révèlent que des troubles tel que la fatigue et les maux de tête apparaissent quand les valeurs recommandées sont dépassées [CE 96]. Dans la vie quotidienne, ces troubles de sommeil peuvent entraîner des baisses de vigilance dans la journée, des erreurs plus fréquentes, voire un ralentissement de certaines fonctions mentales [GUA 98].

L'effet sur les performances et la conduite est en fait une conséquence indirecte des effets de fatigue auditive, trouble du sommeil et effet de masque. Le bruit agit alors comme un « stimuli distrayant ». Mais ce dernier est largement dépendant du contexte de réception du bruit et du type de bruit<sup>13</sup>. De la même manière, le bruit est supposé responsable de nombreux autres maux, tel que les problèmes cardio-vasculaires, des comportements de violence sociale ... Dans le point suivant, consacré à la notion de gêne, nous verrons que le bruit peut faire office de catalyseur pour d'autres problèmes de la vie courante, « d'exutoire projectif pour toute insatisfaction d'origine sociale mais aussi personnel » [PER 94].

L'auto-évaluation de la gêne par les individus exposés constitue la dernière catégorie de mode d'observation des effets du bruit non auditifs [SCH 78]. Nous allons préciser la notion de gêne liée au bruit dans un point particulier.

---

<sup>12</sup> Si l'on parle d'exposition aux bruits extérieurs dans l'optique de l'acoustique environnementale

<sup>13</sup> Le bruit monotone de la voiture n'affecte en rien le comportement du conducteur.

#### 1.2.1.4.3. La notion complexe de gêne liée au bruit

La gêne est l'expression scientifique d'une perturbation non spécifique par le bruit, qui est estimée lors d'enquêtes de terrain par auto-évaluation. La plupart des personnes qui expriment un sentiment de gêne lié au bruit l'associent à des marqueurs de la vie quotidienne (moins d'enthousiasme à profiter du balcon ou du jardin, fermeture des fenêtres pour la nuit... C'est « *un sentiment de mal être associé à une condition ou à tout autre facteur, qui affecte ou qui est perçu comme tel par un individu ou un groupe* » [KOE 87]. En d'autres termes, cette notion exprime la sensation perceptive et affective exprimée par les personnes soumises au bruit [KAI 99]. Elle peut affecter le cadre de vie d'une population.

Outre les facteurs de hauteur, durée, intensité répétition qui expliquent les effets précités du bruit, la **signification** que l'on donne au bruit va avoir une grande influence sur le niveau de gêne ressenti. On attribue en effet au bruit des qualités qui vont au-delà des seules caractéristiques acoustiques [RAP 97] :

- Une efficacité : il fatigue, il stress, il réveille
- Une intentionnalité : ils le font exprès, ils se moquent de moi
- Une signification : ils sont jeunes, ils sont sans-gêne.

La situation de gêne est par ailleurs aggravée lorsqu'il nous est impossible d'exercer sur l'origine du bruit un quelconque contrôle. Le bruit nous renvoie alors à notre situation de dépendance à l'égard de notre environnement [FIE 93].

En fonction du **contexte de réception** de la population exposée, tout événement perceptible est donc une source potentielle de gêne et peut, de ce fait devenir un bruit. La dose de bruit nécessaire pour générer une gêne n'est donc pas seulement liée à des facteurs acoustiques. Un tout petit bruit dans un environnement très silencieux peut ainsi devenir gênant. Les aspirations de la population si son contexte de vie est urbain ou rural, le niveau d'information sur les dangers que représente le bruit pour la santé, sont autant de facteurs qui peuvent modifier les jugements envers la situation d'exposition sonore [RAP 97].

Dans une contribution proposée lors du congrès Internoise 98, Guski et al. [GUS 98] présentaient une enquête sur la notion de « *noise annoyance* »<sup>14</sup>, réalisée auprès d'experts internationaux dans le domaine du bruit. Ce travail a permis de mettre en lumière la variabilité de la notion d'annoyance selon la langue de l'expert. En premier lieu, une forme de consensus international est observée sur le fait que cette notion n'est pas seulement liée à des paramètres acoustiques. Mais ensuite certaines différences significatives apparaissent. Pour les experts japonais, la notion d'annoyance exprime un fort niveau de répulsion, quand pour les germanophones elle est associée à des réactions de fuite et d'agression. Les anglophones associent quant à eux cette notion à un sentiment de dégoût. Ces constats montrent bien l'influence des paramètres culturels dans l'expression de la gêne.

Les moyens pour estimer les niveaux de gêne vécus par la population sont complexes à élaborer. Des fenêtres fermées, des balcons inutilisés, un nombre accru de plaintes et de pétitions, un niveau plus fort d'écoute des médias (radios, télévision), peuvent constituer de marqueurs possibles de la gêne vécue [BER 00]. Mais ces indications sont parfois trompeuses. On a vu que certaines plaintes liées au bruit font office de catalyseur pour d'autres revendications moins faciles à justifier par la population. Dans l'optique de l'acoustique environnementale, des relations de « dose/effet » sont recherchées.

---

<sup>14</sup> Traduction littérale de l'anglais : agacement, énervement, embêtement. Ce terme est couramment traduit en acoustique par la notion de gêne.

Malheureusement, pour évaluer la gêne d'une population, l'hypothèse d'une relation de causalité directe entre le niveau d'exposition et l'impact observé sur la population ou auto-évalué, ne peut être retenue. En effet, les réactions les plus fortes ne correspondent pas directement à l'impact du bruit sur l'organisme mais sont le produit de l'interaction entre modalités de réaction et les caractéristiques biologiques individuelles [GUA 98]. Nous verrons dans le point 1.2.2.3. que ces approches d'estimation de la gêne se développent à partir de compilations d'enquêtes d'opinion. Leur utilisation pour réaliser des projections reste très hasardeuse.

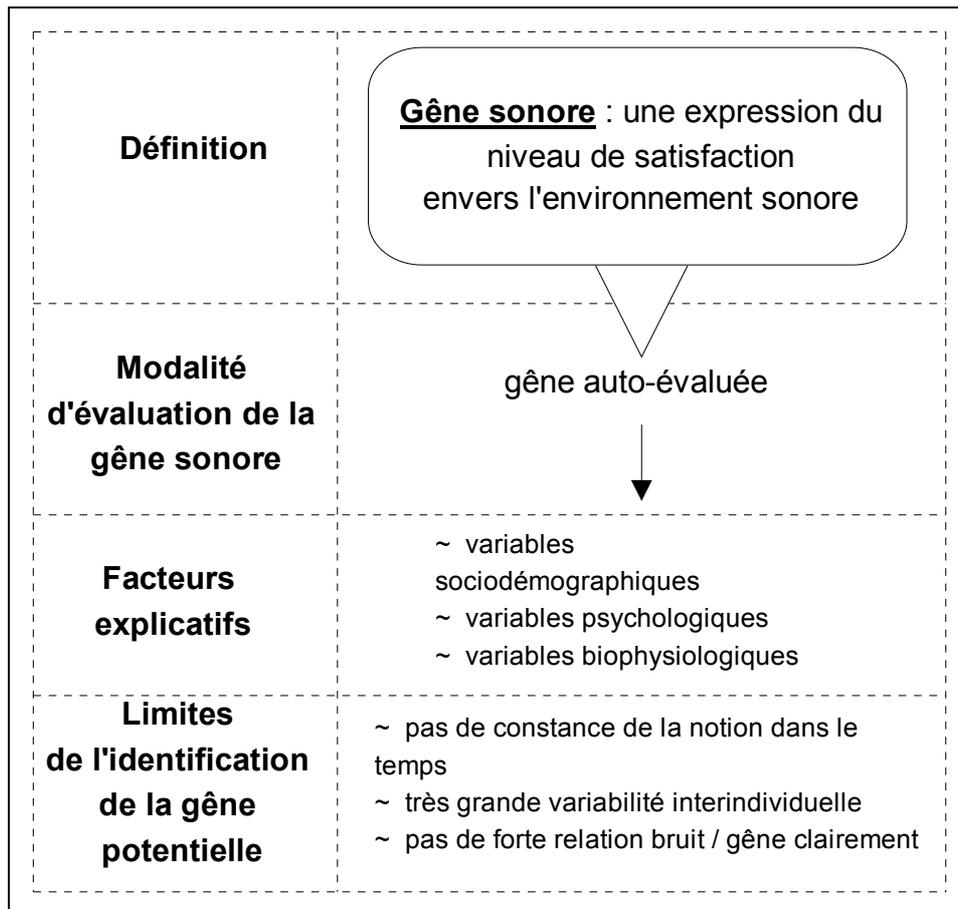


Figure 15 - La notion de gêne liée au bruit dans la logique de l'acoustique environnementale

De nombreux auteurs ont tenté d'identifier formellement les facteurs explicatifs de la gêne liés au contexte de réception du bruit. Nous allons présenter ici quelques pistes qui pourraient faire l'objet d'une approche spatiale pour l'évaluation de la gêne potentielle.

Dans le cas d'une infrastructure de transport nouvelle les effets d'intrusion visuelle et de rupture peuvent entraîner de la gêne chez les riverains [LAM 98]. La satisfaction vis à vis des protections phoniques (intégration dans le paysage, effet de coupure, modification radicale de l'environnement sonore) peut constituer un autre critère d'évaluation de la gêne [LAM 93/2]. Une enquête réalisée en 1982 dans l'agglomération lyonnaise tente d'évaluer l'impact du bruit routier sur le marché immobilier [LAM 82]. On y voit que le critère du bruit est moins dominant que d'autres paramètres contextuels dans le choix du lieu de résidence.

L'ensoleillement, la vue, l'absence de vis à vis comme l'illusion verte d'un boulevard bordé d'arbres, peuvent en effet neutraliser l'impact du bruit dans la décision. Les considérations pratiques, tel que la proximité du lieu de travail, les transports, la localisation de l'école et des commerces, jouent de même un rôle important dans le comportement des acquéreurs. Dans le cas des pavillons qui sont dotés d'un jardin, la recherche de calme fait remonter le bruit dans les priorités des critères de décision d'achat [LAM 82]. Nous reviendrons sur ces notions afin d'évaluer les possibles paramètres de la vulnérabilité du territoire au bruit (point 2.1.1.3.).

Le bruit a donc des effets très variés sur la population. Il peut affecter la santé ou plus simplement dégrader le cadre de vie d'une population. Il a aussi des effets plus macroscopiques sur la société. Des études montrent ainsi que les catégories sociales les moins favorisées sont en moyenne, celles qui sont exposées aux niveaux de bruit les plus forts<sup>15</sup>. Le bruit a par ailleurs des influences reconnues sur l'économie. De nouveaux marchés de protection s'ouvrent alors certains biens exposés tendent à perdre de leur valeur. Ces approches des effets du bruit sont traités dans le point 1.2.2.3. Leur compréhension a largement contribué à la prise de conscience sociale et politique des enjeux du bruit. Avant de développer cet aspect nous allons recenser rapidement les différentes sources possibles de bruit et leur évolution dans la période récente. La maîtrise de certaines d'entre elles constitue un enjeu croissant dans les pays industrialisés.

#### ***1.2.1.5. Les sources de bruit***

Les expériences bruyantes sont multiples dans nos sociétés industrielles et les sources de bruit y contribuent chacune de façon très différente. Nous allons présenter ici les grandes familles de source de bruit de notre environnement moderne, en insistant plus particulièrement sur les transports terrestres sur lesquels nous nous sommes restreint dans la suite de notre propos.

De façon générale, l'environnement sonore des pays industrialisés a été marqué par deux sauts technologiques majeurs, la mécanisation puis l'avènement de l'électricité. De nos jours l'explosion des activités de loisirs accroît encore les sources possibles de bruit. J. M. Rapin [RAP 97] distingue deux classes de sources de bruit en fonction du type de gêne qu'elles produisent. La première classe forme le bruit de fond. Elle regroupe les sources qui sont considérées comme la conséquence normale de la vie collective. Il s'agit des transports essentiellement. La seconde classe de sources regroupe celles qui sont la conséquence de comportements individuels. Elles sont jugées sur des critères d'émergence par rapport au bruit collectif. Cette deuxième classe regroupe l'ensemble des bruit de voisinage.

##### *1.2.1.5.1. Le bruit de voisinage :*

Le bruit de voisinage est une source un peu particulière. Les conflits qui opposent la victime au producteur sont le résultat d'une relation quotidienne entre des modes de vie et des activités pas toujours conciliable ... Ce type de source fait l'objet de beaucoup plus de plaintes que les transports, car l'auteur du bruit incriminé est aisément identifiable. J. M. Rapin et al. [RAP 97] distingue quatre catégories de bruit de voisinage : bruit domestique, bruit résultant d'activités, loisirs bruyants et chantiers.

Le bruit domestique pose essentiellement des problèmes de nature sociologique. Thérèse Saget, présidente de l'association des victimes des troubles de voisinage, l'exprime ainsi de

---

<sup>15</sup> Enquête J. Lambert, M. Maurin et A. Alauzet, INRETS 1996.

façon radicale... : « *Loin d'être, comme d'autres bruits, la rançon du progrès, les bruits de voisinage sont l'arme redoutable avec laquelle on peut insidieusement détruire un individu, ruiner sa vie familiale et professionnelle, le pousser au suicide ou au meurtre, ou, tout simplement, le chasser de chez lui* ». Les portes qui claquent, les cris d'enfants, le tapage nocturne sont autant d'intrusions dans la sphère privée qui peuvent être mal vécues par l'individu si elles ne correspondent pas à ses propres rythmes et mode de vie.

Les bruits d'activités sont extrêmement diversifiés. L'industrie, même si elle ne vient plus en tête de la production de bruit dans le cadre géographique de l'O.C.D.E., constitue toujours une source de bruit importante [OCDE 91]. De larges progrès techniques ont favorisé la protection des personnels sur leur lieu de travail de même que les riverains. Les activités de loisirs comme les boîtes de nuit, les cafés et les espaces dédiés aux sports bruyants peuvent être potentiellement gênants pour le voisinage [GRAN 96]. Les moyens d'amplifications modernes ont permis de propager la musique partout ce qui aggrave encore le bruit potentiel lié aux loisirs.

Les bruits issus des chantiers de constructions sont nombreux, ils peuvent provenir des engins de travaux, d'un mauvais positionnement de la source, des éclats de voix [IBGE 98]. De même les chantiers évoluent dans le temps et les niveaux de bruit atteints lors des phases de terrassement sont souvent les plus élevés.

#### 1.2.1.5.2. Les transports :

« *En ce qui concerne les niveaux sonores auxquels sont exposés les habitants des pays de l'O.C.D.E., les bruits des moyens de transport sont prépondérants par rapport aux autres sources de bruit dans l'environnement – construction, industrie – la circulation routière étant la source dominante* » [OCDE 91].

De plus, on constate une augmentation permanente des trafics depuis le début du siècle dernier. Dans le livre vert de la Commission Européenne sur la politique future de lutte contre le bruit, les transports sont considérés comme la source majeure de bruit pour l'avenir du fait de quatre paramètres déterminants :

- augmentation du nombre de véhicules et des kilomètres parcourus. Les estimations actuelles tablent sur un quasi doublement du trafic routier de marchandises (en tonnes/kilomètres) et une augmentation de plus de 180 % du trafic aérien d'ici l'an 2010.
- développement de la grande vitesse ferroviaire
- envahissement des zones rurales et suburbaines par le bruit de la circulation routière
- allongement des durées d'exposition au bruit, dû au fait que la suppression de la pause nocturne dans la distribution des marchandises, allonge la période pendant laquelle le bruit atteint des niveaux gênants. [CE 98]

Nous allons détailler ici les trois grands types de transports qui contribuent majoritairement au bruit de fond urbain caractéristique des pays industrialisés : trafic aérien, trafic ferroviaire et trafic routier.

Le **trafic aérien**<sup>16</sup> est une source de bruit qui peut intervenir à plusieurs échelles spatiales. Lors du vol à l'altitude de croisière, un avion participe uniquement au bruit de fond de l'environnement mais cette information est propagée sur l'ensemble du territoire survolé. Les doses de bruit reçues au sol sont mineures, mais dans des contextes de réception particuliers

---

<sup>16</sup> ne sont considérés ici que les avions commerciaux subsoniques

comme en montagne, l'avion peut constituer une intrusion gênante dans le paysage sonore. Dans les phases de décollage et d'atterrissage le problème est bien différent. On a constaté d'énormes progrès en terme d'émission sonore. Aujourd'hui, le long des pistes de décollage et d'atterrissage le bruit enregistré est, à poids égal, neuf fois moins fort que dans les années 70. La surface de la zone exposée à plus de 85 dB(A) au décollage d'un Airbus A340 est de 2.2 km<sup>2</sup> quant elle était de 7 km<sup>2</sup> pour un DC10 [IBGE 98]. Le bruit résultant reste extrêmement intermittent d'où les problèmes pour utiliser des indicateurs d'exposition tel que le L(Aeq, t).

Le bruit émit par le **trafic ferroviaire** peut être de cinq origines différentes : le contact roue/rail, le bruit du moteur, l'équipement auxiliaire (compresseurs, générateurs, ventilation), le rayonnement d'autres structures telles que les ponts métalliques, le bruit aérodynamique pour les trains atteignant de très grandes vitesses. L'ordre d'importance de ces facteurs de bruit est fonction de la vitesse. En dessous de 15 km/h, c'est l'équipement auxiliaire qui domine, au-dessus de 50 km/h c'est le bruit du moteur.

<b>Trafic voyageur</b>		<b>Trafic marchandise</b>	
Voitures unitaires 1 et 2 avec freins à Sabot en fonte grise à sabot en Matière plastique	95	Wagons ouverts à hautes parois à deux/quatre essieux	96/98
Voitures unitaire 1 avec freins	84	Wagons couverts à deux/quatre essieux	95/95
Voitures unitaire 4 avec freins à disque	82	Wagons plats à deux/quatre essieux	95/97
Voitures internationales avec freins à disque	81	Wagons avec freins à tambour(deux essieux)	87
Automotrices NTN (nouveau train navette)	80	Wagons avec frein à disque(quatre essieux)	87
Voitures à deux étages du R.E.R.	79		

*Tableau 4 - Niveaux sonores en dB(A) de différents véhicules sur rails à 80 km/h mesurés à 7,5 m de l'axe de la voie et à 1,2 m au-dessus de la face supérieure du rail [JOU 00] d'après [LAMU 98]*

Les bruits émis par les métros et les tramways sont de nature très proches de ceux des trains. On peut tout de même noter quelques différences du fait de variantes de pose des voies et de vitesses de déplacements plus basses [IBGE 98].

Le bruit du **trafic routier** est celui auquel la population est la plus largement exposée aujourd'hui. A faible vitesse se sont les bruits de moteurs et d'échappement qui sont prépondérants, mais au-delà de 50 km/h, c'est le bruit causé par le contact pneumatique-chaussée qui domine. Le bruit émis par les véhicules est caractérisé par des basses fréquences dominantes.

En 40 ans, la circulation automobile des personnes « tous motifs confondus » (exprimée en voyageurs-kilomètres) a été multipliée par 10 [INSEE 97]. Les tableaux 5 et 6 présentent des chiffres de croissance du parc automobile dans les pays industrialisés depuis la seconde guerre mondiale.

Année	U.S.A.		France		Allemagne	
	Nombre total (en millions)	Taux de croissance par an	Nombre total (en millions)	Taux de croissance par an	Nombre total (en millions)	Taux de croissance par an
1947	30.7		1.5		0.2	
		6.1 %		14.9 %		28.2 %
1957	55.7		4		2.4	
		3.7 %		3.9 %		11.8 %
1975	106.8		15.3		17.9	
		0.3 %		2.9 %		3.7 %
1990	149.1		23.55		30.7	

Tableau 5 - La croissance du parc automobile à travers le temps [CLE 97]

voiture/habitant	1970 (%)	1980 (%)	1990 (%)
<0.20	57	12	3
0.20-0.29	23	31	19
0.30-0.39	10	39	33
0.40-0.49	6	13	26
0.50-0.59	3	3	15
0.60+	-	1	4

Tableau 6 - Les propriétaires de voiture dans les villes de l'OCDE [OCDE 93]

Le tableau 7 présente les niveaux sonores atteints à proximité de divers équipements routiers.

<b>Niveaux de bruit en façade LAeq (6h-22h)</b>	<b>Situations</b>	<b>Correspondance</b>
80 dB(A)	Au bord d'une autoroute	Point noir acoustique
75 dB(A)	- A 30 m du bord d'une autoroute chargée - En Bordure d'une nationale en entrée de ville	
70 dB(A)	- A 100 m du bord d'une autoroute chargée - A 30 m du bord d'une nationale (1000 véhicules/heure) - Dans un boulevard en ville	Bruit urbain
65 dB(A)	- A 180 m d'une autoroute moyennement chargée (3000 véhicules/heure) - A 80 m d'une nationale - Dans une rue de desserte en ville	Limite réglementaire d'exposition diurne en façade de bâtiments en zone préalablement bruyante, à respecter lors de la création d'une route nouvelle (arrêté du 5 mai 1995)
60 dB(A)	- A 30 m d'une petite route (300 véhicules/heure) - Dans une rue à priorité piétons en ville	Limite réglementaire d'exposition diurne en façade de bâtiments en zone calme à respecter lors de la création d'une route nouvelle (arrêté du 5 mai 1995)

Tableau 7 - Niveaux de bruit diurnes en façade de bâtiments aux abords d'infrastructures routières [RAP 97]

Dans notre travail, nous avons choisi de ne traiter que du bruit des transports terrestres, c'est à dire celui émis par le rail et la route. Ce choix fut largement influencé par la mise à disposition d'un modèle de calcul dédié à ce type de source de bruit, dans le cadre du projet SIGAUR (cf. point 1.3.1.2.). Mais cette limitation volontaire de notre champ d'étude s'explique autant par les enjeux que concentrent ce mode de transport dans le monde industrialisé.

Les transports terrestres semblent en effet poursuivre leur croissance, que ce soit en terme de vitesse de déplacement, de trafic ou de volume transporté (cf. tableau 8). Le service économique et statistique du ministère de l'équipement et des transports prévoit ainsi une croissance en France de 72% de la circulation des automobiles entre 1994 et 2020 et +49% pour les poids lourds, entre 1996 et 2020 [SES 88]. Le développement du temps libre sera sans doute une nouvelle source d'augmentation de la mobilité de la population dans les années à venir. Une telle situation ne permet pas d'envisager à moyen terme, une baisse significative des niveaux d'émission de bruit par la seule voie technologique. De plus, d'un point de vue économique, les transports terrestres sont vitaux pour les pays industrialisés.

Type de transport	1996 en %	1997 en %	1997 en Md t.km <sup>17</sup>
Fer (national)	1.1	5.9	26.4
Fer (international)	6.7	12.1	26.3
Route (national)	0.8	1.6	154.6
Route (international)	4.2	7.3	82.4

*Tableau 8 - Accroissement en pourcentage et volume brut des transports intérieurs nationaux et internationaux en France [LAMU 98]*

Parallèlement, des recherches sont valorisées, concernant les impacts des transports terrestres sur notre environnement. L'estimation de leurs externalités négatives a ainsi beaucoup progressé [LAM 93/1] (cf. point 1.2.2.3.) et l'on dispose de données précises pour prédire les impacts potentiels de prise de décision dans ce domaine [REV 97] [COH 98]. A l'avenir les choix d'aménagement en matière de transport terrestre pourraient donc intégrer de nouvelles méthodes d'analyse des impacts du bruit. On va voir que la demande sociale en la matière est importante.

---

<sup>17</sup> Md.T.km : milliards de tonnes kilomètres.

## 1.2.2. Une mobilisation grandissante face au problème du bruit

L'attention actuelle qui est portée au problème du bruit résulte d'un ensemble de paramètres qui vont être détaillés ici. L'émergence des nouveaux moyens d'analyse et de gestion en acoustique environnementale doit être favorisée par ce mouvement de prise de conscience.

### 1.2.2.1. Etat des lieux de l'exposition au bruit des transports terrestres

Pour donner un aperçu de l'ampleur du problème du bruit, nous allons présenter l'état de l'exposition au bruit en Europe puis en France aujourd'hui. Il est à noter que de nombreux organismes, tel que la Commission Européenne [CE 96] ou l'IFEN<sup>18</sup>, remettent en cause la véracité de ces données, du fait de la faiblesse des moyens qui sont mis en œuvre pour les obtenir.

#### 1.2.2.1.1. Au niveau européen :

D'après les données rassemblées en 1993 par l'O.C.D.E.<sup>19</sup>, pour 14 pays européens, 17 à 22 % de la population de l'Union Européenne (soit 80 millions de personnes) est exposée en permanence à des niveaux de bruit diurnes, causés par les transports, supérieurs, à 65 dB(A). 170 millions d'habitants sont exposés à des niveaux de bruit qui oscillent entre 55 et 65 dB(A), c'est à dire une intensité à laquelle le bruit devient une gêne diurne réelle.

Les dernières données en notre possession proviennent du document intitulé « *Are we moving in the right direction ?* » de l'Agence Européenne pour de l'Environnement (EEA). 120 millions d'européens seraient exposés à un bruit de trafic routier supérieur à 55 Ldn dB(A) et plus de 50 millions à des niveaux d'exposition supérieurs à 65 Ldn dB [EEA 00]. En matière d'exposition au bruit des trains, 37 millions d'européens seraient exposés à plus de 55 dB en L(Aeq, t) [CHA 98]

---

<sup>18</sup> Institut Français de l'Environnement – Acquis et lacunes du système d'information statistique sur l'environnement – référence Internet : <http://www.ifen.fr/acquilac/sommaire.htm>.

<sup>19</sup> Organisation de Coopération et de Développement Economique.

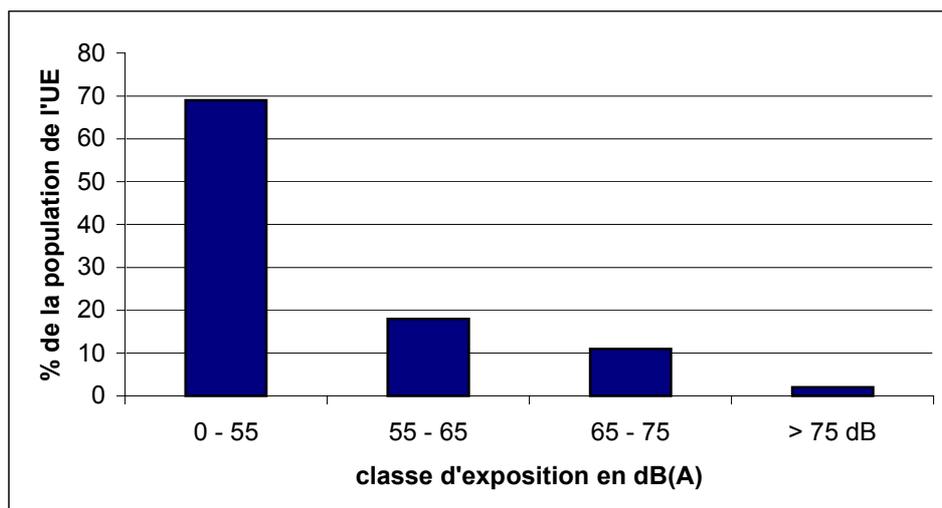


Figure 16 - Répartition de la population exposée à différents niveaux de bruit routier [EEA 00]

#### 1.2.2.1.2. Au niveau français :

Les données d'exposition de la population au bruit en France commencent seulement à être organisées. Nous verrons dans le point 1.2.3., les moyens mis en œuvre pour cela. Dans les faits, la dernière enquête complète sur l'exposition de la population française au bruit des transports terrestres fut réalisée par l'INRETS en 1986. On estimait alors à 7 millions les français (soit environ 12% de la population totale) exposés, à leur domicile, à des niveaux de bruit diurnes extérieurs dépassant 65 décibels, seuil au-delà duquel le sommeil, les conversations, l'écoute de la radio et de la télévision sont perturbés.

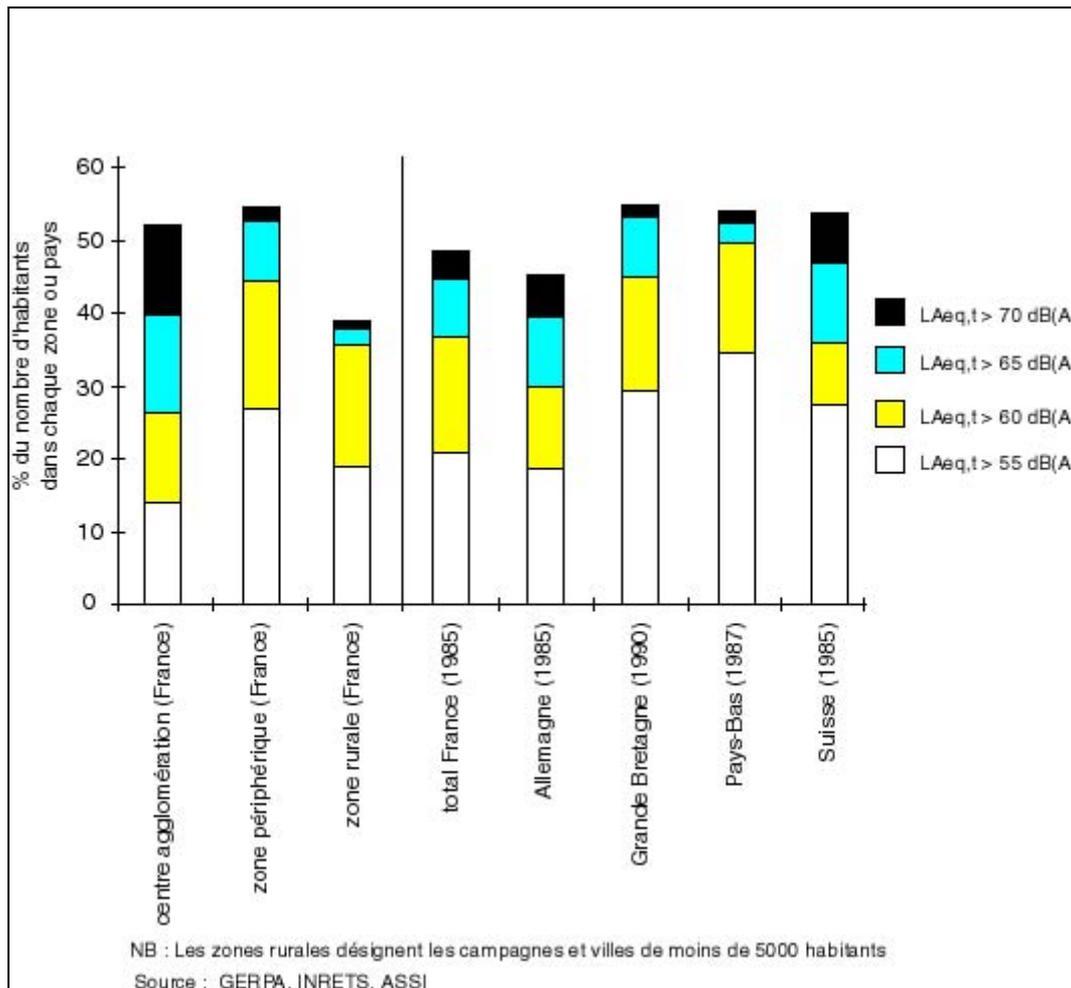


Figure 17 - Exposition de la population au bruit des transports terrestres<sup>20</sup>

Le recensement des points noirs dus au bruit du réseau routier et ferroviaire en France réalisé par B. Serrou en 1995 a établi le bilan suivant [SER 95] :

- 7000000 de personnes exposées à plus de 65 dB(A)
- 250000 logements soumis sur le réseau national (route et fer) à plus de 70 dB(A) hors du centre des agglomérations.
- 981000 logements soumis sur l'ensemble des réseaux (y compris au centre des agglomérations) à plus de 70 dB(A).
- 500 à 600 groupes scolaires touchés par des expositions sonores critiques.

Le bruit touche donc une large part de la population française et européenne. Ces impacts sont principalement dues aux transports routiers. C'est d'ailleurs une source de plainte en augmentation depuis 1992. Le bruit est aujourd'hui un problème auquel la société est de plus en plus sensibilisée, mais l'évolution de cette prise de conscience des enjeux du bruit est un processus complexe. Il ne dépend pas uniquement des niveaux d'exposition réellement observés.

<sup>20</sup> Référence Internet : <http://www.ifen.fr/pages/3bruit.htm>

### **1.2.2.2. *Prise de conscience sociale du problème du bruit***

Le bruit généré par les transports et les activités a toujours existé. Les engins et les usines des décennies précédentes étaient même beaucoup plus bruyants que ceux d'aujourd'hui.

Pourtant actuellement, on voit non seulement augmenter le nombre des plaintes relatives au bruit, mais ce dernier est devenu la première cause de plainte en France et une des principales en Europe. La perception du bruit s'est globalement modifiée au rythme de la transformation de nos modes de vie. Ainsi, l'augmentation générale du niveau de vie s'est accompagnée de préoccupations et de priorités plus axées sur l'environnement. La société est devenue de plus en plus exigeante envers son cadre de vie et, du même coup, elle perçoit le bruit (même de faible intensité) comme une gêne excessive contre laquelle elle se plaint [DOR 99].

J. P. Gualazzi propose une chronologie en trois phases de cette lente prise de conscience du problème du bruit, depuis le dernier conflit mondial [GUA 98] :

- les années « plus de bruit » de l'après-guerre, sont celles de la découverte de la consommation de masse. Le progrès technique se manifeste alors par une dimension sonore admise. Le bruit est le reflet de notre capacité à créer ce progrès.

- au cours des années 70, les français commencent à mesurer les conséquences de l'urbanisation et à parler de pollution urbaine. Le bruit, s'il n'apparaît pas comme un élément important de l'environnement, n'en devient pas moins un sujet d'insatisfaction. Ce sont les années « trop de bruit », caractérisées toutefois par une approche fataliste du phénomène.

- durant les années 80, le sentiment d'insatisfaction envers l'environnement sonore va se traduire par une demande d'intervention des pouvoirs publics. Depuis une quinzaine d'années, la demande sociale pour une diminution du bruit s'accroît.

La gêne exprimée par la population envers le bruit, met en lumière ses nouvelles préoccupations en matière de cadre de vie. Ainsi, en 1996 « *de nombreux Européens considèrent le bruit comme leur principal problème local d'environnement, surtout en zone urbaine* » [CE 96]. En France, dans une enquête permanente de l'INSEE sur les conditions de vie réalisée en 1996, le bruit apparaît comme étant la gêne la plus fréquemment ressentie (cf. tableau 9).

	Gêné par le bruit (1)	Gêné par la pollution (2)	Actes de vandalisme (3) (4)	Vol ou cambriolage de voiture (3) (5)	Cambriolage de logement (3)
Rural	23	14	16	7	2
Agglomérations (hors parisienne)	43	18	36	17	4
Agglomération parisienne (hors Paris)	55	19	46	25	5
Paris	56	26	44	25	5

(1) Une nuisance provoquée par le bruit peut provenir de la circulation, d'un aéroport, d'une voie de chemin de fer, des passants, de commerces aux alentours de logements ou encore du voisinage ou d'une autre source extérieure au logement.

(2) Gêné par la pollution signifie que la pollution rend difficile d'ouvrir les fenêtres d'au moins une des pièces du logement.

(3) Ces événements ont pu avoir lieu au cours des années 1994 et 1995.

(4) On entend par actes de vandalisme des détériorations ou des destructions de biens publics ou de parties communes d'immeubles (des halls, des parkings ...) purement gratuites.

(5) La proportion est calculée sur les seuls ménages disposant d'une voiture.

*Tableau 9 - Expression de la gêne des ménages selon leur lieu de résidence en pourcentage - Source : Enquête permanente sur les conditions de vie des ménages, INSEE janvier 1996.*

L'expression de la gêne liée au bruit s'explique en partie par l'extension des préoccupations environnementales à des secteurs comme la santé, l'alimentation, l'urbanisme, etc. Dans le cadre d'une synthèse de sept enquêtes d'opinion réalisées entre 1990 et 1997 par l'agence de l'eau Seine - Normandie, on constate un certain éloignement des préoccupations relatives aux grands problèmes planétaires (effet de serre, etc.) et, à contrario, l'émergence d'une mobilisation plus forte à l'échelle municipale. De même, « plutôt que de chercher à protéger, stricto sensu, la nature (sauvegarde des plantes et des animaux sauvages), la majorité des préoccupations environnementales des français convergent vers tout ce qui concerne le cadre de vie (la qualité de vie et surtout la sécurité et la santé) ». C'est avant tout à travers les thèmes de respiration, affectivité et maîtrise que s'articule la conscience verte. Il s'agit d'abord de se protéger soi, et par voie de conséquence, son environnement [DUB 97].

Le tissu associatif français dans le domaine de la lutte contre le bruit n'est pas assez étoffé pour influencer fortement les décisions politiques. Souvent les associations sont plutôt orientées vers la défense des populations riveraines d'aéroports et se cantonnent à un objet très précis et localisé. [LAMU 98]

### ***1.2.2.3. Des évaluations de l'impact macroscopique du bruit toujours plus précises***

Le développement de méthodes d'évaluation des impacts du bruit à échelle macroscopique a renforcé la prise de conscience des enjeux du bruit et a permis de justifier une action politique dans la logique de l'acoustique environnementale. Nous allons présenter deux formes d'évaluation macroscopique. La première s'intéresse au **coût social du bruit**. Elle

tente d'établir une quantification des impacts du bruit sur la société en termes économiques. La seconde s'attache à définir une **relation de « dose effet »**, c'est à dire un rapport entre un niveau de bruit mesuré ou calculé et son effet exprimé par une population ou observé sur cette dernière.

#### 1.2.2.3.1. Evaluation du coût social du bruit

Dans le document de présentation des données de base de son « plan bruit », l'IBGE propose une définition du coût social : « *Toute activité de transport entraîne des coûts et des profits. Du côté des coûts, il faut opérer une distinction entre les coûts privés, à savoir les coûts supportés par la personne qui entreprend l'activité de transport (ex. : frais de carburant, coût d'un abonnement de train, ...) et les coûts externes, supportés par d'autres (ex. : nuisances acoustiques pour les riverains, ...). La somme des deux constitue les coûts sociaux* » [IBGE 98].

A ses débuts, l'estimation du coût social du bruit semble avoir amené à quelques excès. On a ainsi attribué au bruit 11 % des accidents du travail, 15 % des journées de travail perdues, 20 % des internements psychiatriques et une partie de la consommation des tranquillisants [LAM 83] ... Depuis quelques années, avec l'introduction des techniques d'économétrie dans le domaine environnemental, les diagnostics tendent à s'affiner.

Dans la conception stricte du coût social du bruit on inclut [LAM 93/1] :

- les dépenses pour minimiser le bruit : elles sont connues parce que réalisées, ou estimées pour parvenir à un niveau de bruit acceptable.
- les coûts des effets du bruit sur la santé : ils sont très difficiles à évaluer précisément parce que les traitements médicaux des dépressions par exemple, ne sont pas nécessairement imputables au bruit.

Actuellement, on distingue sept méthodes d'évaluation. Elles s'appuient pour la plupart sur le principe du consentement à payer. Ce dernier tente de refléter la sensibilité des individus au bruit en terme financier, ainsi que les efforts de la collectivité pour réduire les impacts du bruit [LAM 83] [KAI 99] [SOG 94].

- une méthode est fondée sur l'estimation directe des coût sociaux par enquête. On l'appelle la méthode de l'**évaluation contingente**. Elle consiste à demander directement aux individus (par enquête d'opinion ou expérimentation) ce qu'ils consentiraient à payer pour bénéficier d'un meilleur environnement sonore (moins de bruit ou moins de gêne) si un marché hypothétique (contingent) permettait d'atteindre cet objectif.
- **la méthode des prix hédonistes** consiste à réaliser une observation des prix d'un marché (prix hédonistes) sur lequel les individus achètent une certaine qualité de l'environnement. Le marché de l'immobilier se prête bien à ce type d'évaluation. On considère que les impacts du bruit sont capitalisés négativement dans le prix ou le loyer du logement et que cette différence de prix représente le consentement à payer pour bénéficier d'un environnement sonore de meilleure qualité. Dans cette logique un appartement bruyant sera loué meilleur marché qu'un logement situé dans un endroit tranquille.
- une méthode est fondée sur les **dépenses individuelles de protection** effectuées par les ménages pour atténuer ou supprimer les effets du bruit. Cette méthode repose sur l'hypothèse que des dispositifs d'assainissement permettent d'atténuer ou

d'éliminer le problème. Les dépenses effectivement consenties constituent une mesure implicite du coût des atteintes à l'environnement.

- **la méthode du coût de déplacement** permet d'estimer le consentement des individus à payer pour bénéficier d'un environnement de qualité (zones récréatives, espace naturel calme), à partir des dépenses et du temps qu'ils consacrent pour s'y rendre et y séjourner. Le coût à considérer dépasse le simple coût monétaire du trajet, il englobe aussi le coût d'opportunité du temps de trajet et celui du temps passé sur le site.
- les **évaluations juridiques** consiste à analyser la jurisprudence existante. Les indemnités perçues par des plaignants dans des affaires de bruit, fournissent des estimations des dommages subis. Il semble toutefois que le montant des indemnités fluctue fortement dans le temps et entre les procès.
- l'estimation des **dépenses collectives** effectives induites par les décisions prises par les pouvoirs publics dans le domaine réglementaire constitue une autre approche du coût social.
- la méthode des **coûts d'assainissement** consiste à évaluer les coûts qu'impliquerait la mise en œuvre de solutions techniques permettant de lutter contre les atteintes du bruit, soit en les corrigeant, soit en les prévenant pour atteindre un objectif donné.

N. Soguel propose une classification des méthodes d'évaluation, elle est présentée dans le tableau 10.

Réactions aux atteintes de l'environnement		Agents concernés	Méthode d'évaluation	Approche
manifestation des préférences	explicite	individus	- évaluation contingente	psychométrique
	implicite		- dépenses d'assainissement - coût du déplacement - prix hédonistes	économétrique
	implicite	collectivité	- jurisprudence - dépenses collectives	Tutélaire
Lien physique ou technique		aucun	- coût d'assainissement	technocratique

Tableau 10 - Méthode d'évaluation monétaire : un exemple de classification [KAI 99] [SOG 94]

Pour l'étude des impacts du bruit des transports terrestres, la méthode des prix hédonistes et l'évaluation contingente sont les plus couramment utilisées. Nous allons maintenant présenter des exemples de résultats obtenus au cours des vingt dernières années.

### **Application de la méthode des prix hédonistes**

Un grand nombre d'études ont été réalisées selon cette méthode depuis 25 ans, essentiellement dans les pays anglo-saxons. Malheureusement, celles qui sont postérieures à 1980 aboutissent à des résultats discutables. La comparaison de deux études entreprises depuis lors, en Suisse et en Finlande, montre des résultats sensiblement différents. Le taux de dépréciation du prix des logements en fonction du bruit est ainsi estimé à 0.91 % par dB(A) pour l'étude Suisse et 0.36 % pour l'étude finlandaise [KAI 99]. Ces différences sont liées au fait que les deux calculs n'intègrent pas les mêmes données. L'étude suisse fait intervenir un niveau de bruit mesuré et des paramètres tel que le nombre d'enfants, l'âge, la présence d'isolation phonique. L'étude finlandaise se base quant à elle sur des données d'exposition sonore issue d'un modèle de propagation. Au vu de ses différences, M. Kail estime que ces résultats ne sont finalement pas si éloignés l'un de l'autre. Des recherches se poursuivent actuellement pour tenter de produire un relation transposable à des contextes spatiaux et temporels différents.

Les principales critiques qui sont portées à la méthode de prix hédonistes concernent la confrontation à la réalité des hypothèses de différenciation et de compétition pure (perception partielle des nuisances sonores, non équilibre du marché, segmentation fréquente du marché). Par ailleurs, cette méthode évalue partiellement les atteintes à l'environnement, seulement les nuisances perçues au domicile. Elle ne permet pas non plus l'introduction de plusieurs variables contextuelles dans le modèle d'évaluation [KAI 99].

### **Application de l'évaluation contingente**

Une grande enquête réalisée en Allemagne en 1986 semble constituer, aujourd'hui encore, la référence en matière d'évaluation contingente [LAM 93/1] [KAI 99]. 7000 personnes furent interrogées sur leur disposition à payer un surcoût pour vivre dans le calme. Les résultats varient d'un consentement individuel moyen à payer par mois de 1.67 DM par dB(A), pour une exposition en L(Aeq, t) de 43 dB(A), à 2.4 DM pour une exposition supérieure à 75 dB(A). Le niveau de revenu de l'enquêté et son niveau d'information sur les effets du bruit, modulent le consentement à payer.

Malgré de multiples expériences, ces méthodes tardent à intégrer les processus de prise de décision [COH 98]. Pourtant des institutions comme l'Union Européenne ont reconnu leur intérêt, pour une gestion cohérente de la politique des transports. « *L'importance cruciale des coûts externes dans le trafic résulte du fait que, dans une économie de marché, les décisions (économiques) sont considérablement influencées par les prix du marché. Lorsque les prix du marché ne constituent pas un bon reflet des pénuries existantes (air propre, résistance de l'environnement, infrastructure,...), l'addition des décisions individuelles des consommateurs et des producteurs ne conduit plus à un résultat qui apporte un avantage maximal pour la société dans son ensemble. Pour cette raison, la fixation des prix sur la base des coûts sociaux est un élément-clé pour un système de transport efficace et durable* »<sup>21</sup>. Mais il est vrai que ces méthodes posent des problèmes d'ordre éthiques (légitimité du calcul économique, questions de répartition, éventualités de valeurs tutélaires) et théoriques (cohérence entre le consentement à payer et les coûts réels, appréciations des impacts sur le long terme) [KAI 99].

Cohen propose un autre point de vue sur l'usage possible de ces approches [COH 98]. D'après lui « *le principal intérêt de l'évaluation économique n'est pas de fournir un chiffre, mais une méthode pour obliger les interlocuteurs à se poser le plus de questions possibles*

---

<sup>21</sup> Livre vert européen : vers une tarification efficace et équitable dans les transports. Choix stratégiques possibles pour l'internalisation des coûts externes des transports dans l'Union Européenne. 1996.

*(hypothèses scénarios, connaissances, etc.), auxquelles chacun n'aurait peut-être pas pensé, malgré ou à cause de son intérêt et/ou de sa spécialisation. Ce sont les questions posées qu'il faut notamment retenir de l'évaluation. Après accord sur un certain nombre d'hypothèses et de conventions, les résultats de différents calculs convergent souvent. Les chiffres obtenus reflètent alors des options stratégiques et ils peuvent ainsi aider à la prise de décision (choix d'un projet, niveau d'une taxe, etc.) ».*

#### 1.2.2.3.2. La relation « dose effet » :

La recherche d'une méthode d'estimation de la gêne par la seule estimation de l'exposition au bruit est sujet à polémique en acoustique appliquée. Dans l'histoire de la construction des unités de mesure de l'exposition sonore, l'exploitation croisée d'une enquête d'opinion et de mesures acoustiques de l'exposition est une pratique courante. L'abondance de ce type de travaux a fait naître un champ d'étude original, qui tente d'établir une relation mathématique entre un niveau d'exposition sonore et le sentiment de la population envers cette exposition. C'est le travail de T. J. Schultz en 1978 qui largement fait connaître cette approche [SCH 78]. Dans un premier temps, il a travaillé sur la compilation de 18 études intégrant chacune des mesures de bruit et des enquêtes auprès de la population. Ces études n'appliquent pas toutes les mêmes approches de mesure du bruit. De même, les enquêtes auprès de la population sont réalisées selon des protocoles différents et le bruit observé est produit par différents types de transport. Après avoir retenu 11 études pouvant être mises en relation, Schultz propose de ramener l'ensemble des mesures acoustiques des études compilées, à l'unité d'exposition sonore Ldn (cf. point 1.2.1.3.). Par ailleurs, dans les enquêtes il ne retient seulement que la part de la population qui s'estime fortement gênée (soit pour une échelle de 7 classes, les deux classes les plus gênées : 29 %). En choisissant une fonction polynomiale de troisième ordre, l'auteur a forcé le pourcentage de la population gênée à 0% pour un niveau de bruit à 45 dB [FID 91], il obtient la relation suivante :

$$\text{- Schultz : \%HA} = 0.8553 - 0.0401 \text{ Ldn} + 0.00047 (\text{Ldn})^2$$

où %HA exprime une estimation du pourcentage de population fortement gênée par le bruit.

Naturellement, T. Schultz prend bien soin de relativiser la portée d'une telle fonction. La relation exposition/gêne ne peut être ainsi définitivement fixée. De part le choix de l'unité Ldn, un nombre important de paramètres de l'exposition sont ignorés. De même, la compilation d'enquêtes est une source d'erreur importante, puisqu'elle ramène des jugements subjectifs, réalisés dans des contextes très différents, à une échelle unique d'appréciation. Malgré tout, son analyse permet de juger la représentativité des unités de mesure de l'exposition sonore et de faire ainsi progresser la normalisation dans ce domaine.

La voie initiée par Schultz s'est enrichie d'autres études depuis. Les courbes qui en résultent restent très similaires à celle de 1978 (cf. figure 18) [SCH 78] [MIE 78] [FIN 94]. Les équations proposées par Miedema et Finegold et al. sont les suivantes :

$$\text{- Miedema : \%HA} = 0.03 (\text{Ldn} - 42) + 0.0353 (\text{Ldn})^2$$

$$\text{- Finegold et al : \%HA} = 1.046433\text{E}^{-5} (\text{Ldn})^{6.66629}$$

Fidell et al. ont, pour leur part, compilé 15 études supplémentaires (soit 26 avec celles compilées par Schultz) afin de mettre à jour la relation exposition/gêne exprimée [FID 91]. Des approches de même nature sont développées pour d'autres effets spécifiques du bruit sur l'homme, tel que la perturbation du sommeil, mais dans l'ensemble, les observations et les indicateurs acoustiques sont encore très peu corrélés [BER 98].

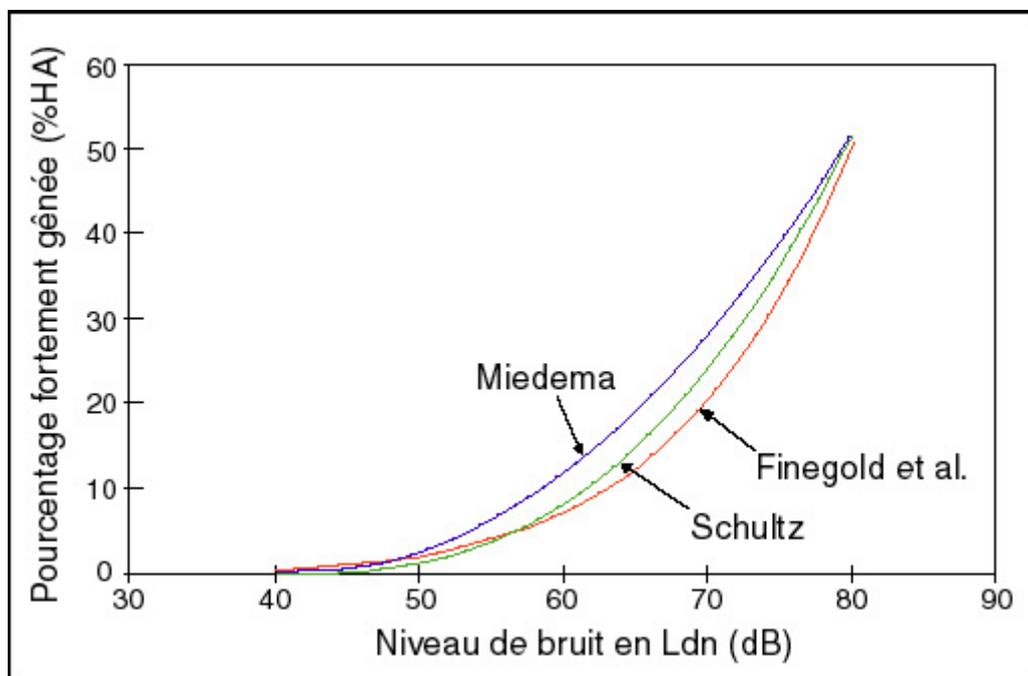


Figure 18 - Pourcentage de population fortement gênée en fonction du niveau d'exposition en Ldn selon les fonctions de Schultz, Finegold et al. et Miedema [ISO 99]

L'exploitation de ce type de relation comporte bien entendu des limites [ISO 99] :

- ce type d'équation n'est applicable que pour des niveaux d'exposition sonore moyen pour des temps longs de l'ordre de l'année. Elles ne sont pas utilisables pour des moments anormalement bruyants, comme les heures de pointes en zone urbaine.
- elle est conçue pour une estimation de la gêne dans le cas de situations existantes. Dans une situation d'exposition nouvelle, la population peut réagir de façon inattendue.
- la relation n'est applicable que dans des situations urbaines et périurbaines. Dans une zone rurale, l'aspiration au silence fausse largement l'expression de la gêne.

L'objectif de départ de ces fonctions était avant tout de tester la validité d'un indice acoustique, en démontrant la valeur de sa prédiction de la gêne exprimée. Il est maintenant imaginable d'en avoir un usage inverse, pour estimer le niveau de gêne vécue par une population donnée [AUB 92/2]. C'est la démarche que propose de développer le Conseil de la Santé Néerlandais par la mise en place de deux métriques d'impact du bruit sur la population. Un premier indicateur doit mesurer le niveau général de gêne lié à l'exposition sonore de long

terme<sup>22</sup>. Il pourrait utiliser une fonction similaire à celles présentées précédemment. Le deuxième indicateur proposé, traite de l'impact du bruit nocturne en associant un niveau de perturbation du sommeil avec un niveau d'exposition sonore nocturne de long terme [HEA 97]. Ces initiatives montrent bien que la volonté politique rattrape ici les travaux entrepris en recherche dans le domaine. En effet, comme l'a écrit B. Berglund, ce type de relation entre l'exposition sonore et les effets sur le sommeil ne sont pas encore exploitables en l'état [BER 98]. De façon plus générale, R. Guski émet quelques réserves sur l'usage d'une telle relation gêne/exposition pour prévoir l'impact du bruit dans une situation future [GUS 99]. Tout d'abord, il est très difficile de prévoir quelle sera l'opinion de la population vis à vis d'une modification de son exposition sonore. On sait en outre qu'une rapide baisse de l'exposition de moins de 6 dB(A) n'a pas d'effet significatif sur le nombre de résidents fortement gênés. A l'inverse, une augmentation de quelques décibels de l'exposition a un effet sensible. Enfin, la perspective d'effets négatifs sans réalité physique peut accroître, elle aussi, l'effet du bruit sur la population.

Pour finir, on peut dire que l'utilisation future de relations « effet/dose » est largement dépendante des progrès de la recherche sur les paramètres, acoustiques ou autres, qui peuvent l'influencer. R. Guski cite certains facteurs aujourd'hui mal évalués mais dont l'analyse pourrait contribuer à l'évaluation de la gêne. Il s'agit du rôle de différentes sources de bruit, des événements sonores émergents, des périodes de calme, de l'histoire sonore d'un lieu, de l'attente du bruit par la population, des interférences sonores diurnes et nocturne avec les activités [GUS 00].

La mise en relation de l'exposition des populations au bruit avec divers paramètres économiques et sociaux a mis en lumière une autre dimension des impacts du bruit. On observe ainsi une inégalité sociale évidente en terme d'impacts lié au bruit. Les ménages à revenus modestes seraient, proportionnellement, quatre fois plus exposés au bruit que les ménages aisés [LAM 91].

---

<sup>22</sup> pour laquelle des ajustements tenant compte de l'impulsivité sont prévus

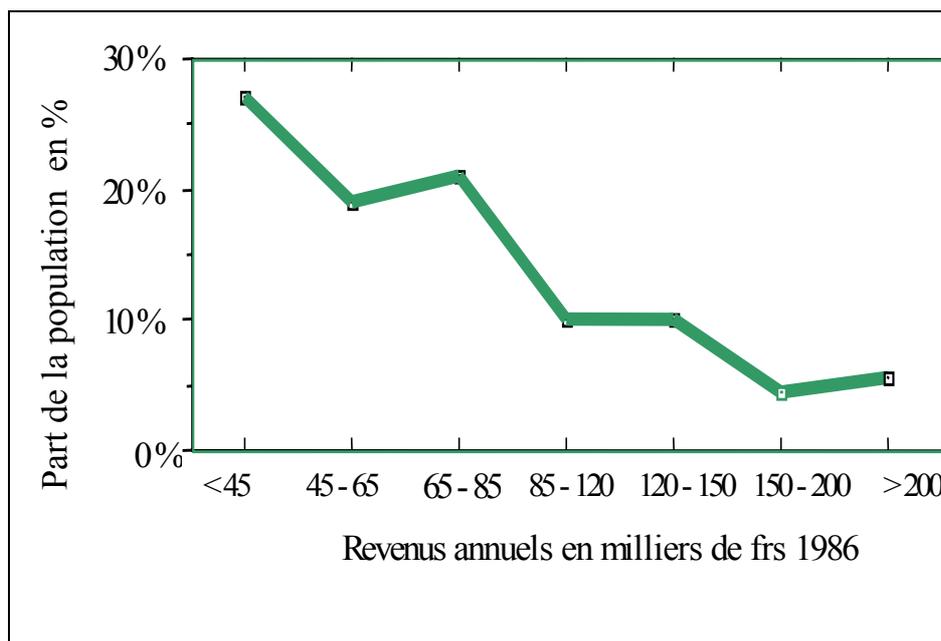


Figure 19 - Exposition au bruit supérieur ou égale à 65 dB(A) selon le niveau de revenu, en % de la population française [SER 95]

« La plupart du temps, les personnes qui vivent dans des quartiers bruyants sont celles qui, faute de revenus suffisants ou parce qu'elles ont fait l'objet de discrimination lors de l'attribution des logements, n'avaient aucune autre possibilité. Ces groupes sont donc également les «garants» de la location d'un genre de logements peu appréciés et exposés au bruit. Les groupes sociaux qui vivent dans ces quartiers bruyants, appartiennent souvent aux catégories suivantes : ménages de retraités ou personnes âgées à faible revenu, ménages d'étrangers, familles monoparentales. » [LAMU 98].

L'étude des impacts macroscopiques du bruit au niveau de la collectivité participe donc à l'évaluation plus globale des risques liés au bruit dans nos sociétés. Avant d'aborder les moyens de lutte contre le bruit aujourd'hui en vigueur, nous allons présenter les paramètres qui interviennent dans la gestion politique de ces risques d'impact.

#### 1.2.2.4. Le difficile compromis politique

De façon générale, on a aujourd'hui une assez bonne connaissance des effets potentiels de l'exposition sonore sur l'homme. Les travaux de l'acoustique appliquée ont permis de définir des **seuils d'exposition** au-delà desquels le bruit peut avoir des conséquences en terme sanitaire (perte d'audition, troubles cardio-vasculaires, ...) [BER 00]. Pour l'évaluation des impacts sur la santé au sens de l'Organisation Mondiale de la Santé<sup>23</sup>, le problème est plus complexe. On a vu que les paramètres explicatifs de la gêne et des perturbations du sommeil étaient encore mal connus. Les décisions politiques pour la lutte contre le bruit sont donc parfois engagées sans que la connaissance en terme de « dose effet » ne soit établie avec certitude. De nombreux travaux de recherche doivent encore être entrepris, afin d'intégrer de

<sup>23</sup> cf. point 1.1.

nouveaux facteurs (acoustiques ou non) dans l'évaluation de ces relations « dose effet ». A l'image de la démarche hollandaise présentée plus haut [HEA 97], les politiques sont amenés à appliquer un **principe de précaution** lorsqu'ils prennent une décision face à un risque hypothétique comme s'il était prouvé (cf. figure 20.) [ASCH 98].

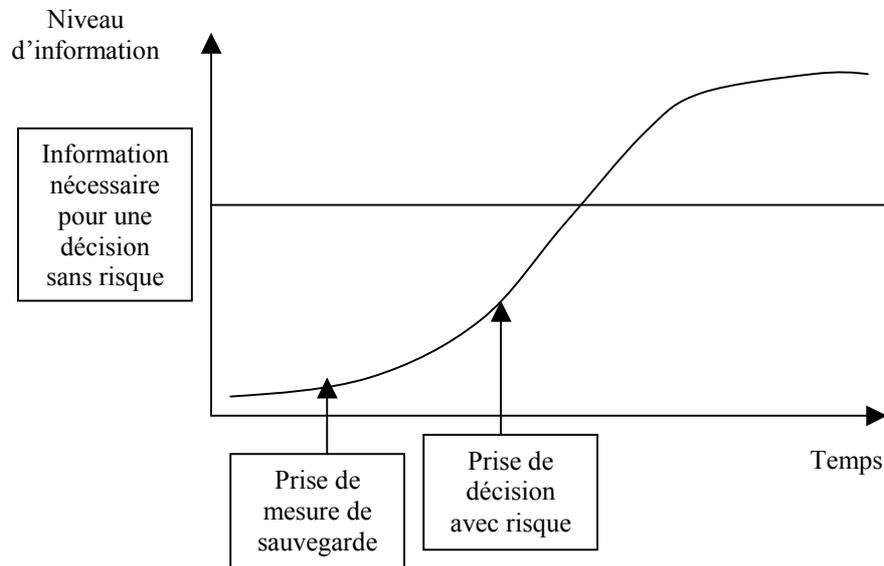


Figure 20 - Le risque habituel dans la prise de décision [ASCH 98]

Du point de vue politique, La **demande sociale** pour de meilleures conditions de vie face au bruit est liée à une tendance générale de recherche de bien-être. C'est le régime démocratique qui a donné naissance à de telles aspirations. De Tocqueville avait compris que *"l'opposition constante qui règne entre les instincts que fait naître l'égalité et les moyens qu'elle fournit pour les satisfaire tourmente et fatigue les âmes"* [DET 81]. *"La démocratie favorise le goût des jouissances matérielles. Ce goût, s'il devient excessif, dispose bientôt les hommes à croire que tout n'est que matière; et le matérialisme, à son tour, achève de les entraîner avec une ardeur insensée vers ces mêmes jouissances matérielles. Tel est le cercle dans lequel les nations démocratiques sont poussées. Il est bon qu'elles voient le péril et se retiennent"* [DET 81]. Ce « péril » peut s'exprimer par la négligence de l'existence des autres aspirations humaines, de l'exercice de la liberté politique et de "l'intérêt désintéressé" pour les affaires publiques et les destinées du monde [FER 97]. Comme pour les autres problèmes qui affectent aujourd'hui le bien être de la population, le politique se doit donc de définir une ligne de conduite face aux impacts potentiels du bruit sur la société ainsi qu'un arbitrage pour traiter des enjeux du bien-être à l'échelle collective [BAI 78] [THE 87].

Bien entendu, la **réalité économique** est un paramètre qui intervient aussi très largement dans le compromis politique. L'analyse coût-avantage implique une estimation des impacts positifs ou négatifs d'un projet de décision et permet de les quantifier économiquement [ASC 98]. Dans le cas des transports terrestres, les moyens mis en œuvre contre le bruit, comme la pression fiscale et la définition de seuils d'exposition acceptable, ont naturellement des conséquences économiques. Dans nos sociétés, où le transport est vital pour l'économie, la solution la plus efficace en terme de bruit ne doit pas peser de façon excessive sur l'économie.

A l'inverse on sait que des marchés prometteurs peuvent émerger du développement de la lutte contre le bruit [GUA 98].

La figure 21 résume les paramètres qui peuvent intervenir dans le compromis pour la gestion politique de la lutte contre le bruit.

Du fait de la nouvelle demande sociale et du poids de l'économie, de multiples acteurs réclament aujourd'hui une plus grande transparence des processus de décision politique. De nouveaux modes de transfert de l'information traitant du problème du bruit doivent donc être imaginés pour y répondre.

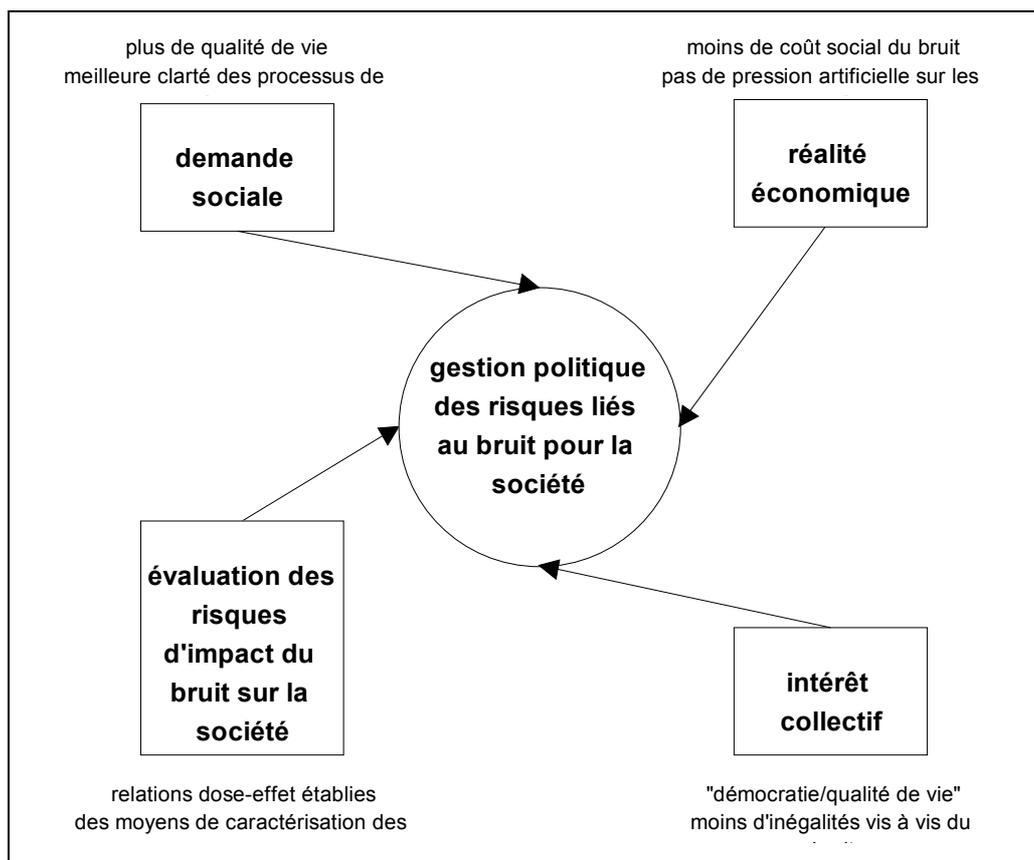


Figure 21 - Les paramètres de la gestion politique du risque d'impact du bruit sur la société

Dans la réalité de la lutte contre le bruit en France et en Europe, on ne dispose pas de l'ensemble de ces éléments de décision simultanément [CE 96]. Même si les moyens ont sensiblement évolué en quelques décennies, les mesures actuelles sont loin d'exploiter l'ensemble des stratégies de lutte disponibles. Nous allons maintenant évoquer les moyens actuels de lutte contre le bruit et ceux qui sont effectivement utilisés, avant d'engager une réflexion sur les perspectives d'avenir et l'opportunité d'une approche spatiale dans ce domaine.

### 1.2.3. Les moyens de lutte contre le bruit des transports terrestres

La lutte contre le bruit peut opérer sur trois fronts différents [LER 99] :

- réduire le bruit à la source
- limiter la transmission du bruit
- réduire le bruit là où il est perçu

La figure 22 reprend ce mode de présentation des moyens de lutte contre le bruit.

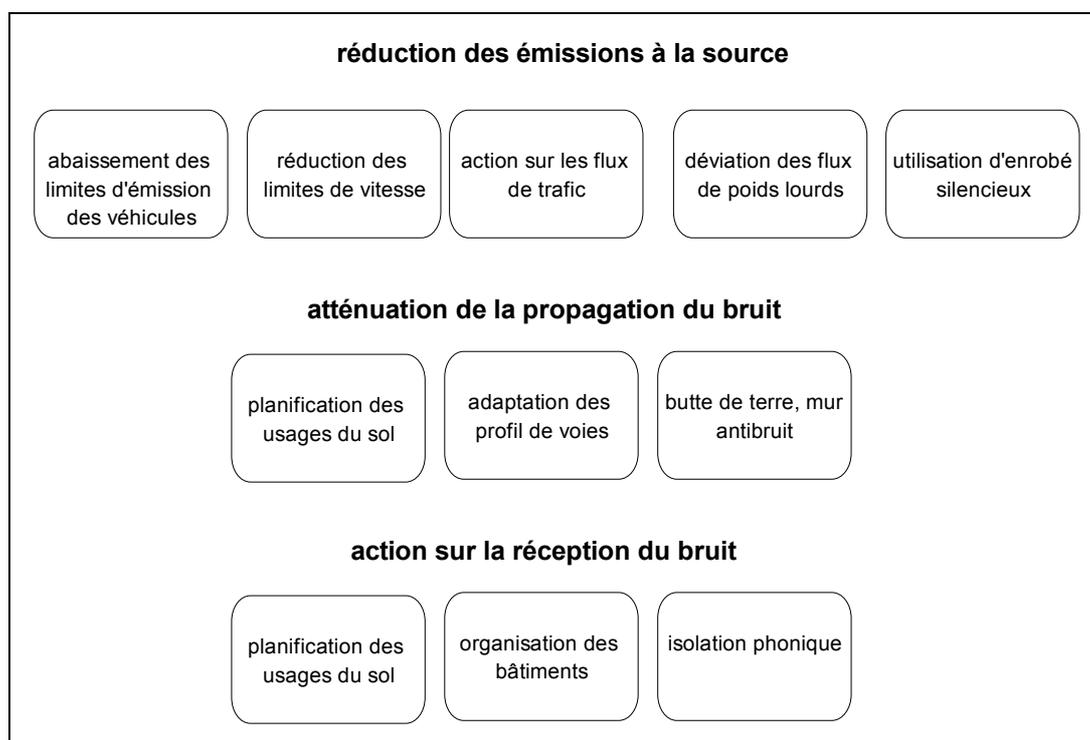


Figure 22 - Les mesures basiques pour réduire la pollution sonore à proximité des routes - d'après [DEL 93/2]

O. Leroy se propose de détailler les mesures concrètes d'applications de ces concepts politiques généraux. Il distingue ainsi huit formes d'action politique [LER 99] :

- des normes d'émission sous forme de niveaux sonores, plafond d'émission pour les sources potentielles de bruit.
- des limites d'impact fondées sur des critères de qualité de bruit ou des valeurs cibles pour l'exposition au bruit.
- des mesures de planification, tel que les plans d'aménagement du territoire, gestion de l'usage du sol, regroupement des activités bruyantes qui sont des moyens d'applications concrètes des limites d'exposition

- les actions sur les infrastructures à l'origine de la pollution sont de deux ordres, l'action sur la transmission (mur antibruit, tunnel, tranchées, isolation de bâtiment) et la réduction à la source (conception de revêtement routier absorbant, réflexion sur le tracé des lignes de chemin de fer)
- les instruments économiques, taxes et autres droits sur les émissions sonores, incitations financières à la réduction des nuisances phoniques, mise au point de produit silencieux, compensations versées aux victimes du bruit
- les procédures opérationnelles. Les mesures les plus communes sont les limitations de vitesse sur les voies ferrées et les routes sensibles, les procédures particulières d'atterrissage et de décollage, les itinéraires préférentiels imposés aux avions ainsi que les interdictions de camions dans les centre ville au-delà d'une certaine heure.
- la recherche développement. La recherche portant sur les effets du bruit, les méthodes de réduction du bruit et les technologies silencieuses ainsi que la mise au point de produits spéciaux silencieux, contribuent souvent à faire progresser la technologie des moyens de réduction du bruit. Les projets pilotes peuvent utilement servir à démontrer les avantages et les moyens de réduction de l'exposition au bruit.
- l'information et la formation peuvent contribuer à faire accepter les mesures prises pour lutter contre le bruit, à les faire respecter et à changer les comportements. Elles peuvent aussi sensibiliser les décideurs et le grand public aux problèmes du bruit et les faire agir pour y remédier.

Il existe trois échelles spatiales marquées où il est possible d'agir contre le bruit : l'échelle locale, l'échelle nationale et enfin le groupement d'Etats.

A l'échelle locale, le rôle des pouvoirs publics est de veiller à l'application des textes de lois en matière d'émission sonore et d'isolation des bâtiments en situation d'exposition anormale. Leur rôle peut être étendu aux mesures locales de gestion du trafic, par des micros aménagements destinés à réduire l'espace attribué au trafic routier, des arrêtés limitant l'accès aux poids lourds en agglomération, des mesures de sensibilisation du public aux enjeux du bruit en ville, des réflexions transversales sur l'occupation du territoire et l'organisation des déplacements qui en découlent...

A l'échelle nationale, l'Etat intervient en amont et en aval de la lutte à l'échelle locale. En amont il joue un rôle d'impulsion et de participation à l'action normative (lois, règlements donnant lieu à des arrêtés préfectoraux), d'aide à la connaissance et à la prévention du phénomène et d'organisation du soutien, y compris en terme d'information et de formation. En aval, l'Etat doit assurer le suivi de l'action municipale, notamment en matière de constatation et de répression. Il définit donc les limites acceptables d'exposition au bruit, les droits des personnes exposées et les devoirs des nouveaux producteurs d'émissions sonores inacceptables. Il est de même l'instigateur des dispositifs institutionnels tel que la mission bruit et le centre d'information et de documentation sur le bruit en France. Ces organismes sont chargés de la sensibilisation et de la coordination des actions de lutte contre le bruit, ils doivent apporter une certaine cohérence dans un domaine où les compétences étaient autrefois partagées par plus de 10 ministères différents [GUA 98].

A l'échelle d'un groupement d'Etats comme l'Union Européenne, une réflexion macroscopique peut être engagée sur les méthodes de lutte employées et leur efficacité. L'objectif est de s'appuyer sur les expériences de Etats les plus en pointe dans le domaine, afin de définir des stratégies de long terme pour l'ensemble des pays membres.

En terme de stratégie générale de lutte contre le bruit, deux approches extrêmes peuvent être identifiées. La première consiste à aligner les interventions au coup par coup, selon les urgences et sans véritable logique d'ensemble. La seconde est une approche globale qui tente d'organiser les moyens de la lutte contre le bruit selon les enjeux de santé publique et de qualité de l'environnement. En réalité, les politiques menées contre le bruit ne respectent pas une stratégie unique et si clairement marquée. La tendance actuelle montre malgré tout une évolution favorable à l'approche globale. L'exemple des orientations politiques de la France en la matière, est bien représentatif de cette évolution.

### ***1.2.3.1. La lutte contre le bruit en France***

Entre 1976 et 1978, un ensemble de textes est déposé afin de réglementer le bruit des transports terrestres. Ils touchent à plusieurs aspects du problème :

- établissement d'une étude d'impact concernant les voies nouvelles à construire près de bâtiments existant ou pour les bâtiments à construire à proximité de voies existantes.
- définition d'un recensement général de toutes les voies bruyantes ou pouvant le devenir, dans le milieu urbain (alors intégré au plan d'occupation des sols) ou en milieu périurbain (il fait alors l'objet d'un arrêté préfectoral) ainsi qu'un classement à partir de quelques paramètres physiques tels leur géométrie, leur fonction, ou leur trafic
- définition de méthodes d'examen rapide des conditions d'exposition des bâtiments à construire
- spécifications de l'isolement acoustique de façade au constructeur
- prescriptions techniques connexes à l'amélioration acoustique : ventilation, confort thermique d'été, incendie, sécurité, ... [BAR 83]

Malheureusement les opérations de recensement n'ont pas été menées jusqu'à leur terme et la localisation des points noirs (défini ici par une exposition supérieure à 75 dB(A)) a pris du retard.

### ***1.2.3.2. La loi Royal de 1992***

Mis en chantier après plusieurs projets avortés, en 1990, le projet de loi antibruit qui aboutit en 1992<sup>24</sup> est un cadre juridique unificateur et simplificateur qui reprend et renforce plusieurs types de disposition. Le titre 1 de cette loi traite de la prévention des nuisances sonores. Il concerne la limitation de l'émission du bruit et la réduction à la source. Les titres II et III traitent de l'éloignement réciproque des habitations et des infrastructures de transports terrestres et aériens. D'un côté, on précise les limitations du droit de construire au voisinage des infrastructures, de l'autre, on protège ou on aide les riverains des grandes infrastructures nouvelles à se protéger du bruit. La loi recrée en particulier, la redevance "bruit des avions" et le fond d'aide aux riverains des aéroports que le Conseil d'Etat avait annulés en 1987 par défaut de légalité [CON 93]. Comme l'écrit G. Conseil dans sa présentation de la loi en 1993, la portée réelle de ces dispositions législatives dépend beaucoup des décrets d'application qui en découlent. « Dans un domaine surtout fait d'art d'exécution, la logique de la loi peut être aussi bien durcie qu'érodée ». Nous allons détailler les mesures d'application définies dans le cadre de cette loi pour les thématiques des transports terrestres et de la protection des personnes exposées.

---

<sup>24</sup> loi du 31 décembre 1992, n° 92-1444

#### *1.2.3.2.1. Un droit général à la protection contre le bruit de transports terrestres :*

Le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 précise, pour l'ensemble des modes de transports, la définition d'une modification ou transformation significative et le principe d'indicateurs diurnes et nocturnes. La réalisation ou la modification d'infrastructure routière doit garantir aux riverains une exposition au bruit ne dépassant pas 60 décibels le jour et 55 la nuit, mesurée en façade de bâtiment. Le principe d'antériorité spécifie que lors de la construction d'une route, il appartient au maître d'ouvrage de la voirie de protéger l'ensemble des bâtiments construits avant que la voie n'existe. Lors de la construction de bâtiments nouveaux à proximité de voies existantes, c'est par contre au constructeur du bâtiment de prendre toutes les dispositions nécessaires pour que ses futures occupants ne subissent pas de nuisances excessives du fait du bruit de l'infrastructure [LAMU 98]. Ces principes vont de paire avec l'application de règles d'urbanisme et de construction qui s'applique en fonction d'un classement sonore des voies bruyantes.

#### *1.2.3.2.2. Le classement des infrastructures de transports terrestres.*

En 1996, des améliorations à la loi de 1992 sont arrêtées selon les principes suivants : Il est prévu un classement des voies bruyantes en cinq catégories à l'échelle nationale. Suivant le niveau de classement une zone d'impact potentiel est définie (entre 10 et 300 mètres autour de la voie).

Tout projet de construction situé dans un plan d'occupation des sols (POS) affecté par le bruit doit présenter un isolement acoustique minimal apte à assurer la protection des occupants des locaux (il s'agit d'une nouvelle règle de construction). C'est le préfet qui est chargé de définir le classement sonore des infrastructures et ces dispositions sont reportées dans les documents annexes des POS. Il est prévu, dans ce décret, qu'une commune peut proposer un projet de classement. Sont classés :

- Les routes ayant un trafic moyen journalier annuel supérieur à 5000 véhicules
- Les lignes ferroviaires interurbaines avec plus de 50 trains par jour.
- Les lignes ferroviaires urbaines avec plus de 100 trains par jour.
- Les lignes de transports en commun en site propre d'un trafic supérieur à 100 autobus ou tramways par jour.

Le classement des infrastructures est basé uniquement sur le niveau sonore d'émission des voies de circulation. Les indicateurs utilisés pour définir le niveau sonore sont le L(Aeq, 6h-22h) pour le jour et le L(Aeq, 22h-6h) pour la nuit. Le point exposé de référence est un point conventionnel, où l'on suppose que le sol est plan et acoustiquement réfléchissant, que la voie est au niveau du sol et enfin qu'il n'y a pas d'obstacle entre la voie et le point de référence. D'après la norme française NFS 31-130, ce point doit se situer à deux mètres par rapport à la façade d'une construction et à cinq mètres de hauteur par rapport au sol.

Le CERTU<sup>25</sup> a développé un outil nommé CartoBruit pour ce classement des infrastructures de transports terrestres. Il gère toutes les données nécessaires au classement et effectue ce dernier par rapport à des niveaux de référence, en tenant compte de la différence entre la période diurne et la période nocturne. Il en résulte le tableau suivant :

---

<sup>25</sup> Centre d'Etudes sur les réseaux, les Transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Niveau sonore de référence en L(Aeq, 6h-22h)* en dB(A)	Niveau sonore de référence en L(Aeq, 22h-6h) en dB(A)	Catégories de l'infrastructure**	Largeur maximale des secteurs affectés par le bruit de part et d'autre de l'infrastructure***
L > 81	L > 76	1	d = 300 m
76 < L <= 81	71 < L <= 76	2	d = 250 m
70 < L <= 76	65 < L <= 71	3	d = 100 m
65 < L <= 70	60 < L <= 65	4	d = 30 m
60 < L <= 65	55 < L <= 60	5	d = 10 m

\* L(Aeq, 6h-22h) : niveau de pression acoustique continu équivalent, pondéré A, pendant la période de 6h à 22h

\*\* classement suivant le niveau L(Aeq, t) jour ou nuit le plus contraignant

\*\*\* cette largeur est mesurée à partir du bord extérieur de la voie la plus proche (bord extérieur de la chaussée ou bord du rail extérieur)

Tableau 11 - Classement des infrastructures de transports terrestres et des largeurs maximales des secteurs affectés par le bruit<sup>26</sup>

Avec ce dispositif réglementaire, la législation française se rapproche de celles d'autres pays européens comme l'Allemagne, la Suisse ou les Pays Bas.

### 1.2.3.3. Les missions gouvernementales

Depuis 1981, cinq missions de surveillance des « points noirs » de bruit se sont succédées. Selon la première définition proposée « un point noir est un ensemble géographiquement bien cerné dont la surface n'excède pas un à quelques kilomètres carrés groupant :

- des sources sonores dues à la circulation routière ou ferroviaire,
- des bâtiments à usage d'habitation, de soins, de repos, d'étude ou de bureaux, soumis à des niveaux sonores en façade excèdent 70 dB(A) en L(Aeq 8h - 20h),
- des espaces extérieurs attenants aux habitations soumis à des niveaux sonores conforme à ceux indiqués précités ».

« Sont exclus les centres villes, où la gêne acoustique serait à aborder sur d'autres bases avec d'autres critères, dans les agglomérations équipées de rocade de protection du centre qui acheminent réellement le trafic de transit. Pour celles, par contre, qui sont traversées par des autoroutes ou des voies de transit, il pourra y avoir des Points Noirs même au centre urbain proprement dit » [LAMU 98].

Conformément aux indications du second rapport (proposé par G. Batsch), le Conseil des ministres du 11 avril 1984 a décidé d'engager un programme de rattrapage des Points

<sup>26</sup> source : Direction départementale de l'équipement de la Savoie

Noirs pour la durée du IXème Plan. L'objectif était de protéger 40 000 logements sociaux identifiés par le recensement de 1983. Le 3ème rapport (1989) signalait les échecs des actions organisées autour de l'aide au logement. Il proposait notamment :

- le maintien de la priorité de la résorption des Points Noirs concernant les logements sociaux avec une participation complémentaire de 15% du Ministère de l'Environnement ,
- l'accroissement des crédits à 200 MF pour le Ministère du Logement et 400 MF pour le Ministère de l'Équipement ainsi que la reconduction du groupe de travail interministériel.

Le 4ème rapport a été présenté par B. Serrou en 1995. Il comportait une actualisation du recensement et estimait que le traitement des Points Noirs à plus de 70 dB(A) concernait 180 000 logements ; il ne s'agissait là que des cas les plus critiques. Ses objectifs exigeaient pour le rattrapage des Points Noirs 9 milliards étalés sur une dizaine d'années [LAM 98].

Dans le dernier rapport sur le sujet, publié en 1998, C. Lamure propose d'étendre l'étude des expositions extrêmes aux **zones de bruit critique**, dans le but de dépasser le cadre de la définition de points noirs et d'intégrer les centres urbains. Cette approche enrichie de l'analyse du bruit dans le territoire suppose une capacité de calcul de la propagation acoustique en espace extérieur afin d'évaluer les niveaux d'immission. L'immission est définie comme « la manifestation du phénomène sonore à l'endroit où il produit son effet (par exemple à la fenêtre d'une chambre à coucher) »<sup>27</sup>. Selon C. Lamure, le seuil d'exposition limite de jour constituant un point noir doit être fixé à 60 dB(A), soit 10 dB(A) de moins que lors de la première évaluation des points noirs en 1981.

En réalité l'application de cette démarche n'est pas encore généralisée à l'ensemble du territoire, du fait du manque de données disponibles et de l'absence d'outil dédié [QUE 00]. L'autre crainte exprimée dans ce rapport, est de voir se développer les « zones grises » (logements exposés de 55 à 65 dB(A)) où résideraient quelques 14 millions de personnes aujourd'hui en France.

#### ***1.2.3.4. Les chantiers en cours en France et en Europe***

La loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie impose aux agglomérations françaises de plus de 100 000 habitants l'élaboration d'un plan de déplacements urbains (PDU). « *Le plan de déplacements urbains définit les principes de l'organisation des transports de personnes et de marchandises, de la circulation et du stationnement, dans le périmètre des transports urbains :*

- *il vise à assurer un équilibre durable entre les besoins en matière de mobilité et de facilité d'accès, d'une part, et la protection de l'environnement et de la santé, d'autre part.*
- *il a comme objectif un usage coordonné de tous les modes de déplacements, notamment par une affectation appropriée de la voirie.*
- *il précise les mesures d'aménagement et d'exploitation à mettre en œuvre. »*<sup>28</sup>

Une telle approche doit favoriser une approche plus transversale des méthodes de lutte contre le bruit. A l'inverse, les initiatives politiques françaises en matière de lutte contre le bruit semblent aujourd'hui freinées par l'émergence des initiatives européennes dans le domaine de l'organisation des moyens de la lutte. Comme le droit européen est supérieur au

---

<sup>27</sup> Canton de Genève département de l'aménagement, de l'équipement et du logement : <http://www.geneve.ch/dael/dtpe-ge/bruit/projet.htm>

<sup>28</sup> référence Internet : <http://www.pduif.org>

droit français, l'application d'une future législation européenne peut remettre en question certains investissements français dans le domaine.

Le livre vert publié en 1996 par la Commission Européenne sur la politique future de lutte contre le bruit vise à stimuler le débat public sur ce problème. Il dresse un état du bruit, passe en revue les mesures prises à ce jour au niveau de la Communauté des Etats membres, trace le cadre des mesures à prendre pour améliorer la qualité et la comparabilité des informations et esquisse les moyens futurs de réduction des différents types de bruit [CE96]. Il prône ainsi :

- un partage plus efficace des responsabilités, passant par une plus grande cohérence des multiples actions menées sur les différentes sources de bruit à différentes échelles, ainsi qu'un développement des échanges de compétences.
- une révision des réductions du bruit à la source par l'utilisation accrue des armes économiques (exemple d'un système de modulation des droits d'usage de la voie en fonction du bruit produit).
- une observation de l'état de l'environnement sonore plus systématique, car elle est aujourd'hui « *très insuffisante en comparaison des réseaux de mesures mis en place et des données disponibles concernant certaines composantes de l'environnement affectant directement l'homme, tels que l'eau et l'air* ». [OCDE 91]

En conclusion du livre vert, la Commission admet que l'action à mener en matière de méthodes de mesures et d'échange d'information représente une étape importante dans la mise en place d'un cadre général d'action. Mais il reste à trouver la meilleure combinaison possible des instruments à appliquer aux différents modes de transport [CE 96]

La publication d'un mémorandum a suivi le livre vert en 1999. Il pose les bases du rôle de l'Union Européenne (UE) dans la mise en œuvre d'une future politique de lutte contre le bruit, en respectant le principe de subsidiarité :

- harmonisation des indicateurs de bruit et des méthodes d'évaluation
- cartographie du bruit et plan d'action pour les agglomérations, les routes principales, les voies ferrées principales et les aéroports principaux, basée sur des indicateurs et des méthodes d'évaluation communs.
- définition d'objectifs en matière d'indicateurs de bruit par Etat membre.
- information auprès du public par la cartographie du bruit et les plans d'action.
- création d'une base de données européenne sur les cartographies du bruit et les plans d'action ainsi que des rapports périodiques à ce sujet.
- attribution de moyens pour mettre en œuvre les objectifs de l'UE en terme de réduction du nombre de citoyens affectés par le bruit, combiné à des stratégies et des mesures pour atteindre ces objectifs.
- attribution de moyens pour le développement d'une future stratégie de protection des espaces relativement calmes.

Afin de développer la réflexion pour une nouvelle politique contre le bruit, l'UE a créé des groupes de travail technique chargés de thèmes de réflexion particuliers : Les indicateurs, les relations « dose effet », la modélisation et les mesures, les cartographies du bruit, les mesures de limitations du bruit, le cas particulier du rail, les aspects économiques et enfin la recherche. Nous reviendrons dans le point 1.2.4., sur le travail du groupe en charge de la cartographie du bruit.

#### ***1.2.3.5. Les perspectives de lutte contre le bruit***

La mise en place de métriques standardisées à l'échelle de l'Europe va permettre de faire état de l'étendue réelle du problème du bruit pour l'ensemble des pays européens. A terme, un

travail important de comparaison des méthodes de lutte employées et de leurs résultats pourra ainsi être entrepris. Du point de vue technique, on peut espérer des progrès de plusieurs ordres.

En matière d'émission sonore, si tous les véhicules d'aujourd'hui pouvaient immédiatement perdre 20 dB(A) d'émission, le problème du bruit lié au trafic serait résolu [KIH 99]. Un tel progrès n'étant pas imaginable aujourd'hui. Le plus grand espoir actuel, pour une réduction des émissions du trafic routier, porte sur le couple pneumatique chaussée. Il pourrait faire perdre de 5 à 7 dB(A) au niveau des émissions [KIH 99]. On a vu par le passé, que les seuls progrès techniques ne permettent pas de contenir les émissions sonores si rien n'est fait par ailleurs pour maîtriser la croissance des trafics. Il est donc illusoire de croire en la seule voie de la technique pour lutter contre le bruit à l'émission. D'autres actions sur les émissions sont possibles à long terme. Elles touchent à la nature du trafic, sa composition, sa vitesse de même que sa répartition dans le temps et l'espace (cf. tableau 12). Des réflexions de cette nature supposent une bonne connaissance préalable du trafic. La création de plan de déplacement urbain doit combler les lacunes observées en la matière en France.

<b>Moyens pour faciliter la circulation sans augmenter le bruit</b> <b>Voirie primaire</b>	<b>Moyens pour diminuer la circulation ou la vitesse</b> <b>Voie secondaire</b>
Ondes vertes Feu donnant la priorité Feux peu nombreux Voies larges	Feux dissuasifs Priorités aux piétons et aux bicyclettes Voies rétrécies, effet de bord Bornes Stationnement de véhicules sur les cotés ou en épi

Tableau 12 - Techniques de régulation de la circulation<sup>29</sup>

Au niveau de la propagation, la pratique qui consiste à établir la plus grande distance entre la source et le récepteur peut devenir contre productive en zone urbaine dense. Les conséquences peuvent être de plusieurs ordres. D'une part, la distance va engendrer de plus grands déplacements de la part des habitants, et donc de nouvelles émissions. D'autre part, ce principe tend à accentuer la diffusion des zones résidentielles dans le territoire ce qui est très peu favorable au développement des transports en commun et peut entraîner une flambée des prix du foncier. Les techniques de protection antibruit peuvent encore être améliorées, surtout si elles sont intégrées au départ de la conception de la source à masquer et des récepteurs à protéger. La morphologie urbaine des projets d'urbanisme actuels doit quant à elle éviter à tout prix les erreurs commises par le passé.

Les méthodes de protection des récepteurs sont aujourd'hui très efficaces. Il est techniquement possible d'isoler une maison de 30 dB(A) contre l'exposition sonore extérieure. Mais ces usages restent très coûteux. De plus, il n'est pas certain que le problème du bruit dans le territoire soit vraiment résolu, quand chaque habitant disposera d'une maison

<sup>29</sup> source : CSTB dans [GUA 98]

totale­ment insonorisée et isolée physiquement de son environnement extérieur... Les réflexions sur la disposition des éléments particulière­ment vulnérables au bruit, comme les infrastructures de santé ou les écoles, doivent faire l'objet d'une réflexion sur le long terme.

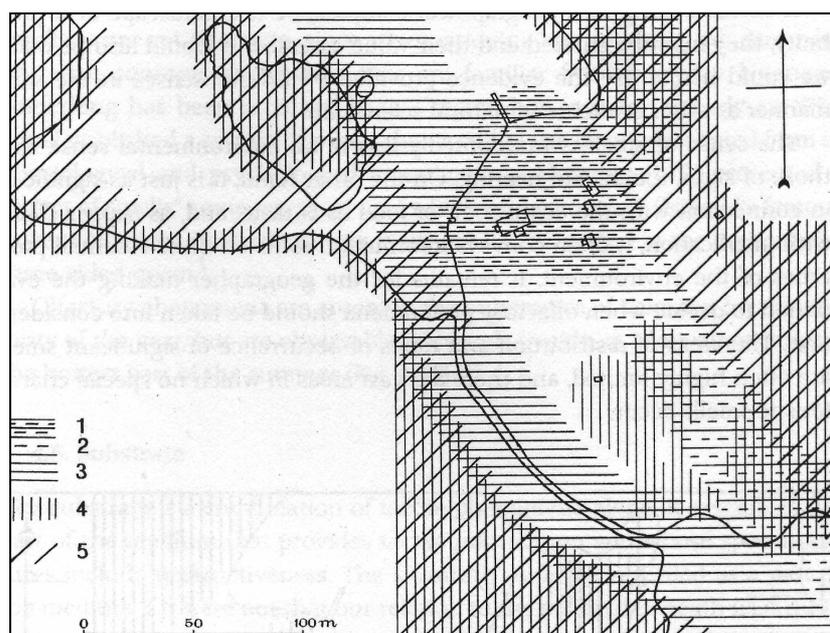
Les approches transversales, qui tentent d'optimiser et de coordonner l'usage des moyens de lutte "classiques" sont encore très peu valorisées. Les autorités manquent souvent d'expérience pour les mettre en œuvre [IRM 00]. Le phénomène de propagation acoustique en espace extérieur étant aujourd'hui bien compris, on dispose de moyens théoriques permettant d'adopter cette vision transversale de lutte contre le bruit dans le territoire. Le point suivant est consacré à un état de l'art de l'approche spatiale en acoustique environnementale. Son développement peut favoriser l'émergence de nouveaux moyens de lutte contre le bruit.

## 1.2.4. Introduction à l'approche spatiale dans l'analyse du bruit et des ses impacts

Dans le présent point, nous allons présenter les différents usages de l'approche spatiale en acoustique environnementale depuis le début du siècle, avant de détailler les réflexions actuelles en la matière.

### 1.2.4.1. De la carte d'exposition au bruit à la carte d'impact potentiel du bruit

Les tenants de l'approche qualitative de l'environnement sonore exploitent depuis longtemps la dimension spatiale du son. Dans le domaine de l'analyse du paysage, J. G. Granö a réalisé une cartographie des ambiances sonores dans les années 1920 (cf. carte 1). Ce traitement qualitatif de l'environnement sonore s'intègre dans une étude plus générale du paysage qui prend en compte l'ensemble des moyens de perception humain pour différencier les milieux [GRA 97].



Sons et bruit : 1 - produit par la population tout au long de l'été; 2 - produit par la population parfois durant l'été; 3 - produit par la population tout au long de l'année (mouvement de bateau, déplacement sur la glace); 4 - chants d'oiseau durant le printemps et l'été; 5 - son des cloches de vaches durant l'été.

Carte 1 - Les événements auditifs dans le milieu de Valosaari [GRA 97]

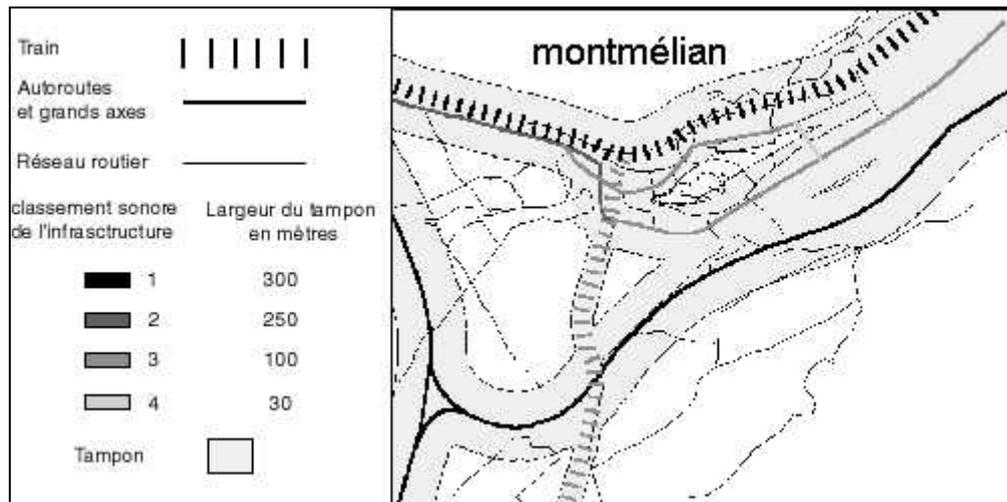
L'approche du paysage sonore fut ensuite reprise par Murray Schafer dont le travail fait encore référence aujourd'hui [MUR 79]

L'intégration de l'approche spatiale dans la gestion des impacts du bruit, s'est faite au rythme des progrès de la compréhension du phénomène acoustique. Les premières mesures du bruit en espace extérieur datent de 1926 en Allemagne. En 1929, la ville de New York s'équipe d'un véhicule spécialement outillé pour enregistrer sur disque de cire, le bruit de ses différentes artères. L'idée de représenter ces mesures par des cartes date de 1938 et est due à Kusters, pour le compte de la ville de Berlin. La réalisation des cartes de bruit est ensuite devenue une tradition dans les grandes villes universitaires du centre de l'Europe [QUE 99/2].

En France, l'introduction de la carte de bruit est récente. Après une tentative à Toulouse en 1964, c'est la ville de Blois en 1980 qui a été la première à disposer d'une carte de bruit couvrant l'ensemble de son territoire [QUE 99/2]. De nombreuses cartographies du bruit ont vu le jour depuis lors, mais leur suivi de long terme est rare. La portée de ces documents est donc restée limitée car ils ne permettent pas d'évaluer quantitativement l'efficacité des mesures de lutte contre le bruit. Dans un premier temps, la carte de bruit fut surtout utilisée comme outil de communication auprès du public. Pour cet usage particulier de la carte de bruit, aucune méthodologie ne s'est véritablement imposée. Chaque ville développant sa carte de bruit selon les échelles de description de son choix, sans moyen spécifique pour la gestion de l'information à long terme.

Les progrès réalisés dans la compréhension du phénomène de propagation acoustique depuis les années 70, ont permis de développer de nouvelles formes de description spatiale du bruit et d'estimer ses impacts. Le centre des maquettes du CSTB de Grenoble permet ainsi de prévoir les niveaux sonores à l'aide d'un modèle réduit à l'échelle 1/100ème, sur un site d'un kilomètre carré, dans toutes les configurations géométriques. Le coût très élevé d'une étude avec de tels moyens se justifie surtout pour des projets très localisés dans le temps et l'espace et pour des projets à fort enjeux.

La première carte d'impact du bruit véritablement démocratisée est apparue dans le cadre du classement sonore des voies bruyantes, prévu par la loi cadre du 31 décembre 1992. C'est en effet le premier recensement des impacts du bruit des transports terrestres à l'échelle de la France. Le niveau de classement d'une voie est calculé selon un modèle macroscopique de propagation du bruit en espace extérieur [CER 96]. Son approche spatiale reste rudimentaire puisque les conditions d'exposition sonore ne sont pas prises en compte et seule la morphologie des bâtiments bordant la voie à classer est intégrée dans l'estimation de la propagation. Il permet tout de même de disposer d'une information homogène sur l'ensemble du territoire. La carte 2 présente un exemple de rendu cartographique du classement sonore des voies pour le site test de Montmélian en Savoie.



Carte 2 - Exemple de carte de classement sonore des voies dans la Combe de Savoie (E. Quesseveur, Laboratoire SEIGAD, 2000)

L'apparition de modèles numériques de simulation de la propagation du bruit en espace extérieur date de la fin des années 70. Leur usage ne s'est pas encore généralisé. La disponibilité des données nécessaires aux calculs acoustiques (nature des trafics routiers, paramètres des voiries, morphologie urbaine, localisation des récepteurs, etc.) reste un obstacle important aujourd'hui.

A terme, la mise en place de cartographies du bruit et de ses impacts doit logiquement s'étendre grâce aux nouveaux outils de calcul disponibles et au développement régulier de bases de données géographiques multithématiques. En conséquence, on observe actuellement la multiplication d'initiatives pour le développement de l'approche spatiale du bruit et de ses impacts.

#### **1.2.4.2. Etat de l'art de l'approche spatiale du bruit et de ses impacts en acoustique environnementale**

Les usages possibles de l'approche spatiale pour l'analyse du bruit et de ses impacts sont de quatre ordres :

- description des paramètres de la genèse des impacts potentiels du bruit sur le territoire
- analyse et modélisation spatiale de la propagation du bruit en espace extérieur
- analyse des impacts potentiels du bruit par confrontation spatiale des distributions du bruit et de la vulnérabilité du territoire.
- analyse de scénarios prospectifs de genèse des impacts du bruit

Nous reviendrons en détail sur l'organisation des usages possibles de l'approche spatiale des impacts du bruit dans le point 2.1.2..

Actuellement, le développement de l'approche spatiale pour la lutte contre le bruit peut être envisagé selon trois points de vue : l'extension des cadres réglementaires actuels, les nouvelles initiatives politiques pour la rénovation des moyens de lutte contre le bruit et enfin, les projets des groupes de recherche pluridisciplinaire. Bien entendu notre état des lieux de l'utilisation de l'approche spatiale pour la lutte contre le bruit ne se prétend pas exhaustif. Le

but recherché est ici simplement d'entrevoir, au regard de quelques exemples, les perspectives futures de ce domaine d'étude.

#### *1.2.4.2.1. L'extension des cadres réglementaires existants :*

La loi Royale de 1992 a impliqué l'organisation systématique du classement sonore des voies à l'échelle nationale. La responsabilité de la gestion de cette information est du ressort des organisations déconcentrées de l'état (préfecture, direction départementale de l'équipement) pourtant les collectivités locales sont invitées à y participer afin de valoriser l'information qu'elles détiennent. De tels échanges d'information doivent favoriser à moyen terme l'émergence d'un savoir-faire de gestion de l'information spatiale d'impact du bruit sur le territoire.

Dans le point 1.2.3. on a vu que les initiatives de rattrapages des points noirs de bruit en France, tendent aussi à favoriser le développement de l'approche spatiale. Les notions d'immission et de zone de bruit critique nécessitent des paramètres spatiaux pour être évalué.

En France, la pratique de l'évaluation des impacts pour des projets routiers et ferroviaires se décompose en trois étapes successives, de précision croissante :

- **étude préliminaire** : dans une zone d'étude d'une largeur qui peut se compter en dizaines de kilomètres, identification et comparaison de "fuseau" de 1 km de largeur environ. Choix d'un de ces fuseaux
- **avant-projet sommaire** : à l'intérieur du fuseau retenu, recherche de variantes de tracé correspondant en fait à des "bandes" de 300 m (autoroute) ou 500 m (ligne TGV). Comparaison, et choix d'une bande qui sera soumise à enquête publique.
- après déclaration d'utilité publique du projet, et donc de la bande correspondante, le projet est défini à l'intérieur de cette bande dans le cadre de l'**avant projet** ("autoroutier" ou "détaillé") [MAR 94].

L'évaluation environnementale de l'étude d'impact présente ces trois niveaux de détail. L'approche spatiale est donc omniprésente dans cette procédure qui intègre évidemment la thématique du bruit. B. Martin émet tout de même des critiques, quant à la mise en pratique courante de cette évaluation. L'approche est en effet essentiellement qualitative, l'analyse globale par tronçon est dépourvue de repères locaux et la synthèse entre les différentes thématiques semble aléatoire. L'approche spatiale dans l'évaluation actuelle des impacts du bruit est donc bien présente, mais aucun moyen ne permet pour l'instant de « conserver les résultats des analyses localisées, d'introduire une certaine quantification permettant une visualisation facile des éléments de comparaison des variantes » [MAR 94].

La DREIF<sup>30</sup> a réalisé un travail très prometteur dans le domaine de l'évaluation des impacts acoustiques, à l'aide du logiciel acoustique Mithra et de la base de données Bdtopo produite par l'IGN (Institut Géographique National) [DREIF 99]. Ils proposent une démarche en deux étapes. Dans un premier temps, grâce aux bases de données de densité disponibles pour la région Ile de France, la répartition probable de la population est déduite tout au long des voies. Ensuite un calcul Mithra est réalisé en façade de chaque bâtiment, récupéré depuis la base de données Bdtopo sur les zones à forte densité. Une confrontation est proposée entre les niveaux de bruit et la population probable par bâtiment. Malheureusement l'information à laquelle nous avons eu accès ne nous permet pas de connaître les modes de désagrégation de l'information. Selon la même méthodologie, des simulations de protections acoustiques sont

---

<sup>30</sup> Direction Régionale de L'Equipement - Ile de France - division des études d'infrastructures de transports et d'ouvrages d'art.

proposées, permettant de comparer l'efficacité des mesures de protection, en terme de distribution des populations soumises à des classes de niveau de bruit.

La norme française en matière de cartographie du bruit en milieu extérieur – NF S 31-130 a été éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (A.F.N.O.R.) en 1995. Elle spécifie « les méthodes à mettre en œuvre pour l'élaboration des cartes de bruit en milieu extérieur et de codifier la présentation des résultats ». Elle est applicable aux bruits de circulation routière et ferroviaire, mais peut toutefois être adaptée à d'autres sources de l'acoustique extérieure. La norme propose trois niveaux de représentation du bruit dans le territoire. Pour chacun d'eux, des références de sémiologie graphique sont proposées, ainsi que les éléments du territoire à représenter.

Type de carte et échelle de représentation	Données cartographiques	Détermination des niveaux sonores	Représentation
<b>Carte de type 1</b> Ville, région ou zone étendue Echelle 1/25000, 1/10000 ou 1/5000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- infrastructures de transport routières ou ferroviaires</li> <li>- listes des établissements bruyants</li> <li>- situation acoustique conventionnelle : au point de référence, en façade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- calcul du niveau sonore à 10 m du bord de l'infrastructure, et à 5 m de hauteur, augmenté de dB(A) en tissu ouvert et en façade des bâtiments pour les "rues en U" pour une période de référence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vue en plan</li> <li>- symboles correspondant aux établissements potentiellement bruyants</li> <li>- axes routiers et ferroviaires colorés en fonction de la plage des niveaux sonores</li> </ul>
<b>Carte de type 2</b> Voisinage des sources (quelques centaines de mètres) Echelle 1/5000 ou 1/2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sol bâti, infrastructures routières ou ferroviaires</li> <li>- situation acoustique existante ou projetée aux points considérés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- calcul du niveau sonore pour chaque bâtiment sur la façade la plus exposée à 3 m ou 5 m de hauteur</li> <li>- LAeq, t (T à préciser)</li> <li>- mesures de validation dans le cas d'une situation existante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vue en plan</li> <li>- chaque bâtiment est mis en couleur suivant le niveau de bruit sur sa façade la plus exposée</li> <li>- possibilité de traiter séparément les façades d'un même bâtiment.</li> </ul>
<b>Carte de type 3</b> Voisinage immédiat des récepteurs Echelle 1/2000, 1/1000 ou 1/500	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sol, bâti, infrastructures routières ou ferroviaires à une échelle fine</li> <li>- situation acoustique existante ou projetée aux points considérés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- calcul des niveaux sonores en tout point du site, selon un maillage et une hauteur à préciser</li> <li>- LAeq, t (T à préciser) ou autres indicateurs pour d'autres sources</li> <li>- mesures de validation et détermination des modes de propagation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vue en plan</li> <li>- possibilité de profil en travers et d'élévation de façade</li> <li>- courbes isophones par intervalles de 2 dB(A)</li> </ul>

Tableau 13 - Les cartes de bruit de la norme NF S 31-130.

La norme de cartographie du bruit, tel qu'elle est aujourd'hui formulée, prévoit l'intégration d'une approche spatiale du bruit étendue à ses impacts potentiels. C'est dans la nature même de la norme de devancer ainsi les orientations potentielles de l'acoustique environnementale. La norme peut être une base intéressante pour imaginer les usages futurs de l'approche spatiale dans la lutte contre le bruit.

Les cadres réglementaires dans le domaine de la lutte contre le bruit intègrent donc déjà une approche spatiale. Les initiatives des institutions pour préparer les moyens futurs de la lutte contre le bruit vont dans le même sens.

#### *1.2.4.2.2. Les projets menés par les institutions pour la rénovation des moyens de la lutte :*

Trois approches peuvent être différenciées. Certaines institutions exploitent simplement l'approche spatiale pour mieux communiquer autour du problème des impacts du bruit. D'autres structures, à des échelles de responsabilité diverses, mettent en place de véritable observatoire de l'environnement sonore. L'approche spatiale est ici un moyen pour gérer plus efficacement l'information. Enfin, un troisième type de projet mené par les institutions, met en place une véritable réflexion transversale pour l'utilisation de l'approche spatiale dans la lutte contre le bruit.

L'atlas environnemental de l'agglomération de Berlin met à disposition du public sur l'Internet, un outil de **consultation de cartes de bruit** de l'espace public et des espaces verts de Berlin<sup>31</sup>. Tous les calculs acoustiques sont déjà réalisés. Ils intègrent uniquement le bruit issu des plus grandes infrastructures routières ainsi que divers paramètres contextuels (type de route, vitesse maximale autorisée, topographie, effets d'écran et réflexion sur les bâtiments). Dans ce cas, l'approche spatiale facilite la manipulation des cartes de bruit par le grand public et permet de faire mieux comprendre les enjeux de ce problème.

Des projets pour la création d'**observatoire de l'environnement sonore** ont vu le jour au niveau de plusieurs institutions. On peut distinguer les **projets d'agglomération**, les réflexions mise en œuvre à l'échelle nationale et enfin l'échelle transnationale. Le projet D.I.A.P.A.S.O.N. (double initiative pour l'amélioration de l'environnement sonore en milieu urbain) est une collaboration de la Communauté urbaine du Grand Lyon et de la société Metravib. Ce projet européen du programme Life avait pour but de créer un observatoire de l'environnement sonore urbain pour le Grand Lyon et de proposer un outil opérationnel de suivi et de gestion de l'environnement sonore, qui soit ensuite transposable à d'autres agglomérations. Les objectifs d'observation et d'analyse intègrent des données de bruit qualitatives en plus des niveaux de bruit mesurés, calculés et simulés. Le modèle de calcul de propagation acoustique qui devait produire les données simulées d'exposition sonore a été imaginé pour un usage macroscopique du problème (pas d'intégration du tissu en volume par exemple). Malheureusement, le calage de ce modèle n'a jamais abouti.

L'IBGE (Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement) mène lui aussi un programme européen de type Life. Ce projet a pour but de construire un outil pour la planification et la gestion intégrée du trafic routier à l'usage des activités urbaines. Il intègre une approche spatiale avec l'utilisation d'un outil de simulation numérique de la propagation du bruit en espace extérieur. Par ailleurs, l'ensemble des informations relatives au trafic, localisation des plaintes, identifications des activités sensibles, recensement des paramètres nécessaires au calcul acoustique, archivage de mesures sur le terrain, ... est organisé dans un SIG. A l'avenir, il est prévu d'établir une cartographie générale de l'exposition au bruit pour l'ensemble de l'agglomération. Cette information sera mis à disposition du public sur le réseau Internet.

En matière d'observatoire de l'environnement sonore à **l'échelle nationale**, l'initiative des Pays Bas est exemplaire. Le modèle de calcul des niveaux de bruit et des impacts potentiels inclut l'ensemble des trafics routiers et ferroviaires ainsi que les activités industrielles et les

---

<sup>31</sup> référence Internet : <http://www.sensut.berlin.de/UISonline/dua96/html/ei703.htm>.

aéroports civils. Le système donne accès à une évaluation de la situation sonore actuelle à l'échelle nationale et permet d'identifier les zones exposées à des niveaux de bruit anormaux. Des scénarios peuvent être appliqués. Un exemple est présenté pour une situation sonore en 2020 avec l'aménagement d'une cinquième piste pour l'aéroport d'Amsterdam [JAB 99]. Le système permet d'estimer les niveaux potentiels d'impact sur l'ensemble de la population nationale avec L'exploitation des relations de « dose effet ».

**A l'échelle transnationale**, l'évaluation des impacts probables liés au déploiement du réseau transeuropéen de transport (TEN) fut l'occasion pour l'agence européenne pour l'environnement de traiter du problème des impacts du bruit à une échelle macroscopique. L'approche spatiale appliquée ici comporte deux types de traitement. Des zones tampon sont calculées le long des axes du TEN. Différentes options de développement de ce réseau sont simulées. Pour chacune d'elles, un indice de la population potentiellement touchée par les émissions sonores du TEN est proposé, relativement à la situation d'exposition actuelle (cf. tableau 14). La deuxième forme de traitement spatial des impacts macroscopiques du réseau TEN tente d'évaluer les zones tranquilles (zones naturelles à plus de 7,5 km d'une source de bruit existante) qui seraient affectées par le déploiement du TEN [EEA 98].

Alternatives	Zone tampon de 250 m	1 km	5 km
Situation actuelle du TEN	100	100	100
Situation actuelle du TEN + 14 projets	104	103	101
Situation actuelle du TEN + tous les projets de voies ferrées	107	105	102
Situation actuelle du TEN + tous les projets de voies fluviales	101	100	100
Situation actuelle du TEN + tous les projets de voies routières	109	107	105
Le réseau TEN complet	116	113	107

*Tableau 14 - Population susceptible d'être exposée au bruit du réseau TEN en fonction de différentes zones tampon (indice 100 pour la situation actuelle) [EEA 98]*

Ces différentes approches spatiales des impacts potentiels du bruit permettent de comparer quantitativement les avantages de différentes stratégies d'organisation des transports terrestres dans l'avenir. Les exemples traités ici montrent que cette approche peut être appliquée à de multiples échelles.

Des réflexions spécifiquement axées sur l'approche spatiale en acoustique environnementale sont aussi engagées par les pouvoirs publics. Nous allons présenter rapidement le travail du Ministère britannique de l'environnement, du transport et des régions ainsi que les premières conclusions du groupe de travail européen sur la cartographie du bruit.

En 1997, Le DETR<sup>32</sup> a établi une étude sur l'usage de la cartographie sonore dans six pays européens (Autriche, France, Allemagne, Pays Bas, et Espagne). Le système allemand est celui qui a retenu l'attention du DETR. En 1998, à la suite de cet état des lieux, une réflexion est engagée dans le but :

- d'identifier les raisons pour la mise en œuvre de cartographie du bruit
- de faire état des méthodes aujourd'hui en vigueur pour produire des cartographies du bruit

<sup>32</sup> Department of the Environment, Transports and the Regions

- d'analyser les bénéfices et les difficultés liées à la production des cartes de bruit
- d'évaluer l'opportunité de l'utilisation de carte de bruit dans le contexte britannique.

Les conclusions de ce travail portent essentiellement sur les progrès à espérer de l'usage généralisé de l'approche spatiale en acoustique environnementale. Les productions cartographiques favorisent l'aide à la décision et jouent le rôle de « catalyseur » des points de vue des professionnels, des politiciens et du public. Le problème de coût et de disponibilité des données pour la production de cartes de bruit semblent être le facteur le plus contraignant, plus encore que le coût des outils de traitement, pour le développement d'un système organisé de cartographie sonore. L'utilisation de système d'information géographique (SIG cf. point 2.2.2.1.) doit permettre de gérer plus efficacement les données nécessaires aux calculs ainsi que les résultats. De même, des connexions avec d'autres thématiques telle que la pollution atmosphérique peuvent être envisagées dans le SIG. En guise de conclusion il est rappelé que les bénéfices de la mise en place d'un tel système dépendent plus des ambitions des responsables que des capacités intrinsèques des outils disponibles ... [DETR 98]

Un groupe de travail auprès de l'Union Européenne est actuellement en charge de la réflexion sur l'utilisation future de la cartographie sonore, dans la future politique européenne de lutte contre le bruit. L'échéancier de ce groupe de travail a fixé au mois d'août 2002 la publication finale de l'expertise. Pour l'instant, le travail de ce groupe porte sur l'identification :

- des groupes utilisateurs de la cartographie sonore,
- des sources de bruit qui pourraient être cartographiées,
- des types de cartes qui pourraient s'avérer utiles,
- des modes de communication les plus efficaces et des usages de la cartographie les plus adaptés à une réduction effective des expositions au bruit<sup>33</sup>.

A terme une méthode de cartographie du bruit doit être proposée. Elle devra définir les types de sources qui peuvent être intégrées, les données de population à confronter, les unités de mesure des impacts, les échelles spatiales de traitement de même que les usages du document en sortie [HIN 99].

Selon une approche plus théorique, des équipes recherchent de nouvelles solutions d'analyse spatiale des impacts du bruit. La dimension opérationnelle de ces travaux n'est pas toujours une priorité, ils proposent tout de même des pistes intéressantes en matière de choix des échelles d'analyse pour la confrontation de paramètres et de formes particulières d'utilisation de l'approche spatiale.

#### *1.2.4.2.3. Les projets de recherche pluridisciplinaire :*

Nous avons choisi de ne nous limiter à des projets qui traitent des impacts potentiels du bruit des transports terrestres. Quatre projets sont rapidement présentés. Tous traitent de confrontations spatiales de niveaux d'exposition et de vulnérabilité du territoire à des échelles spatiales différentes. L'usage des SIG est commun à l'ensemble de ces projets. Le modèle de données utilisé varie selon l'échelle spatiale de travail.

Un projet du CETE de Lyon avait pour objectif de proposer une méthode simple et économique permettant d'identifier les impacts probables du bruit pour une zone d'étude étendue, lors de l'aménagement d'une nouvelle infrastructure de transport. Les tests sont

---

<sup>33</sup> référence Internet : <http://themes.eea.eu.int/theme.php/issues/noise>

réalisés sur une zone de 10 kilomètres de coté, centrée sur la commune de Montmélian en Savoie. La carte de bruit exploitée est réalisée avec le logiciel de simulation acoustique Mithra (cf. point 2.2.1.2.). Elle simule l'intégration d'un des tracés possibles de la ligne TGV Lyon - Turin. Comme cette échelle de diagnostic n'est pas du tout adaptée à Mithra qui travaille à plus grande échelle, l'équipe du CETE a choisi de supprimer les effets des paramètres de diffusion liés à l'effet de sol et à la volumétrie des bâtiments. Au final, on peut se demander si le calcul réalisé ne revient pas à une requête de distance par rapport à l'infrastructure. La carte de bruit résultante est ensuite traduite au format d'un SIG raster (cf. point 2.2.2.3.) pour une résolution spatiale de 12,5 mètres par pixel. Parallèlement une image SPOT est traitée, permettant d'identifier les différentes occupations du territoire d'étude. La carte de bruit et la carte d'occupation des sols sont ensuite confrontées afin d'identifier les zones où les impacts potentiels du bruit mériteront d'être étudiés à plus grande échelle [CETE 95]. L'approche proposée ici est donc un diagnostic introductif. Elle ne peut avoir d'autres ambitions car elle se base sur une carte de bruit très discutable. Il semble tout de même intéressant de retenir la méthode utilisée et le mode de représentation raster pour des études à plus grande échelle. Ce format de données autorise en effet des confrontations de couches thématiques d'une grande souplesse.

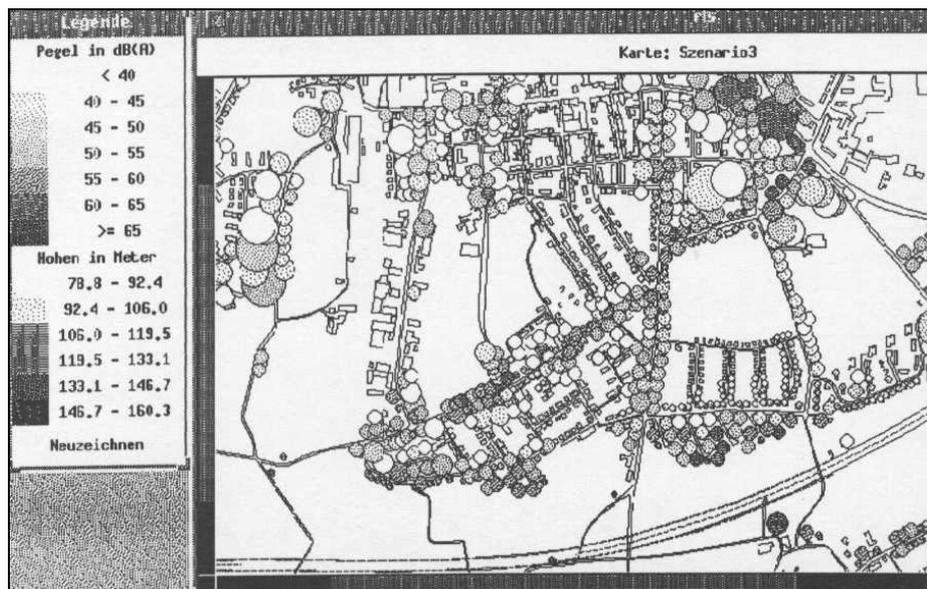
Jens Fitzke propose lui aussi le développement d'un prototype de SIG pour la quantification des impacts du bruit, résultant d'une confrontation de niveaux d'exposition sonores et de données de population [FIT 97]. Comme dans l'expérience précédente, l'outil développé exploite une base de données géographiques au format raster. Il est interfacé au logiciel SIG Idrisi. Fitzke propose un indice d'impact du bruit qui prend en compte le nombre de résidents et la différence entre le niveau de bruit simulé et le seuil de bruit légal. Il pose par ailleurs l'important problème du couplage d'une information spatialement continue (niveau de bruit interpolé sur l'ensemble de la zone étudiée) à des données spatiales discrètes (nombre de résidents par bâtiment ou par îlot). Pour le site d'étude choisi, l'unité de compte de population est l'îlot. L'auteur insiste sur le danger des confrontations à cette échelle, la solution courante étant de retenir le plus fort niveau de bruit calculé sur l'ensemble de l'îlot. Une alternative est possible si l'on se limite à l'estimation du niveau de pollution sonore pour le seul pourtour des îlots (l'affectation du niveau de bruit le plus fort peut être acceptable). Il propose l'utilisation d'un indice exprimant la fraction potentielle de la circonférence de l'îlot exposée au bruit (en fonction de la limite législative).

Un projet de cartographie des immissions est proposé par W. Probst de Datakustik à Munich [PRO 97]. La démarche présentée contient une modélisation préalable de la propagation du bruit, puis une confrontation avec l'occupation des sols. Ce traitement est réalisé avec des données de type raster. Probst présente une première équation de calcul de l'immission qui est mise en œuvre pour chaque pixel de la carte.

<p>Nuisance sonore pour la surface <math>i =</math>          Nombre d'habitants dans <math>i</math>  <math>X</math>          (le bruit mesuré ou calculé en <math>i</math> - le bruit légal autorisé en <math>i</math>)</p>
---

Par ailleurs il propose d'intégrer la dynamique de l'exposition de chaque parcelle au bruit, pour ne plus seulement considérer le niveau de bruit mesuré ou calculé mais aussi l'évolution de cette exposition. Ce traitement suppose de disposer de cartes de bruit à plusieurs dates, de mesures ou encore des simulations.

Le projet développé par l'équipe de D. Altenhoff et L. Sungil vise quant à lui à quantifier les populations touchées par le bruit, du fait de l'aménagement d'un nouveau tronçon autoroutier autour de la ville de Dortmund. L'article de présentation de ce projet ne détaille pas les modes d'acquisition des niveaux de bruit. Il valorise avant tout les confrontations entre les niveaux de bruit calculés dans plusieurs situations simulées (avant le projet, après le projet sans protection acoustique particulière, après le projet contenant des protections) avec les populations potentiellement touchées par le bruit. Les traitements sont réalisés avec le système SIG Arc/Info, dans un format de données vectoriel (cf. point 2.2.2.2.). Pour chaque bâtiment de la zone d'étude, l'équipe disposait d'une donnée de bruit et d'un nombre d'habitants. Les cartes résultantes sont très simples mais permettent de bien localiser les enjeux en matière d'impact du bruit à grande échelle (cf. carte 3) [ALT 93].



Carte 3 - Niveaux de bruit et volume de population exposée après la construction d'une autoroute dans le sud de Dortmund [ALT 93] .

A la vue de ces différents projets, il est clair que l'approche spatiale peut apporter des solutions nouvelles pour l'évaluation des impacts du bruit dans le territoire. Le problème de ces approches réside plutôt dans la diversité des solutions de traitement possible, qui fait que les études ne sont pas comparables les unes aux autres. Elles utilisent chacune, des unités de mesures différentes, des échelles spatiales et temporels spécifiques, un modèle de représentation du territoire qui va dépendre de la disponibilité d'information géographique... Il existe donc aujourd'hui un grand décalage entre ce que la technique permet, grâce au développement des modèles de simulation et au SIG, et la nature des diagnostics qui sont effectivement exploités dans les processus de décision aujourd'hui. Dans le point suivant nous allons revenir sur les lacunes actuelles des méthodes d'évaluation des impacts du bruit dans le territoire et présenter la philosophie générale de notre projet de recherche.

## **1.3. Apports méthodologiques potentiels de l'approche spatiale pour l'étude des impacts du bruit des transports terrestres**

Nous allons détailler ici le cadre général de notre recherche. Dans le contexte d'émergence de l'acoustique environnementale, l'approche spatiale des impacts du bruit constitue un champ d'étude encore peu exploré. De nombreuses initiatives ont vu le jour dans ce domaine, mais aucune réflexion n'a véritablement été engagée pour **organiser formellement le traitement spatial des impacts du bruit** (analyse spatiale, gestion et valorisation cartographique). Notre travail est articulé autour de cette thématique. Dans les points suivants nous allons successivement détailler nos objectifs, hypothèses et axes de travail.

### **1.3.1. Objectifs de la recherche**

Notre projet de recherche a une portée essentiellement méthodologique. Il s'agit d'établir un cadre formel pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres. Nous avons favorisé une approche quantitative des impacts du bruit car elle constitue un préalable nécessaire pour l'intégration des problématiques de la lutte contre le bruit dans les processus de décision en aménagement du territoire. Nous proposons de démontrer l'opportunité d'une double approche spatiale pour l'évaluation et la gestion du risque d'impact lié au bruit des transports terrestres. La différenciation de ces deux axes de traitements doit permettre d'identifier les rôles possibles de la géographie dans le cadre d'un tel projet pluridisciplinaire.

#### ***1.3.1.1. Une réflexion méthodologique pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres***

La faible portée actuelle des problématiques de l'acoustique environnementale justifie une réflexion méthodologique pour leur évolution. Comme ont pu le constater des institutions comme l'OCDE ou l'Union Européenne [CE 96] [OCDE 91], les moyens actuels de lutte contre le bruit sont perfectibles. L'observation de l'étendue des impacts du bruit dans le territoire (absence d'unité de mesure normalisée, hétérogénéité des données disponibles, ...) n'est pas encore systématique. Le problème est le même pour évaluer l'effet des mesures de lutte développées dans le passé et choisir, en toute connaissance de cause, les moyens futurs de lutte les plus adaptés. En outre, l'évaluation légale des impacts acoustiques lors de l'aménagement de grandes infrastructures de transport n'imposent pas un diagnostic acoustique réellement exploitable. L'expertise réalisée sur la procédure d'avant projet sommaire de la ligne de TGV reliant Lyon à Turin [REV 97] a bien illustré ce problème.

Les expériences de cartographie du bruit ont depuis longtemps démontré leur intérêt en matière de communication auprès du public. Par contre, l'exploitation d'une approche spatiale pour la gestion et l'évaluation des impacts est restée très marginale. En France, le classement sonore des voies introduit seulement la prise en compte d'une distance de sécurité entre les infrastructures supposées bruyantes et les populations. Les expériences pour le traitement

spatial des impacts du bruit restent encore exploratoires mais semblent de plus en plus accessibles au monde opérationnel.

Au niveau politique, les propositions de C. Lamure pour la résorption des points noirs de bruit, montrent l'intérêt grandissant qui est porté à l'approche spatiale dans le domaine de l'acoustique environnementale. Les initiatives politiques de l'Union Européenne vont dans le même sens. Les groupes de travail européens chargés d'établir la politique future de lutte contre le bruit évoque l'approche spatiale comme un moyen de renforcer la portée actuelle de la lutte.

D'un point de vue technique, on dispose aujourd'hui de puissants moyens d'analyse, que ce soit pour modéliser la propagation du bruit en espace extérieur, comme pour réaliser des analyses de la vulnérabilité du territoire au bruit (cf. point 2.2.). La mise en relation de ces informations, issues de disciplines distinctes, peut enrichir les diagnostics d'impact potentiel du bruit dans le territoire. Les systèmes d'information géographique permettent ce type de confrontations mais ne sont pas encore exploités à la mesure de leurs capacités. Cette situation peut sans doute s'expliquer par le manque de collaboration entre l'acoustique appliquée et la géographie [ROU 99]. Le problème réside essentiellement dans l'absence de méthodes de traitement dédiés. Il est semble nécessaire de clarifier cette approche spécifique des impacts du bruit, afin de mieux intégrer les problématiques de l'acoustique environnementale dans les processus de décision en aménagement du territoire et d'affiner les évaluations des risques d'impact du bruit dans le territoire.

Notre réflexion est volontairement limitée aux impacts du bruit des seuls transports terrestres (cf. point 1.2.1.5.). D'autres travaux complémentaires sont aujourd'hui en cours. Le projet CHAOS tente par exemple d'intégrer l'ensemble des sources potentielles de bruit, sans se limiter à leurs impacts potentiels sur la population [BAL 99].

**L'optique de recherche** dans laquelle s'inscrit notre réflexion méthodologique découle de ces constats. Nous désirons participer à la rénovation des moyens de lutte contre le bruit en rendant possible **l'analyse des impacts du bruit des transports terrestres** (reconnus ou évalués) **dans leur contexte spatial**. En d'autres termes, nous recherchons les moyens adaptés pour **identifier les effets situés du bruit dans le territoire** [ROU 98]. Pour cela, le processus de genèse des impacts potentiels du bruit doit être décomposé, en identifiant les différents facteurs spatiaux et temporels qui peuvent intervenir. Cette connaissance va nous donner les moyens d'estimer et de projeter la variabilité des situations d'impact du bruit dans le territoire. La finalité d'une telle approche est d'autoriser la production de **scénarios** pour tester la validité de différentes options de décision d'aménagement du point de vue de l'environnement sonore. A terme, cette démarche peut favoriser une plus grande **objectivation de la décision** dans le domaine de la lutte contre le bruit [QUE 00]. Elle s'inscrit dans la logique des principes du **développement durable** [MEB 98] selon les trois axes suivants :

- une meilleure évaluation des impacts, selon un éclairage interdisciplinaire, pour mieux décider
- une meilleure accessibilité des processus de décision afin de favoriser une concertation plus ouverte
- des outils mieux adaptés à la réalité des contextes de décision, qu'ils soient économique, politique, environnemental ou social

Nous allons maintenant détailler notre **démarche de recherche**. Elle est largement marquée par notre collaboration avec le CSTB<sup>34</sup> dans le cadre du projet SIGAUR (système d'information et acoustique urbaine) initié par l'Agence des villes<sup>35</sup> (ex Institut National de Génie Urbain) grâce aux financements du contrat de plan Etat-Région Rhône Alpes. Ce projet traite de l'utilisation conjointe d'un SIG et d'un modèle de propagation sonore en espace extérieur (nous présenterons ces outils dans le point 2.2.). Deux autres équipes furent associées dans le cadre d'un projet parallèle, pour l'exploitation des SIG selon une approche qualitative de l'environnement sonore. Il s'agit du CRESSON<sup>36</sup> et du LISI<sup>37</sup> [BAL 99]. L'objectif du projet SIGAUR est d'élargir nos visions respectives des impacts du bruit des transports terrestres, en évaluant les opportunités d'une connexion entre le logiciel de modélisation acoustique Mithra<sup>38</sup> et plusieurs SIG exploitant différents modèles de représentation spatiale. Quatre axes de travail se sont dégagés :

- intégration informatique de données acoustiques aux SIG
- réflexion sur la définition de la vulnérabilité du territoire au bruit
- création d'indicateurs d'impact du bruit sur le territoire
- applications sur le terrain des traitements proposés pour deux sites test

Le présent projet se veut la continuité de SIGAUR. Sur la base de la collaboration entre le CSTB et le laboratoire SEIGAD, nous avons tenté d'établir un cadre méthodologique formel, pour structurer nos expériences communes, acquises lors du projet SIGAUR. Le contexte pluridisciplinaire de notre projet a évidemment influencé notre démarche de recherche méthodologique. Nous nous sommes inspirés d'approches théoriques développées dans d'autres contextes pluridisciplinaires.

L'évaluation des impacts potentiels du bruit sur le territoire revient à estimer la probabilité et la gravité des effets du bruit sur ce territoire. La démarche générale de confrontation spatiale appliquée ici s'inspire des méthodes développées dans le domaine de l'évaluation des risques naturels. C'est une formulation probabiliste des impacts du bruit. L'intérêt de cet éclairage est de considérer le phénomène exposant aux seuls endroits où il peut porter préjudice [THE 87]. A la différence des premières méthodes d'analyse de l'acoustique environnementale dont nous avons parlé dans le point 1.2.2.3., notre approche consiste à relativiser les niveaux d'exposition au phénomène agresseur par la vulnérabilité du territoire à ce phénomène (cf. figure 23).

---

<sup>34</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

<sup>35</sup> L'Agence des villes est à ce jour démantelée à son tour.

<sup>36</sup> Centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement

<sup>37</sup> Laboratoire d'ingénierie des systèmes d'information

<sup>38</sup> développé par le CSTB

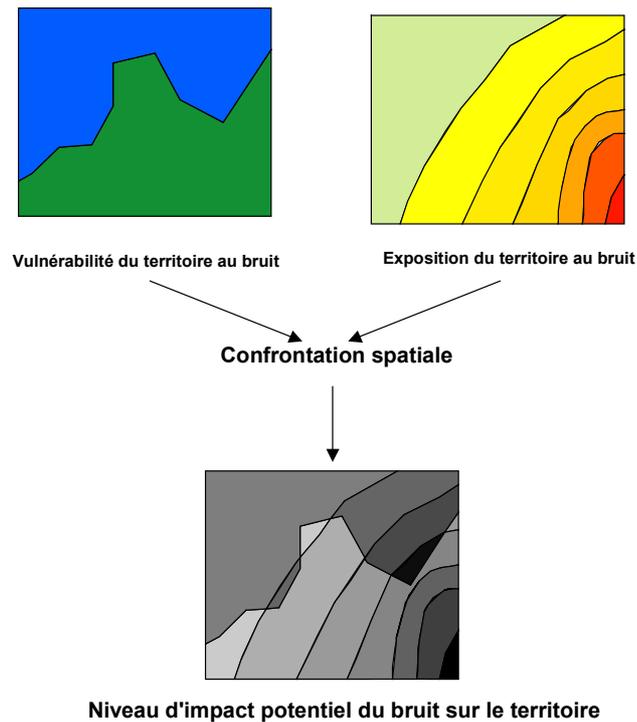


Figure 23 - Démarche générale de la confrontation spatiale de la vulnérabilité et de l'exposition sonore

Dans le domaine de la gestion et de l'évaluation des risques naturels, des méthodes de métrologie issues de la physique sont aujourd'hui opérationnelles. De nombreuses équipes tentent maintenant de mettre en relation ces informations avec des évaluations de l'endommagement potentiel du territoire<sup>39</sup> [BLA 98] [DER 94]. Pour notre part, nous avons tenté de construire un espace d'analyse équivalent, à la frontière de la géographie et de l'acoustique appliquée.

Afin d'appliquer cette approche d'analyse novatrice en acoustique environnementale, des techniques de synthèse d'information multicritère sont utilisées pour identifier les influences respectives de l'exposition sonore et de la vulnérabilité du territoire dans le genèse des impacts du bruit des transports terrestres.

### 1.3.1.2. Une approche quantitative favorisée

L'acoustique environnementale traite de l'ensemble des dimensions de l'environnement sonore, qu'elles soient qualitatives ou quantitatives (cf. figure 1). Dans notre projet, nous nous sommes volontairement restreints aux traitements de l'approche quantitative des impacts du bruit, sans pour autant vouloir remettre en question l'utilité d'une approche qualitative. Ce choix résulte d'un ensemble de facteurs que nous allons détailler ici.

**L'urgence sanitaire suppose une approche efficace, d'où l'utilité du quantitatif.** Le traitement quantitatif des impacts du bruit permet de travailler sur les situations sanitaires urgentes plus ou moins identifiées par la loi. Le cadre de notre recherche étant par ailleurs restreint à l'étude des impacts du bruit des transports terrestres, l'ampleur du problème liés

<sup>39</sup> nous développerons la notion de vulnérabilité territoriale dans le point 2.1.1.3.

aux transports justifie la priorité donnée aux approches quantitatives. Les approches qualitatives pourraient ensuite s'intégrer dans l'analyse des situations sonores de multiexposition. Dans ce cas, des typologies d'environnement sonore équilibré devront être définies.

**La dimension gênante du bruit n'est que partiellement comprise et les politiques de lutte contre le bruit sont aujourd'hui marquées par le quantitatif.** Au regard des effets du bruit sur l'homme, détaillés dans le point 1.2.1.4., on peut constater que leurs modes d'identification sont essentiellement quantitatifs. Seul la notion de gêne constitue un paramètre qui intègre de façon complexe des facteurs de nature quantitatif et qualitatif. Les situations d'exposition sonore où l'on constate uniquement de la gêne exprimée par la population sont liées à de très faible dose de bruit. C'est le contexte de réception qui est alors important. Mais pour respecter la logique de l'acoustique environnementale, il est nécessaire de généraliser les situations d'exposition particulière pour établir une cohérence et une équité dans la lutte contre le bruit pour l'ensemble du territoire.

**La collaboration avec le CSTB dans le cadre du projet SIGAUR nous a largement influencés. Du point de vue des outils,** la collaboration avec le CSTB fut déterminante car c'est le premier projet du laboratoire SEIGAD dans le monde de l'acoustique. Cette association nous a permis d'utiliser des outils de modélisation acoustique puissants qui ont naturellement orienté notre approche de l'environnement sonore vers les approches quantitatives. Le projet SIGAUR a de même orienté nos choix **du point de vue des méthodes.** Dans la perspective de fournir des méthodes d'évaluation des impacts du bruit sur le territoire, l'approche quantitative permet d'appliquer des méthodes de généralisation temporelle et spatiale de l'information acoustique. Ces techniques permettent de comparer des options de décision, une chose qu'il est impossible de réaliser selon une approche qualitative.

Bien sûr notre cadre formel pour le traitement spatial des impacts du bruit n'a rien de définitif ! Il constitue seulement une proposition pour une meilleure gestion de l'environnement sonore, pleinement intégrée dans les problématiques de l'aménagement du territoire.

Le souci de la réalité du transfert des méthodologies proposées, en direction du monde opérationnel est une dimension importante du projet SIGAUR. Dans la présente recherche, nous avons distingué deux éclairages possibles de l'approche spatiale des impacts du bruit des transports terrestres : une approche opérationnelle et une approche exploratoire.

### ***1.3.1.3. Deux éclairages complémentaires : l'approche opérationnelle et l'approche exploratoire***

Nous avons vu que l'orientation actuelle de la réflexion pour une politique nouvelle de lutte contre le bruit tend vers une quête de rationalité. Selon J. M. Ferry [FER 97] cette rationalisation politique se fait autant par la science que par l'éthique. « *La mise en œuvre de technologies et stratégies nouvelles ne sauraient être tout à fait indépendante du contexte existant des besoins et des valeurs qui les interprètent* ». Les valeurs servent à la fois de référence pour l'expression publique des demandes sociales et de régulateurs d'arrière-plan pour l'orientation de la recherche. Un double éclairage opérationnel et exploratoire est proposé dans notre projet, afin de parcourir l'ensemble du champ des possibles de l'approche spatiale des impacts du bruit. Dans leur rapport pour un renforcement de la sécurité sanitaire environnementale, A. Aschieri et O. Grzegorzulka soulignent l'importance d'une distinction claire de ces deux axes d'étude : « *Il apparaît indispensable que les contraintes politiques, économiques, ou sociales qui pèsent sur les décideurs ne biaisent pas le travail d'évaluation*

*des risques. A contrario, les experts chargés de l'évaluation ne doivent pas exercer de pressions sur le décideur, car celui-ci doit tenir compte d'enjeux autres que sanitaires et environnementaux* » [ASC 98].

**La démarche opérationnelle** va nous amener à appliquer au territoire des principes qui sont déjà présents dans la législation de la lutte contre le bruit. Par cette approche nous cherchons à démontrer l'opportunité d'un traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres pour :

- mieux gérer l'information disponible pour la décision spatiale
- analyser, dans leur contexte spatial, les effets situés du bruit reconnus légalement.
- favoriser une meilleure compréhension des problématiques de l'acoustique environnementale par l'ensemble des groupes intervenant dans le processus de décision spatiale.

On a vu qu'il existait une demande sociale et politique importante pour un renforcement de la lutte contre le bruit. L'approche opérationnelle s'attache à projeter spatialement des méthodes d'évaluation des risques d'impacts du bruit qui ont déjà fait leur preuve, pour répondre à l'évolution du besoin d'information. Par cet éclairage, nous cherchons de même à démontrer l'accessibilité technique de l'approche spatiale des impacts du bruit. Cet aspect peut être un argument important contre le syndrome de la boîte noire qui rend le processus de décision totalement opaque, quand les outils employés ne sont pas appropriés [THE 87]. L'approche opérationnelle est donc adaptée aux réalités des contextes de décision et des données disponibles puisqu'elle reprend les principes édictés par la législation. Nous proposons des applications de test de cette approche de traitement, dans la troisième partie de ce document.

Dans notre projet, la **démarche exploratoire** peut être en mesure de faire progresser le diagnostic d'impact du bruit, en proposant de nouvelles voies d'analyse de ce problème dans le territoire. L'objectif principal est d'identifier des paramètres de différenciation spatiale en matière d'impact du bruit des transports terrestres. Trois voies différentes sont envisagées :

- la recherche de nouvelles échelles spatiales et temporelles d'analyse des impacts du bruit (agrégation, analyse multicritère, généralisation d'information)
- la définition de la vulnérabilité et de l'exposition du territoire au bruit en intégrant de nouveaux paramètres pour affiner les diagnostics légaux
- la production d'indicateurs spatiaux et temporels d'impact potentiel du bruit des transports terrestres

En d'autres termes, la démarche exploratoire proposée, s'attache à démontrer les apports de l'approche spatiale pour l'évaluation des risques liés au bruit des transports terrestres dans le territoire. Dans le but de mieux comprendre les impacts du bruit dans le territoire, la démarche exploratoire se départit complètement des formalismes légaux d'évaluation d'impact. Pourtant, comme le montrent J. P. Moatti et J. Lochard, la démarche d'évaluation ne peut être purement scientifique, même mise à l'abri des arbitrages entre acteurs sociaux. Les incertitudes existantes, qu'elles proviennent de l'insuffisance de données disponibles ou de lacunes dans les théories scientifiques établies, impliquent que pour avancer dans l'analyse, il est nécessaire de procéder à des inférences qui font inévitablement intervenir un jugement de valeur de l'analyste [THE 87]. Une réflexion sur le contexte dans lequel est menée l'évaluation est donc indispensable. Elle fera l'objet d'un de nos axes de travail. La figure 24 résume les deux approches précitées.

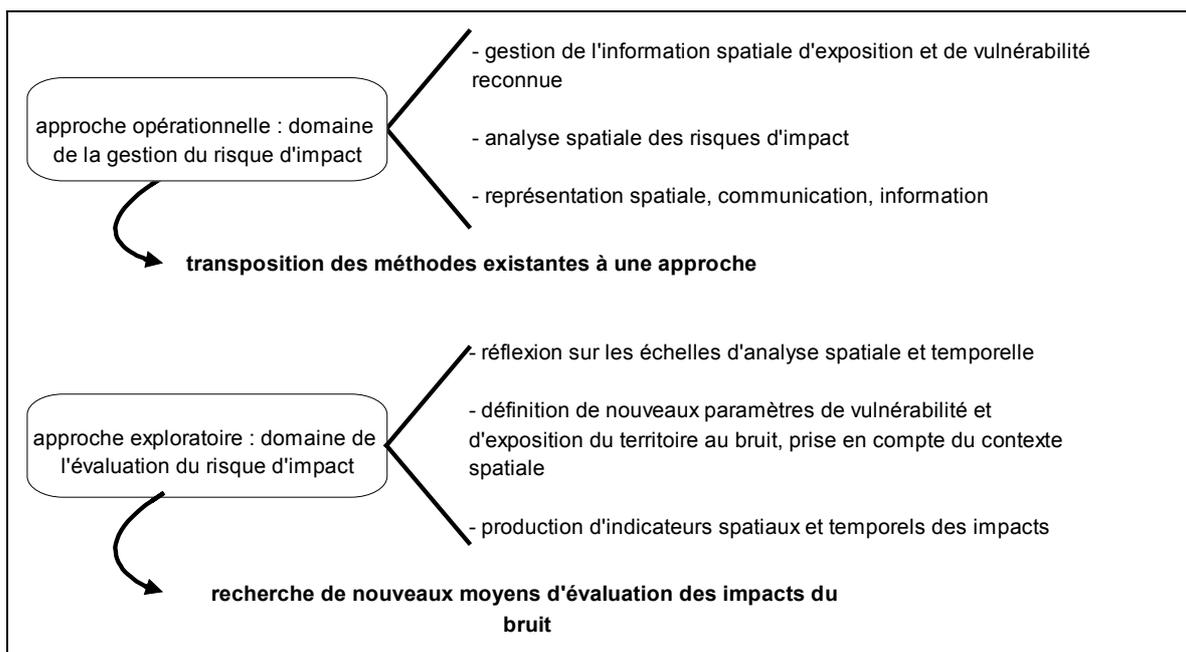


Figure 24 - Différenciation de la gestion et de l'évaluation du risque d'impact lié au bruit

Avant de détailler les grands axes de notre projet, nous allons évoquer les possibles apports croisés de la géographie et de l'acoustique environnementale qui peuvent en découler.

### 1.3.2. Hypothèse des apports mutuels de la géographie et de l'acoustique environnementale

*L'analyse spatiale des impacts du bruit peut favoriser une meilleure compréhension de ce phénomène (relativité spatio-temporelle par exemple) et rendre possible sur le long terme, la production d'un vrai critère de décision en aménagement. En ce sens l'approche géographique peut faire progresser les moyens de lutte et de gestion des impacts du bruit. L'acoustique environnementale fournit quant à elle, la possibilité d'affiner la compréhension des différenciations spatiales en géographie.*

Les objectifs de notre recherche doivent nous aider à réaliser un rapprochement des méthodes et concepts de l'acoustique environnementale et de la géographie. Notre hypothèse de départ est que le double éclairage de l'acoustique et de la géographie va améliorer la compréhension ainsi que la gestion des impacts du bruit des transports terrestres. Nous allons envisager les apports méthodologiques de notre approche selon ces deux points de vue complémentaires. D'un côté l'approche spatiale propre à la géographie va enrichir les diagnostics de l'acoustique environnementale, de l'autre, la géographie du bruit, telle qu'elle est définie par F. Roulier [ROU 99], va profiter des apports de l'acoustique environnementale pour la description et la compréhension de la dimension sonore du territoire.

### ***1.3.2.1. Intérêt de l'approche spatiale du géographe en acoustique environnementale :***

On a vu, dans le point 1.2.4., que de nombreux travaux existants s'intéressent à la cartographie du bruit mais que ces derniers sont essentiellement destinés à l'amélioration de la communication des politiques contre le bruit auprès du public. Nous avons identifiés quatre apports possibles de la géographie en acoustique environnementale pour une meilleure compréhension des impacts du bruit :

- production d'indicateurs spatiaux d'exposition et de vulnérabilité au bruit. Issus de modèles ou de mesures, ces informations sont obtenues par des opérations d'agrégations spatiales. Les indicateurs résultants participent à une meilleure compréhension du phénomène dans le territoire.
- création et gestion d'information géographique pour un modèle ou des mesures grâce à des outils adaptés comme les systèmes d'information géographiques (cf. point 2.2.2.1.)
- valorisation de l'information acoustique par des confrontations spatiales des données d'exposition sonore et des informations relatives à la vulnérabilité du territoire au bruit potentiel.
- exploitation de la dimension spatiale des informations générées, analyse multicritère, connexion avec d'autres thématiques d'impact tel que la pollution atmosphérique.

La géographie a un rôle à jouer dans les procédures rénovées de l'aménagement du territoire, et non pas seulement dans le domaine de l'acoustique environnementale. Il est réaliste de penser que l'approche proposée ici peut être transposée à des domaines comme la pollution atmosphérique par exemple ... A. Bailly avait rassemblé ces champs d'étude en géographie sous l'axe de la **géographie du bien-être**.

*« Devant la difficulté de concevoir des politiques spatiales cohérentes et soutenues, la géographie du bien être peut jouer un rôle essentiel par la fourniture de données de base, indicateurs des disparités spatiales, cartes des répartitions et analyse des processus qui les engendrent. Etudier les équilibres et les déséquilibres dans la qualité de vie, les variations des aspirations des habitants suivant les espaces culturels constituent des étapes indispensables à l'aménagement du territoire » [BAI 75].*

### ***1.3.2.2. Intérêt de l'approche de l'acoustique environnementale spatiale pour une géographie du bruit :***

La géographie du bruit s'intéresse particulièrement aux contextes et aux effets situés des impacts du bruit [ROU 99]. Dans cette optique notre cadre d'analyse spatiale des impacts du bruit peut fournir deux apports importants à la géographie du bruit :

- analyse des différenciations spatiales en matière de condition de réception du bruit, d'exposition du territoire au bruit et enfin d'impact potentiel du bruit dans le territoire.
- étude des évolutions probables de l'ensemble des facteurs à l'origine de la genèse des impacts du bruit dans le territoire.

Afin d'appliquer cette approche novatrice pour la géographie du bruit et l'acoustique environnementale, des préalables sont indispensables. Tout d'abord, il s'agit de mettre en conformité les vocabulaires et les concepts parfois divergents de l'acoustique et de la

géographie [QUE 98]. Nous verrons ainsi que certains modes de description du territoire ne sont pas partagés par les deux disciplines (relief, volumétrie des bâtiments). Le second objectif, préalable à la connexion des deux disciplines, porte sur la définition des échelles spatiales et temporelles de contact entre l'acoustique et la géographie. L'acousticien travaille généralement avec des indicateurs temporels de long terme et les échelles spatiales utilisées pour la modélisation sont souvent très grandes. A l'inverse le géographe n'est pas habitué à descendre à des échelles trop précises, ce qui se justifie par la nécessité de disposer d'une information de qualité homogène dans le territoire [QUE 99/1].

Le son dans le territoire est un phénomène qui peut avoir un rôle important dans l'explication des différenciations spatiales, d'où son intérêt pour la géographie. En se limitant à l'étude des impacts du bruit des transports terrestres, nous allons profiter des nombreuses expériences de l'acoustique environnementale dans ce domaine.

### **1.3.3. Les axes de travail**

Les objectifs et hypothèses de recherche ainsi définis, nous allons présenter les axes de notre recherche. Le premier consiste à élaborer un cadre formel pour l'analyse spatiale des impacts du bruit des transports terrestres. Pour être véritablement mise en œuvre, il suppose l'évaluation préalable du contexte technique et du contexte de décision. Ces trois axes constituent le squelette de la partie 2 de ce document. Dans le cadre du quatrième axe, des exemples de traitement sont détaillés (cf. partie 3).

#### ***1.3.3.1. Un cadre formel pour l'analyse spatiale des impacts du bruit des transports terrestres***

Le bruit n'est une donnée importante que confrontée à une population soumise à ce phénomène. La confrontation de ces deux informations définit une évaluation des impacts potentiels du bruit. Le cadre formel que nous proposons, doit fournir les moyens d'une énonciation la plus claire possible des impacts potentiels du bruit dans le cadre de la programmation urbaine. L'utilisation d'un modèle de propagation acoustique va permettre l'élaboration de scénarios prospectifs.

Pour que ces traitements soient réalisables, on doit comprendre la genèse spatiale des impacts du bruit sur le territoire. Elle peut être décomposée en deux groupes de paramètres distincts : les paramètres de la genèse du bruit en espace extérieur (point 2.1.1.2.) et les paramètres de la vulnérabilité du territoire au bruit (point 2.1.1.3.). Le cadre formel de traitement doit ensuite préciser les modalités de confrontations de ces informations, afin de produire des indicateurs spatiaux d'impacts du bruit des transports terrestres (point 2.1.4.). Les possibilités de projection dans l'avenir et les perspectives d'analyse « multicritère » des impacts sont ainsi explorées.

#### ***1.3.3.2. Une réflexion sur le contexte technique d'application de l'approche de traitement***

La mise en œuvre de la logique de traitement spatial des impacts du bruit suppose l'intégration des données acoustiques et des données de vulnérabilité dans un SIG, pour la réalisation de confrontations spatiales.

Le contexte de production de l'ensemble des informations nécessaires aux confrontations doit être détaillé. Cette analyse va identifier les possibles concordances entre les échelles spatiales et temporelles de description, les modèles de représentation du territoire et les niveaux de généralisation spatiale adoptés selon les outils utilisés.

Enfin, selon le modèle de représentation du territoire choisi, la couche acoustique intégrée dans le SIG peut faire l'objet de traitements différents.

### ***1.3.3.3. Une réflexion sur le contexte décisionnel d'application de notre approche de traitement***

L'évaluation et la maîtrise des risques ne se réduisent jamais à la création et à la mise en œuvre d'outils, par ailleurs indispensables [THE 87]. La prise en compte du contexte décisionnel de gestion et d'évaluation des impacts du bruit pose la question du contrôle social de la technologie et des formes de la participation publique aux systèmes de décision.

Les stratégies décisionnelles en matière d'urbanisme sont toujours le résultat d'un processus de choix confinant au compromis. Pour que ce dernier soit le moins « sévère » possible, les données régissant le choix doivent obéir à un minimum de règles dans leur contenu, et dans leur présentation. Elles doivent définir un cheminement de la réflexion, aboutissant à la production d'impacts potentiels qui en dernière instance seront estimés dans le champ politique. Dans le domaine de l'acoustique environnementale, quelle conséquence aura telle décision sur l'aménagement urbain ? Peut-on présenter ces conséquences en termes de populations exposées, en terme de décibels [QUE 99/2] ? Quel que soit l'approche choisie, un grand nombre de données géographiques doivent donc être récupérées ou constituées et harmonisées, concernant :

- l'utilisation du sol (espace naturel en trois dimensions, voies de communication et sources de bruit, bâti en volume),
- les populations résidente, active, passante, « sensible »(école, hôpital, etc.) à un instant ou à une suite d'instant donnés.
- les projets et perspectives d'aménagement susceptibles de modifier la production sonore ou la population soumise.

Les données nécessaires sont parfois non disponibles ou non accessibles. Il est donc utile de décrire les sources possibles et les modes de création de l'information géographique et notamment les méthodes de désagrégation spatiale de l'information fournie par l'I.N.S.E.E. afin d'estimer le volume de population exposée au bruit.

### ***1.3.3.4. Les démonstrations sur le terrain***

Dans la logique de projet SIGAUR, il nous semble important de réaliser des tests de l'approche proposée, à des échelles d'analyse courantes de l'acoustique environnementale. Deux sites de test sont proposés, à des échelles spatiales différentes, qui s'inspirent des spécifications de la norme française de cartographie du bruit (cf. point 1.2.4.2.1.). Deux tests sont menés dans le cadre de la présente recherche. Il s'agit d'une zone urbaine dense qui va être le théâtre de grands aménagement de transport et d'une zone périurbaine dans laquelle les sources potentielles de bruit se sont largement densifiées en 40 ans. Un troisième test actuellement en cours, se propose de traiter des échelles spatiales intermédiaires des deux autres maquettes. Il est réalisé dans le cadre d'un post doctorat au CSTB par Luc Merchez,

lui-même issu du laboratoire SEIGAD. La figure 25 présente une synthèse de notre démarche de recherche.

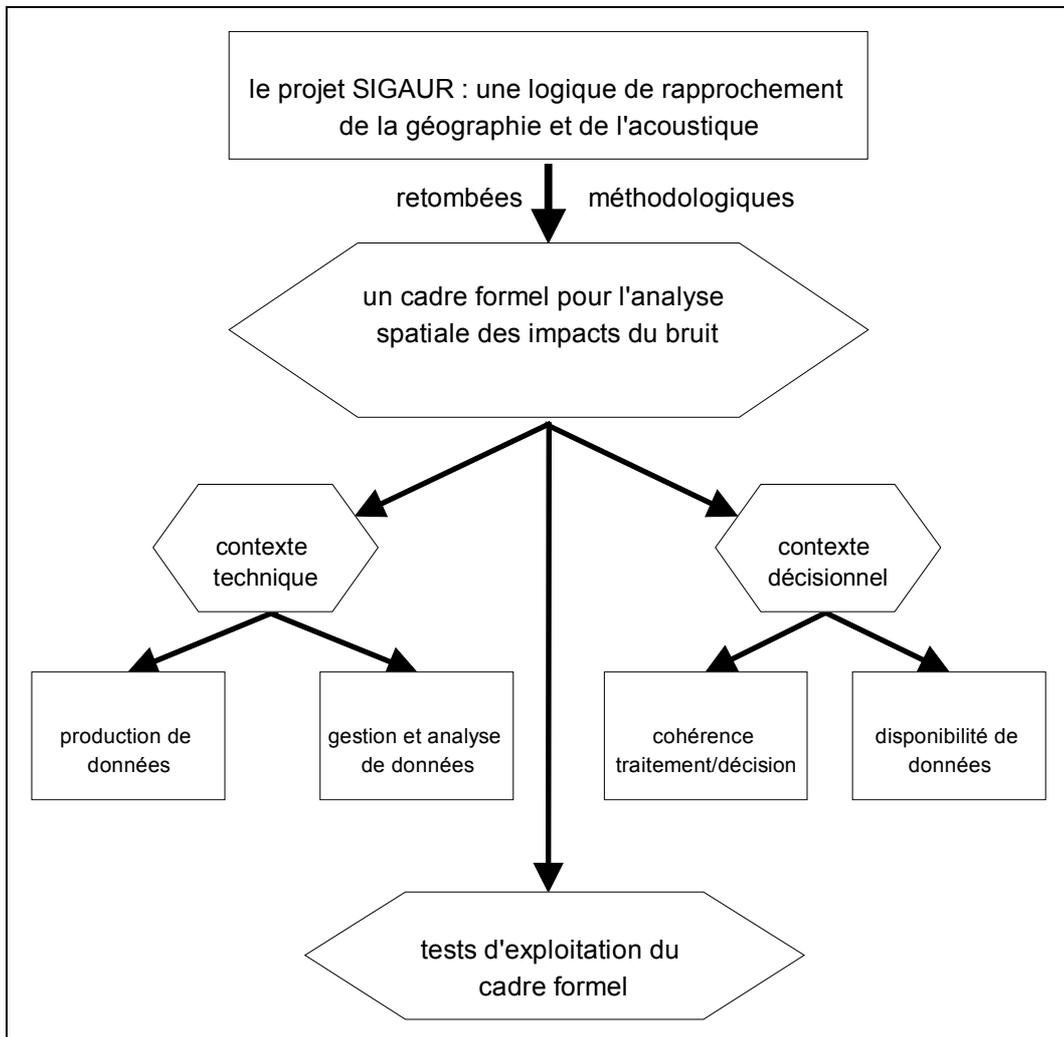
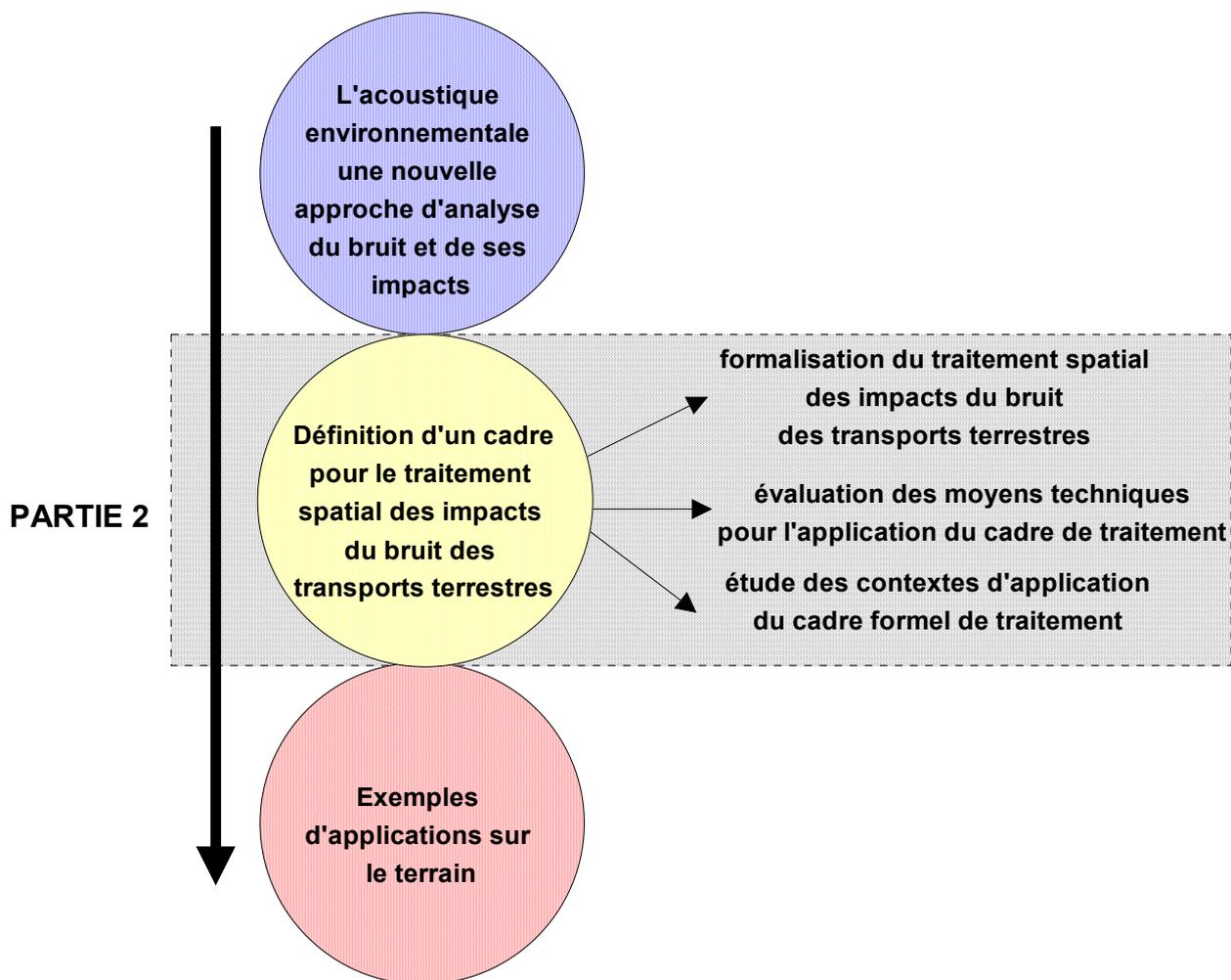


Figure 25 - Démarche de recherche



## **PARTIE 2**

**Un cadre méthodologique pour le  
traitement spatial des impacts du bruit des  
transports terrestres**



Cette partie est consacrée à la structuration d'un nouveau champ d'analyse en acoustique environnementale. Par une approche spatiale, nous recherchons des moyens de faciliter la gestion et l'évaluation des impacts du bruit, dans le but de mieux intégrer cette thématique dans les processus de décision en aménagement du territoire.

Les concepts qui permettent une formalisation de ces impacts sont définis ainsi que les conditions techniques d'application de notre optique de traitement. Pour finir nous évoquons la compatibilité de ce champ de traitement, avec la réalité des contextes de décision en acoustique environnementale.

## **2.1. Formalisation spatiale de la nuisance et de la pollution sonore des transports terrestres**

Afin de mettre en application les ambitions présentées à la fin de la partie 1, nous avons tenté de formaliser les rapports entre les différents paramètres qui interviennent dans le processus de production des impacts du bruit. La démarche proposée ici est adaptée au contexte pluridisciplinaire de notre propos. En effet, notre thématique d'étude se trouve à l'interface de deux disciplines distinctes. L'acoustique décrit les paramètres de l'exposition du territoire au bruit et l'approche géographique du territoire tente d'identifier les facteurs de différenciation spatiale (ici du point de vue des impacts du bruit). Notre approche est largement inspirée par des travaux réalisés dans d'autres contextes pluridisciplinaires, où les informations qui sont mises en relation sont issues de disciplines n'ayant pas de culture commune. Nous reviendrons sur cet aspect du problème d'analyse des impacts du bruit dans les points 2.2 et 2.3. Nous allons tout d'abord détailler notre approche particulière des impacts du bruit dans le territoire.

### **2.1.1. La genèse spatiale des impacts potentiels du bruit des transports terrestres**

La genèse des impacts du bruit sur le territoire peut être décrite selon deux optiques complémentaires. Du point de vue du phénomène acoustique, il s'agit d'étudier le mode de propagation de l'énergie acoustique dans le territoire. Le but est de le mesurer ou, encore mieux, de le prévoir. Parallèlement, le territoire doit être caractérisé en fonction de sa capacité à supporter l'exposition sonore qu'il reçoit. Ce double éclairage est inspiré du cadre méthodologique d'évaluation des risques naturels.

#### ***2.1.1.1. Logique générale EPR : une approche inspirée de l'analyse des risques naturels***

Dans notre formalisme, l'analyse des impacts potentiels du bruit sur le territoire revient à estimer l'éventualité des effets du bruit sur ce territoire. Notre démarche générale de confrontation spatiale s'inspire des méthodes générales d'évaluation des risques. C'est une formulation probabiliste des impacts du bruit. L'intérêt de cet éclairage est de pouvoir considérer le phénomène exposant aux seuls endroits où il peut porter préjudice [THE 87]. Dans le cas du bruit, les impacts éventuels liés à une exposition sonore donnée, sont observés pour les seules entités du territoire (population, bâtiment, espace occupé par une activité, ...) dont la vulnérabilité au bruit est reconnue ou supposée. La figure 26 décrit la démarche générale d'évaluation du risque [LEO 96]. La figure 27 présente la même démarche transposée à la thématique des impacts du bruit dans le territoire [QUE 00].

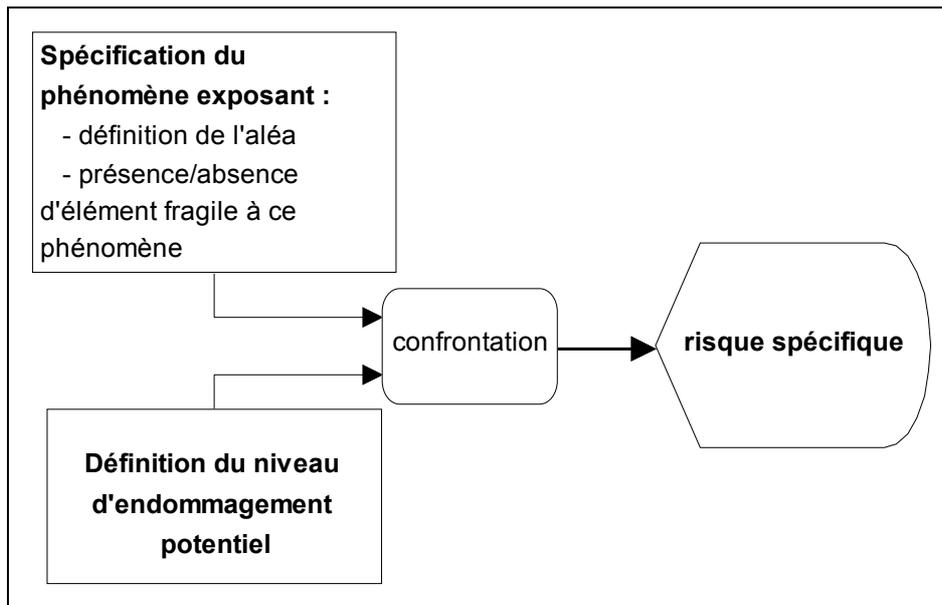


Figure 26 - Démarche générale d'évaluation du risque

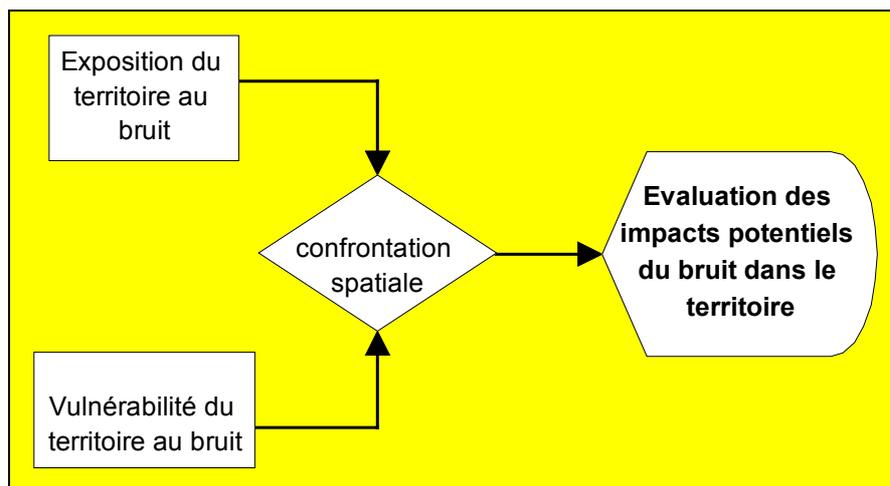


Figure 27 Démarche générale de confrontation pour l'analyse des impacts potentiels du bruit dans le territoire.

C. P. Peguy : "Le concept de risque est essentiellement relatif. Il y a un risque pour une échelle donnée (tant temporelle que spatiale), dans un contexte donné, pour une optique donnée. On devine aussi que face à des phénomènes complexes mettant en interaction environnement et société, seule une approche systémique permet de situer les uns par rapport aux autres les éléments en jeu" [BAI 95].

Dans sa thèse<sup>40</sup>, F. LEONE propose une définition du risque spécifique qui peut se définir comme l'espérance mathématique de l'endommagement d'un élément exposé donné [LEO 96].

<sup>40</sup> Qui porte sur "le concept de vulnérabilité appliquée à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain"

$$\text{Risque spécifique} = FCT (P_0, P_a, P_p) \cdot D$$

Avec :

**P<sub>0</sub>** : probabilité d'occurrence du phénomène

**P<sub>a</sub>** : probabilité pour que le phénomène atteigne l'emplacement de l'élément exposé

**P<sub>p</sub>** : probabilité pour que l'élément exposé soit présent au moment où le phénomène l'atteint.

**D** : niveau d'endommagement potentiel de l'élément exposé si le phénomène l'atteint (vulnérabilité au sens strict).

Dans l'optique de notre travail, nous proposons d'adapter la démarche de LEONE à une évaluation du risque d'impact du bruit sur le territoire. Cette approche convient bien au problème du bruit car c'est un phénomène qui, du fait de son ampleur, semble aujourd'hui impossible à faire disparaître totalement. Dans cette optique, la lutte contre le bruit dans le territoire s'intéresse donc à l'organisation harmonieuse des sources de bruit et des éléments du territoire les supportant plus ou moins bien. Le but ultime est la gestion de concert des expositions du bruit, dans le temps et l'espace, et du niveau de sensibilité du territoire à ce phénomène.

Le parallèle avec les approches courantes d'estimation du risque a tout de même ses limites si on désire le transposer à la thématique des impacts du bruit. L'incertitude quant à l'occurrence du phénomène exposant, qui définit normalement l'aléa, n'est pas présente dans le cas de l'estimation de l'exposition au bruit. Cette dernière peut être mesurée ou calculée. Il est de même possible de prévoir les caractéristiques et les niveaux d'exposition pour l'ensemble du territoire grâce aux modèles de propagation (cf. point 2.2.1.2.). Les déclencheurs, c'est à dire les sources de bruit, sont elles aussi bien connues même si, dans le domaine de la projection, il est courant de manquer d'information précise. Nous verrons dans les exemples de la partie 3, que les scénarios d'expositions sonores proposés restent assez aléatoires. L'incertitude n'est pas lié au phénomène en lui même mais à son amplitude.

Au sujet des dégâts que peut engendrer le bruit, il est clair qu'ils n'ont rien d'équivalent aux conséquences éventuelles des problèmes de sécurité alimentaire ou des catastrophes naturelles. Pour ces dernières, il est souvent question du coût d'une politique en fonction nombre de vies épargnées ... Dans le cas de l'acoustique, en dehors des problèmes de points noirs, les dégâts qui peuvent être occasionnés par le bruit, portent essentiellement sur la qualité du cadre de vie. Des présomptions existent quant aux effets du bruit sur le rythme d'apprentissage des enfants et la fréquence des maladies cardio-vasculaires, mais ces effets véritablement visibles pour la population sont incomparables avec l'émotion engendrée par les catastrophes naturelles.

Certains auteurs s'accordent pourtant à souligner l'émergence d'une approche de gestion et d'évaluation des risques commune à un ensemble de disciplines. Il est vrai que la recherche d'objectivation des décisions tend à favoriser de tels rapprochements. Les problèmes de précaution dans la décision, qui résulte du manque d'information sur le phénomène et ses effets, est un souci commun aux disciplines confrontées au problème de gestion et d'évaluation des risques.

D'après V. November, le risque est une composante fondamentale de la structuration et de l'évolution du territoire en milieu urbain [NOV 94]. Il ne peut être limité à la perception d'une agression survenant de l'extérieur, mais devrait être considéré comme un phénomène que la société désigne elle-même, en fonction des valeurs qui la fondent. Les risques sont ceux que la société juge particulièrement menaçants pour elle. Si l'événement anticipé n'est pas jugé dangereux pour la société, il ne sera pas désigné comme un risque.

Une telle approche unitaire de l'analyse des risques permet l'étude des coïncidences géographiques des différentes catégories de risque sur le terrain. La relation qui semble exister entre l'exposition au bruit et le niveau de revenu des ménages montre que le risque d'impact lié au bruit peut être indirectement lié aux problèmes d'exclusion sociale et spatiale. Une telle analyse transversale des risques pourrait de même rendre compte de la simultanéité de certains phénomènes comme la pollution de l'air et les problèmes d'acoustique. Une approche de cette nature est proposée par l'Agence Européenne de l'Environnement, la figure 28 reprend le schéma causal des stress urbains ainsi établi [EEA 99].

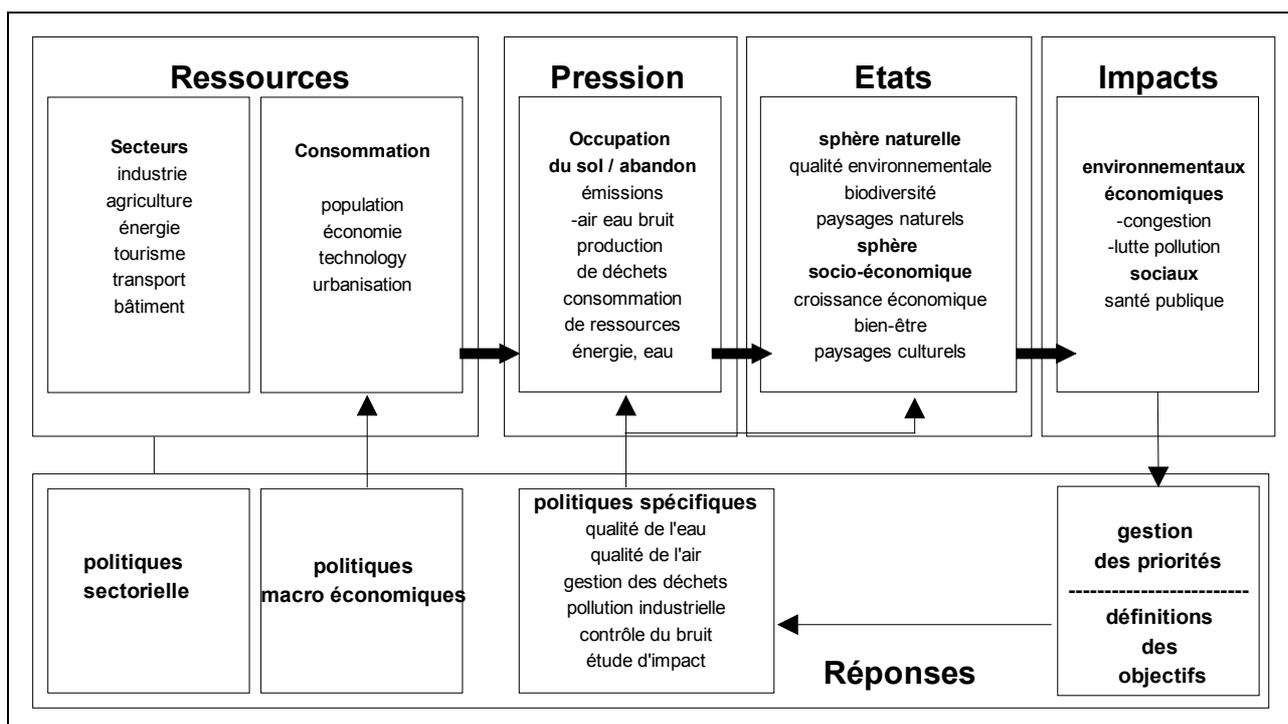
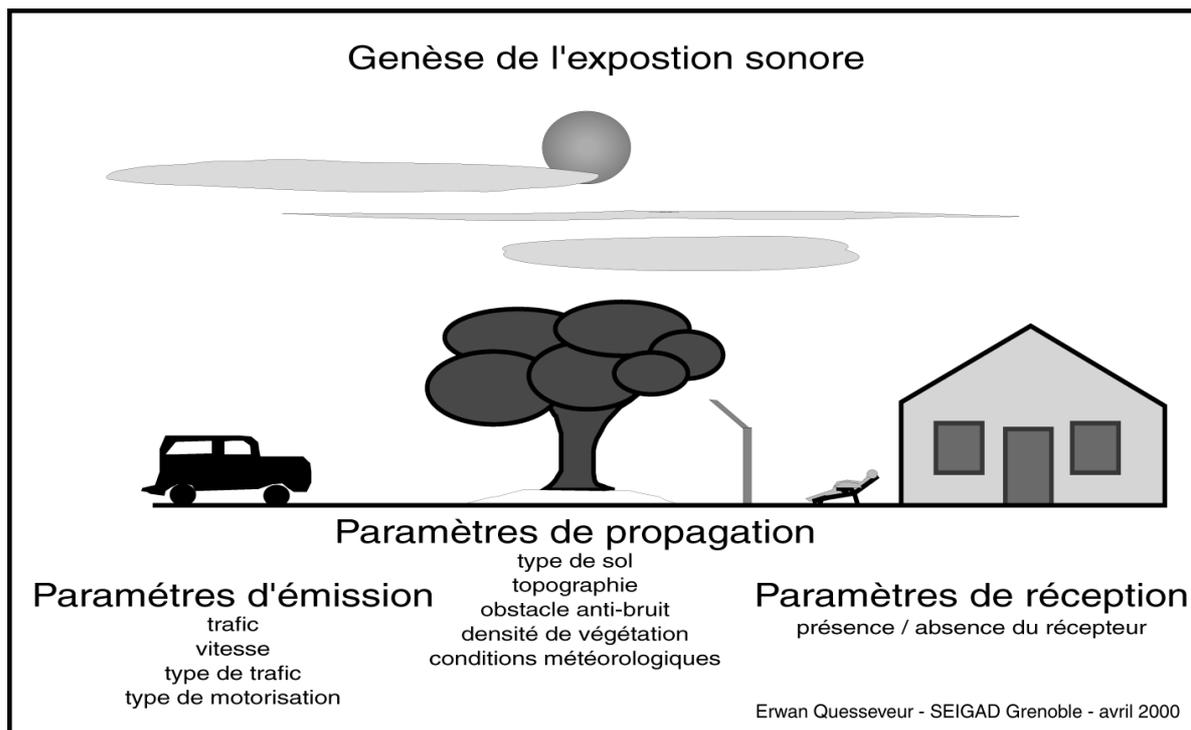


Figure 28 - Cadre d'évaluation des stress urbains [EEA 99]

Nous allons maintenant revenir en détail sur les paramètres de la genèse spatiale des impacts du bruit, à travers les facteurs régissant l'exposition sonore, puis ceux de la vulnérabilité du territoire au bruit éventuel.

### 2.1.1.2. Détails de l'approche EPR, genèse de l'exposition sonore

L'approche EPR détaille les paramètres d'**Emission**, de **Propagation** et de **Réception**, qui interviennent dans le phénomène d'exposition sonore. La figure 29 présente ces différentes catégories de paramètres spatiaux qui contribuent à la genèse de l'exposition du territoire à un niveau de bruit.



*Figure 29 - Les paramètres de la genèse de l'exposition sonore*

Nous allons détailler ces trois paramètres, car c'est la compréhension de ces derniers qui a permis de développer des modèles de propagation. Ces outils nous permettent aujourd'hui de produire des simulations spatialisées.

#### *2.1.1.2.1. L'émission sonore*

Le bruit émis par un flot de véhicules dépend d'un certain nombre d'éléments caractéristiques de la circulation et de l'infrastructure sur laquelle ils circulent. Pour le trafic routier on distingue couramment les paramètres suivants :

- le nombre total de véhicules. Les actions qui agissent sur le flot de véhicules doivent être d'une ampleur suffisante pour aboutir à une évolution tangible. On estime en effet que [GUA 98].
  - ~ diviser le débit par 2 réduit le niveau sonore de 3 dB
  - ~ diviser le débit par 3 réduit le niveau sonore de 5 dB
  - ~ diviser le débit par 10 réduit le niveau sonore de 10 dB.

Le volume de trafic d'une voie est généralement ramené à une moyenne pour une période donnée.

- la proportion des poids lourds dans le débit total de véhicules
- la vitesse des véhicules
- le type d'écoulement du trafic, qui peut être plus ou moins régulier, selon la synchronisation des feux de stop d'une voie par exemple, ou encore la présence d'un dos d'âne.

- le degré de la pente qui peut affecter la voie
- le revêtement de la chaussée peut lui aussi avoir une grande influence sur l'émission. Comme on peut le voir dans la figure 30, l'effet acoustique des revêtements de chaussée est surtout sensible à vitesse élevée (plus de 60 km/h pour les véhicules légers et 70-80 km/h pour les poids lourds). Parmi les revêtements les moins bruyants, on identifie les bétons bitumineux drainants 0/10 ainsi que les béton bitumineux très mince et ultra minces à faible granularité (0/6). Des problèmes persistent pour l'utilisation de tels matériaux. On ne dispose en effet d'aucune garantie quant au maintien de leurs performances dans le temps [CER 96].

Type de revêtement	L <sub>Amax</sub> moyen à 90km/h en dB(A)	Variations en dB(A)
Béton bitumineux drainant 0/10	74,0	(71,0 - 77,5)
Béton bitumineux très mince 0/6	74,9	(71 - 77)
Béton de ciment	80,1	(79,5 - 81)

Figure 30 - Performances acoustiques de revêtements routiers<sup>41</sup>

En guise d'exemple, la figure 31 montre la complexité du processus d'émission acoustique produit par une automobile. L'élément produisant le niveau sonore dominant de l'émission varie largement en fonction de la vitesse.

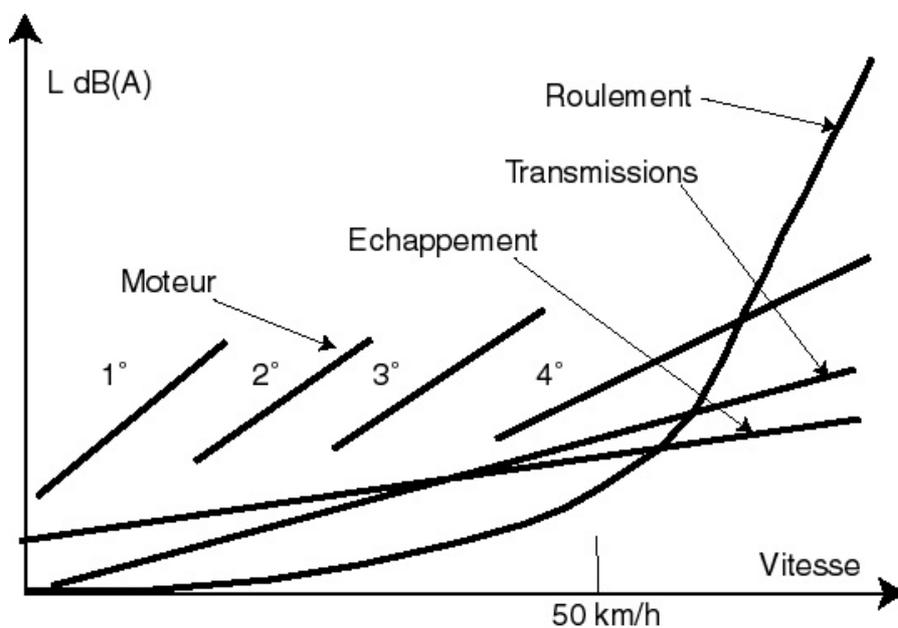


Figure 31 - Allure de l'évolution des différentes sources de bruit en fonction de la vitesse pour une voiture particulière<sup>42</sup>

<sup>41</sup> source : Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg

Pour le trafic ferroviaire les paramètres sont quelque peu différents :

- le nombre de véhicules. Comme pour une voie routière, il est ramené à une moyenne pour une période donnée.
- les caractéristiques des convois tiennent compte du type de motrice utilisée (électrique, diesel, ...), du nombre de boggies que comporte le convoi, des caractéristiques des wagons (marchandises, voyageurs, vrac, ...).
- les systèmes de freinage (frein à sabot métallique, frein à disque)
- la rampe de la voie
- le tracé de la voie, le type de jointure entre les rails (soudé ou non) et le niveau d'usure du rail qui vont agir sur la nature du contact entre le rail et la roue.

Les émissions des tramways sont décrites selon des paramètres très voisins de ceux des trains.

Pour reconstituer ensuite la propagation des sons en espace extérieur, les sources linéaires comme les routes et les voies ferrées sont modélisées par des lignes sources sur lesquelles le niveau d'émission est considéré homogène. Des méthodes ont été développées afin d'évaluer l'émission moyenne d'une voie à partir de ces paramètres de description. Pour le classement sonore par exemple, l'émission sonore des voies routières est calculée selon la formule suivante [CER 96] :

$$E = (E_{vl} + 10 \log Q_{vl}) \oplus (E_{pl} + 10 \log Q_{pl}) \text{ Db(A)}$$

où

$E_{vl}$  et  $E_{pl}$  sont respectivement les émissions sonores unitaires des véhicules légers (VL) et poids lourds (PL), obtenues selon des abaques [CER 96] qui mettent en relation le niveau d'émission par véhicule selon la vitesse pondérée par l'effet de rampe éventuel lié à la route et le mode de trafic (pulsé, accéléré, normal).

$Q_{vl}$  et  $Q_{pl}$  sont respectivement les débits horaires moyens de VL et de PL, représentatifs, selon le cas, de la période 6h-22h ou 22h-6h.

NB : le signe " $\oplus$ " représente l'addition quadratique des niveaux sonores et se calcule selon l'équation suivante :

$$L1 \oplus L2 = 10 \log \left[ 10^{L1/10} + 10^{L2/10} \right] \text{ dB}$$

Le niveau d'émission résultant par mètre de voie homogène est une valeur exprimée en Watts.

Une fois que cette information d'émission sonore est connue, l'étape suivante consiste à décrire le processus de propagation spatiale du bruit en espace extérieur. Le terme de propagation est préféré à celui de diffusion car il s'agit d'un phénomène ondulatoire qui consiste en un déplacement d'énergie de proche en proche dans l'air.

---

<sup>42</sup> source : Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg

### 2.1.1.2.2. *La propagation sonore*

La propagation d'une onde sonore est soumise à quatre grands types d'effet : Les effets de distance, de sol, d'obstacle et enfin les effets météorologiques.

#### **a - Les effets de distance**

Pour une source ponctuelle, les lois acoustiques montrent que le niveau sonore diminue de 6 dB(A) chaque fois que la distance de l'observateur à la source double<sup>43</sup>. En fait, plus l'on s'éloigne d'une source de bruit, plus l'énergie sonore qui en émerge est répartie sur une grande surface. Pour un ensemble de sources constituant une ligne source, cette diminution n'est plus que de 3dB(A) à chaque doublement de la distance (soit une diminution par deux de l'énergie contenue dans le mouvement ondulatoire). C'est le principal effet de la distance, il est appelé **effet de dilution** [RAP 97].

L'absorption de l'air, qui représente la dissipation réelle de l'énergie est très faible. Elle peut provoquer une atténuation supplémentaire qui varie selon les fréquences (perte de 4 dB par kilomètre aux fréquences moyennes).

Pour se prémunir du bruit d'une voie, le fait d'augmenter la distance est donc une mesure efficace mais elle génère une consommation d'espace importante et peut avoir d'autres effets contre productifs que nous avons évoqués dans le point 1.2.3.5. [CET 81].

#### **b - Les effets de sol**

Il existe au voisinage du sol, sur une hauteur allant de quelques centimètres à plusieurs mètres, des variations importantes de la température qui peuvent renforcer l'effet d'éventuels mouvements de terre, de végétation, d'obstacles naturels situés à proximité immédiate du sol. Cet ensemble d'obstacles ralentit la propagation des ondes sonores au voisinage d'un sol et provoque une absorption du son. Le CETUR propose une typologie de matières absorbantes en 5 catégories [CET 81] :

---

<sup>43</sup> dans une situation où le chemin entre la source et le récepteur est direct bien entendu

Catégories	Coefficient d'absorption $X = \frac{\text{énergie absorbée}}{\text{énergie incidente}}$	Type de matériau
1	Totalelement réfléchissant $X = 1$	Plan d'eau, dalle bétonnée, plaque métallique, bois verni, marbre
2	Semi réfléchissant $X = 2$	Bois non poncé et peu jointif, crépi, pierre plate régulière, bloc de béton rugueux (dallage de voies piétonnes), sols revêtus de matériaux bitumineux (enrobé, enduits) comparables aux revêtements de chaussées (parking ...), émulsions
3	Semi absorbant $X = 3$	Bois non jointifs et non poncés, graviers, matières granuleuses répandues sur le sol, sol en terre avec gazon
4	Absorbant $X = 4$	Sol naturel très irrégulier comportant une végétation dense
5	Totalelement absorbant $X = 5$	Hypothèse théorique

Tableau 15 - Typologie des effets d'absorption acoustique du sol en fonction des matériaux [CET 81]

### c - Les effets d'obstacle

Ce groupe d'effets concerne toutes les situations de contact de l'onde sonore avec un obstacle lors de sa propagation.

Le phénomène de **réflexion** fonctionne en acoustique pour le son, comme en optique pour la lumière. Si la façade qui réfléchit le son est totalement réfléchissante l'énergie réfléchie est égale à l'énergie incidente. Comme pour l'effet de sol, les matériaux minéraux sont très réfléchissants. En plan, une source linéaire peut être totalement ou partiellement réfléchiée par un obstacle de longueur limitée. Pour l'observateur  $R$ , tout se passe comme s'il recevait le bruit issu de la route, située à la distance  $d$ , puis le bruit issu du tronçon de route symétrique par rapport à la façade réfléchissante, vu sous l'angle  $\beta$ , situé à la distance  $d'$  et de longueur  $l'$  [CET 81] (cf. figure 32).

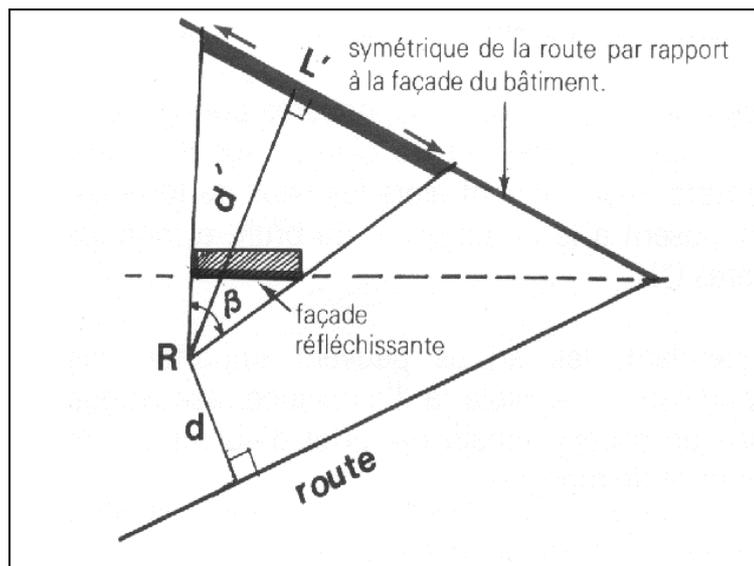


Figure 32 - Principe de réflexion du bruit issu d'une source linéaire [CET 81]

Le phénomène d'**absorption** est représenté dans la figure 33. L'absorption consiste à transformer l'énergie acoustique en énergie calorifique par frottement et dispersion. On distingue trois catégories de matériaux absorbants. Dans les matériaux fibreux ou poreux (la laine de verre par exemple) l'onde pénètre presque entièrement et est transformée en chaleur. Les panneaux fléchissants et résonateurs fonctionnent selon le même principe mais sur des bandes de fréquence beaucoup plus étroites.

Le phénomène de **transmission** est lui aussi représenté dans la figure 33. Il permet au bruit de se propager à travers une paroi même en l'absence d'ouverture. Un exemple de cet effet s'observe couramment dans les logements mal insonorisés.

Le **diffraction** porte sur la partie d'énergie qui "contourne" l'obstacle pour atteindre l'observateur R, à une pression acoustique sensiblement réduite par rapport à la pression qui existe devant l'écran (cf. figure 33). C'est un phénomène qui est aujourd'hui bien connu et on en tient compte lors du dimensionnement des murs antibruit. La hauteur de ces derniers est ainsi calculée pour que l'onde ne puisse "rebondir" au dessus de l'ouvrage. Pour cela, on oppose à l'onde sonore un mur dont la hauteur est au moins égale au double de sa longueur d'onde. Pour le bruit routier, dont la fréquence moyenne est de 500 Hz (soit une longueur d'onde d'environ 65 cm), les murs antibruit doivent donc avoir une hauteur supérieure à 1,30 m [CET 81].

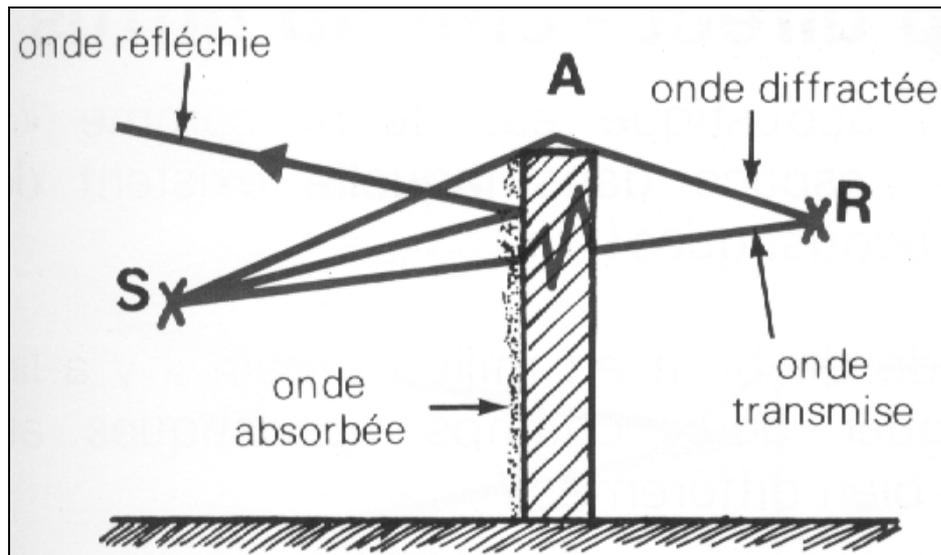


Figure 33 - Répartition de l'énergie acoustique en présence d'un obstacle [CET 81]

#### d - Les effets météorologiques

Certaines conditions de vent et de température peuvent modifier la propagation du son. Les figures 34 et 35 résument ces phénomènes. La situation la plus favorable à la propagation du son intervient lors d'inversion thermique et quand le récepteur se trouve sous le vent de la source de bruit.

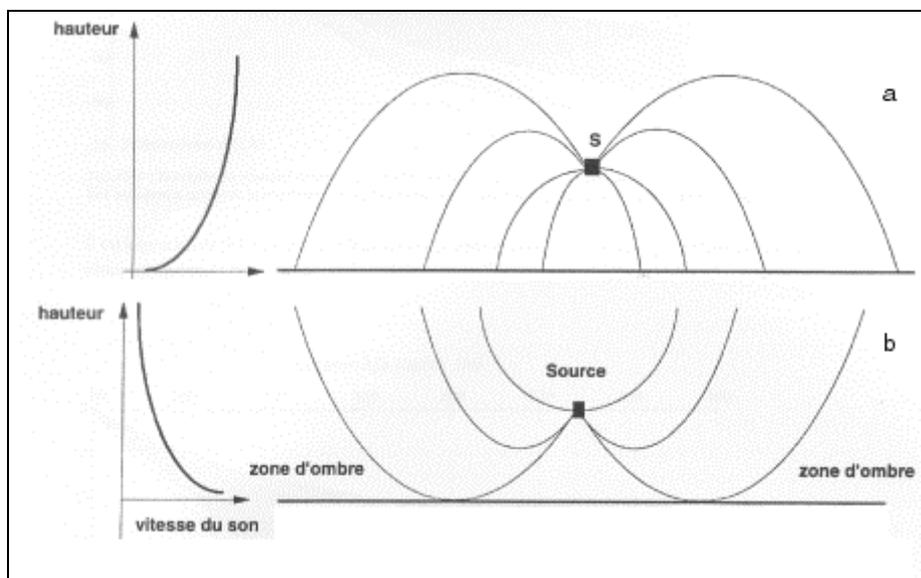


Figure 34 - L'effet de la température sur la propagation du son : en situation d'inversion thermique (a), gradient thermique (b) [SOU 97]

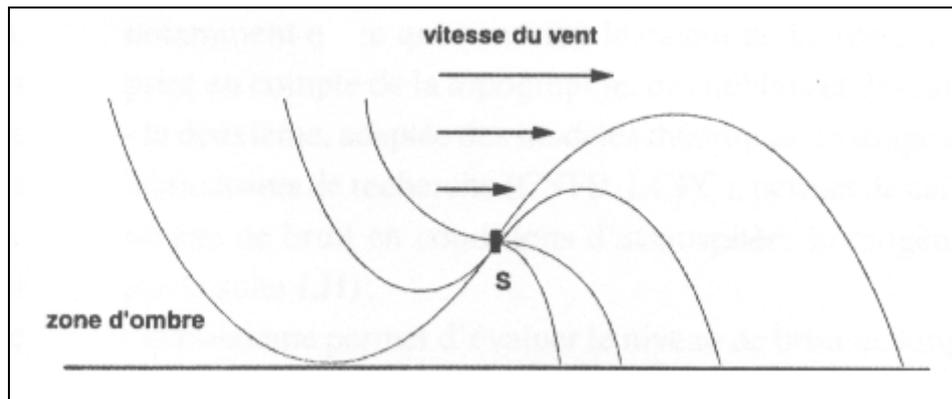


Figure 35 - Effet du vent sur la propagation du son [SOU 97]

Dans le classement sonore des voies, l'utilisation de paramètres de propagation est adaptée à la réalité des données aujourd'hui disponibles. Ce recensement n'a en effet d'intérêt, que si il est véritablement exhaustif et homogène pour l'ensemble du territoire. Pour ces raisons, la prise en compte des paramètres de propagation du bruit se limite à la caractérisation du tissu urbain à proximité immédiate de la voie classée. On distingue deux cas, le tissu urbain ouvert et la rue en "U". Cette distinction permet de définir le type de champ acoustique de propagation. Dans un tissu ouvert, le champ acoustique est direct, le niveau sonore perçu dépend essentiellement de la distance et des effets de sol. Dans une rue en "U", le champ acoustique est diffus. L'effet des multiples réflexions sur les façades fait que le niveau d'exposition ne dépend plus de la distance à la source, il devient presque constant dans cet espace.

#### **e - L'influence de la morphologie urbaine**

Au regard des paramètres de propagation qui peuvent en dépendre, les formes urbaines contribuent largement à la protection des populations. La nouvelle réglementation en matière de conception des bâtiments traite ainsi des questions du plan masse et identifie les configurations les plus favorables [MIN 95] (cf. figure 36).

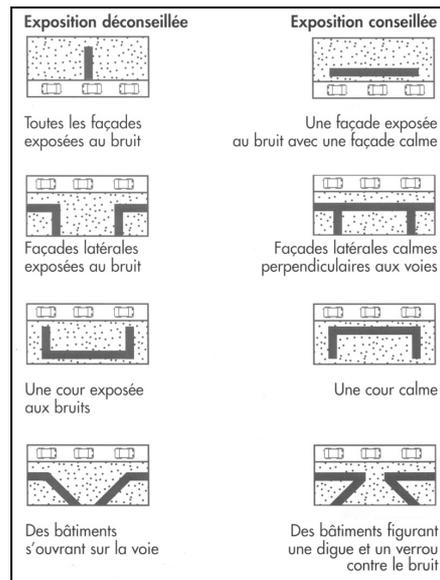


Figure 36 - Adaptation du plan masse à la propagation du bruit en espace extérieur [MIN 95]

Les ensembles de bâtiments sont ainsi plus ou moins perméables au bruit en fonction des ouvertures qu'ils présentent aux infrastructures de transport. « On peut faire d'une façon très schématique une analogie avec le comportement du vent en milieu urbain » [CET 81].

### f - La végétation

La végétation ne joue pas un rôle important du point de vue de la propagation. Une plantation dense n'apporte qu'environ 1 dB(A) d'atténuation pour 10 mètres d'épaisseur. Elle a tout de même les avantages de produire elle-même un bruit qui peut couvrir d'autres sources et de limiter la réverbération des murs et des places par réflexion multiple des branches. L'effet visuel de la végétation peut aussi influencer la représentation que les populations vont se faire du bruit auquel elles sont exposées.

#### 2.1.1.2.3. L'exposition sonore résultante

Pour connaître l'exposition sonore d'un élément dans le territoire, on doit disposer ... de sa localisation géographique (dans les trois dimensions x,y et z), des moments où il est présent et absent de cette position. Dans la littérature dédiée à la description des impacts du bruit, de nombreux travaux portent sur le problème de la représentation temporelle de l'exposition sonore. Sa représentation spatiale est quant à elle peu explorée, à l'image des rares réflexions qui portent sur le sujet dans l'ouvrage de synthèse de Harris concernant l'acoustique appliquée [HAR 91].

Dans le cadre du classement sonore des voies, on a opté pour un mode de représentation simplifié de l'exposition résultante. Selon le niveau de classement déterminé par les paramètres précités, une largeur maximale est définie pour les secteurs affectés de part et d'autre de l'infrastructure (cf. point 1.2.3.2.2.).

Les paramètres de la genèse de l'exposition du territoire ainsi spécifiés, nous allons maintenant préciser la notion du vulnérabilité du territoire au bruit.

### **2.1.1.3. La vulnérabilité du territoire au bruit**

#### **2.1.1.3.1 Approche théorique de la vulnérabilité**

Le concept de vulnérabilité auquel nous faisons référence est lui aussi transposé de recherches méthodologiques pour l'évaluation des risques naturels. C'est un domaine qui a largement approfondi l'étude de ce concept [LEO 96] [DER 94] [THE 87].

- **le concept de vulnérabilité** au sens large (**approche qualitative**) [LEO 96] : « Propension variable d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique ». La dimension qualitative de la vulnérabilité au bruit potentiel exprime la relativité de la sensibilité au bruit en fonction de paramètres psychologiques ou sociologiques.

- **la vulnérabilité au sens technique (approche quantitative)** [LEO 96] : « Grandeur pouvant être évaluée par le niveau d'endommagement constaté ou potentiel d'un élément exposé donné, soumis à l'action d'un phénomène déclaré ou pressenti, d'intensité donnée ».

Ces différentes approches de la vulnérabilité sont mises en relation les unes aux autres par R. D'Ercole, dans un article qui tente une description transversale des vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés [DER 94]. La figure 37 reprend la synthèse de ces différentes approches.

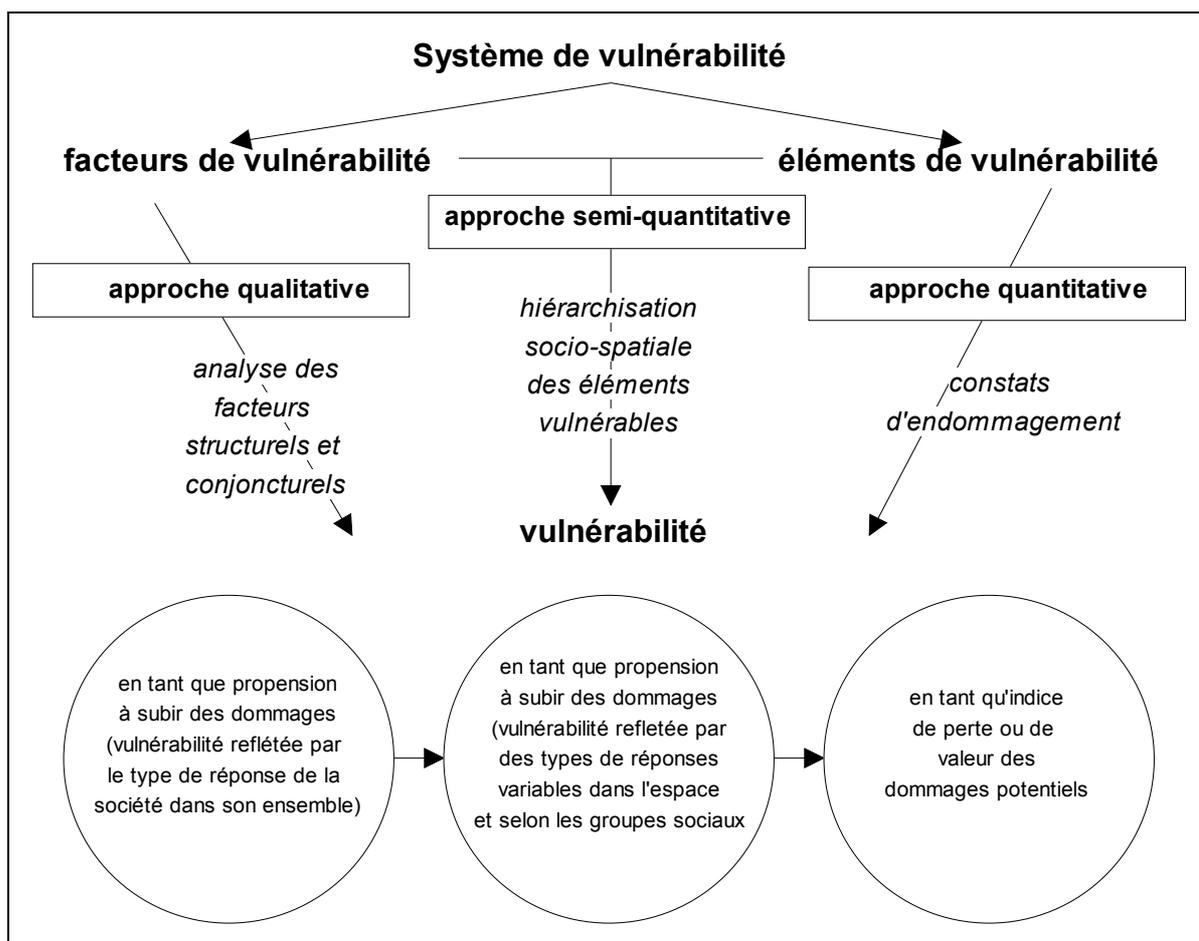


Figure 37 - Synthèse des différentes approches de la vulnérabilité et relations [DER 94]

Dans notre projet, nous avons choisi une approche de la vulnérabilité que R. D’Ercole qualifie de « semi-quantitative ». Elle intègre à la fois les facteurs de vulnérabilité et les éléments vulnérables.

Ainsi transposé dans notre thématique d’étude, le concept de vulnérabilité détermine le **niveau d’endommagement potentiel du territoire** (ou des éléments du territoire) **si le bruit l’atteint**. L’intérêt de cette approche est de caractériser le territoire dans ses rapports complexes avec le phénomène exposant. Pour évaluer la vulnérabilité d’un élément donné, F. Leone propose deux voies d’analyse complémentaires qui répondent chacune à une des questions suivantes :

- *Qu’est ce qui détermine la valeur intrinsèque ou extrinsèque de l’élément exposé ?*
- *Quel sera l’endommagement lié au phénomène exposant ?*

La valeur intrinsèque ou extrinsèque de l’élément exposé est déterminée par la **fonction d’utilité**. L’endommagement lié au phénomène est évalué par la **fonction d’endommagement**.

#### a - La fonction d’utilité :

L’estimation de « l’utilité » d’un élément de territoire donné, consiste à évaluer son intérêt « dans l’absolu » pour les usagers de ce territoire.

## b - La fonction d'endommagement :

A la différence de la fonction d'utilité, on va considérer les éléments du territoire non pas à travers leur valeur propre, mais par rapport au phénomène d'exposition sonore. La fonction d'endommagement doit définir les éléments qui peuvent être endommagés si ils venaient à être exposés, la capacité d'endommagement du bruit sur ces éléments et enfin l'acceptabilité du risque.

F. LEONE a distingué trois grandes familles d'**éléments exposés** au risque de glissement de terrain : les biens physiques, les personnes et les activités. Dans le cadre de nos travaux, nous avons essentiellement considéré les personnes et les activités.

**La capacité d'endommagement** est caractérisée par le type de processus d'endommagement et son intensité.

- le processus d'endommagement définit l'action préférentielle du phénomène sur l'élément exposé.
- l'intensité caractérise l'ampleur du processus d'endommagement entraîné par le phénomène. Elle est représentative du phénomène uniquement.

La notion d'**acceptabilité du risque** dépend de la perception du risque. Elle va pondérer la fonction d'endommagement. Elle peut être évaluée à travers la réaction des pouvoirs publics pour lutter contre un certain niveau d'exposition ou de façon plus subjective, au regard du contexte de réception dans lequel se trouve l'élément exposé. La figure 38 reprend l'ensemble des paramètres de la vulnérabilité telle que les a décrits F. Leone.

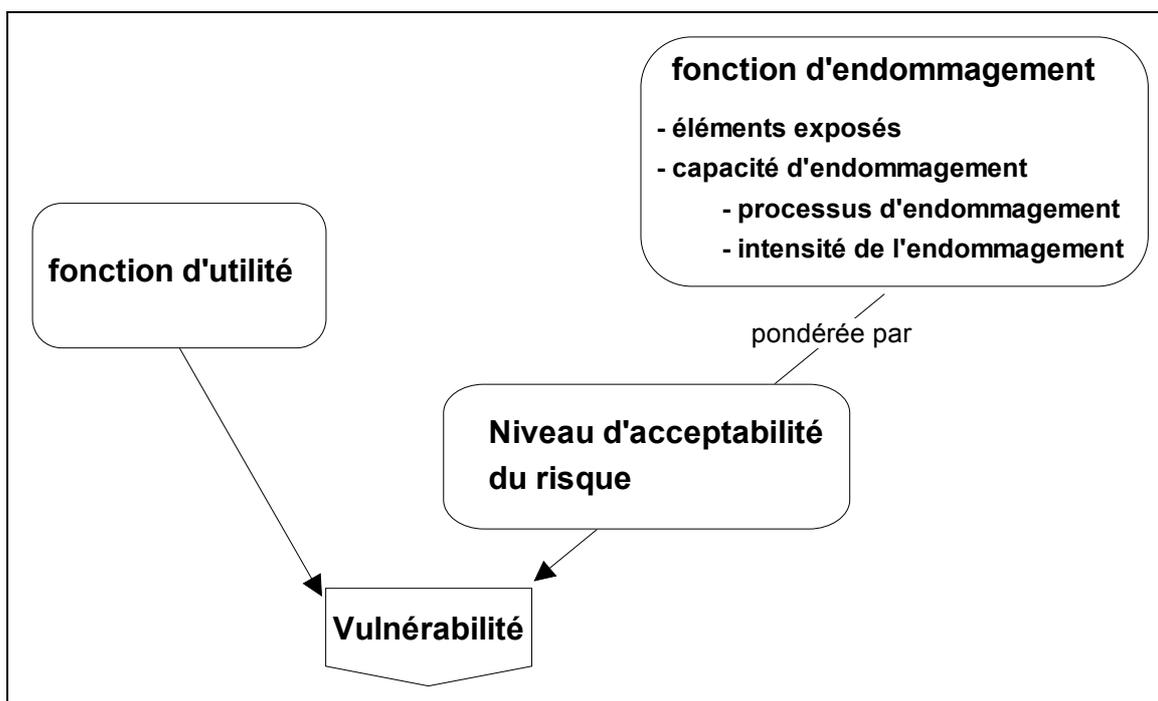


Figure 38 - Les différents paramètres de la vulnérabilité

Nous allons maintenant transposer ce schéma général d'évaluation de la vulnérabilité à la thématique du risque d'impact du bruit des transports terrestres sur le territoire.

### 2.1.1.3.2 *La vulnérabilité des éléments du territoire au bruit des transports terrestres :*

#### **a – La fonction d'utilité**

La fonction d'utilité peut être appliquée à la vulnérabilité du territoire au bruit pour la préservation des sanctuaires acoustiques. Dans ce cas, les conditions de calme d'un espace constituent sa valeur intrinsèque. Ces territoires sont des lieux de repos, de détente ou de loisir pour la population, des lieux de culte, des espaces naturels à préserver ou plus simplement des lieux de promenade proches des agglomérations. Plusieurs tentatives d'identification de tels espaces ont vu le jour à différentes échelles spatiales. Dans le cadre de l'évaluation des impacts potentiels du futur réseau de transport transeuropéen, la notion de zone tranquille identifie les zones naturelles, semi naturelles, forêts et les zones humides qui se trouvent aujourd'hui à plus de 7.5 km d'une voie existante du futur réseau de transport [EAA 98]. A plus grande échelle, des problèmes persistent quant à la définition d'une zone tranquille selon des paramètres quantitatifs ou qualitatifs. Les niveaux de bruit et les types de sources considérés s'adaptent très mal aux méthodes adoptés par caractériser la gêne [BOT 99]. S. Hurtig montre ainsi qu'une limite d'exposition sonore de 30 dB(A) en L(Aeq, t) ne peut être utilisée, car elle est régulièrement dépassée du fait des seuls bruits des oiseaux et du vent ... [HUR 98].

Dans ce domaine de multiples approches sociologiques et psychologiques sont envisageables, mais pour notre part, nous n'avons pas exploré ces voies. De telles considérations pourraient largement enrichir l'approche spatiale à dominante quantitative, telle que nous la proposons ici.

#### **b - La fonction d'endommagement**

Dans la description des **biens exposés**, on peut distinguer les populations des activités même si dans nos traitements, la localisation de ces éléments est régulièrement ramenée à la parcelle de territoire ou au bâtiment. Les populations sont décrites selon leur taille, leur densité dans un espace donné, ou encore en fonction de la répartition de leur présence sur le territoire au cours du temps (pour 24 heures ou au cours d'une année par exemple). Les activités peuvent, elles aussi, caractériser le territoire afin d'évaluer l'endommagement potentiel du bruit. La capacité d'endommagement du bruit est différente selon l'activité qui y est exposée. Les industries et les activités commerciales sont potentiellement moins soumises à l'endommagement du bruit que les espaces résidentiels. La législation française sous tend une telle différenciation des endommagements potentiels, en appliquant des seuils d'exposition acceptables, différents selon l'activité concernée. Nous exploiterons ces seuils d'exposition dans le cadre de nos traitements présentés dans la partie 3 de ce document.

L'évaluation des **capacités d'endommagement** se base sur les travaux présentés dans les points 1.2.1.4 et 1.2.2.3.. Les types d'endommagement du bruit les plus couramment observés à l'échelle d'un individu sont les troubles de la communication, la sensation de gêne et pour les situations d'exposition plus graves, les problèmes de sommeil. Les approches plus macroscopiques qui évaluent les impacts du bruit à l'échelle de la collectivité, identifient quantitativement les effets d'endommagement sur le marché immobilier ou encore la proportion probable de la population fortement gênée. Les différents types d'endommagement sont associés à des **intensités d'exposition** données dans des relations mathématiques. Ces propositions de relations moyennes entre effet et dose font ensuite l'objet d'un arbitrage qui

peut être apparenté à l'évaluation de l'acceptabilité du risque par une population ou par les pouvoirs publics qui gèrent le territoire.

L'**acceptabilité du risque** « pondère » la fonction d'endommagement détaillée précédemment. Nous avons choisi de nous limiter aux seuls paramètres d'acceptabilité du risque qui pouvaient être identifiés dans le territoire. Ce choix restrictif découle de notre volonté d'évaluer les apports de l'approche spatiale dans l'étude des impacts du bruit.

D'autres paramètres interviennent bien évidemment sur le niveau d'acceptabilité. Il s'agit par exemple des facteurs psycho-sociologiques, économiques, ... H. Houot a traité dans sa thèse de ses aspects de la genèse des impacts du bruit [HOU 98]. Selon notre optique, on distingue deux modes d'évaluation de l'acceptabilité du risque d'impact. La première approche tient compte de la réaction des pouvoirs publics à l'éventualité d'un endommagement. La seconde approche est quant à elle, plus exploratoire. Nous avons tenté d'évaluer l'influence du contexte spatial de réception du bruit sur l'acceptabilité du risque d'impact par la population.

La **réaction des pouvoirs publics** permet d'identifier la reconnaissance « politique » de la vulnérabilité potentielle d'une population ou d'un espace au bruit. D'un point de vue spatial, cette approche se limite aux constats de présence/absence de population et à l'observation du mode d'occupation des sols. La variabilité temporelle de l'occupation du sol peut y être associée. La politique française de lutte contre le bruit donne ainsi la priorité à la protection des espaces résidentiels en période nocturne. D'autres activités particulièrement sensibles au bruit sont identifiées, il s'agit des hôpitaux et des écoles [GUA 98]. Le risque de pollution est inversement mieux accepté pour les activités industrielles et commerciales.

La prise en compte du **contexte spatial de réception** du bruit dans l'acceptabilité du risque est une démarche plus exploratoire pour l'évaluation de la vulnérabilité du territoire au bruit. Quatre ensembles de paramètres spatiaux peuvent intervenir ici. Il s'agit des rapports aux sources bruyantes, des rapports au tissu urbain, des rapports à l'occupation du sol et enfin du contexte local de réception. Deux formes d'acceptabilité sont ensuite distinguées : les **conditions de réception** du bruit et la **représentation que la population se fait du bruit**.

L'hypothèse retenue suppose que les **conditions de réception** du bruit par la population agissent sur le niveau d'acceptabilité du risque d'impact. Deux groupes d'individus profitant de conditions de réception différentes et confrontés à une même exposition sonore, peuvent vivre différemment la situation d'impact potentiel. Nous proposons ici quatre critères spatiaux d'identification des conditions de réception du bruit :

- **la distance euclidienne aux sources de bruit**. La distance aux sources de bruit peut avoir un effet sur les conditions de réception du bruit comme sur la représentation du bruit, et ce dans des sens opposés. La proximité importante d'une source majeure de bruit peut entraîner une faible acceptabilité du risque d'impact, car le bruit peut se cumuler à d'autres contraintes, telles que la pollution atmosphérique ou la perspective d'accident. A l'inverse le bruit sera très mal accepté par les populations qui auront choisi dans s'en éloigner le plus possible. Cette situation peut s'observer dans le cas où le bruit est un critère répulsif de choix du lieu de résidence<sup>44</sup>. La distance aux sources peut être pondérée dans une fonction d'utilité qui intègre des

---

<sup>44</sup> dans ce cas c'est un paramètre qui décrit la représentation probable du bruit par la population

paramètres de représentation probable du bruit. Nous reviendrons sur ces aspects à la fin de ce point.

- **les caractéristiques du tissu urbain.** En fonction des commodités pratiques que procure le quartier (en terme d'accès aux services essentiellement), de la conception générale des bâtiments, de l'absence de vis à vis et de l'organisation de la mitoyenneté (qui permet de découper l'espace sonore efficacement), le tissu urbain peut aussi influencer le niveau de satisfaction des habitants envers leur cadre de vie [LAM 82].
- **l'exposition au soleil.** *"Si un logement doit pouvoir se prolonger sur un environnement acoustique agréable, cet environnement est un tout et rien ne sert d'être protégé du bruit si l'on est exposé au froid et au vent. Lorsque le bruit vient du nord, il est possible de situer sur la façade exposée au bruit des pièces de service et des pièces bien isolées. Lorsque le bruit vient du sud ou de l'ouest, les architectes doivent résoudre les contradictions suivantes : - laisser pénétrer le soleil dans les habitations, terrasses, jardins privés sans laisser pénétrer le bruit; - protéger des surchauffes solaires les pièces dotées de fenêtres acoustiques"* [RAP 97]. Dans cette logique il semble réaliste de différencier les conditions de réception d'une population selon l'orientation privilégiée des résidences. Comme pour les autres critères, l'ensoleillement reste uniquement une donnée qui pondère l'endommagement en terme d'acceptabilité du risque. Il ne sera en aucun cas le facteur explicatif unique de vulnérabilité au bruit.
- **les caractéristiques du bâtiment.** L'isolation phonique et thermique des bâtiments sont des paramètres de différenciation importants des conditions de réception du bruit. La configuration morphologique des façades, la présence de balcon ou de coursive le long de la façade la plus exposée du bâtiment, peuvent aussi jouer un rôle important. L'identification des façades à vivre des bâtiments est un moyen efficace pour évaluer les possibilités dont dispose une population pour "tourner le dos au bruit". D. Aubrée<sup>45</sup> a ainsi montré que l'exposition au bruit était mieux acceptée par les populations qui disposent d'au moins une pièce à vivre donnant sur un environnement sonore agréable.

**La représentation du bruit** exprime les attentes de la population à l'égard de son environnement [RAP 97]. L'hypothèse retenue est que la représentation du bruit pondère la relation existante entre le niveau d'exposition et les impacts résultants sur les individus. Les évaluations qui sont produites dans cette logique identifient les différenciations spatiales des attentes de la population en matière de qualité de l'environnement sonore. Il est important de rappeler que seuls les paramètres spatialement identifiables sont intégrés dans notre approche.

Nous avons dégagé quatre formes de paramètres qui peuvent influencer la représentation du bruit par la population :

- **l'usage des sources de bruit.** Parmi les paramètres spatiaux de la représentation probable du bruit, l'usage différencié des sources de bruit dans le territoire peut avoir une influence sur l'acceptabilité du risque [FIE 93]. C'est une donnée complexe à établir à l'échelle collective, c'est pourquoi nous avons choisi de réduire ce paramètre à l'évaluation de l'accessibilité différenciée aux infrastructures de

---

<sup>45</sup> C.S.T.B. Grenoble.

transport bruyantes. La population considérée est supposée comprendre une majorité d'utilisateurs quotidiens des infrastructures. En ce sens, une mauvaise accessibilité à ces dernières tend à diminuer l'acceptabilité du risque d'impact.

- **la visibilité des sources de bruit.** Ce paramètre s'intègre dans une approche paysagère du contexte de réception. Des travaux ont tenté d'évaluer l'effet des objets visibles à l'écoute d'un environnement sonore sur le niveau de vulnérabilité [FYH 99] [VIO 99]. Une mauvaise perspective visuelle de la personne exposée semble agir de façon négative sur son sentiment de gêne. A l'inverse, J. Lambert avait identifié une "illusion verte" en présence de végétation devant une voie de circulation (cf. point 1.2.1.4.3.) [LAM 82]. Ce paramètre reste malgré tout très subjectif, c'est pourquoi nous avons choisi de limiter l'analyse du contexte visuel à la seule visibilité des sources de bruit. Le fait de voir une source de bruit depuis son domicile, peut aggraver l'endommagement potentiel lié à l'exposition au bruit. Bien entendu, ce critère est largement dépendant de paramètres individuels qui sont difficiles à évaluer (usage de la source de bruit, emploi du temps quotidien, perspective de se soustraire de la situation d'exposition, ...). Le fait de voir une source de bruit peut être ponctuellement un facteur aggravant de la représentation négative du bruit par l'exposé, surtout quand ce dernier aspire à un cadre de vie « bucolique ». Nous utiliserons ce critère dans la partie 3, pour évaluer les attentes en terme de cadre de vie d'une population type<sup>46</sup> dans un territoire.
- **l'activité du voisinage de réception.** Le voisinage est aussi une composante du paysage de réception du bruit. Elle peut être caractérisée quantitativement dans le cas où l'occupation du sol est très diversifiée. C'est un critère qui agit selon la même logique que la visibilité des sources. On peut supposer qu'une population résidant dans un cadre de vie naturel aura des attentes plus fortes en terme d'environnement sonore. Son acceptabilité du risque d'impact lié au bruit peut être plus faible que celle d'une population vivant dans un contexte urbain ou industriel. Ce critère définit l'effet du niveau d'urbanisation sur l'acceptabilité du risque d'impact lié au bruit.
- **le prestige de l'adresse.** Ce critère est lui aussi très subjectif ... Il semble pourtant que le choix d'une résidence dans des quartiers prestigieux peut amener la population à faire plus ou moins abstraction de contraintes telles que le bruit. Dans les années 70, le C.S.T.B. de Grenoble avait ainsi observé l'effet du prestige de l'adresse le long du cours Jean Jaurès à Grenoble,. Malheureusement ce paramètre, comme tous ceux qui tentent de cerner les éléments de satisfaction du cadre de vie par la population, est soumis à des brusques évolutions. Aujourd'hui, cette voie de circulation a perdu de son prestige auprès de la population. En conséquence, l'acceptabilité du risque d'impact lié au bruit doit y être moins importante.

Le tableau 16 reprend l'ensemble des paramètres spatiaux qui interviennent dans notre évaluation de l'acceptabilité du risque d'impact lié au bruit.

---

<sup>46</sup> On suppose cette population a un profil homogène, c'est à dire des actifs qui travaillent à l'extérieur de leur commune de résidence en zone périurbaine

Approches de pondération de la vulnérabilité	Paramètres spatiaux	Définition des conditions observables de réception	Définition de la représentation probable du bruit par l'exposé	Forme du critère
<b>Rapport aux sources bruyantes</b>	Distance aux sources	×		<b>Critère quantitatif</b>
	Usage des sources		×	
	Visibilité des sources		×	
<b>Rapport au tissu urbain</b>	Caractéristiques du tissu urbain	×		
<b>Rapport à l'occupation du territoire</b>	Activité du voisinage		×	
<b>Contexte local de réception</b>	Caractéristiques du bâtiment	×		
	Ensoleillement	×		
	Prestige de l'adresse		×	

Tableau 16 - Définition des paramètres spatiaux de l'acceptabilité du risque d'impact lié au bruit des transports terrestres

Les paramètres d'acceptabilité du risque peuvent être confrontés les uns aux autres pour évaluer le niveau d'acceptabilité probable d'une population ou d'une activité localisée dans le territoire. Dans le point 2.2.2.4.2., nous allons revenir sur les problèmes de synthèse d'information qui se posent dans cette logique. L'accumulation de critères limitant l'acceptabilité du risque peut générer des situations d'exposition au bruit très difficiles, quand leurs effets se combinent.

Par ailleurs, il est possible d'observer les relations spatiales qui existent entre le contexte de réception et la représentation probable du bruit par la population résidente. Ce traitement s'apparente à la fonction d'utilité proposée par Phipps dans son modèle de simulation urbaine. Il prend en compte l'accessibilité d'un lieu (soit l'usage des sources dans notre cas) et sa protection relative aux nuisances (ramené à la distance aux sources dans notre cas) afin d'évaluer la probabilité de changement de l'occupation du sol en milieu urbain [PHI 97]. Appliqué à l'évaluation de l'acceptabilité du risque d'impact lié au bruit, cette fonction identifie les situations d'enclavement (proximité des sources de bruit et mauvaise accessibilité) et inversement les situations de localisation optimale (éloignement des sources de bruit, bonne accessibilité) vis à vis des sources de bruit. Ce rapport est représenté dans la figure 39. L'effet d'une autoroute et d'une voie ferrée est très intéressante à observer selon cette fonction. L'accessibilité à un échangeur ou à une gare, c'est à dire la distance pondérée par la facilité à se déplacer jusqu'à ce point, peut être défavorable si la distance euclidienne à la source de bruit est faible. Dans ce cas, le territoire subit les contraintes liées à la proximité de l'infrastructure sans les avantages de l'usage de cet équipement.

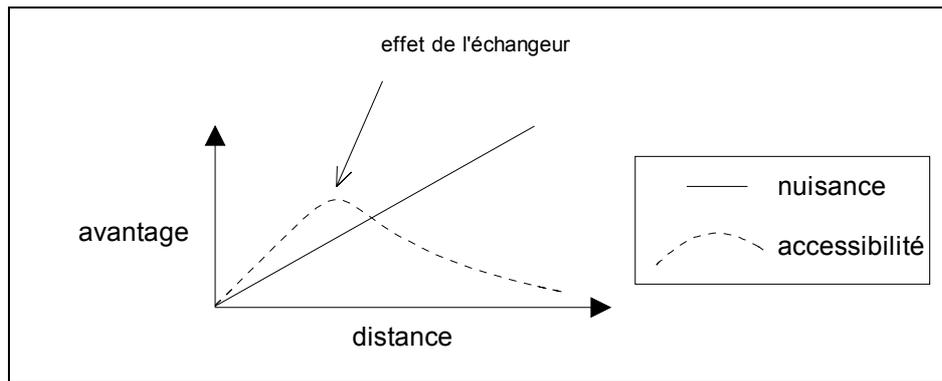


Figure 39 - Fonction d'utilité de la distance et de l'accessibilité aux infrastructures de transports, effet d'un échangeur ou d'une gare

Les deux points précédents ont permis de détailler les paramètres de la genèse spatiale des impacts du bruit (l'exposition du territoire au bruit et sa vulnérabilité). Nous allons maintenant recenser les usages possibles d'une telle approche spatiale dans le cadre de notre problématique de recherche. Rappelons ici que notre ambition est de démontrer les apports croisés de l'acoustique environnementale et de la géographie, pour une meilleure compréhension générale des phénomènes d'impact du bruit des transports terrestres dans le territoire. Nous proposerons ensuite un cadre méthodologique de gestion et d'évaluation des impacts du bruit basé sur une approche spatiale du problème.

## **2.1.2. Le champ des possibles de l'approche spatiale du bruit et de ses impacts**

Le champ des utilisations possibles de l'approche spatiale est très étendu. Au regard du point 1.2.4. qui fait état de l'existant en la matière, on peut dire que les chemins empruntés actuellement sont déjà extrêmement diversifiés. Notre propos est ici de détailler cette diversité des usages de l'approche spatiale du bruit et de ses impacts. Nous distinguons quatre voies de traitement différentes :

- la description des paramètres de la genèse des impacts potentiels du bruit sur le territoire
- la modélisation spatiale des paramètres de la genèse des impacts du bruit
- l'analyse spatiale des impacts potentiels du bruit
- l'analyse de scénarios prospectifs de genèse des impacts du bruit dans le territoire

### ***2.1.2.1. Description des paramètres de l'EPR et de la vulnérabilité***

L'approche spatiale est un moyen reconnu pour décrire les conditions d'exposition du territoire au bruit. C'est un préalable indispensable quand on veut modéliser la propagation du bruit en espace extérieur, mais c'est avant tout un des premiers moyens utilisé pour sensibiliser l'opinion publique et les acteurs de l'aménagement du territoire au problème des impacts du bruit (cf. point 1.2.4.1.). La carte de bruit<sup>47</sup> est un outil de communication très usité, car elle permet une vue synthétique du phénomène sans avoir de connaissance approfondie de ces spécificités.

La description cartographique des paramètres de l'exposition sonore peut être réalisée simplement à partir de points de mesures de bruit sur le terrain. Selon l'indicateur acoustique employé, l'information d'exposition est plus ou moins généralisée dans le temps (cf. point 1.2.1.3.5.). Des traitements peuvent ensuite porter sur la distribution des expositions pour un espace donné. Il est possible de décrire l'enveloppe sonore de chaque bâtiment résidentiel. Ce type de traitement suppose un nombre important de points de mesure, c'est pourquoi ils ne se sont pas développés avant l'apparition des moyens de modélisation. L'usage de ces techniques permet de produire une information d'exposition sonore qui se départit complètement des contraintes matérielles de la prise de son.

Dans la perspective d'une modélisation de la propagation acoustique, l'ensemble des paramètres d'émission, propagation et de réception doivent être localisés dans le territoire. Aujourd'hui cette contrainte freine le développement des cartes de bruit modélisées car l'information géographique sur l'EPR (cf. 2.1.1.1.1.) n'est pas forcément disponible et mise à jour. C'est pourquoi le modèle de propagation utilisé actuellement pour le classement sonore des voies en France, reste encore très macroscopique.

La description des vulnérabilités du territoire dans l'espace et dans le temps est encore moins courante. C'est une information qui devient intéressante dès lors que l'on dispose de moyens adaptés pour réaliser des confrontations avec les données d'exposition sonore. Les approches de classement de voies et de recensement des points noirs sont les premiers exemples d'application de cette logique. Les données d'occupation du sol et les agrégats des données démographiques constituent une base de localisation pour la description des objets

---

<sup>47</sup> Appelée ainsi, c'est en fait une carte d'exposition du territoire au bruit

potentiellement vulnérables au bruit. Dans le point 2.1.1.4., nous avons défini les paramètres qui peuvent pondérer la vulnérabilité.

### ***2.1.2.2. Modélisation spatiale des paramètres de la genèse des impacts du bruit***

La modélisation de la propagation du bruit en espace extérieur suppose la mise en relation des paramètres de la genèse de l'exposition sonore. On peut distinguer plusieurs approches de modélisation. Certaines tentent de cerner les tendances de l'exposition sonore dans le territoire en intégrant un nombre limité de paramètres. C'est la logique qu'a tenté de développer la société Metravib dans le projet Diapason (cf. point 1.2.4.2.2.). Malheureusement les résultats ne sont pas satisfaisants. La reconstruction mathématique de la propagation du son ne semble pas pouvoir se réduire à des paramètres de rugosité du territoire. En France, si l'on excepte le modèle utilisé pour le classement sonore des voies<sup>48</sup>, les modèles de propagation opérationnels intègrent une représentation fine du territoire (volumétrie du tissu urbain, relief, effets météorologiques, ...). Dans le point 2.2.1.2., nous présenterons en détail le modèle du logiciel Mithra. C'est ce dernier que nous avons utilisé dans le cadre de nos exemples de traitement. L'utilisation d'un tel modèle fournit des évaluations de l'exposition sonore et d'autres paramètres acoustiques aujourd'hui encore peu exploités, à l'image des contributions énergétiques de chaque source de bruit à l'exposition sonore d'un récepteur donné. Nous reviendrons sur ces aspects dans nos exemples de traitement.

La définition de la vulnérabilité du territoire au bruit peut elle aussi, faire l'objet d'une modélisation spatiale. Les traitements envisageables sont : la désagrégation de données démographiques, recoupement avec des données locales comme la qualité de construction, les rapports aux sources de bruit (considération paysagère, distance et usage des sources), la différenciation spatiale en terme de voisinage des parcelles résidentielles, les orientations des bâtiments par rapport aux sources, ou encore la morphologie du tissu urbain. La confrontation de ces différents modes d'évaluation de la vulnérabilité est un enjeu important pour l'analyse des impacts potentiels du bruit. Pour réaliser ce traitement comparatif on va être amené à utiliser des techniques d'évaluation multicritère. Nous reviendrons sur ce problème dans le point 2.2.2.4. consacré aux usages éventuels des systèmes d'information géographique en acoustique environnementale.

### ***2.1.2.3. Analyse spatiale des impacts potentiels du bruit***

La logique générale de cette approche spatiale consiste à confronter les informations relatives à l'exposition du territoire au bruit avec les diagnostics de vulnérabilité au bruit. Le problème essentiel d'un tel traitement, est le choix de l'entité de confrontation spatiale de ces deux thématiques. La lisibilité des résultats cartographiques dépend largement de ce choix préalable. Un nombre important de solutions en la matière est envisageable. La confrontation peut être réalisée à l'échelle de chaque fenêtre, de chaque bâtiment, d'une zone d'étude, à l'échelle d'un étage de façade, d'une façade, d'un étage, d'un bâtiment, d'un îlot ou encore d'une parcelle de territoire ... Dans la perspective de l'acoustique environnementale l'échelle de traitement doit permettre la production d'indicateurs à l'échelle d'un groupe de résidents et de leur lieu de vie. Nous verrons aussi par la suite, que le contexte technique et l'environnement décisionnel dans lequel peut être réalisé ce type de traitement, orientent logiquement le choix des échelles.

---

<sup>48</sup> ce dernier ne traite que des façades en vue directe des sources de bruit

Les résultats de ces confrontations peuvent donner lieu à des cartographies mais l'objectif est avant tout de produire une évaluation quantifiée des impacts potentiels du bruit dans la zone étudiée. En ce sens, les résultats peuvent aussi se présenter sous la forme de tableaux de chiffres.

#### ***2.1.2.4. Analyse de scénarios prospectifs des impacts potentiels du bruit dans le territoire***

L'approche spatiale des impacts du bruit peut enfin intégrer des scénarios prospectifs. Les confrontations projettent les évolutions probables de l'exposition et de la vulnérabilité à la journée (jour/nuit), à la semaine (jour ouvrable/fin de semaine chômée), à l'année (hiver/été). Dans tous les cas, les diagnostics issus de ces traitements doivent être manipulés avec précaution, car la connaissance en matière d'impact du bruit sur l'homme s'appuie essentiellement sur des situations moyennes de long terme.

Une autre approche spatiale prospective des impacts du bruit est envisageable grâce à l'usage des modèles de propagation. Il devient possible de simuler un environnement sonore présent, futur ou passé. Les scénarios prospectifs permettent d'évaluer les effets probables de modifications de l'exposition comme de la vulnérabilité. Dans le monde opérationnel, l'usage de ces simulations est encore largement sous exploité dans le domaine de l'évaluation des impacts de décision en aménagement [REV 97].

La reconstruction de situations passées donne l'occasion d'évaluer à posteriori l'impact de décision en aménagement. Actuellement des tels traitements sont difficilement envisageables car les données d'archives, nécessaires à la modélisation de la propagation du bruit et de la vulnérabilité, sont très rarement conservées pour les périodes antérieures à l'avènement de l'informatique.

### **2.1.3. L'évaluation et la gestion des impacts potentiels du bruit sur le territoire**

L'ensemble des traitements de l'approche spatiale des impacts du bruit peut être séparé en deux sous ensembles, l'évaluation et la gestion des impacts du bruit. Cette distinction se base sur une méthodologie générale d'analyse et de gestion des risques présentée par Aschieri et Grzegorzulka dans leur rapport sur la sécurité sanitaire environnementale [ASC98]. Nous nous sommes inspiré de ce modèle pour tenter d'organiser le champ des possibles de l'approche spatiale des impacts du bruit.

#### ***2.1.3.1. La méthodologie générale d'analyse et de gestion des risques***

Cette méthodologie permet de justifier la mise en œuvre séparée des approches de gestion et d'évaluation des impacts du bruit.

Trois étapes sont distinguées dans le processus d'analyse et de gestion des risques : la production des données, l'évaluation des risques et enfin la gestion des risques. L'étape de production de données consiste à élaborer les outils et les méthodes qui permettront, par la suite, d'établir des états des lieux et des simulations de l'exposition du territoire au phénomène. Les présentations ci dessous des étapes d'évaluation et de gestion des risques sont issues du rapport de Aschieri et Grzegorzulka [ASC 98].

*« L'évaluation des risques se décompose en quatre phases : l'identification des dangers (un produit engendre-t-il un ou des effets défavorables ?), l'étude de la relation « effet dose » (quelle est la relation entre la dose et l'incidence des effets chez l'homme ?), l'évaluation des expositions (quelles sont les expositions mesurées ou estimées dans différentes conditions ?) et la caractérisation des risques (quelle est l'estimation de l'incidence des effets défavorables dans une population donnée ?). L'évaluation des risques pour l'homme se fonde sur des données scientifiques, issues de différentes disciplines (épidémiologie, toxicologie, évaluation des expositions, ...).*

*La gestion des risques est complexe et doit s'appuyer sur les étapes suivantes : l'élaboration de solutions et de leurs alternatives, afin de préparer un choix réel; l'étude comparative des avantages et inconvénients de ces solutions au regard des aspects sanitaires, environnementaux, administratifs, juridiques, sociaux, politiques et économiques (analyse coût/bénéfice); le choix d'une solution, par référence à des objectifs ou des contraintes déterminées et le mieux explicitées possible, la mise en œuvre de la décision; enfin, l'évaluation de son efficacité. Dans la gestion des risques, l'élaboration de solutions alternatives est une constante et certains scénarios sont récurrents : le décideur peut choisir d'interdire, d'imposer certaines contraintes réglementaires ou financières, enfin de laisser au individus la liberté d'agir, notamment en les informant de manière plus ou moins détaillée des risques existant et des attitudes possibles ».*

L'application de cette méthodologie comporte des contraintes spécifiques qui lui assure un caractère opérationnel. La séparation claire entre les processus de gestion et d'évaluation du risque permet par exemple l'application du principe de précaution. L'existence de risques plus ou moins identifiés selon le niveau de certitude scientifique doit être clairement déterminé. On distingue ainsi le risque identifié (dont la preuve est établie de manière convaincante), le risque controversé (qui fait l'objet d'un débat scientifique) et enfin le risque émergent (dont la gestion relève encore de la précaution). Comme le risque nul n'existe pas, il est nécessaire

d'assurer la transparence des procédures d'évaluation et de gestion afin de favoriser l'acceptabilité du risque par la société.

Aschieri et Grzegorzulka estime que la méthodologie présentée peut être adaptée à une approche globale des risques pour l'homme et des risques pour les écosystèmes. A l'image de notre thématique de recherche, la méthodologie d'évaluation et de gestion des impacts potentiels du bruit doit pouvoir être transposée à des thèmes comme la pollution de l'air. Du point de vue économique, un équilibre entre le principe de précaution et l'analyse coût/bénéfice doit être trouvé afin d'élaborer une politique de lutte efficace et réaliste contre le phénomène.

En s'inspirant de la méthodologie présentée précédemment, nous allons maintenant préciser les approches spatiales que nous distinguons pour la gestion et de l'évaluation des risques d'impacts du bruit. Pour cela, nous reprenons le découpage proposé dans le point 2.1.2..

### ***2.1.3.2. Les approches spatiales pour la gestion des impacts du bruit***

Dans le point 1.3.1.3. nous avons décrit l'optique de traitement dite opérationnelle. Elle correspond à l'application d'une approche spatiale pour la gestion des impacts du bruit. Rappelons que cette dernière comporte trois objectifs essentiels : une meilleure gestion de l'information pour la décision spatiale, une analyse des effets situés du bruit reconnus légalement et une meilleure compréhension des problématiques de l'acoustique environnementale. Nous allons revenir rapidement sur l'usage de l'approche spatiale dans cette optique.

Dans le domaine de la gestion des impacts du bruit, l'approche spatiale pour la **description** des paramètres de l'exposition et de la vulnérabilité du territoire au bruit est d'un usage courant. Elle permet de projeter dans l'espace les spécifications légales d'exposition sonore, de communiquer au public les mesures de lutte qui sont mises en œuvre, de représenter les principales sources d'émission sonore... Une telle démarche ne nécessite pas de moyens importants, mais en l'absence de réflexion sur la mise à jour des documents cartographiques, l'objectif de gestion se transforme souvent en opération de communication pure. L'approche de cartographie descriptive du classement sonore des voies est un bon exemple d'une approche spatiale descriptive pour la gestion des impacts du bruit. Ce dernier fournit un outil de diagnostic du bruit routier et ferroviaire à l'échelle de la France. C'est un premier pas pour évaluer l'efficacité des mesures politiques qui sont mise en œuvre aujourd'hui. De même, il constitue une ébauche d'approche spatiale analytique puisqu'il définit grossièrement une zone d'impact probable autour des voies de circulation.

L'approche spatiale pour la gestion des impacts du bruit peut aussi être **analytique**. Dans notre approche, nous avons défini le terme de **pollution sonore** comme l'identification des **relations exposition sonore/vulnérabilité reconnues juridiquement**. Elle consiste à appliquer des bases réglementaires de la lutte contre le bruit des transports terrestres. Les cartes de pollution sonore résulteront de la confrontation de seuils réglementaires d'exposition sonore<sup>49</sup> et de données localisant les activités sensibles identifiées par la loi (espaces résidentiels, écoles, équipements de santé, bureaux, etc.). Dans la même logique, on peut identifier les points noirs de bruit ou les zones de bruit critique. L'analyse spatiale de la pollution sonore autorise la production de cartes de pollution et non plus seulement d'exposition. La figure 40 présente la démarche générale de confrontation appliquée dans cette approche.

---

<sup>49</sup> Les limites peuvent être différentes selon la période d'observation (jour, nuit, soirée, semaine, week end)

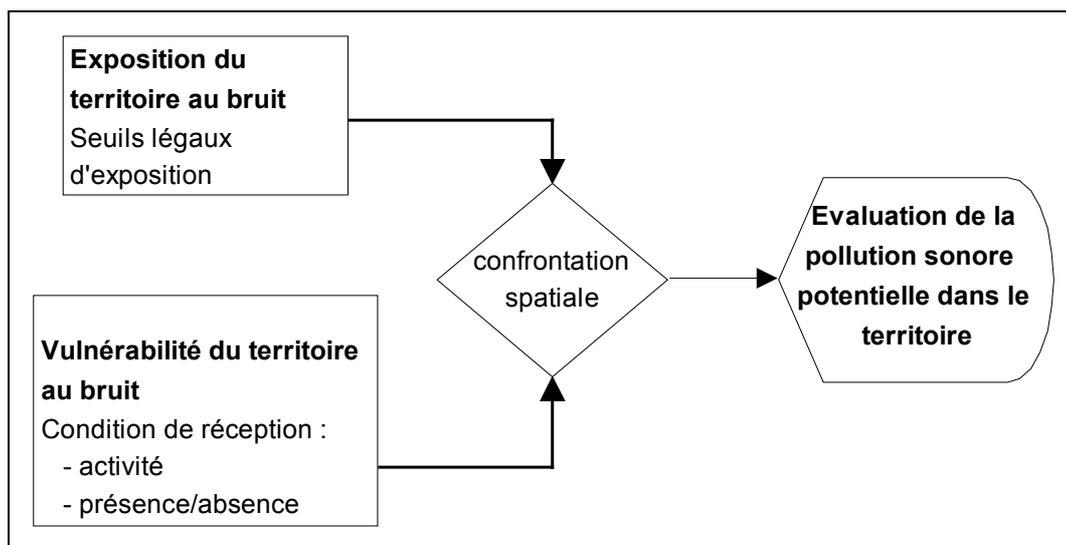


Figure 40 - Principe de confrontation de l'exposition et de la vulnérabilité pour l'évaluation de la pollution sonore potentielle

**L'approche spatiale prospective** est exploitée dans le cadre du classement sonore des voies grâce à l'utilisation d'un modèle d'émission sonore. Ce dernier permet une projection du classement pour une voie à partir de prévisions de son trafic future. L'évaluation des impacts probables du réseau transeuropéen de transport a aussi exploité une approche spatiale prospective [EEA 98]. Dans ce dernier exemple, la vulnérabilité est supposée stable dans le temps. Seule la proximité du futur réseau est analysée comme un critère d'exposition future probable du territoire au bruit.

Avec le développement des bases de données géographiques qui décrivent les émissions sonores, les paramètres de propagation du bruit en espace extérieur ainsi que les conditions de réception du bruit, les possibilités de simulations d'option de décision doivent pouvoir s'élargir. Dans cette perspective, il est possible de tester la légalité d'une décision d'aménagement en terme d'environnement sonore, à base de simulations numériques. Cette approche peut constituer une voie possible pour l'objectivation des décisions en aménagement de l'environnement sonore. Nous reviendrons dans le point 2.1.4.1. sur la forme des indicateurs spatiaux et temporels pour la gestion des impacts potentiels du bruit des transports terrestres dans une optique de gestion.

### 2.1.3.3. Les approches spatiales pour l'évaluation des impacts du bruit

L'approche spatiale pour l'évaluation des impacts du bruit correspond à l'éclairage exploratoire évoqué dans le point 1.3.1.3.. Ce dernier comporte trois champs d'étude : la recherche de nouvelles échelles spatiales et temporelles d'analyse des impacts du bruit, la production de nouveaux paramètres de vulnérabilité et d'exposition sonore, la production d'indicateurs spatiaux et temporels de l'impact potentiel du bruit.

Pour l'évaluation des impacts potentiels du bruit, l'approche spatiale descriptive est un moyen de proposer de nouvelles approches de l'exposition sonore ou de la vulnérabilité au bruit. La manipulation des échelle spatiales de représentation est une voie prometteuse. En terme d'exposition du territoire au bruit, si l'on dispose des moyens de modélisation adaptés,

les agrégations spatiales des niveaux d'exposition calculés ou mesurés rendent possibles l'analyse de l'enveloppe sonore des objets sensibles qui composent le territoire. De tels traitements sont aussi envisageables pour mieux déterminer les niveaux de vulnérabilité du territoire et s'adapter ainsi aux différentes échelles spatiales auxquelles sont évaluées les opportunités de décision d'aménagement.

Dans le but d'affiner l'évaluation des impacts du bruit, l'**approche spatiale de description** va de même faciliter l'usage de nouveaux critères d'exposition et de vulnérabilité. En matière d'exposition sonore, la description spatiale permet une manipulation facilitée de paramètres encore peu exploités. C'est le cas des contributions énergétiques de chaque source de bruit d'une zone à l'exposition sonore, de la répartition par bande de fréquence de l'exposition, ou encore de la répartition dans le temps de l'énergie acoustique reçue pour une période donnée. Ce dernier paramètre est encore difficilement quantifiable dans les modèles de propagation acoustique qui évaluent surtout des conditions d'exposition moyenne de long terme. En matière de vulnérabilité, des critères nouveaux sont accessibles grâce à la projection des informations de présence/absence de récepteurs dans le territoire. Il s'agit ici de définir le contexte spatial de réception du bruit, à l'image des paramètres spatiaux de vulnérabilité proposés dans le point 2.1.1.3.2..

Dans la perspective de l'évaluation des risques d'impact du bruit, l'**approche analytique** a pour but essentiel de traiter des impacts non reconnus implicitement par les réglementations de la lutte contre le bruit. Par exemple, ces impacts peuvent faire l'objet de travaux scientifiques n'ayant pas encore été repris dans le cadre d'une réglementation. Le principe de précaution est ici appliqué afin de préciser ou de relativiser les diagnostics de pollution sonore « réglementaires ». Dans notre formalisme cette approche spatiale va déterminer les niveaux de **nuisance sonore**. Elle permet la projection dans l'espace de procédures d'évaluation exploratoire, comme celle proposée par le Conseil de la santé des Pays Bas, qui évalue la proportion de population fortement gênée par le bruit [HEA 98]. En outre, nous allons l'utiliser pour des confrontations d'indicateurs d'exposition avec notre approche enrichie de la vulnérabilité du territoire au bruit.

La figure 41 présente la démarche de confrontation selon cette approche exploratoire.

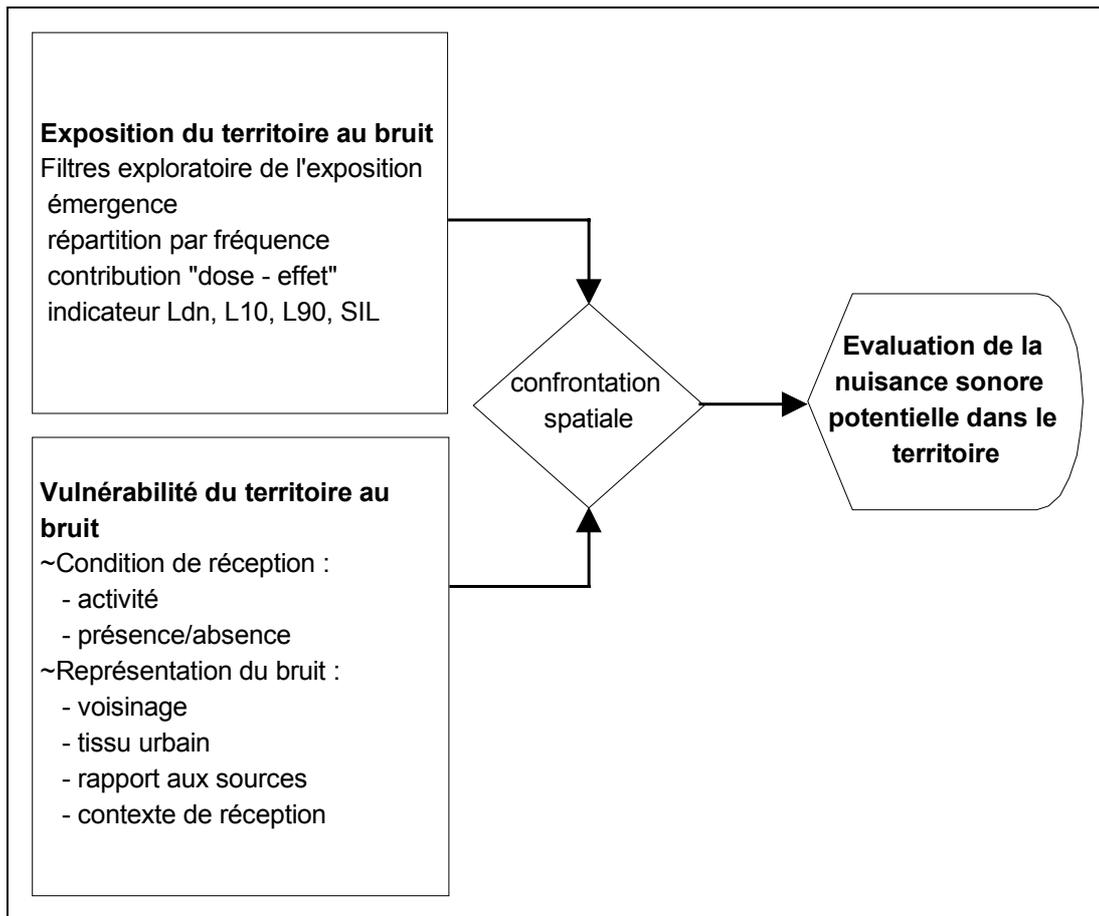


Figure 41 - Principe de confrontation de l'exposition et de la vulnérabilité pour l'évaluation de la nuisance sonore potentielle.

Comme pour l'approche de pollution sonore, il est possible de réaliser des **analyses prospectives** des impacts du bruit dans le territoire. Là encore cette approche nous permet de proposer des voies d'analyse aujourd'hui inexplorées. Dans nos exemples de traitement (point 3) nous allons ainsi reconstruire des situations d'impacts du passé, dans le but d'évaluer la portée des mesures actuelles de lutte contre le bruit. Dans le domaine de la prospective, les traitements peuvent porter sur des mesures de limitation de la vulnérabilité à l'exposition sonore probable et la production de scénarios d'impact différenciés selon les options de décision [BAI 75].

Dans le point suivant nous allons définir la forme des indicateurs d'impact probable du bruit sur le territoire. Ils tiennent compte du découpage proposé entre gestion et évaluation du risque d'impact.

## 2.1.4. Des indicateurs spatiaux et temporels des impacts du bruit

Dans l'optique de notre recherche, la production d'indicateurs d'impact potentiel du bruit des transports terrestres sur le territoire doit favoriser l'objectivation des décisions en acoustique environnementale, ainsi qu'une meilleure compréhension des différenciations spatiales liées au bruit dans le territoire. Les éclairages complémentaires de gestion et d'évaluation du risque permettent de traiter l'ensemble du champ des possibles de l'approche spatiale des impacts du bruit.

### 2.1.4.1. Forme des indicateurs de gestion des impacts du bruit dans le territoire

Les indicateurs produits pour la gestion de la pollution sonore (selon notre formalisme) répondent à la question du respect des limites de la légalité.

En terme de description, les indicateurs portent essentiellement sur la représentation cartographiques des situations d'exposition inacceptables, comme celles identifiées dans la définition des points noirs de bruit. La forme de ces indicateurs est très simple. Ils localisent des niveaux d'exposition dans le territoire, le plus souvent à travers l'unité  $L(A_{eq}, t)$  parfois avec des codes comme pour le classement sonore des voies.

L'analyse de la pollution sonore s'appuie sur des paramètres défini par la loi. Le tableau 17 présente des limites réglementaires d'exposition au bruit du trafic routier en France. Ces dernières peuvent être appliquées à des cartes de localisation des activités.

Types de zones	Index de bruit de jour	Index de bruit de nuit
Hôpitaux, écoles	57	52
Zones résidentielles	60	55
Zones mixtes	65	57
Zones industrielles	65	~

Tableau 17 - Limites légales d'exposition au bruit du trafic routier en  $L(A_{eq}, t)$  en extérieur - source C. Lamure, INRETS

Les indicateurs résultants peuvent mesurer l'écart existant entre la limite d'exposition légale correspondant à une activité et la réalité de l'exposition sonore observée ou calculée (cf. partie 3).

Les indicateurs prospectifs vont respecter la même logique. Ils évaluent la légalité de différentes options de décision à partir de simulations acoustiques, en fonction des évolutions probables de la vulnérabilité.

### 2.1.4.2. *Forme des indicateurs d'évaluation des impacts du bruit dans le territoire*

Dans le cas de l'évaluation de la nuisance sonore, de multiples traitements sont possibles tant la recherche est active dans ce domaine. Le problème essentiel sera de trouver des moyens efficaces pour compiler les informations issues des différentes thématiques, afin d'aboutir à des mesures d'impact qui soient comparables les unes aux autres.

En matière de description de l'exposition, les indicateurs comme le Ldn permettent de généraliser l'information acoustique dans le temps [HEA 97] (cf. point 1.2.1.3.5.). De la même façon, on peut représenter spatialement les bandes de fréquences dominantes dans une zone d'étude ou la répartition des contributions respectives de chaque source de bruit.

En matière de vulnérabilité, la production d'indicateurs à partir des paramètres que nous avons proposés dans le point 2.1.1.3.2., peut s'avérer complexe et subjective. Le tableau 18 présente une classification possible des indicateurs spatiaux de vulnérabilité du territoire au bruit.

	<b>Approche de quantification de la vulnérabilité</b>	
<b>Paramètre de vulnérabilité</b>	Quantification d'une information géographique	Pondération des données locales
Usage des sources, accessibilité	Distance pondérée par les conditions d'accès aux infrastructures de transport	
Distance aux sources de bruit	Distance euclidienne source/récepteur	
Ensoleillement	Orientation des façades de bâtiments	
Caractéristiques du tissu urbain	Traitement de morphologie urbaine	Adaptation du tissu urbain à son environnement sonore
Caractéristiques du bâtiment	Détermination des façades à vivre en fonction de la morphologie urbaine <sup>50</sup>	Qualité du bâtiment (isolation, configuration des façades)
Activité du voisinage	Filtre de proximité	Rejet ou attirance de certaines occupations de sol
Visibilité des sources	Calcul d'intervisibilité	Considérations paysagères
Prestige de l'adresse		Information issue d'enquêtes auprès de la population

Tableau 18 - *Essai de classification des indicateurs de vulnérabilité*

Le problème essentiel de ces indicateurs réside dans la synthèse des paramètres. Quelle importance différenciée faut-il donner à tel ou tel paramètre ? Au regard des quelques

<sup>50</sup> dans le cadre d'un postdoctorat réalisé au sein du CSTB de Grenoble, Luc Merchez développe une étude qui porte sur ce thème.

références auxquelles nous avons fait appel dans le point 2.1.1.3.2., aucune certitude n'existe aujourd'hui dans ce domaine. L'intérêt de notre approche est de rendre possible la manipulation simultanée de ces informations afin d'évaluer, sur une base multicritère, la différenciation des impacts du bruit dans le territoire<sup>51</sup>. Quand de nouvelles connaissances émergent et que les certitudes scientifiques se précisent pour expliquer l'impact du bruit, certains traitements peuvent glisser du domaine de l'évaluation à celui de la gestion du risque.

En matière de gestion prospective des impacts du bruit sur le territoire, des opérateurs spatiaux peuvent être appliqués, dans la philosophie de l'acoustique environnementale. Dans le cas d'un nouvel aménagement, on peut ainsi rechercher les moyens d'optimiser la concentration spatiale des sources de bruit dans le territoire, et inversement d'éloigner le futur équipement des zones très vulnérables au bruit.

L'étendue des traitements possibles est donc théoriquement sans limite, mais la réalité des limitations techniques et des contextes de décision va largement canaliser les choix (cf. points 2.2 et 2.3.). Un bon exemple d'une approche exploratoire ainsi contrainte est donnée par le Conseil de santé néerlandais, qui tente d'exploiter des relations « dose effet », pour recenser l'ensemble de la population nationale affectée par le bruit [HEA 98]. C'est dans cette perspective qu'il nous semble indispensable de faire état de l'influence des contextes technique et décisionnel dans lesquels l'approche spatiale des impacts du bruit des transports terrestres peut être envisagée.

---

<sup>51</sup> Nous allons revenir sur l'usage de l'approche multicritère dans le point 2.2.2.4.

## **2.2. Contexte technique d'application du traitement spatial des impacts du bruit**

La mise en œuvre technique de notre approche spatiale des impacts du bruit suppose l'organisation d'une chaîne de traitement pour la production de bases de données. Ces dernières doivent englober des thématiques très diversifiées, à savoir : des informations décrivant l'environnement de propagation de son, des données sur la nature et la localisation des émissions de bruit produits par les transports terrestres, des paramètres définissant la vulnérabilité du territoire au bruit. Ce point est consacré à description de la chaîne de traitement des indicateurs d'impact du bruit. Le schéma 42 en présente la logique générale.

Au cours de la chaîne de production des indicateurs d'impact du bruit, six étapes sont distinguées dans le traitement de l'information géographique :

- la production des données de base
- le calcul de la propagation du bruit en espace extérieur
- la gestion et l'archivage des données, requête, agrégation, interpolation ...
- les confrontations, l'analyse spatiale des données d'impact, la production d'indicateurs d'évaluation de décision en acoustique environnementale
- la production de cartographie de synthèse, pour la communication autour des impacts probables du bruit dans le territoire
- les différentes phases de transfert d'information, d'un formalisme à un autre.

Nous allons tout d'abord traiter des méthodes et outils actuellement disponibles pour produire les bases de données nécessaires à nos traitements. Nous aborderons plus particulièrement les techniques de photogrammétrie numérique, car elles constituent un moyen prometteur pour accroître la disponibilité de données géographiques à grande échelle. La logique de modélisation acoustique est ensuite évoquée à travers une présentation du logiciel Mithra. C'est le logiciel avec lequel nous avons réalisé l'ensemble de nos traitements acoustiques. Dans le point 2.2.2., les systèmes d'information géographique sont présentés. Ils se trouvent au cœur de notre chaîne de traitement dans laquelle ils assurent à la fois, la gestion des différentes informations géographiques, la production des indicateurs d'impact et les valorisations cartographiques résultantes. Enfin, nous reviendrons sur les réalisations techniques du projet SIGAUR pour une mise en cohérence des différents formalismes de données.

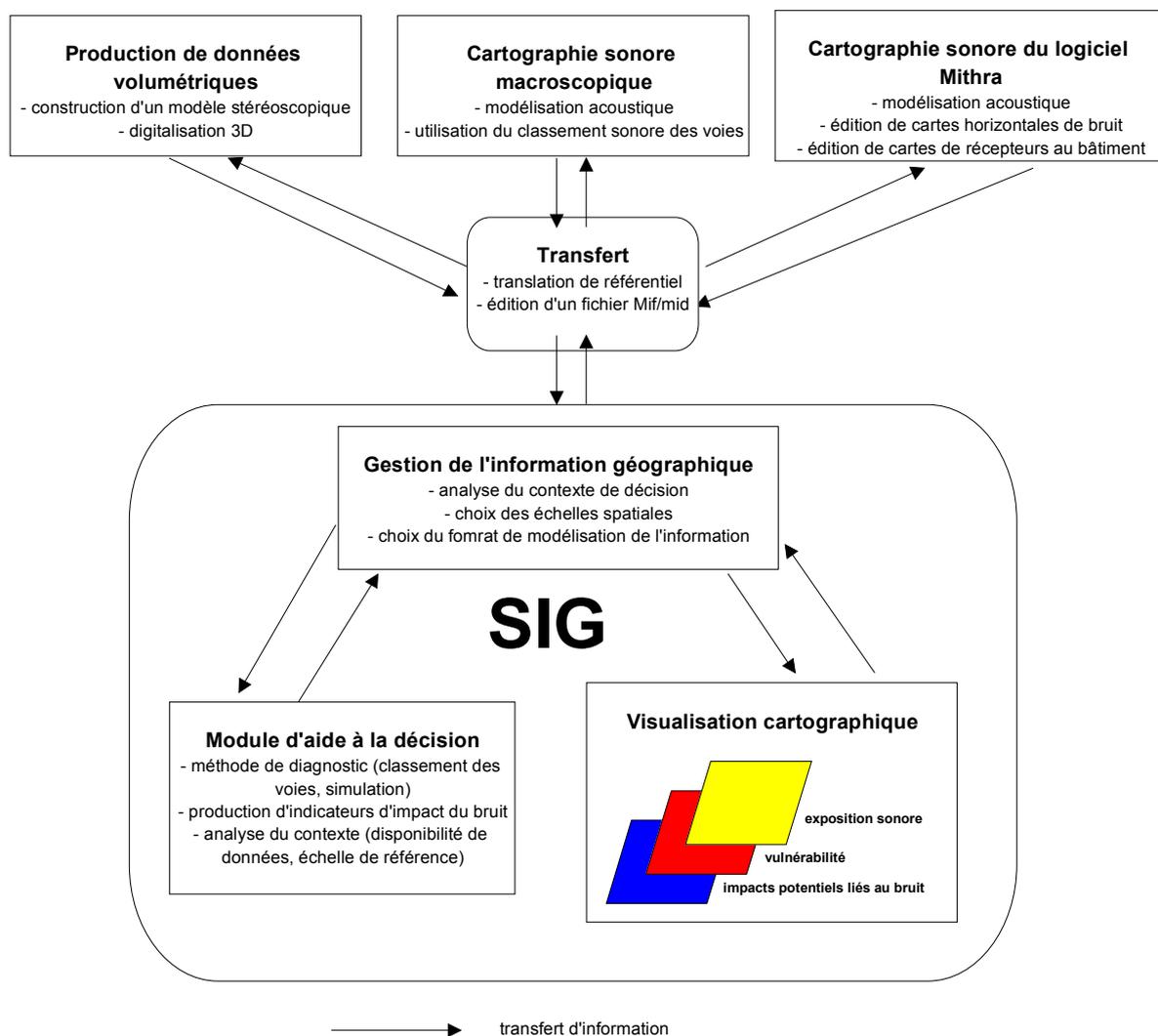


Figure 42 - Schéma technique de production d'indicateurs d'impact du bruit sur le territoire [QUE 99/1]

## 2.2.1. Les outils de production de données

### 2.2.1.1. Production d'information géographique par photogrammétrie numérique

Dans le phénomène de propagation du bruit en espace extérieur on a vu que le terrain et les formes du tissu urbain avaient une importance capitale (cf. point 2.1.1.2.). Il existe aujourd'hui des moyens relativement abordables (techniquement et financièrement) pour produire une représentation acceptable du territoire en volume. Il s'agit des techniques de photogrammétrie et plus précisément de la photogrammétrie numérique. Nous allons rapidement présenter le fonctionnement général de cette technique d'acquisition de données géographiques.

La **photogrammétrie** permet de définir la forme et la position d'objets à l'aide de photographies [KRA 97]. Deux perspectives différentes d'un même objet nous permettent en effet de percevoir son relief grâce au principe de la stéréoscopie (cf. figure 43).

La stéréoscopie reproduit le processus naturel de la vision en trois dimensions. Dans l'observation d'un couple stéréoscopique, qu'il s'agisse de photographies aériennes, d'images produites par des satellites, ou de toute autre forme d'image, deux indicateurs sont en cause : la parallaxe linéaire et l'angle parallaxique<sup>52</sup>.

La **parallaxe** en X, est due au changement dans la position d'observation. Pour produire un couple stéréoscopique de photographies aériennes, l'appareil photographique dont l'avion est équipé doit prendre des images de la même surface terrestre depuis des positions différentes. Ce changement du point d'observation provoque un décalage apparent de la position d'un objet par rapport au système de référence de l'image. La parallaxe de tout point est liée directement à l'altitude de ce point. Pour un angle de visée constant, la parallaxe est plus grande pour les altitudes élevées que pour les altitudes moins élevées.

L'**angle parallaxique**, aussi appelé angle de convergence, est l'angle formé par l'intersection entre l'axe de vision de l'œil gauche et celui de l'œil droit.

Ces deux relations permettent de mesurer les hauteurs à partir d'un couple stéréoscopique, si le principe de colinéarité est respecté (cf. plus loin).

---

<sup>52</sup> Référence Internet : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/sradar/chap4/c4p1f.html>

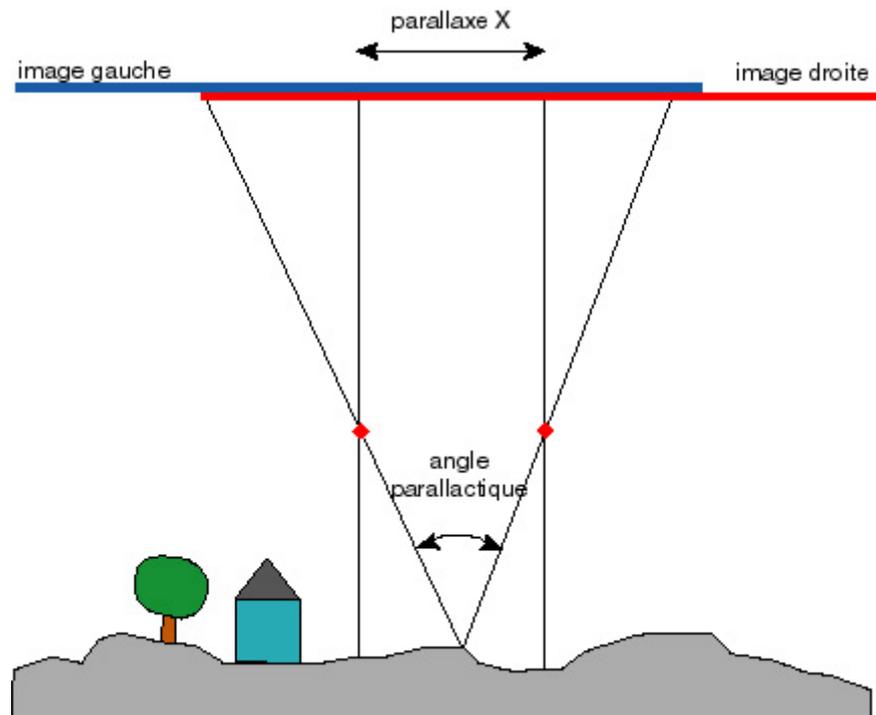


Figure 43 - Schéma explicatif du principe de restitution des hauteurs par stéréoscopie

La procédure de stéréopréparation [CNI 98] rassemble les opérations qui permettent l'orientation, le basculement et la mise à l'échelle des clichés à restituer. Elle se décompose en deux étapes, l'orientation interne puis externe.

**L'orientation interne** consiste à reconstituer la géométrie de la caméra qui a servi aux prises de vue. Pour cela, il est nécessaire de tenir compte des déformations constantes de l'optique du système de prise de vue. Ces défauts sont mesurés dès la conception du matériel et constitue le certificat de calibration. Pour une restitution de plus grande précision, il est possible de tenir compte de la dilatation des clichés et de la réfraction lié à l'atmosphère [FOL 99].

**L'orientation externe** a pour but de définir la position et la rotation de la caméra au moment de l'exposition de chaque cliché. Elle comprend l'orientation relative et l'orientation absolue.

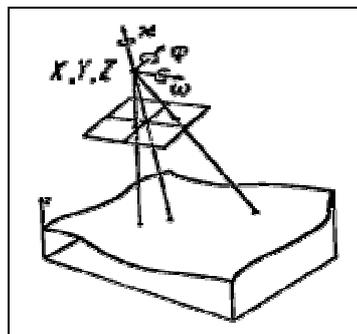


Figure 44 - Orientation externe d'une image [VON 98]

**L'orientation relative** permet de construire le modèle stéréoscopique. Elle va remettre la caméra dans les positions successives de prise de vue, dans le but d'éliminer ensuite la parallaxe en X. Cette opération permet de respecter la **condition de colinéarité** qui spécifie que le centre d'exposition, l'emplacement d'un point au sol et sa représentation sur l'image se trouvent sur la même ligne. Il s'ensuit, en raison de cette colinéarité, qu'un degré de liberté est perdu entre la réalité tridimensionnelle et sa représentation graphique en deux dimensions.

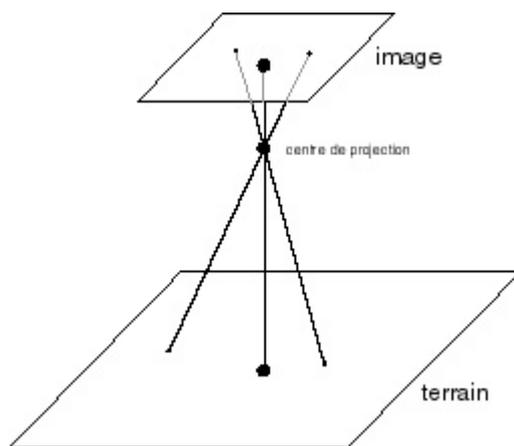


Figure 45 - Principe de colinéarité

**L'orientation absolue** consiste à replacer le modèle dans un référentiel terrain et lui donner ainsi une échelle. Pour cela des points connus en X, Y et Z doivent être déclarés avec précision. L'opération consiste à trouver une similitude entre les coordonnées du modèle en centimètres et les coordonnées terrain. Il peut y avoir basculement et mise à l'échelle.

Trois modes de traitement photogrammétrique se sont succédés depuis l'invention de cette technique. Le processus de photogrammétrie analogique intègre sur des appareils optico-mécaniques toutes les opérations effectuées entre le moment de la prise de vues et celui de la restitution. Avec la photogrammétrie analytique, le processus de restitution est assisté par ordinateur, la mise en projection des images est encore réalisée à l'aide d'appareils mêlant l'optique et la mécanique. Enfin, la photogrammétrie numérique correspond à la troisième génération. Les intensités lumineuses ne sont plus enregistrées photographiquement par la chambre de prise de vues, mais par des moyens informatiques [KRA 97]. C'est cette technique que nous avons tenter de mettre en œuvre dans notre projet. Le restituteur numérique exploite des images numériques dont le format correspond au modèle de données raster qui est présenté dans le point 2.2.2.3.. Il s'agit d'une matrice à deux dimensions dont chaque maille élémentaire renvoie un code numérique (pour une image en noir et blanc, ce code est compris entre 0 (noir) et 255 (blanc)). La précision spatiale de la restitution est inversement proportionnelle à la taille du maillage.

Les intérêts de la photogrammétrie numérique sont de plusieurs ordres. Du point de vue économique, cette technique permet de s'affranchir des spécifications très restrictives des outillages antérieurs, en matière d'optique et de mécanique. En analogique et en analytique, la précision de la restitution dépend, pour une grande part, de la qualité du matériel de prise de vue et de redressement. En numérique, quel que soit la qualité de l'optique de prise de vue, si

sa déformation est connue, la transformation géométrique de l'image ne pose pas de problème. L'ensemble de la chaîne de traitement peut être effectuée à l'aide d'un simple ordinateur de bureau<sup>53</sup>. En terme pratique, la photogrammétrie numérique permet une conservation efficace des traitements dans le temps. Après orientation des clichés, les points déjà restitués sont conservés en mémoire, l'image n'est pas soumise aux variations de température. La vision stéréoscopique est par ailleurs rendue plus confortable par le recours à des lunettes de visualisation « 3D » qui récréent, par affichage successif des deux images aux parallaxes corrigées, une impression de relief très stable.

Pour effectuer un pointé stéréoscopique, l'utilisateur doit superposer les pointeurs des deux images afin d'annuler la parallaxe longitudinale (parallèle à l'axe des x). Cette phase de restitution dépend donc du jugé de l'opérateur. La photogrammétrie numérique apporte, là encore, un confort supplémentaire. Elle permet le calcul d'un coefficient de corrélation entre les deux images, à partir des codes numériques des mailles des deux images, au voisinage respectifs des deux pointeurs. Un fort coefficient de corrélation indiquera que les deux images présentent des distributions spatiales de codes proches [FOL 99]. C'est donc une assistance quantitative au jugé qualitatif de la saisie.

Les résultats des mesures photogrammétriques peuvent se présenter sous la forme de fichiers de coordonnées dans un système tridimensionnel, des représentations graphiques comportant, entre autre, des détails planimétriques et des courbes de niveau ou des images redressées (orthophotos) [KRA 97]. A partir de photographies aériennes scannées, la précision des pointés (x, y, z) auxquels on peut s'attendre, dépend d'un nombre important de paramètres tels que, l'altitude de la prise de vue, la résolution du scan, la qualité des points de calage locaux ... Dans son rapport de stage, réalisé au sein du bureau d'étude J.P.A. consultants, F. Follet a réalisé des tests de précision à une échelle qui conviendrait tout à fait à la thématique de l'acoustique environnementale. Avec deux clichés au format 23 x 23 cm à l'échelle 1/20000ème, une résolution de scan de 300 dpi (dot per inch) donne une maille au sol de 1.70 m. La précision des pointés en x; y et z est supérieure à 2 mètres [FOL 99].

Nous avons tenté de mettre en place une chaîne de production d'information géographique en volume, à l'aide d'un outil de photogrammétrie numérique appelé Poivilliers E. Ce dernier a été cordialement mis à notre disposition par son concepteur, Y. Egels de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques [EGE 98]. Outre des problèmes de mise en route qui n'ont pas lieu d'être détaillés ici, les modèles que nous avons produits ne nous ont pas convaincus. Plusieurs hypothèses furent avancées pour expliquer l'imprécision de nos pointés en z : - utilisation d'un scanner de mauvaise qualité ? - une zone test aux reliefs trop marqués ? - trop peu de points de calage, insuffisamment dispersés dans la zone d'étude ? - validité aléatoire des points de calage au sol ? Malheureusement le temps a eu raison de notre opiniâtreté... Les traitements que nous présentons dans ce document n'ont donc pas profité de cette précieuse source de données.

La photogrammétrie numérique n'en est pas moins une opportunité importante pour des disciplines comme l'acoustique environnementale, qui nécessitent de nombreuses données à grandes échelles spatiales. Actuellement, les bases de données disponibles sont rarement de qualité homogène sur l'ensemble d'un territoire. La photogrammétrie numérique, à l'image de la télédétection lors de sa généralisation à une autre échelle, permet de produire une information de qualité homogène pour un coût raisonnable, sans les contraintes des découpages du territoire qui rendent complexe l'agrégation des bases de données existantes.

---

<sup>53</sup> Les spécifications particulières concernent une mémoire vidéo importante et un écran disposant d'une grande fréquence de rafraîchissement (supérieure à 100 Hz environ).

D'autres techniques permettent bien évidemment de produire ce type d'information. Il s'agit des levés topographiques généralement réalisés par des géomètres à l'aide de théodolites. Les relevés au GPS (Global Positioning System) se généralisent aujourd'hui car ils ont gagné en précision suite à l'arrêt du brouillage systématique du signal par l'armée américaine<sup>54</sup> au cours de l'année 2000. Reste enfin le relevé visuel sur le terrain, essentiellement pour des informations relatives à la volumétrie des bâtiments.

En matière de production de données de vulnérabilité, nous n'avons pas utilisé de technique particulière, outre les méthodes de photo-interprétation manuelle. Les approches des systèmes multi-agent nous ont intéressé pour les questions d'analyse de tissu urbain, de déduction des hauteurs moyennes de bâti, de désagrégation de données démographiques, d'identification des façades à vivre ... Mais aucune collaboration n'a finalement été mise en œuvre sur ces aspects. De nombreuses pistes de traitement restent donc encore inexplorées à ce jour !!

### ***2.2.1.2. Production de données acoustiques avec le logiciel Mithra***

Dans le cadre des traitements présentés en partie 3, nous avons essentiellement exploité des résultats de calculs acoustiques réalisés à l'aide du logiciel Mithra, développé par le CSTB de Grenoble. C'est pour cette raison que nous avons choisi de présenter ici la logique de ce modèle et ses procédures de calcul. Cette présentation est largement inspirée des documentations produites par le département acoustique du CSTB de Grenoble [GAB 90] [CSTB 96] [DEF 98]. D'autres approches de modélisation sont ensuite brièvement évoquées.

#### *2.2.1.2.1. Principes du modèle de propagation acoustique*

Sans rentrer dans des considérations d'acoustique spécialisée, il est intéressant de préciser quelques spécificités du calcul de la propagation du bruit en espace extérieur, selon la méthode appliquée dans Mithra.

Mithra exploite un algorithme de recherche des chemins de propagation des rayons sonores dans l'espace. Il a été conçu pour résoudre les problèmes liés au bruit dans les espaces bâtis ou à topographie complexe. Il consiste en une recherche rapide des trajets acoustiques inverses, entre sources de bruit et récepteur. Il repose sur trois hypothèses de base [GAB 90] :

- quel que soit le type de tissu urbain, la plupart des surfaces réfléchissantes sont verticales (sauf le sol).
- en l'absence de vent, le principe de réciprocité est applicable, il est donc possible de « tirer » les rayons à partir du récepteur.
- les sources de bruit sont décomposables en éléments de lignes horizontales dont la puissance acoustique est définie par unité de longueur.

Selon la dernière hypothèse, les infrastructures de transports sont représentées dans Mithra par des tronçons de voies acoustiquement homogènes. L'émission sonore n'y varie pas (ou peu), le profil en travers (nombre de voies, largeur de la plate-forme, etc...) tout au long de la section permet d'appliquer un modèle de décomposition. Le niveau de puissance acoustique pour chaque tronçon de route est obtenu à partir des valeurs fournies par le guide du bruit des transports terrestres de 1980 du CETUR. Ces valeurs sont déterminées par les débits de véhicules légers et ceux des poids lourds, la longueur de la portion de ligne source représentée par un point sonore unique et la valeur du spectre de bruit routier normalisé pondéré A (relatif à la fréquence).

---

<sup>54</sup>elle fut à l'origine de ce système de positionnement par satellite

Les récepteurs sont identifiés par des points. Ils sont placés au moins à une hauteur de 2 mètres par rapport au sol inférieur et au moins à 2 mètres en avant des façades des bâtiments.

Cinq facteurs principaux sont intégrés au calcul du trajet élémentaire d'un rayon sonore :

- l'atténuation due à la **divergence géométrique** prend en compte la nature de l'onde dans l'affaiblissement avec la distance.

- l'**absorption atmosphérique** est l'absorption du son par l'air, soumis aux effets de viscosité et de diffusion thermique. Cette absorption est donc fonction de la température et de l'humidité de l'air [CSTB 96].

- l'**effet de sol** dépend surtout de la porosité de ce dernier. Ici on distingue simplement le sol absorbant (herbe, arbres ...) du sol réfléchissant (béton, ...). Dans ce paramètre il est possible de tenir compte des conditions météorologiques. Leurs effets peuvent être significatifs dès que la distance entre la source et le récepteur est supérieure à une centaine de mètres. Selon un exemple proposé par D. Soulage et F. Besnard, pour des observations de courte durée, un niveau d'exposition peut varier de plus de 20 dB(A) du seul fait de conditions météorologiques favorables [SOU 97]. Dans le cas de moyenne d'exposition de long terme, l'effet de la météorologie reste important. Plusieurs approches de modélisation des paramètres météorologiques sont proposées dans Mithra. Elles ont en commun d'intégrer les facteurs thermiques et ceux liés au vent, dans une appréciation générale des conditions plus ou moins favorables à la propagation du son. Pour certaines stations météorologiques, une rose d'occurrence des conditions favorables est établie (cf. figure 46). Elles sont ensuite interpolées pour donner des cartes qui évaluent la probabilité pour que les conditions météorologiques soient favorables à la propagation d'un son, pour un azimut donné (cf. carte 4).

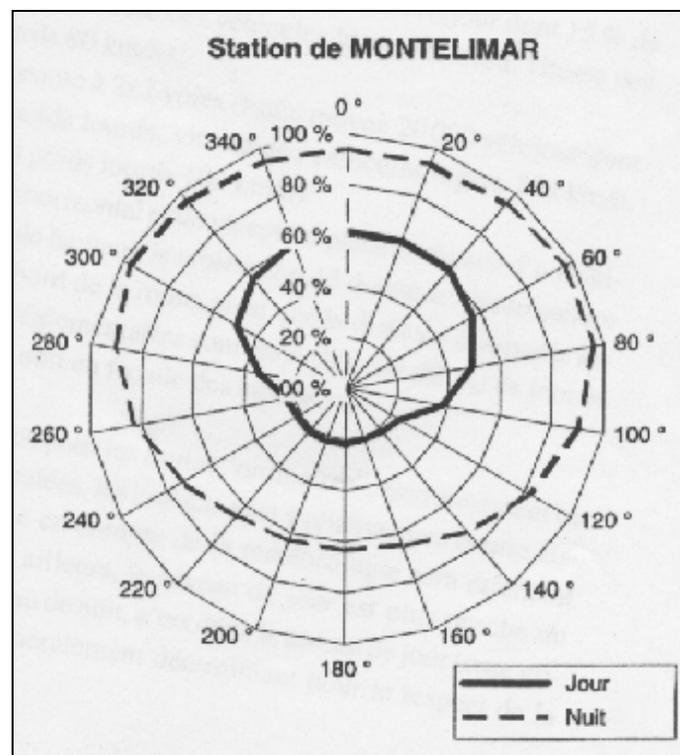
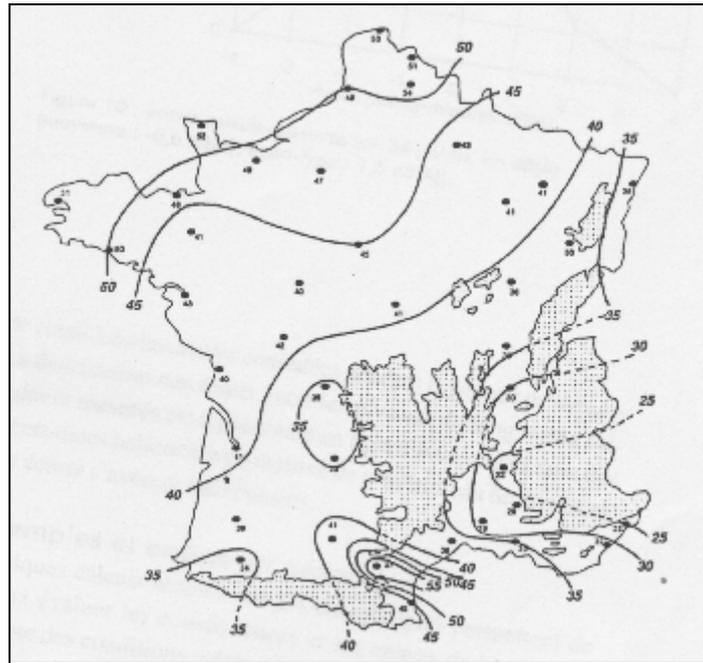


figure 46 - Exemple de rose d'occurrences de conditions favorables (les degrés, comptés par rapport au nord, représentent la direction de provenance du son) [SOU 97]



Carte 4 Exemple de carte d'occurrence de conditions favorables (période de jour, direction source récepteur 240 degrés) [SOU 97].

La méthode de calcul courante dans Mithra, évalue le niveau moyen d'exposition de long terme et le majeure des niveaux existants en conditions atmosphériques défavorables<sup>55</sup>. Ce principe conduit à surestimer les niveaux sonores réels et va donc dans le sens de la sécurité [SOU 97]. C'est la méthode qui semble la plus appropriée aux approches de l'acoustique environnementale. Malheureusement les valeurs d'occurrence ne peuvent être appliquées qu'à des sites relativement dégagés, soit en dehors des zones de montagnes. Pour les sites où la topographie risque d'engendrer des phénomènes météorologiques spécifiques, des données locales seront nécessaires.

- la mesure de la **diffraction** sur le sommet d'obstacle est réalisée par décomposition du trajet coté source et coté récepteur.

- la **réflexion** sur des obstacles verticaux est traitée par le biais de sources images déjà détaillée dans le point 2.1.1.2..2.

<sup>55</sup> soit en situation favorable pour la propagation du son.

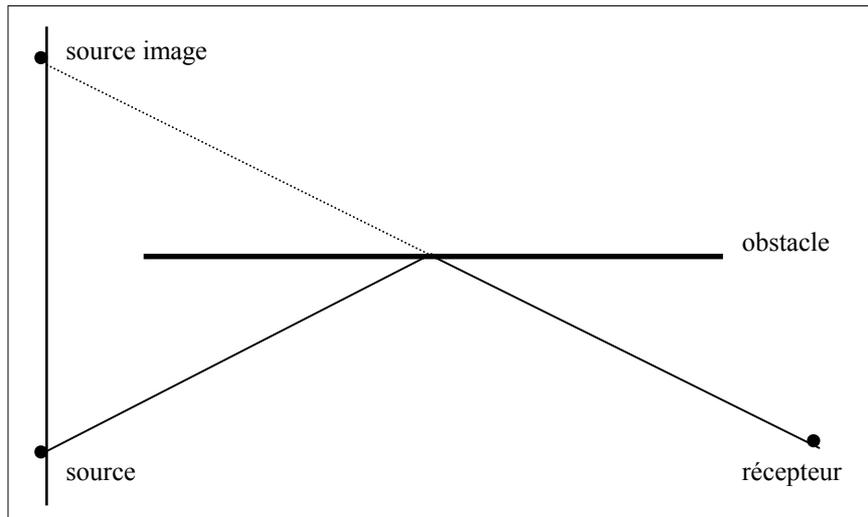


Figure 47 - Réflexion spéculaire sur un obstacle traitée par la méthode des sources images – C.S.T.B. 1997

Dans l'approche générale du modèle, l'ensemble des réflexions et réfractions est traité dans un espace virtuel « déplié » selon la méthode des sources images (cf. figure 47). La volumétrie n'a donc pas vraiment de réalité informatique dans cette représentation de l'espace de propagation.

Le modèle exploité par Mithra comporte bien évidemment des limites. La validité des calculs en distance, est actuellement de 800 mètres par rapport aux sources. Le calcul de Mithra n'intègre pas les effets de réfraction verticale. Même si des calages sur la base de mesures réelles ont démontré la qualité de la modélisation, il est important de garder à l'esprit le fait que l'exposition qui est simulée pour une situation sonore moyenne de long terme. En ce sens Mithra répond à la logique de l'acoustique environnementale.

#### 2.2.1.2.2. Mise en œuvre du modèle de propagation

La procédure de calcul commence donc par le lancé de rayons depuis les récepteurs. A la fin de ce traitement, seuls les trajets physiquement possibles sont conservés. Les lignes sources sont ensuite décomposées en segments assimilés à des sources ponctuelles, puis l'algorithme applique les différentes atténuations acoustiques pour chaque rayon.

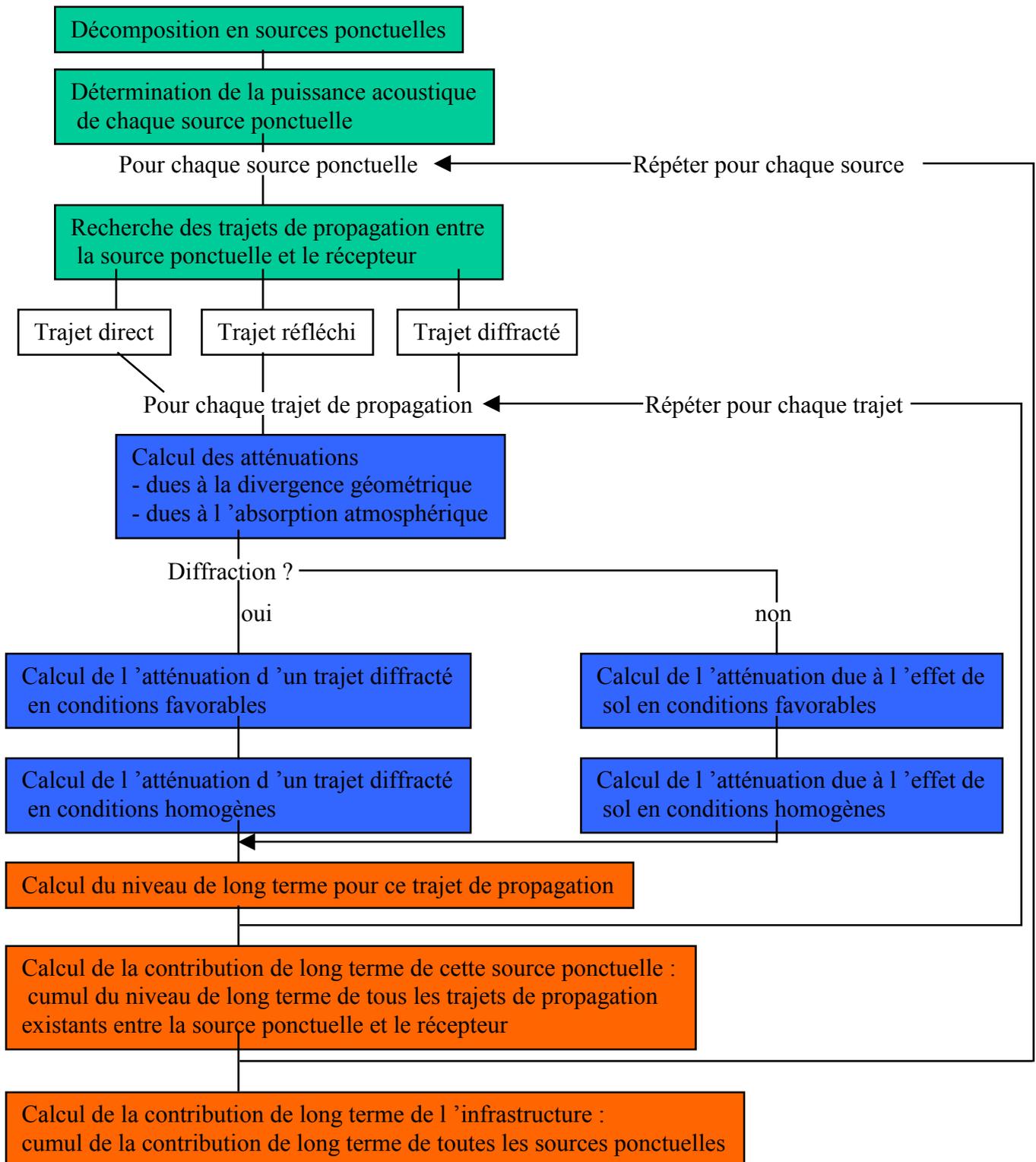


Figure 48 - Organigramme général de la méthode de calcul de propagation des sons par Mithra [CSTB 96].

### 2.2.1.2.3. *Les données en entrée du calcul acoustique de Mithra*

Pour réaliser un calcul, le logiciel Mithra doit disposer des paramètres de la genèse de l'exposition sonore : émission, propagation, réception (cf. point 2.1.1.2.). Les formats de lecture en entrée sont ceux des logiciels de CAO<sup>56</sup> standard (Autocad, Microstation, par exemple). Ces informations géographiques pourraient provenir d'un système d'information géographique. Malheureusement, lors de nos traitements, cette procédure d'importation n'était pas encore opérationnelle dans Mithra.

En terme d'émission, le calcul intègre la localisation des sources de bruit ponctuelles et linéaires et la description de ces objets dans des bases de données associées. Une route est ainsi décrite par son trafic horaire moyen de véhicules légers, la proportion de poids lourds, la fluidité du trafic, la nature du revêtement et la vitesse moyenne. L'émission d'une voie ferrée est identifiée par la liste des types, le nombre et la vitesse des trains y circulant. La variabilité temporelle des émissions peut être précisée dans des bases de données connexes au format spécifiés par la loi en vigueur actuellement (6-22h et 22-6h pour la France).

Les paramètres de propagation intégrés sont le relief, la volumétrie des bâtiments, les surfaces horizontales réfléchissantes et absorbantes, les écrans verticaux ainsi que les paramètres météorologiques. Les données du relief sont représentées sous la forme d'un modèle numérique de terrain (M.N.T.) adapté à l'échelle de modélisation et intégrant les irrégularités du relief (crête, fond de vallée, ligne remarquable). Les bâtiments sont renseignés en volume simplifié par leur nombre d'étages et leur hauteur. Les façades arrondies sont ramenés à des objets géométriques simplifiés, afin d'éviter les réflexions incohérentes. Les protections acoustiques sont quant à elles identifiées par leur position, leur hauteur et les matériaux qui les composent. L'effet de sol doit distinguer les surfaces réfléchissantes (béton, route goudronnée, étendue d'eau) de celles plus ou moins absorbantes du point de vue acoustique (végétation, sols herbeux).

---

<sup>56</sup> Conception Assistée par Ordinateur



Figure 49 - Exemple de saisie informatique d'un site avec le logiciel Mithra - source CSTB

Les récepteurs sont quant à eux identifiés par des points localisés en trois dimensions (x, y et z). Dans la version de Mithra que nous avons utilisée au début de nos traitements, le placement des récepteurs était réalisé selon deux méthodes avec deux formes de récepteurs différent (le récepteur de champ libre et le récepteur de façade de bâtiment<sup>57</sup>). Le mode de calcul automatique place de façon homogène une grille de micros virtuels en champ libre à une altitude spécifiée pour l'ensemble de la zone de calcul, et ce en évitant les bâtiments. Le mode de calcul manuel permet de placer des récepteurs en champ libre ou des récepteurs en façade ponctuellement dans l'ensemble de la zone de travail. Le point 2.2.3 fera état des apports techniques du projet SIGAUR. C'est dans ce cadre que nous avons imaginé une nouvelle approche spatiale de l'exposition sonore.

#### 2.2.1.2.4. Les modes d'exploitation des calculs de Mithra

Tous les résultats issus de Mithra sont calculés sur la base de points simulant des micros. Il existe trois modes particuliers de représentation des résultats : une étude pour un point récepteur particulier, la réalisation de cartes de récepteurs et la production de cartes de bruit interpolé. L'unité de mesure acoustique d'exposition est le  $L(A_{eq}, t)$ . Nous ne détaillons ici que les deux formes de résultats qui sont ensuite exploitées dans les exemples de traitement de la partie 3. De plus, l'étude pour un point récepteur particulier ne concerne pas l'approche de l'acoustique environnementale. La carte 5 présente la forme de résultat graphique d'un tel traitement. Le mode de calcul est le même pour les autres modes d'exploitation.

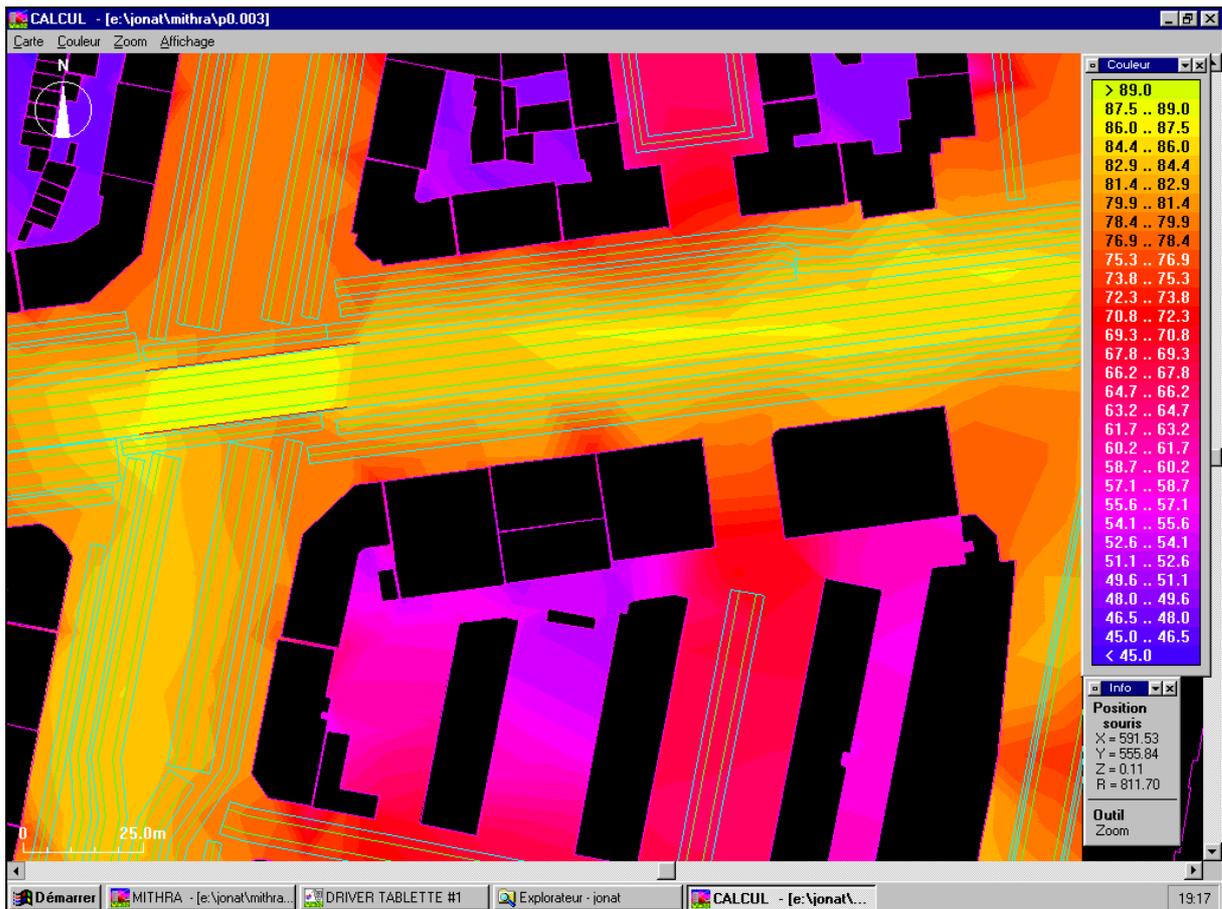
<sup>57</sup> qui est placé à 2 m au devant de la façade du bâtiment.



*Carte 5 - Exemple de tracé de rayon pour un récepteur particulier dans le logiciel Mithra - site d'étude de Montmélian*

En sortie, un calcul sur récepteurs est une base de données qui comporte la localisation des micros virtuels en trois dimensions (x, y, z), à laquelle est associée une description de l'exposition de chaque point. Cette dernière peut contenir un niveau d'exposition simple, le détail des contributions acoustiques de l'ensemble des sources de la zone d'étude, la répartition de l'énergie reçue par bande de fréquence et enfin, le détail des effets acoustiques qui pondèrent l'exposition (effet de sol, absorption, réflexion, réfraction).

Une carte horizontale de bruit est, quant à elle, constituée d'une couche d'objets de type polygone, contenant chacun des niveaux minimum et maximum d'exposition sonore. Cette information est le résultat d'une interpolation réalisée dans Mithra, à partir de micros placés de façon homogène dans la zone d'étude, en tenant compte de la localisation des bâtiments. Bien entendu, cette information d'exposition n'a pas la même validité que celle issue du lancé de rayon. L'interpolation intègre uniquement la distance entre les récepteurs. Les paramètres de propagation acoustique sont éludés lors de cette opération. C'est donc une approche « macroscopique » de l'exposition. Elle a l'avantage de produire des résultats d'une qualité visuelle indéniable (cf. carte 6).



Carte 6 - Carte horizontale de bruit vectorielle interpolée dans Mithra - site d'étude de Grenoble [JOU 00]

La carte de bruit verticale fonctionne selon la même logique que la carte horizontale (carte 6). Elle est réalisée en coupe et présente l'évolution verticale de l'exposition du territoire au bruit. Nous n'avons pas exploité cette forme de résultat dans nos traitements.

Des fonctions internes à Mithra sont disponibles pour produire des sorties cartographiques mises en forme. Un autre outil autonome permet aussi le dimensionnement de murs antibruit. Ces modules exploitent les résultats de calcul Mithra dans des programmes indépendants. A la base, les formats des résultats de Mithra étaient uniquement dédiés à ces modules d'exploitation externes. Nous détaillerons dans le point 2.2.3. les réalisations du projet SIGAUR pour établir des liens entre Mithra et le monde des systèmes d'information géographique.

La méthode de calcul Mithra n'est bien évidemment pas la seule disponible pour calculer la propagation du bruit en espace extérieur. Le DETR a ainsi établi un recensement comparatif des différents logiciels disponibles en Allemagne [DETR 98]. Il en cite quatre différents, Cadna, Immi, Lima et Soundplan qui semblent développés selon un modèle proche de celui de Mithra. Malheureusement nous n'avons pas eu l'occasion de les tester.

## 2.2.2 Les systèmes d'information géographique et le traitement des données d'impact potentiel du bruit

Le SIG tient une place centrale dans notre chaîne de traitement (cf. figure 42). Nous allons maintenant détailler ses différentes composantes, avant d'identifier les usages dont il peut faire l'objet dans le développement de l'approche spatiale des impacts du bruit des transports terrestres.

### 2.2.2.1. Qu'est ce qu'un SIG ?

Dans ce point nous ne prétendons pas établir un point de vue complet sur le monde des systèmes d'information géographique, mais simplement évoquer les fondements théoriques de cet outil, dont les usages se multiplient dans des disciplines très différentes. Dans notre contexte d'étude, il peut favoriser l'émergence de fructueuses connexions pluridisciplinaires.

Le terme de "système d'information géographique" est la réunion de deux concepts et l'aboutissement technique de l'évolution parallèle de la CAO (conception assistée par ordinateur) et des SGBD (système de gestion de bases de données). Soit la réunion de système de gestion de données et de fonctionnalités de production, valorisation de l'information géographique.

$$\text{SI} + \text{IG} = \text{SIG}$$

**Le système d'information (SI)** est dédié à l'organisation des données pour une meilleure diffusion de l'information.

*J. de Rosnay : « l'ensemble des organisations et des moyens mis en œuvre dans un organisme pour assurer l'information interne de cet organisme. »*

*H. Pornon : « intermédiaire entre le système opérant (l'ensemble des moyens de production : matière première, machine, hommes, technologies...) et le système de pilotage (responsable de l'entreprise). Ils regroupent des moyens humains, matériels et logiciels. »*

### **Informations à références spatiales ou géographiques (IG)**

*M. Didier : « ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. »*

### **Système d'information géographique**

*R. Laurini : « Un système d'information géographique permet d'intégrer, de rassembler, d'organiser, de gérer, de combiner et de présenter des informations qui sont généralement localisées géographiquement. C'est en fait un système informatisé qui comprend une base de données sur un ensemble d'unités géographiques, et un logiciel ou un ensemble de logiciels permettant de gérer le stockage, la mise à jour, un accès efficace aux informations, le traitement et la représentation visuelle de ces données. »*

De Blomac et Gal ont identifié deux apports majeurs des SIG pour l'analyse spatiale :

- « La capacité à traiter des quantités de données non gérables manuellement (et donc de valider des hypothèses en les confrontant à une multiplicité de cas ou de bâtir des modèles prenant en compte une vaste réalité);

- La capacité à développer des hypothèses » [DEB 95].

Outre cette dimension analytique, le SIG dispose généralement d'autres modules dédiés à la manipulation de l'information. La figure 50 propose une architecture possible pour un système d'information géographique.

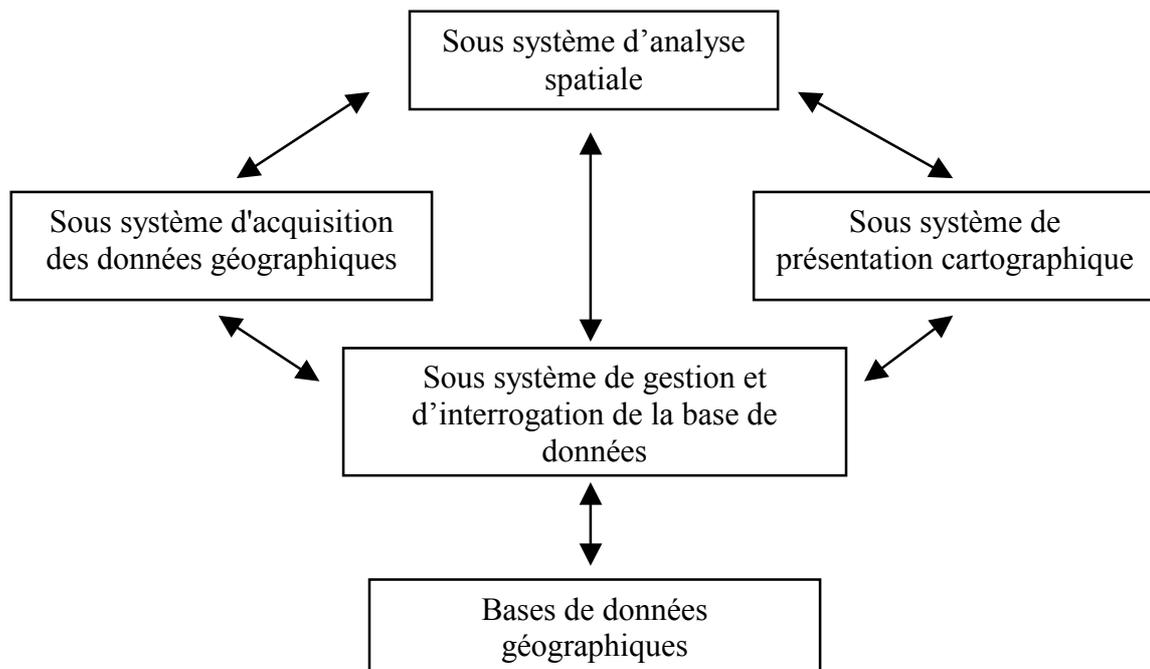


Figure 50 - La structure générale d'un système d'information géographique [BEG 94]

Un SIG comporte généralement quatre grandes fonctionnalités :

- la **saisie** : saisie de données géographiques et alphanumériques. Cette fonctionnalité inclut la digitalisation et la vectorisation de fonds de cartes
- la **gestion** : gestion de données graphiques et alphanumériques, et de leurs liens. Chaque thématique du territoire peut donc constituer une couche d'information à part entière. Si les différentes couches d'information géographique décrivent la même portion de territoire, il est possible de les mettre en relation dans le SIG. Cette fonctionnalité permet de gérer visuellement un grand nombre d'informations différenciées. La figure 51 donne un exemple de ce principe.

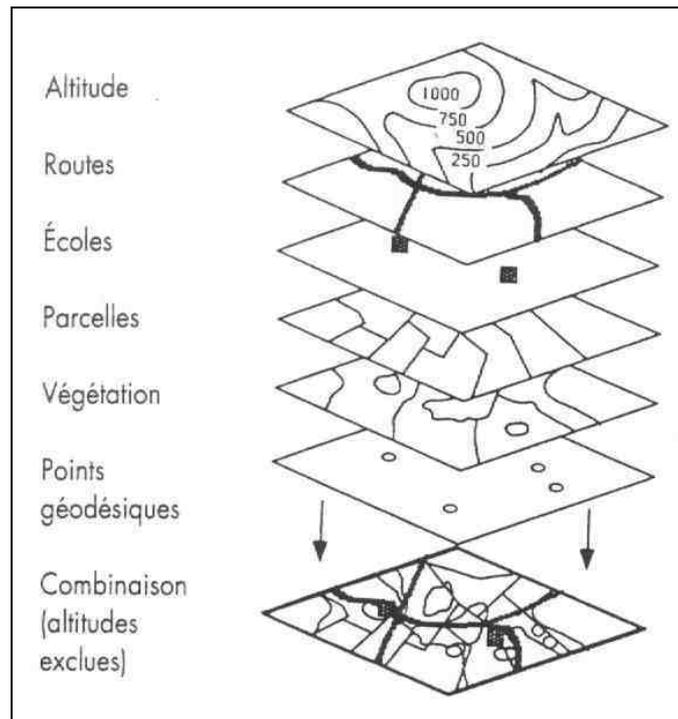


Figure 51 - Principe de superposition géographique de couches d'information thématique [LAU 91]

- l'**exploitation** des données :
  - par extraction pour constituer un fichier partiel
  - par interrogation de la base de données, sous forme de requête
  - par analyse spatiale
  
- l'**édition** : édition de données à l'écran, sur un traceur, sur imprimante

On distingue actuellement deux grandes formes de modélisation de l'information géographique. Elles ouvrent chacune des possibilités de traitement très différentes. Il s'agit des systèmes raster (image, maillé) et vectoriel. Nous avons choisi de détailler ces formes de modélisation du territoire, car nous les avons utilisées toutes les deux dans nos propositions de traitement.

#### 2.2.2.2. Les SIG vectoriels

Un SIG vectoriel permet de traduire tout objet géographique selon différentes entités graphiques : points (nœuds), lignes (arcs) surfaces (polygones). Chaque objet géographique ainsi modélisé, peut être renseigné par le biais d'une association informatique avec une base de données. Ce lien permet des requêtes thématiques et, selon le modèle de données graphiques, des requêtes sur les objets et leurs relations entre eux. On distingue deux modèles graphiques dominants dans le monde des SIG vectoriels : le modèle spaghetti (non topologique) et le modèle topologique. La figure 52 présente ces 2 approches de modélisation des objets géographiques.

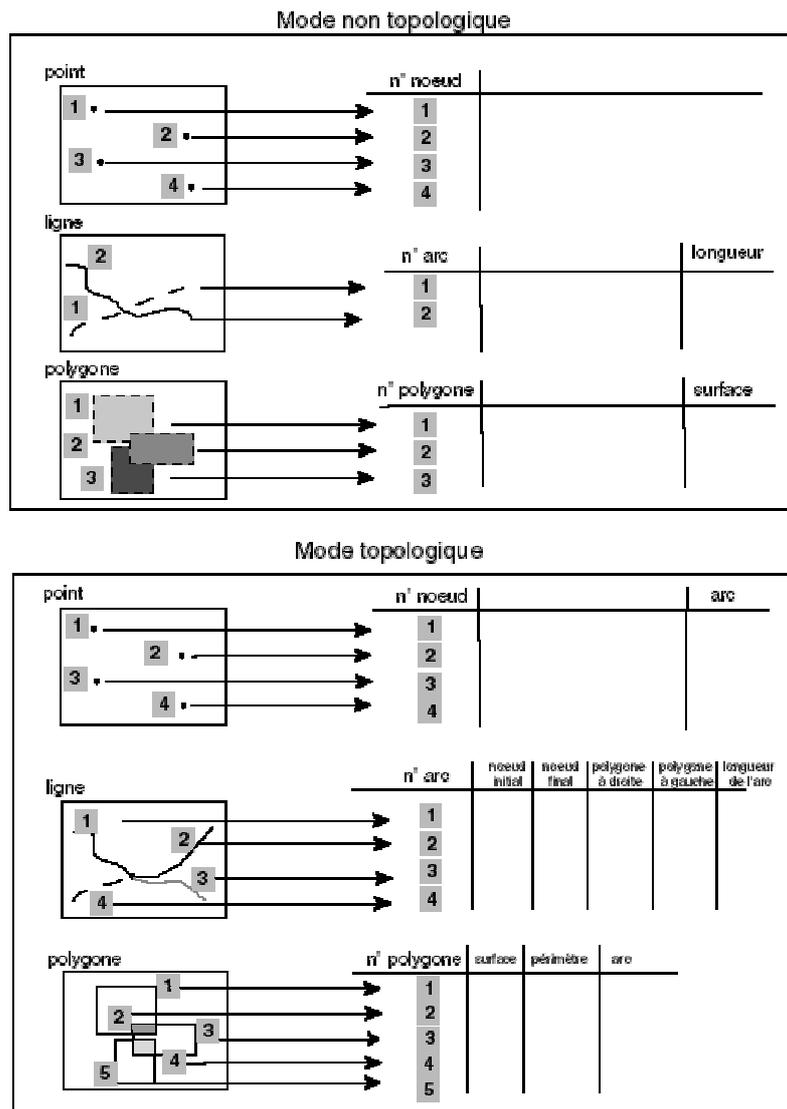


Figure 52 - Les différentes entités graphiques du mode vectoriel - source : documentation technique de l'Office National de Forêts -

#### 2.2.2.2.1. Le mode vecteur non topologique (mode spaghetti)

Les données proviennent généralement de la digitalisation de fichier produit à l'aide d'outil de la CAO, ou encore d'une restitution photogrammétrique. Les entités graphiques sont stockés sans aucun lien entre elles. Pour une utilisation au sein d'un SIG, les données en mode spaghetti présentent plusieurs inconvénients importants :

- une double numérisation est nécessaire pour les limites communes à deux polygones contigus (pertes de temps, risque d'incohérences, augmentation du volume des données, difficulté de mise à jour)
- la détermination de l'intersection de deux lignes, la confrontation et le découpage d'objets qui se superposent géographiquement sont des opérations complexes
- les opérations de croisement et d'analyses de réseaux sont malaisées

#### 2.2.2.2.2. *Le mode vecteur topologique*

Dans le mode vecteur topologique, les connexions et les relations entre les entités graphiques sont décrites et gérées par le système. On distingue dans ce modèles les relations :

- de connexion entre des objets linéaires (par exemple pour exprimer que dans un réseau tel route est connecté à telle autre)
- de contact entre des objets de type surfacique (par exemple pour exprimer que telle parcelle est contiguë avec telles autres)

Le modèle topologique s'appuie sur la théorie des graphes et intègre les relations de voisinage (inclusion, adjacence, intrusion égalité) entre les objets géographiques. Dans ce modèle, les connexions et les relations entre les objets sont décrites indépendamment de leurs coordonnées. Les relations entre les entités sont stockées dans des tables.

#### 2.2.2.2.3. *Structure de la base de données*

La structure de la base de données associée à l'information géographique va contraindre la nature des traitements de données, notamment en matière de mise à jour et de requête thématique. Actuellement deux architectures de base de données prédominent dans le monde des SIG. Il s'agit du modèle de base de données élémentaire et du modèle relationnel.

Dans le **modèle élémentaire**, les données sont organisées dans des fichiers uniques que l'on peut comparer à des tableaux uniques élémentaires. Les lignes du tableau se réfèrent à des entités ou des objets géographiques de même nature. Chaque entité détient un identifiant unique. Les colonnes correspondent aux divers attributs thématiques qui renseignent chacun des objets de la base. Ils peuvent contenir des caractères, du numérique ou une information booléenne. Pour réaliser des requêtes sur une base de données élémentaire on dispose des opérateurs arithmétiques (+, -, \*, /, puissance), des opérateurs de comparaisons (<, =, >), des opérateurs logiques (ET, OU, NON) et enfin des opérateurs géographiques (inclusion, exclusion, intersection).

Dans le **modèle relationnel**, la base de données est composée de tables (à deux entrées) reliées entre elles. Chaque classe d'entités est constituée d'une table. Chaque ligne de cette table représente les données pour une entité et chaque colonne un attribut thématique pour l'ensemble des entités de la table. Chaque classe de relations décrivant des relations « many to many » entre les classes d'entités sont aussi représentées par des tables de valeurs. Ces tables contiennent des colonnes référençant les classes d'entité mise en relation et des colonnes informant sur la relation en elle même. Un des avantages essentiels de cette structure réside dans la facilité de mise à jour de la base de données. Elle permet par ailleurs une grande flexibilité pour la fourniture de données dérivées grâce aux relations et au langage de requête [MAG 91]. Pour les requêtes sur les tables, outre les opérateurs du modèle élémentaire, on dispose des **opérateurs relationnels**. Les opérateurs ensemblistes entre tableaux sont l'intersection (et), l'union (ou) et la différence (sauf). D'autres opérateurs peuvent être créés spécifiquement. La jointure permet par exemple de produire une table qui joint les informations de plusieurs tables pour les entités qui sont en relation.

On peut distinguer deux approches distinctes dans la gestion d'une base de données au sein d'un SIG vectoriel : **l'approche hybride et l'approche intégrée**. Avec l'approche hybride, l'intégration totale de la base de données dans le SIG permet des réponses très rapides aux requêtes. A l'inverse l'approche intégrée profite de la puissance d'analyse statistique

d'algorithmes déjà existants dans les SGBD<sup>58</sup> non spatiaux. Les concepteurs disposent alors de plus de moyens pour développer dans le SIG diverses fonctionnalités d'analyse spatiale et de cartographie [MAG 91].

Dans la réalité du monde des SIG aujourd'hui, les outils développés tentent tous de faire cohabiter les deux approches précitées. Soit une structure de base de données en interne qui reste très simple et des possibilités de gestion externe de l'information associée, pour les traitements plus complexes. Les modèles de données géographiques associés sont souvent inspirés de l'approche spaghetti et n'autorisent pas des traitements d'analyse spatiale et de cartographie avancés. Bien entendu il existe des logiciels SIG qui répondent à des spécifications plus rigoureuses, à l'image d'Arcinfo<sup>59</sup> ou de Smallworld<sup>60</sup>. Leur mise en œuvre nécessite un modèle de base de données très structuré qui suppose que les traitements envisagés soient définis à l'avance.

Dans le cadre de notre projet nous avons choisi de nous contenter de structure de données élémentaire, pour réaliser notre état des lieux méthodologique des approches spatiales des impacts du bruit. Sur la base des approches de traitements proposés ici, de nombreuses pistes d'analyse spatiale sont à explorer ... De ce point de vue notre travail ne constitue donc qu'une simple introduction.

Les traitements accessibles dans les SIG vectoriels sont les requêtes sur les bases de données associées aux objets géographiques, l'étude des relations spatiales entre les objets<sup>61</sup> et la production de données dérivées, par agrégation et désagrégation de données géographiques.

### 2.2.2.3. Les SIG en mode maillé ou raster

Eastman propose une définition de cette forme de modélisation du territoire dans les SIG. « La description des objets et celle de leurs caractéristiques thématiques constituent des fichiers à structure unique. En fait, les entités spatiales décrites ne sont pas à proprement parler des objets spatiaux, mais des unités d'observation qui résultent de la subdivision de la zone d'étude en maillage de cellules rectangulaires. Chaque cellule contient une valeur numérique qui peut représenter soit un identificateur d'appartenance à un objet spatial, soit une catégorie, classe ou valeur thématique » [EAS 94].

	Position	Code numérique associé (traduit en code couleur)
Pixel	X, Y, Z	V

Tableau 19 - Le modèle de données raster

Une cellule n'a qu'une seule valeur. Sa position est définie par son numéro de ligne et par son numéro de colonne dans une image. La fenêtre de territoire que couvre cette image est définie par les coordonnées de ses extrémités.

<sup>58</sup> système de gestion de base de données

<sup>59</sup> modèle de données topologique et structure de base de données objet et ou relationnelle

<sup>60</sup> approche objet

<sup>61</sup> la puissance de l'analyse dépend largement du modèle de données géographiques qui est utilisé

« Du fait de la simplicité de leur modèle, les données tramées se prêtent particulièrement bien à certains types d'analyse. En effet, si une cellule ne peut avoir qu'une seule valeur, en revanche, rien n'empêche de combiner les informations les plus diverses disponibles sur la même portion de territoire représentée par une cellule. » [ROU 91]

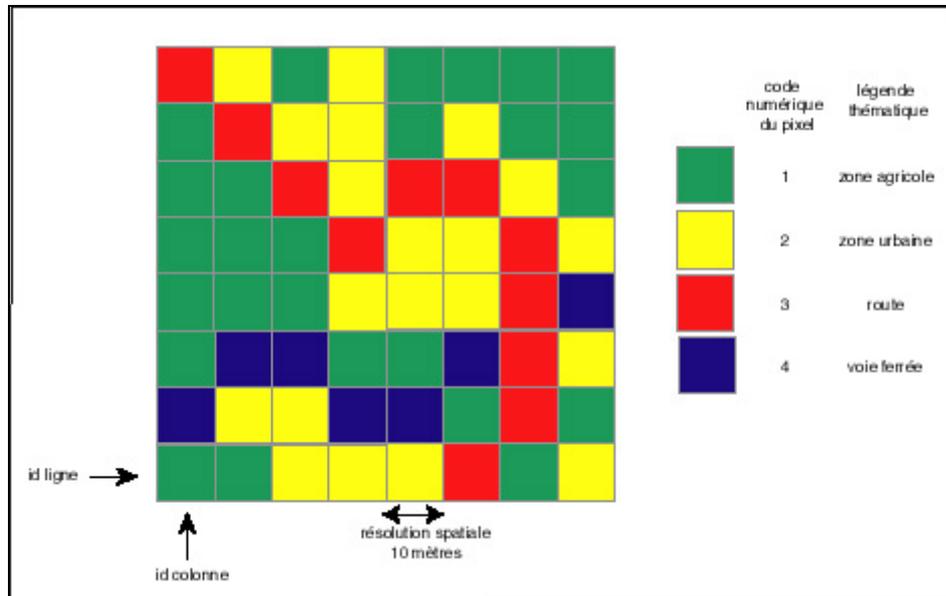


Figure 53 - Structure d'une couche de donnée géographique raster

On distingue quatre formes d'analyse spatiale dans un SIG raster :

- **les opérations locales** sont celles qui génèrent une nouvelle valeur pour tous les pixels d'une couche d'information raster. Les fonctions utilisées peuvent exploiter en entrée l'information d'une seule ou plusieurs couches d'information. Ces opérations sont toutes verticales. Avec une seule couche, il est possible d'appliquer les opérateurs arithmétiques classiques afin de reclasser les valeurs d'une grille (agrégation ou modification de valeur). Avec plusieurs couches, cette opération est appelée « overlay ». Dans ce cas on peut appliquer des opérateurs mathématiques (+,-,/,\*,%,max, min, majorité, minorité) ou logiques (vrai, faux) entre les couches d'information.
- **les fonctions focales** permettent, quand à elles, de produire une nouvelle information à partir d'un filtre mathématique prédéfini. Une moyenne dans un filtre de trois pixels par trois est un bon exemple de cette fonction.
- **les opérations zonales** permettent de réaliser des traitements sur des zones non géométriques qui sont décrites dans une autre couche. Par exemple, on veut obtenir une carte où tous les pixels de chaque commune héritent de la densité moyenne de la commune. On dispose d'une couche de densité de population et d'un couche de découpage par commune. On réalise une opération de moyenne zonale de la carte de densité en fonction du découpage communal.

- **les opérations incrémentales** sont les fonctions qui caractérisent chaque pixel comme un incrément de 1, 2 ou 3 dimensions à l'image du calcul de coût, calcul de distance, calcul de volume ou encore calcul de pente et d'orientation de pente.

Le tableau 20 permet de comparer les grandes spécificités des deux modèles de représentation spatiale qui seront ensuite utilisés dans nos exemples de traitement de la partie 3.

	<b>SIG RASTER</b>	<b>SIG VECTEUR</b>
<b>Avantages</b>	<p>Modèle robuste</p> <p>Combinaison aisée (Overlay)</p> <p>Croisement avec des données issues de la télédétection</p> <p>Analyse de données aisée</p> <p>Simulation facilitée</p> <p>Technologie éprouvée</p> <p>Valeur continue qui permet l'interpolation</p>	<p>Bonne représentation des phénomènes (précision géométrique)</p> <p>Modèle compact (place mémoire réduite)</p> <p>Topologie de réseaux possible (modèle de gestion des objets les uns en fonction des autres : contiguïté, connexité)</p> <p>Précision géométrique (possibilité de zoom)</p> <p>Extraction direct, édition, généralisation</p>
<b>Inconvénients</b>	<p>Volume de données important</p> <p>Qualité graphique moyenne</p> <p>Réseau difficile à coder (problème de continuité)</p>	<p>Structure de données souvent complexes</p> <p>Croisements de données délicats (point, lignes, surfaces ne se superpose pas facilement)</p> <p>Technologie coûteuse (logiciel et données)</p> <p>Données discontinues, par classe, équipotentiels (tel que les courbes de niveau)</p>

Tableau 20 - Avantages et inconvénients des deux modèles de données SIG dominant [BER 93]

Nous allons maintenant détailler les apports méthodologiques éventuels d'un SIG dans notre chaîne de traitement des impacts du bruit.

#### 2.2.2.4. Les usages possibles d'un SIG en acoustique environnementale

Dans le point 2.1.2., consacré au champ des possibles de l'approche spatiale des impacts du bruit, on a identifié quatre axes de traitement : la description, la modélisation des paramètres d'impact, l'analyse spatiale et enfin l'analyse prospective des impacts potentiels du bruit. Le SIG peut intervenir sur l'ensemble de ces axes. Nous allons détailler ses apports à travers les modules généralement développés dans les SIG. La figure 54 décompose les utilisations possibles du SIG dans notre contexte de traitement.

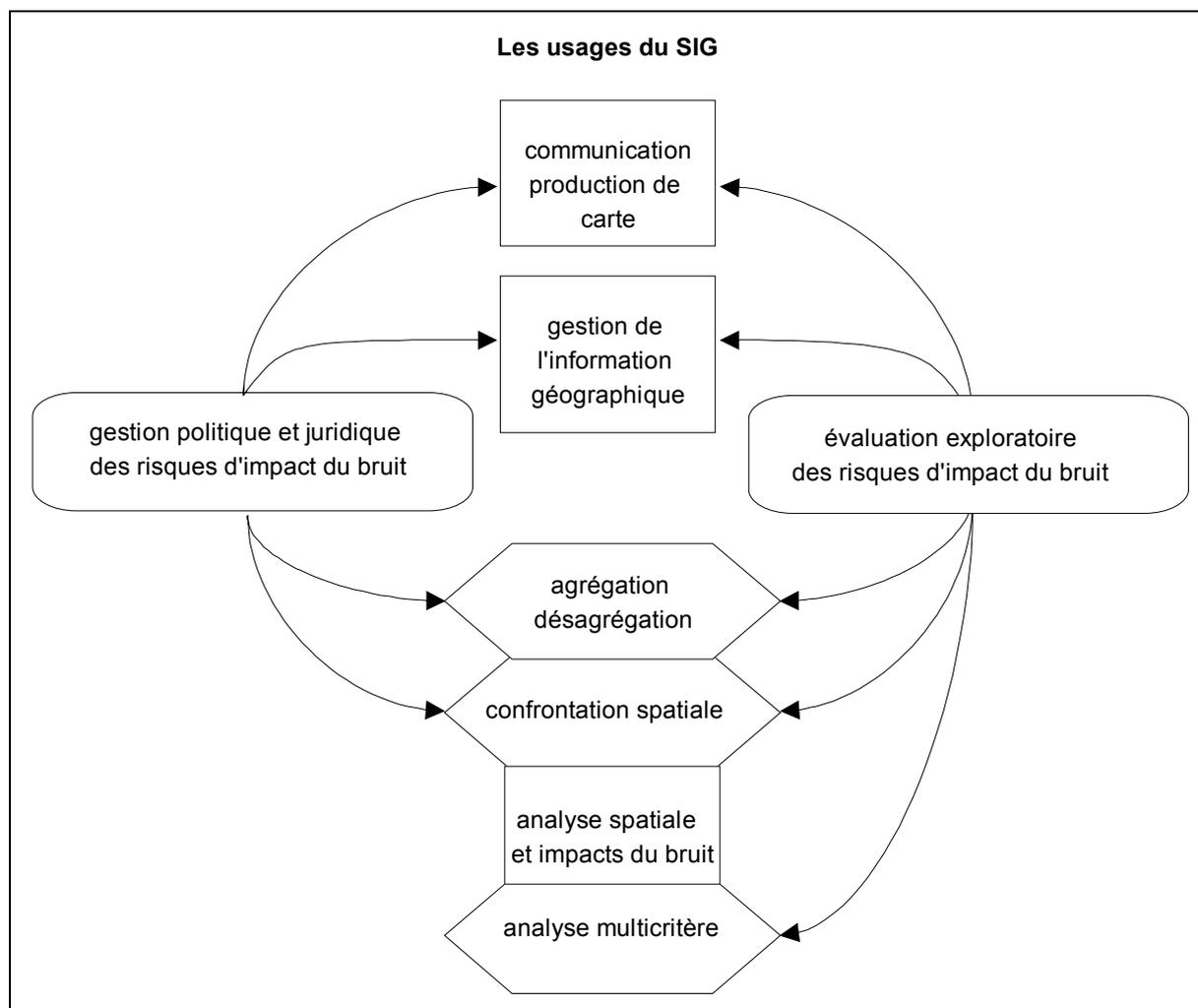


Figure 54 – Les différents usages d'un SIG en acoustique environnementale

##### 2.2.2.4.1. Gestion de l'information géographique

L'ensemble des informations nécessaires à notre chaîne de traitement est regroupée au sein d'une base de données unique au sein du SIG. Chaque type de critère intégré dans la genèse des impacts du bruit (paramètres d'émission, propagation, réception, vulnérabilité) y constitue une couche d'information à part entière. Comparée à l'organisation des données dans Mithra<sup>62</sup>, un SIG vectoriel permet une manipulation facilitée des objets, par des procédures de

<sup>62</sup> inspirée des structures des objets produits par les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO)

sélection multiples (spatiale et ou thématique). La mise à jour d'une modélisation s'en trouve largement facilitée. De même, lors de la production de scénarios d'impact, le fait de pouvoir manipuler l'ensemble des paramètres à partir d'un même espace de traitement, rend leur élaboration beaucoup plus interactive. Les SIG raster ne sont pas adaptés à ces opérations de gestion de données.

#### 2.2.2.4.2. *SIG et Analyse spatiale pour l'aide à la décision en acoustique environnementale*

Dans un SIG, le module d'analyse de l'information géographique peut être exploité lors de plusieurs étapes de notre chaîne de traitement. En fait, il intervient à chaque production d'indicateurs spatiaux. Nous avons distingué trois classes de traitements qui sont l'agrégation - désagrégation, la confrontation spatiale, et enfin l'analyse multicritère.

**L'agrégation et la désagrégation d'information spatiale** de la vulnérabilité et de l'exposition du territoire au bruit va nous permettre d'atteindre les échelles de confrontation propres à l'acoustique environnementale (cf. figure 56). Pour nourrir le modèle de propagation, comme pour produire les indicateurs d'impacts, il est en effet nécessaire de ramener l'ensemble des thématiques aux échelles spatiale et temporelle de contact (cf. point 2.3.2.2.).

La **confrontation** de ces données de vulnérabilité et d'exposition (en statique et ou dynamique) consiste à **comparer leurs distributions spatiales** respectives. Quel que soit le modèle de données exploité, tous les types de SIG sont capables de réaliser un tel traitement. En vectoriel, la confrontation des deux thématiques peut être réalisée selon deux approches :

- le regroupement des deux thèmes à l'échelle d'un même objet modélisé dans l'espace (une ville, un quartier, un îlot, un bâtiment, une façade, une fenêtre ...),
- le recoupement de deux couches d'information contenant des polygones (une carte horizontale de bruit issue de Mithra et une couche d'information géographique vectorielle contenant une description de la vulnérabilité).

Dans un SIG au format raster une confrontation spatiale consiste à réaliser des opérations arithmétiques locales entre au moins deux couches d'information (cf. point 2.2.2.3.).

Cette approche de confrontation spatiale s'applique aussi aux analyses diachroniques. La comparaison de scénarios à partir des valeurs d'impacts potentiels quantifiées peut donner lieu à des analyses de coûts/bénéfices pour différentes options de décision.

Pour l'évaluation de la vulnérabilité du territoire au bruit comme pour l'évaluation prospective de décision d'aménagement, un ensemble de paramètres décrivant le territoire doivent être compilés. L'**approche multicritère** est un moyen de gérer la diversité des critères qui peuvent être pris en compte. Nous allons rapidement la présenter car elle est utilisée dans les exemples de traitements de la partie 3.

Le paradigme multicritère est né de la critique de l'optimisation. L'objectif n'est pas la recherche d'une solution optimale, mais plutôt la réalisation d'arbitrage permettant de parvenir à des solutions de compromis. En d'autres mots, il s'agit d'aider le décideur à maîtriser les données, souvent complexes, de son problème et ainsi à progresser vers une solution. Cette attitude d'aide à la décision consiste à ne pas rejeter la complexité, ni celle de l'homme, ni celle des situations décisionnelles, et donc à ne pas sacrifier les nuances à des schémas rationalistes [LAA 00]. Elle présente deux avantages décisifs :

- elle améliore la transparence du processus de décision.

- elle définit, précise et met en évidence la responsabilité du décideur [MAY 94].

L'aide multicritère à la décision porte sur des catégories de problèmes où :

- plusieurs critères quantitatifs et qualitatifs sont pris en considération
- ces critères sont souvent hétérogènes
- ces critères sont généralement conflictuels
- ces critères sont généralement considérées d'inégale importance.

On distingue quatre étapes dans la recherche d'une solution qui sont communes à l'ensemble des méthodes d'évaluation multicritère [SCH 85] :

- définir la liste des solutions possibles. Il s'agit de cerner le plus précisément possible l'objet de la décision.
- dresser la liste des critères à prendre en considération. L'ensemble des critères doit être exhaustif ou, en tout les cas, il doit faire le tour de la question.
- juger chaque action potentielle aux yeux de chaque critère
- agréger les jugements pour désigner la solution qui jouit globalement des meilleures évaluations.

C'est dans la quatrième étape que l'on distingue plusieurs approches multicritères. Trois démarches d'agrégation des jugements dominant. La première tente une agrégation complète de l'ensemble des critères. Cela suppose que les différents jugements sont tous commensurables. La seconde forme d'agrégation est appelée l'agrégation partielle. Elle part de l'hypothèse que toutes les actions potentielles sont reliées par des relations de surclassement. On effectue d'abord les comparaisons des actions, deux à deux, en respectant l'incomparabilité et l'intransitivité<sup>63</sup>, pour voir quelle action surclasse l'autre. Après quoi ces relations de surclassement sont exploitées. L'objectif n'est pas l'agrégation complète, il s'agit plutôt d'appréhender partiellement les préférences du décideur. « *D'où un résultat dont on sait par avance qu'il ne sera pas toujours éblouissant. On sacrifie ainsi la clarté au profit d'une meilleure modélisation de la réalité* » [LAA 00]. L'agrégation locale itérative est quand à elle adaptée à des situations de décisions où les solutions sont multiples, voire infinies. Le principe est alors de chercher dans le champ des possibles des solutions la moins mauvaise possible.

Dans notre chaîne de traitement, nous avons appliqué le paradigme multicritère pour la définition de la vulnérabilité et pour l'évaluation du choix d'un tracé de TGV selon des critères issus de l'acoustique environnementale.

Nous reviendrons sur ces traitements dans le cadre de la partie 3 de ce document.

#### 2.2.2.4.3. *Communication et production de cartographies thématiques*

Les S.I.G. sont tous dotés d'un module de mise en forme cartographique. Ses fonctionnalités permettent d'assurer la représentation cartographique de l'ensemble des informations produites dans notre chaîne de traitement. Les productions finales doivent surtout favoriser une meilleure compréhension des enjeux liés au bruit, pour les différents groupes concernés par l'aménagement du territoire. Dans ce domaine, le développement de l'infographie et de nouvelles méthodes de cartographie constituent deux alternatives à envisager. L'infographie peut retraduire par des symboliques adaptées, des approches jusqu'alors inaccessibles au public. Elle reste tout de même basée sur des traitements de

---

<sup>63</sup> à savoir que l'on donne la possibilité au décideur de ne pas trancher entre deux actions

cartographie préalable. L'approche de « cartographie quantitative » issus de traitements SIG peut progresser en matière de représentation spatiale des phénomènes. Comme les calculs acoustiques nécessitent une modélisation numérique du relief et de la volumétrie des bâtiment, ces données peuvent aussi servir à des reconstitutions réalistes du territoire en trois dimensions [SPE 00]. L'approche spatiale des impacts du bruit doit encore s'enrichir dans le domaine de la valorisation des données volumétriques. Pour l'instant, on ne dispose que de quelques fonctionnalités de visualisation en volume. De même, en matière d'analyse spatiale, il nous manque encore des clés méthodologiques pour exploiter ce type d'information.

Nous allons maintenant évoquer les réalisations techniques du projet SIGAUR qui nous ont permis de faire circuler l'information dans notre chaîne de traitement.

### **2.2.3 Les réalisations techniques de projet SIGAUR pour le traitement des cartes de bruit dans les SIG**

Comme nous l'avons expliqué dans le point 1.3.1.2., le projet SIGAUR nous a donné l'occasion de connecter le logiciel de modélisation acoustique Mithra, avec différents SIG existants. Quelques réalisations techniques furent nécessaires pour permettre les transferts de données dans l'ensemble de la chaîne de traitement et adapter ainsi les données aux approches spatiales envisagées. Nous les présentons ici dans l'ordre chronologique car certaines réalisations n'ont pu être exploitées dans le cadre des exemples de la partie 3 de ce document.

#### ***2.2.3.1. Importation de données Mithra dans les SIG***

Dans un premier temps, nous avons travaillé à la récupération des seuls résultats de calcul Mithra. La base de données décrivant le territoire restait alors implantée dans Mithra. Dans ce cas le SIG est utilisé uniquement pour réaliser les confrontations avec les données spatiales de vulnérabilité.

Une translation du référentiel spatial utilisé dans Mithra est nécessaire, afin de superposer les calculs Mithra avec des données projetées dans des référentiels géographiques standards. Pour des raisons d'attribution de mémoire, le modèle de Mithra impose en effet des chiffres de coordonnées inférieurs au million. Cette restriction permet de conserver de l'espace mémoire pour les chiffres après la virgule.

Nous avons choisi d'exporter les cartes horizontales de bruit issues de Mithra dans un modèle de données géographiques raster. Chaque pixel de la couche SIG d'exposition sonore résultante est renseigné par le niveau sonore maximum calculé. La transformation du mode vectoriel des cartes horizontales de Mithra en mode raster est réalisée dans le SIG. Ce choix nous permet de résoudre un problème lié à la structure des fichiers des cartes horizontales de bruit. A l'origine, le format de sortie des cartes horizontales de bruit a été conçu pour donner un rendu visuel acceptable tout en restant d'exécution rapide. Le mode vectoriel résultant n'est pas compatible en l'état, avec une base de données SIG. La solution du transfert en mode raster peut sembler acceptable si l'on prend garde d'utiliser cette information pour des traitements uniquement à échelle macroscopique (au delà du 1:10000eme).

La récupération des calculs sur récepteur de Mithra est réalisée dans un SIG au format vectoriel sous la forme d'une couche de points. Pour chaque micro virtuel, on dispose de la position en x, y et z ainsi que de la valeur d'exposition en  $L(A_{eq}, t)$ .

L'ensemble de ces traitements informatiques fut tout d'abord agencé par un habile programme du Pr. Dumolard, avant que le CSTB ne décide de les intégrer dans les fonctionnalités d'exportation de Mithra. Le format utilisé pour l'instant est le MIF/MID qui permet de communiquer avec de nombreux SIG. Son intérêt est donc de donner accès à de nombreuses plates-formes de traitement de données géographiques. A l'inverse, c'est un modèle de données dépourvu de topologie, ce qui limite grandement les possibilités d'analyse spatiale.

### ***2.2.3.2. Valorisation de données, fréquence, contribution***

Nous avons cherché à enrichir l'évaluation de l'exposition en récupérant les données intermédiaires du calcul Mithra. Il s'agit du détail de l'exposition par bande de fréquence et de la liste des contributions énergétiques de chaque source de bruit de la zone d'étude pour chaque point récepteur. Ces informations n'apparaissent pas dans les formats d'exportation courants, nous avons donc repris le fichier de résultats brut. D'autres informations détaillent l'influence de chaque effet acoustique sur l'exposition au niveau de chaque récepteur, mais leur interprétation par des non spécialistes s'est avérée risquée. Les données en sortie dans le SIG vecteur contiennent pour chaque micro virtuel, un champ renseigné pour chaque bande de fréquence et un champ pour chaque contribution, soit autant de champ que de sources prises en compte dans le calcul.

### ***2.2.3.3. Une nouvelle approche spatiale de l'exposition sonore du territoire, la carte de récepteur au bâtiment***

Pour multiplier les possibilités d'agrégation et de désagrégation spatiales des données d'exposition du territoire au bruit, nous avons conçu une nouvelle forme de calcul dans le logiciel Mithra. Il s'agit des calculs sur récepteurs au bâtiment (cf. figure 55). Le principe est de placer automatiquement un ensemble de récepteurs en façade (à deux mètres en avant de la façade) pour un ensemble de bâtiments sélectionnés, en tenant compte du nombre d'étages de chacun. Cette formule permet de modéliser l'enveloppe sonore de chaque bâtiment d'une zone d'étude. En sortie de calcul, on peut disposer d'une base de données de points récupérables dans un SIG vectoriel. Chaque récepteur est renseigné par sa position géographique en x, y, z, par le numéro de bâtiment, le numéro de façade et le numéro d'étage auquel il appartient et enfin par l'ensemble des données acoustiques disponibles (exposition en  $L(A_{eq}, t)$ , contribution par source et répartition par bande de fréquence). Les résultats issus de ces calculs sont adaptés à de grandes échelles spatiales d'étude de l'acoustique environnementale. Nous l'avons exploité pour nos exemples de traitement en zone urbaine dense (cf. partie 3).

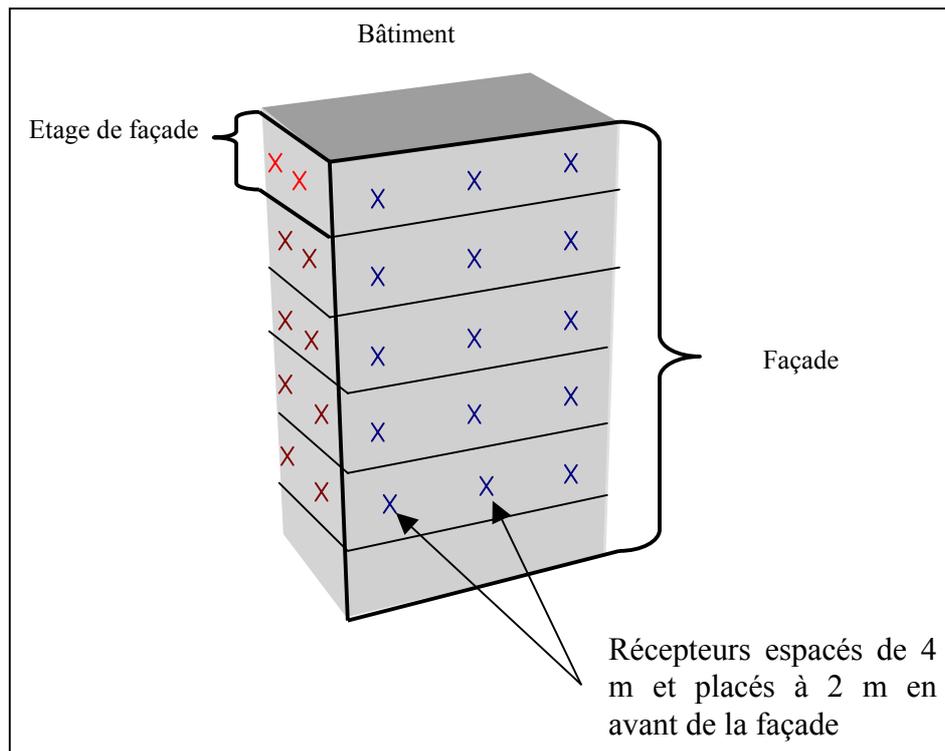


Figure 55 - Localisation des micros virtuels dans le calcul sur récepteur au bâtiment [JOU 00]

#### 2.2.3.4. Exportation de données SIG vers Mithra

Cette nouvelle fonctionnalité, disponible dans la prochaine version commerciale de Mithra, va permettre de réaliser l'ensemble de la chaîne de traitement sans transfert acrobatique de données ... Lors de la production des exemples présentés dans la partie 3, nous ne disposions pas encore de ces programmes. Ceci nous a contraint à produire des bases de données spécifiques pour chacun des outils utilisés. Les transferts se faisant le plus souvent par l'intermédiaire de fichiers Ascii (format texte). Aujourd'hui, grâce à ce module d'importation, les données nécessaires au calcul acoustique peuvent être centralisées dans un SIG vectoriel avant d'être exploitées dans Mithra. Cette fonctionnalité va largement assouplir les différentes étapes de production de scénarios.

Au final, notre chaîne de traitement est donc aujourd'hui opérationnelle. Le projet présenté dans ce document a permis de définir les spécifications minimum nécessaires, pour produire en sortie des indicateurs d'impact potentiel du bruit. Nous allons voir dans le point suivant que notre chaîne de traitement reste perfectible. La dimension opérationnelle du projet SIGAUR nous a amené à faire des choix techniques qui limitent l'étendue actuelle de nos traitements.

## 2.2.4 Les difficultés rencontrées lors de l'exploitation de la chaîne de traitement

On a détaillé dans le point précédent, les quelques réalisations de SIGAUR, pour favoriser un transfert de l'information dans la chaîne de traitement. On peut constater que dans sa conception, Mithra n'est pas ouvert sur d'autres outils d'exploitation de données. Il utilise un référentiel géographique interne, les bases de données renseignant les objets du terrain sont extrêmement fractionnées<sup>64</sup>, les formats d'importation et d'exportation de données valorisent essentiellement la dimension visuelle des calculs réalisés. De plus, nous avons constaté que le modèle de données vectoriel de Mithra pose des problèmes pour la récupération de bases de données SIG. Par exemple, ce dernier ne peut traduire la contiguïté entre deux bâtiments<sup>65</sup>. Cette stratégie de conception répondait à une volonté de préserver l'intégrité du modèle aux yeux des utilisateurs, du point de vue de la logique de modélisation mais aussi du point de vue commercial ... L'intégration complète des intrants et des extrants du calcul Mithra au sein d'un SIG, tend en effet à « banaliser » le produit Mithra et ne permet pas un contrôle préalable des données exploitées dans le modèle. Dans l'optique de son intégration, Mithra n'est plus valorisé par ces fonctionnalités internes de gestion de données. Seul le modèle de calcul est exploité. Nous touchons là des aspects assez éloignés de nos considérations méthodologiques. Il s'agit de la valorisation commerciale de programmes de recherche engagés il y a plus de 20 ans au CSTB. Même si le mouvement semble aujourd'hui engagé, l'intégration pleine et entière de Mithra dans le monde de l'information géographique va encore prendre du temps. La portée de nos réalisations en a quelque peu souffert. C'est une situation caractéristique des projets pluridisciplinaires dans lesquels les compromis nécessaires en matière d'usage et de vocabulaire permettent de faire émerger de nouvelles idées.

Dans ce contexte, le choix du SIG gestionnaire des données Mithra s'est porté sur Mapinfo<sup>66</sup>. Ce dernier se distingue essentiellement par sa simplicité de mise en œuvre et la pauvreté de son modèle de données géographiques !!! Son intérêt majeur est de permettre une communication aisée avec de multiples logiciels de traitements de données et de SIG en mode raster et vecteur. Cette spécificité nous a permis de réaliser les calculs de somme en LOG10<sup>67</sup> et l'agrégation de bases de données de grande taille, dans des outils dédiés à ces tâches. En outre, les traitements réalisés au format raster, dans le logiciel Idrisi<sup>68</sup> furent élaborés à partir de couches d'information Mapinfo rasterisées.

Rappelons ici le caractère essentiellement méthodologique de notre projet. Il s'agit d'établir un cadre formel pour le traitement spatial des impacts du bruit dans le territoire. Pour traiter l'ensemble des possibles dans ce domaine, nous avons recherché un compromis entre la volonté de rendre nos approches accessibles au monde opérationnel (optique du projet SIGAUR) et la recherche de nouvelles formes d'évaluation des impacts du bruit qui n'a pas de telles contraintes. En ce sens, les approches exploratoires de l'analyse spatiale des impacts du bruit dans le territoire sont ici seulement introduites. Du point de vue technique, ces

---

<sup>64</sup> chaque thématique a sa structure de donnée propre et certaines d'entre elles peuvent même en avoir plusieurs, à l'image des voies ferrées qui sont décrites par une base de données pour la forme des voies et une autre pour les trafics.

<sup>65</sup> Il est nécessaire de décaler les deux objets et qu'aucune partie ne se superpose à une autre pour que le logiciel tienne compte des deux volumes dans son calcul.

<sup>66</sup> un logiciel SIG dit « bureautique », référence Internet : <http://www.mapinfo.com>

<sup>67</sup> unité du décibel

<sup>68</sup> un logiciel SIG à dominante raster, développé par l'Université américaine de Clark, dans un but essentiellement pédagogique, référence Internet : <http://www.unifr.ch/iguf/>

dernières mériteraient l'utilisation de modèles de données géographiques plus puissants. Notre choix peut sembler risqué pour un travail de géographe, car l'analyse des différenciations spatiales évoquées n'est pas aboutie. Il nous semble pourtant important de se placer dans de tels contextes pluridisciplinaires, afin d'enrichir nos approches du territoire par le regard d'autres disciplines. Cette démarche d'ouverture impose inévitablement des compromis.

Les perspectives d'évolution technique de notre chaîne de traitement sont de plusieurs ordres. Il est prévu dans l'avenir de recomposer le modèle de données interne de Mithra. Ces modifications vont assouplir encore les transferts de données vers des SIG disposant de modèles de données topologiques. A plus long terme, il est réaliste d'envisager l'exploitation d'un vrai modèle volumétrique du territoire. En matière de structure de base de données associée, il n'est pas souhaitable de se satisfaire de l'existant ! L'utilisation d'une approche relationnelle permettrait de mieux structurer le traitement des impacts potentiels du bruit dans le territoire dans une optique de gestion de long terme du problème [QUE 97].

Notre approche du problème d'exploitation de la chaîne de traitement s'est pour l'instant limitée à l'aspect technique. Comme l'ont montré Habermehl et Ohse, ce n'est qu'un éclairage partiel. La mise en place d'une telle base de données doit tenir compte du contexte de décision [HAB 00].

## 2.3. Contexte de décision et réalité des données pour le traitement spatial des impacts du bruit

Dans ce point nous allons analyser notre cadre formel de l'approche spatiale des impacts du bruit dans le territoire, au regard des contextes de décision dans lequel il peut s'appliquer. Les problèmes liés aux données nécessaires à l'exploitation de la chaîne de traitement sont ensuite détaillés.

### 2.3.1 La cohérence entre traitement et décision

Lors d'une rencontre organisée par l'Agence des villes sur le thème de la cartographie sonore, Catherine Bouland de l'IBGE<sup>69</sup>, alors responsable du groupe de travail européen sur la cartographie de bruit, soulignait la nécessité d'une cohérence entre les traitements cartographiques, la nature de la décision qui est en jeu et le contexte dans lequel cette dernière se place. Selon l'optique de traitement envisagée (exploratoire ou opérationnelle), les réflexions sur l'opportunité d'un traitement spatial des impacts du bruit ne sont pas du même ordre.

De façon générale, pour qu'un traitement spatial des impacts du bruit joue son rôle (aide à la décision, gestion ou encore communication) il faut qu'il réponde à des enjeux identifiés. Ces enjeux sont déjà délimités par la loi dans le cas de l'approche exploratoire. Par contre, pour l'approche exploratoire, il est nécessaire d'orienter les traitements en respectant les contextes de décision propres à l'acoustique environnementale.

Selon l'approche opérationnelle, une débauche des moyens d'analyse ne peut se justifier sans reconnaissance sociale et politique du bien fondé des enjeux en cause. Ce compromis politique pour l'identification des enjeux du bruit au sens de l'acoustique environnementale, a déjà été évoqué dans le point 1.2.2.4.. Nous avons considéré que la mise en œuvre d'une approche spatiale des impacts du bruit dans une optique opérationnelle revenait à projeter sur le territoire des cadres réglementaires existants. Les contextes de décision sont donc déjà fixés. C'est le respect de la loi, la perspective de production d'un arrêté local ou encore la nécessité de connaître les coûts différenciés d'une décision au regard de la loi, qui justifie l'analyse des impacts de bruit.

Pour l'approche exploratoire, on peut rappeler les grandes étapes qui la caractérisent. Elles sont détaillées dans un rapport sur la sécurité sanitaire environnementale [ASC 98]. On distingue la phase d'identification des dangers, l'étude des relations « dose effet », l'évaluation des expositions et enfin la caractérisation des risques. Pour cette approche, le problème de cohérence entre les traitements proposés et l'éventualité d'une décision ne se pose pas selon les mêmes termes que pour l'approche opérationnelle. Les critères d'appropriation potentielle des traitements par les acteurs de la décision sont essentiellement liées aux **échelles de travail**, aux **acteurs** en eux mêmes et enfin à **la qualité du transfert de l'information** des experts vers les acteurs de la décision. L'objectif est ici de préciser le diagnostic d'impact du bruit dans le territoire proposé par la procédure légale. On peut espérer

---

<sup>69</sup> Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement

que plus les traitements proposés se prêtent au contexte de décision, plus ils seront utiles à l'élaboration de la décision.

### ***2.3.1.1. Les échelles de travail de l'acoustique environnementale***

Les échelles de travail habituelles de l'acoustique environnementale sont extrêmement diversifiées. C'est essentiellement pour l'observation et la communication autour du thème des impacts de bruit qu'il est difficile d'établir un champ déterminé d'échelles spatiales et temporelles de traitement. On a vu en effet que les expériences pouvaient aller de la représentation des expositions à l'échelle d'un immeuble jusqu'à celle du réseau de transport européen ... Nous avons choisi de nous concentrer sur les échelles spatiales et temporelles de la planification en acoustique environnementale, car c'est dans ce domaine que notre approche peut alimenter un vrai processus de décision. Les approches de communication ne sont pas toujours entreprises dans cette optique.

Rappelons que l'acoustique environnementale étudie l'environnement sonore aux niveaux des populations et non des individus. Nous avons tenté d'identifier les grands type de contextes de décision dans lesquels notre approche exploratoire peut être exploitée. Six échelles spatiale de travail se distinguent.

- évaluation des impacts potentiels du bruit liés au déploiement d'un réseau complet de transport à l'image du réseau transeuropéen (TEN) [EEA 98]. C'est une échelle continentale de raisonnement, elle permet d'orienter les stratégies d'équilibre du développement des territoires. Dans le cas du TEN, l'évaluation des impacts prend en compte l'étendue de la propagation des impacts dans le territoire selon les différentes stratégies de déploiement envisagées.
- procédure d'évaluation des impacts d'un projet ferroviaire et routier de grande envergure (ligne TGV, autoroute), étude préliminaire, avant projet sommaire et avant projet détaillé. Selon le niveau d'avancée du processus de décision l'échelle spatiale de diagnostic se précise dans un fuseau de plus en plus étroit.
- des approches de planification des transports, à l'échelle d'une agglomération. Par exemple avec les plans de déplacement urbain, c'est l'organisation des réseaux de transports dans leur globalité qui est analysée. Nous reviendrons sur ce type de plan qui s'impose aujourd'hui aux grandes agglomérations de plus de 100000 habitants, lors de la présentation de nos exemples de traitement (partie 3).
- modification des réseaux de transport, construction de voies de transport en commun en site propre. Généralement ces réflexions sont envisagées à l'échelle d'une ville.
- réorganisation du trafic d'une voie. La gestion des priorités pour les transports en commun, l'élaboration d'onde verte ou encore la gestion des perspectives visuelles des conducteurs dans le cas des zones 30 est élaborée à l'échelle du quartier (soit un ensemble d'îlots).
- modification de la configuration d'un carrefour, création d'ouvrage d'art, mur antibruit, couverture. L'échelle de diagnostic est locale, elle peut concerner quelques bâtiments seulement.

La figure 56 projette l'ensemble de ces approches de planification sur un repère qui intègre les échelles spatiales et temporelles.

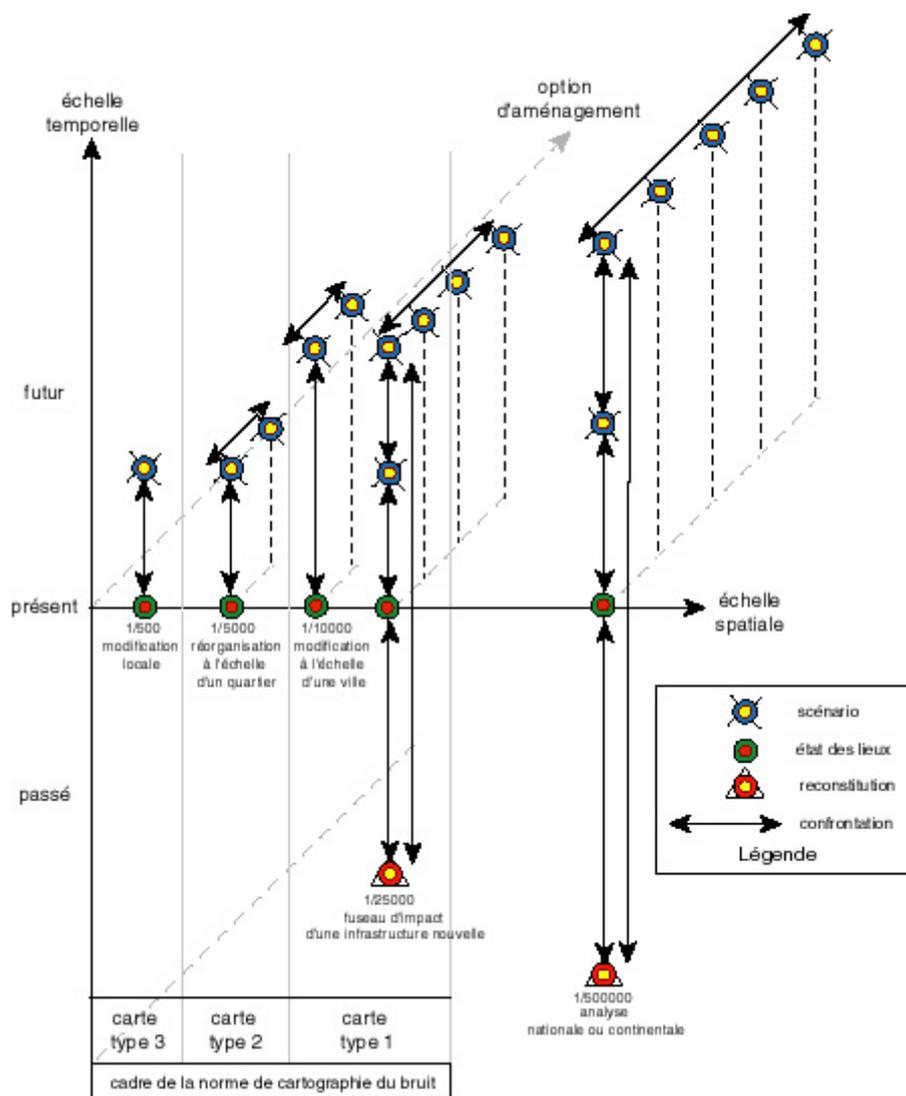


Figure 56 - Les différentes échelles spatiales de l'évaluation des impacts du bruit au sens de l'acoustique environnementale

Dans la figure 56, nous avons inséré les différents types de cartographie proposés par la norme française NF S 31-130<sup>70</sup>, on peut voir qu'elles couvrent une grande part des échelles de traitement de l'acoustique environnementale.

### 2.3.1.2. L'influence des acteurs de la décision

Dans le contexte de décision, intervient aussi l'influence des rapports de force entre les différents acteurs de la décision. Nous n'avons pas l'ambition d'analyser ici cet aspect complexe de la décision, mais seulement d'évoquer les effets qu'il peut avoir sur la cohérence du couple traitement/décision. A Haumont propose une analyse des rôles et comportements des différents acteurs sociaux concernés par la lutte contre le bruit [HAU 90]. Il distingue trois groupes d'acteurs : les habitants, les agents économiques et enfin les politiques qui incluent aussi les services techniques et administratifs. Les comportements des habitants vis à

<sup>70</sup> cf. point 1.2.4.2.

vis du bruit sont marqués par la montée des aspirations au confort et à la qualité de vie. Par ailleurs, on a déjà évoqué le fait que le bruit peut faire office de catalyseur pour d'autres problèmes inavouables ou, plus simplement, mal identifiés. En ce sens les aspirations des habitants sont très complexes à évaluer. Les stratégies mises en œuvre par ces acteurs lors du processus d'évaluation des impacts sont le résultat d'une agrégation d'initiatives plus ou moins organisées. Le rôle des politiques est justement de protéger les habitants... Une décision est plus facile à prendre quand la mesure qui en découle vise à protéger une population clairement identifiée (insonorisation d'une école). Par exemple, le bénéfice politique d'une telle décision est directement exploitable par l'élu. A l'inverse, même si une évaluation très précise des impacts est proposée, une mesure très générale dont le bien fondé n'est pas reconnu par la population, n'aura que peu d'intérêt pour le politique. Les experts doivent quant à eux maintenir une certaine pression autour de la thématique de la lutte contre le bruit afin de justifier leur rôle. Les entreprises vont elles aussi chercher à influencer le processus de décision. Leur objectif étant d'accroître leurs parts de marché, elles cherchent à valoriser les technologies qu'elles se proposent de commercialiser. On voit combien les influences croisées de l'ensemble des acteurs peut rendre complexe l'élaboration d'une décision. Elles relativisent d'autant la portée des évaluations que nous proposons de réaliser ...

### ***2.3.1.3. La transfert d'information dans le processus de décision***

J. M. Ferry distingue trois modèles du rapport entre savoir scientifique et pouvoir politique : le modèle « décisionniste »<sup>71</sup>, le modèle « techniciste »<sup>72</sup> et enfin le modèle « pragmatiste » [FER 97]. Le modèle « pragmatiste », établit une interrelation entre les valeurs propres à la démarche politique et les faits relevant de l'expertise « scientifique », sur la base de l'interprétation des besoins. C'est une approche qui peut être appliquée dans notre cadre formel de traitement. Elle suppose une mise en communication entre les trois instances du savoir scientifique, du pouvoir politique et de l'opinion publique. En ce sens, le problème essentiel du politique est de disposer d'une information adaptée à chaque étape de la prise de décision. J. M. Ferry distingue six transformations successives de l'information dans ce processus :

- articulation publique des demandes sociales.
- traduction des demandes sociales en proposition de lois
- traduction de cette mise en forme politique afin qu'elle soit soumise aux scientifiques
- mouvement de retour, du savoir scientifique au pouvoir politique
- réponses des politiques aux demandes sociales, informées scientifiquement mais compréhensible par le public
- communication auprès du public

Dans la réalité actuelle des processus de décision, on se trouve assez loin de ce schéma théorique. Mais il n'est pas inutile d'avoir des modèles auxquels faire référence ...

Pour valoriser la dimension pragmatique de notre approche, il nous semble important d'évoquer les problèmes liés aux données multiples que notre cadre de traitement doit intégrer.

---

<sup>71</sup> qui donne la priorité absolue aux valeurs

<sup>72</sup> qui donne la priorité à l'expertise scientifique

## 2.3.2 Le problème des données, disponibilité, échelle, précision ...

Notre chaîne de traitement spatial des impacts du bruit dans le territoire est constituée d'un ensemble de logiciels connectés entre eux. Les données nécessaires à son fonctionnement sont très diversifiées et posent quelques problèmes de mise en œuvre. La réglementation définit un accès limité à certaines données démographiques qui sont utiles pour l'évaluation de la vulnérabilité du territoire au bruit. Par ailleurs, les coûts de production de base de données à très grande échelle ne peuvent se justifier dans tous les contextes de décision. Pourtant la représentation du territoire dans le modèle de propagation de Mithra nécessite justement une grande précision. Nous allons successivement évoquer le problème de données du point de vue légal puis selon un éclairage technique.

### 2.3.2.1. *Le problème des données du point de vue légal*

Pour les grandes échelles de diagnostic, les données qui peuvent poser problème du point de vue légal, sont essentiellement celles qui interviennent dans la définition de la vulnérabilité du territoire au bruit. Pour établir la fonction d'endommagement (cf. point 2.1.1.3.), il faut décrire les éléments exposés. Les informations de présence absence de l'élément, l'évaluation des niveaux d'endommagement potentiel, de même que les informations sur le statut particulier de l'élément exposé, ne sont pas toujours accessibles aux échelles souhaitées. Nous allons détailler ces différents problèmes d'accès à l'information.

L'évaluation des niveaux d'endommagement potentiels peut être entreprise au niveau des activités ou des populations.

Il arrive que les municipalités entretiennent une base de données d'occupation des sols<sup>73</sup>. Cette information facilite grandement la localisation des **activités sensibles au bruit** dans le territoire. Malheureusement, c'est une donnée qui est rarement disponible en dehors des grandes agglomérations. Par ailleurs, à l'image de la ville de Grenoble, l'accès à cette information n'est pas totalement libre et sa mise à jour n'a pas été organisée formellement. A défaut d'autre source de données, l'interprétation de cartes topographiques au 1:25000ème et de photographies aériennes, permet d'estimer l'activité dominante en fonction des grandes formes de tissu urbain.

Pour la description de la **vulnérabilité des populations**, les informations issues du recensement peuvent s'avérer très utiles. Elles posent pourtant quelques problèmes pour les études à grande échelle. L'ensemble de données relatives aux profils démographiques, au nombre total d'habitants, au nombre de logements,... sont protégées en France par le loi informatique et liberté<sup>74</sup>. L'INSEE<sup>75</sup>, qui est l'organisme producteur de ces données, fournit donc des agrégats dont les limites géographiques et les données associées varient à chaque recensement. Très complet en 1975, ces agrégats ne contiennent plus que quelques données démographiques en 1982, rien n'y figurant plus alors en matière d'habitat [DAM 93]. En 1990 le découpage de référence est l'îlot IRIS 5000 (agrégat d'au moins 5000 habitants), il se transforme en IRIS 2000 lors du recensement de 1999... Ce dernier découpage fournit la population totale et le nombre de logement pour des zones contenant au moins 2000 habitants.

---

<sup>73</sup> couramment appelé Mode d'Occupation de Sol (MOS)

<sup>74</sup> loi n°78-17 du 16 janvier 1978

<sup>75</sup> Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

Il semble pourtant qu'une information soit disponible à plus grande échelle, tout du moins en zone urbaine. Pour notre part, dans le cadre de nos traitements sur un quartier de Grenoble, nous avons utilisé des données à l'échelle de l'îlot (pâté de maison) fournit par les services techniques de la ville.

Quel que soit le découpage des données de recensement, on se trouve toujours contraint de désagréger cette information afin de la confronter avec les niveaux d'exposition sonore. Les méthodes de désagrégation spatiale que nous avons testées redistribuent la population à l'échelle des bâtiments à partir d'une densité moyenne de population. C'est au niveau du calcul de cette moyenne que nous avons testé plusieurs solutions. Le calcul peut tenir compte de l'activité dominante, du type de bâtiment, du nombre, de la surface au sol ou encore de la surface de façade. Nous reviendrons sur ce traitement de désagrégation dans le cadre de notre exemple de traitement en zone urbaine dense (partie 3).

La définition de **l'acceptabilité du risque**, qui pondère la vulnérabilité, peut exploiter des données relatives au profil dominant des résidents du quartier (proportion de propriétaires et de locataires), aux caractéristiques des logements ... Ces informations, elles aussi disponibles auprès de l'INSEE, ont disparu des informations associées aux îlots en 1982. Elles poseront donc aussi le problème de la désagrégation spatiale et de la cohérence des comparaisons dans le temps.

Les conditions d'accès aux données démographiques produites par l'INSEE lors des prochains recensements de population, ne vont pas non plus simplifier la situation... En effet, le système de recensement général de la population conçu, jusqu'alors comme une photographie démographique de la France à un moment précis, est abandonné pour des raisons essentiellement économiques. Le prochain système de recensement doit être opérationnel au mois de septembre 2001. Seules les communes de moins de 10000 habitants disposeront d'un recensement exhaustif. Chaque année pendant 5 ans, 1/5 de la population sera ainsi recensée. Pour les communes de plus de 10 000 habitants, une enquête de 8% des ménages sera réalisée chaque année (soit 40% de la population en 5 ans). Des données très macroscopiques seront interpolées chaque année et les données de recensement seront accessibles à l'année 2.5, pour des îlots de plus de 2000 habitants. Ce nouveau système pose plusieurs problèmes pour l'exploitation à grande échelle spatiale des données qu'il produit. Outre les incertitudes liées à la désagrégation spatiale des îlots de population, une interpolation spatiale et temporelle est nécessaire pour tenir compte du nouveau système d'enquête. De même, le fait d'exploiter deux méthodes différentes d'évaluation de la population pour les grandes et les petites agglomérations ne facilitera pas les manipulations d'échelles spatiales pour les études macroscopiques.

Au regard de cet état des lieux de l'accès légal aux données classiques du recensement national de la population, il semble opportun d'envisager à l'avenir, l'usage de sources de données alternatives. Elles aussi sont théoriquement soumises aux mêmes règles contraignantes pour la protection des libertés individuelles, mais les découpages territoriaux utilisés sont souvent beaucoup plus stables que ceux de l'INSEE !!

Le géomarketing est une activité qui s'est développée avec l'introduction des SIG dans le monde du marketing. Dans ce secteur, des bases de données décrivant la population ont vu le jour très rapidement, à des échelles de diagnostic très fines. De nombreux moyens ont été mis en œuvre pour cela : enquêtes de consommation, exploitation de fichiers d'abonnés, compilation de l'annuaire téléphonique, production de fichier d'adresses et de profil de consommation à base de jeu concours dans les espaces commerciaux, étude de la consommation de téléphone et d'électricité ... Les usages de telles bases de données concernent en premier lieu l'optimisation des stratégies commerciales. Elles pourraient très

bien être exploitées par les géographes, pour des études sur les vulnérabilités territoriales par exemple [HAR 00]. Par contre, le caractère stratégique de ces informations pour les entreprises rend leur accès très complexe actuellement. On peut penser que cette situation va rapidement évoluer dans les prochaines années. Les producteurs de ces bases de données vont sans doute chercher à élargir leur marché et pourraient sans doute fournir localement à des collectivités territoriales, des données socio-économiques équivalentes à celles que l'INSEE semble vouloir garder à l'ombre ...

Les données sur le foncier et l'immobilier peuvent elles aussi alimenter les diagnostics de vulnérabilité. Là encore, les limitations d'accès sont nombreuses à l'image des données notariales et de celles des agences immobilières [BAR 97]. Les opérations réalisées par les collectivités pour l'amélioration de l'habitat compilent une information précise sur l'état du patrimoine bâti. Le problème de ces données vient du fait qu'elles sont rarement produites pour l'ensemble d'une agglomération. On peut espérer que l'informatisation du cadastre et des procédures d'attribution de permis de construire permettra de disposer à l'avenir, de données homogènes pour les grands espaces urbains.

Les enquêtes d'opinion constituent des sources d'information très précises mais dont le coût est prohibitif pour les échelles de diagnostic courantes de l'acoustique environnementale. De même, il est difficile d'envisager une approche d'analyse dynamique qui supposerait des enquêtes successives et régulières. Le développement de la participation de la population au processus de décision est par contre une solution séduisante pour constituer des états de lieux de la vulnérabilité de la population. A Bruxelles, l'IBGE a évalué les attentes de la population en matière de lutte contre le bruit à partir d'un questionnaire que chacun pouvait renvoyer. Cette démarche, basée sur la responsabilisation des citoyens face aux problèmes de la collectivité passe bien entendu par une sensibilisation préalable à ces thématiques et à une réflexion du monde politique sur la justification de ses décisions.

Outre l'aspect légal de l'accès aux données nécessaires à notre chaîne de traitement, les questions de précision, de qualité, d'échelle et de sémantique auront une grande influence sur la validité des résultats.

### ***2.3.2.2. Echelles de représentation et sémantiques des données***

Les bases de données localisées courantes décrivant le territoire français sont extrêmement diversifiées. Au sein de notre chaîne de traitement, les logiques de représentation, les précisions courantes et les sémantiques sont différentes, selon que l'on veuille fournir des données au modèle de Mithra ou évaluer la vulnérabilité du territoire.

#### *2.3.2.2.1. Notion d'échelle et de précision*

En zone urbaine les bases de données de description du territoire sont souvent issues de cadastre numérisé. La question de la précision des informations est toute relative à l'usage pour lequel elles ont été produites à l'origine [POR 96]. On voit ici l'intérêt d'une gestion structurée des métadonnées dans un contexte pluridisciplinaire où les données sont produites par des corps de métiers différents. Le problème se pose surtout pour le calcul acoustique, car le modèle exploité est conçu pour fonctionner avec une représentation fine du territoire. Les éléments du calcul de Mithra doivent ainsi respecter une précision de position de l'ordre de 50 centimètres.

Pour les échelles d'analyse plus macroscopique (au delà de 1/10000ème pour des documents papier), il manque des moyens de modélisation acoustique moins raffinés, qui

n'intégreraient par la volumétrie des bâtiments par exemple. Malheureusement, à notre connaissance, aucune réalisation opérationnelle n'existe aujourd'hui dans ce domaine. Actuellement, toutes les échelles de représentation sont acceptées par Mithra, même les plus grossières. Le travail réalisé à base d'images du satellite Spot avec Mithra par le CETE de Lyon est un bon exemple d'usage limite du logiciel acoustique [CETE 95]. Aucun test de cohérence des données en entrée du modèle de calcul n'est pour l'instant prévu. L'ergonomie croissante de Mithra favorise son utilisation par des non acousticiens et les risques d'erreur deviennent donc très importants.

A l'avenir, le développement de base de données comme la Bdto<sup>76</sup> va sans doute éclaircir un peu le flou actuel qui règne autour de ces problèmes, en fournissant aux collectivités qui en ont les moyens, une description standardisée et de grande précision de leur territoire. Par contre, pour traiter de grande zone d'étude, on peut penser qu'il persistera un problème car un nombre important de collectivités sont déjà dotées des bases de données qui répondent à des logiques locales. Il sera difficile de les faire communiquer entre elles. C'est vrai pour les données de description du territoire, car elles peuvent être issues de plusieurs sources de données (relevé photogrammétrique, digitalisation de cadastre, levé de géomètre, ...) mais aussi pour les autres informations nécessaires au calcul Mithra, comme les hauteurs de bâti, les trafics des voies de circulation, le mode d'occupation de sols ou encore les caractéristiques de futurs options d'aménagement ...

La philosophie originale de Mithra en a fait un outil de diagnostic autonome. A l'origine, la totalité des informations nécessaires au calcul acoustique était en effet produite au sein même du logiciel. Dans cette logique, les échelles de représentation des paramètres du calcul sont choisies lors de la production des données. On peut penser que ces échelles respectaient plus facilement les spécifications du modèle. Aujourd'hui, avec l'ouverture du logiciel vers le monde des SIG, il est sans doute nécessaire d'envisager un véritable contrôle des données en entrée. Dans le cas contraire, la superposition d'informations issues de multiples bases de données à différentes échelles, pourrait entraîner un usage abusif de Mithra.

#### 2.3.2.2.2. *Problèmes de sémantiques différenciées*

En terme de sémantique, les risques d'erreur sont réels, lors de la connexion de Mithra avec des bases de données SIG. La modélisation de l'espace de propagation dans Mithra répond en effet à une logique propre à l'acoustique. Elle impose certaines adaptations aux représentations traditionnelles du territoire par les géographes. Par exemple, pour modéliser le relief, l'acousticien va surtout localiser les grandes discontinuités comme les crêtes ou les fonds de vallée. Dans le cas d'un versant dont la pente est totalement homogène, il ne sera pas nécessaire de saisir une courbe de niveau tous les 10 mètres, mais uniquement les décrochements de ce relief. Dans la démarche du géographe, le relief est souvent décrit le plus précisément possible, quitte à réaliser des agrégations et des simplifications par la suite. Ici l'information n'est donc pas dédiée à une problématique particulière. L'utilisation d'un modèle numérique de terrain au « formalisme du géographe » dans Mithra alourdit énormément les temps de calculs et la précision du résultat n'en est pas améliorée pour autant. De même, pour la représentation des objets constituant le territoire, Mithra n'admet pas la « débauche » de détails qui caractérise souvent les bases de données de type SIG à grande échelle. Les murs présentant des arrondis doivent être traduits en objets plus simples (des murs à plusieurs cotés) [QUE 98]. Il y a donc des différences dans le mode de représentation du territoire, elles peuvent avoir des conséquences sur la validité des résultats. Comme pour la

---

<sup>76</sup> base de données topographique produite par l'IGN pour une échelle courant au 1:10000eme

gestion des échelles de représentation des données, des moyens de contrôle de cohérence sémantique pourraient rapidement voir le jour dans les programmes de transfert de bases de données.

#### 2.3.2.2.3. *Qualité des données en sortie*

L'autre difficulté d'utilisation de l'outil Mithra réside dans l'exploitation des cartographies sonores résultantes. Dans l'optique de confrontations ultérieures de ces cartes de bruit avec des couches d'information représentant les enjeux socio-économiques, on doit bien comprendre les limites de validité des niveaux de bruit calculés. Le problème est important, surtout dans le cas de la carte de bruit horizontale. Cette dernière est réalisée par interpolation à partir de points récepteurs répartis de façon homogène sur le territoire de propagation. Dans le SIG, le résultat se présente sous la forme de portions d'espace exposé à un bruit théoriquement homogène. Au cours des confrontations de ces cartes de bruit avec les enjeux observés on devra rester très prudent. Le niveau de bruit calculé peut être comparé à d'autres simulations en valeur relative, la valeur absolue doit être considérée avec beaucoup de précaution. Dans notre projet ce type de carte est plutôt utilisé au cours de la première étape d'analyse. Elle consiste à localiser les zones qui méritent des traitements plus poussés. Il est nécessaire de réaliser des cartes de récepteurs pour obtenir des résultats plus fiables [QUE 98].

Le point suivant propose une synthèse des différentes étapes importantes, pour l'exploitation de notre cadre de traitement spatial des impacts du bruit, à la lumière des restrictions imposées par le contexte de décision et les spécifications techniques des outils de la chaîne de traitement.

## 2.4. Les différentes étapes pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres

### 1 - Evaluation du contexte de décision

- Définition du problème acoustique à résoudre ? (point 2.3.1.1.)
- Définition des échelles spatiales de traitement (point 2.3.1.1.)
- Forme du processus de décision (point 2.3.1.2.)

### 2 - Environnement en matière de données

- Disponibilité de données du point de vue légal (point 2.3.2.1.)
- Choix des échelles de représentation (point 2.3.2.2.)
- Gestion des problèmes de sémantique et de précision (point 2.3.2.2.)

### 3 - Contexte technique de traitement

- Choix des outils de production de données (photogrammétrie, GPS, relevé topo, ... (point 2.2.1.1.)
- Evaluation de l'exposition sonore : modèle de propagation (macroscopique, micro), mesure (point 2.2.1.2.)
- Construction d'une base de données localisées, choix du modèle de données spatiales (point 2.2.2.)

### 4 - Traitement spatial des impacts du bruit

#### **a - Gestion du risque d'impact (point 2.1.3.2.) évaluation des pollutions sonores potentielles**

- Compréhension des problématiques de l'acoustique environnementale
- Analyse des effets situés du bruit reconnues juridiquement
- Projection des cadres réglementaires sur des scénarios d'aménagement futur.

#### **b - Evaluation du risque d'impact (point 2.1.3.3.) évaluation des nuisances sonores potentielles**

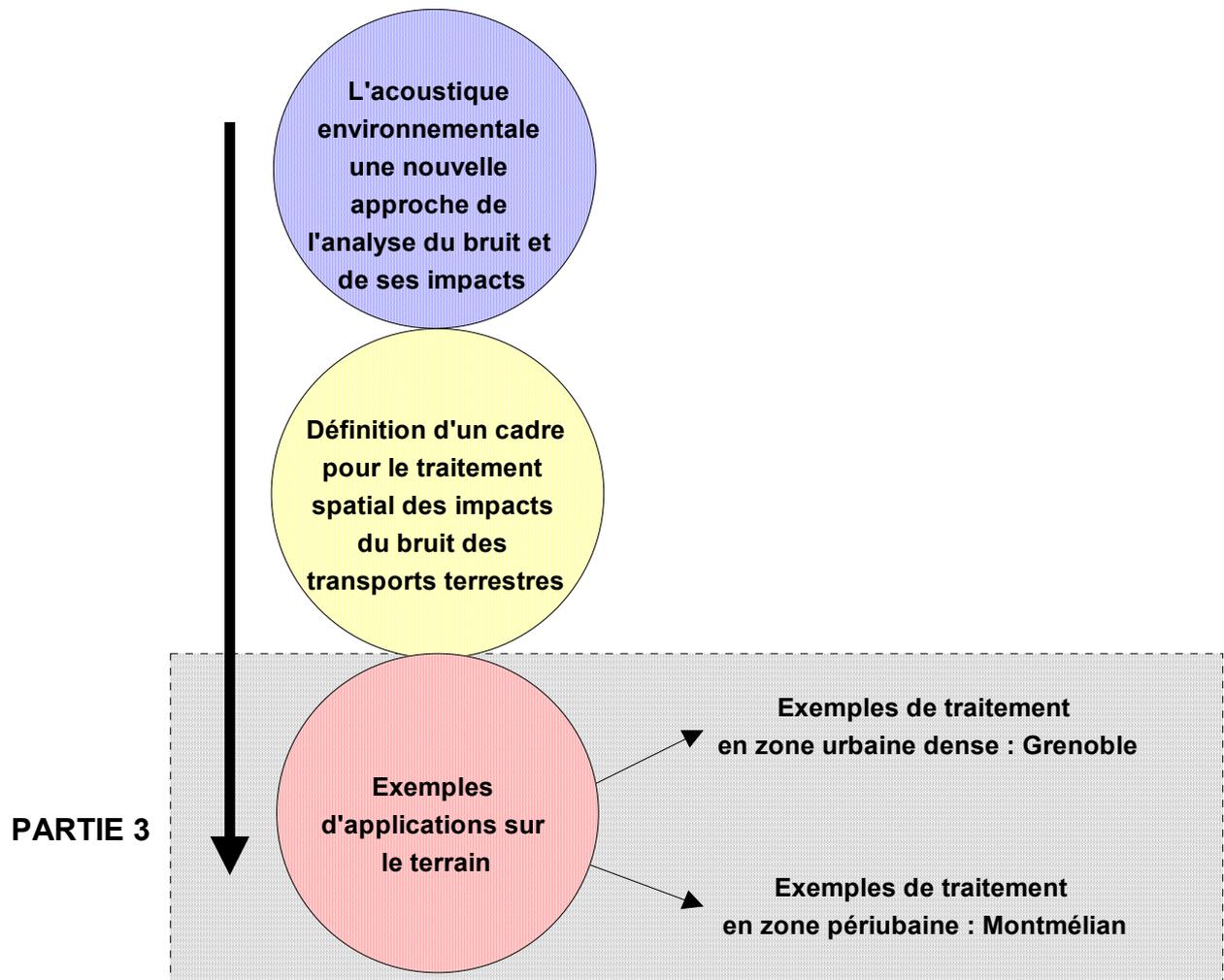
- Approche exploratoire de la vulnérabilité et de l'exposition sonore
- Production d'indicateurs exploratoires de l'impact potentiel du bruit sur le territoire
- Exploitation de nouvelles échelles spatiales et temporelles d'analyse des impacts du bruit

Figure 57 - Les grandes étapes du traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres



## **PARTIE 3**

**Exemples d'application du cadre de  
traitement spatial des impacts du bruit des  
transports terrestres**



Ce troisième chapitre a pour but essentiel d'illustrer notre propos par l'exemple. Nous y présentons deux applications différentes du cadre de traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres. Tout en restant dans les échelles courantes de l'acoustique environnementale, nous avons choisi deux exemples aux limites des possibilités actuelles des outils dont nous disposons. Ce choix permet de montrer la grande diversité des traitements possibles, en terme de modélisation de l'espace comme en terme de production d'indicateurs d'impact. Rappelons à nouveau l'objectif essentiellement méthodologique de notre travail. Les évaluations d'impact acoustique ainsi présentées sont fournies à titre d'exemple et ne peuvent en aucun cas être exploitées en l'état dans un processus opérationnel de décision. Nous reviendrons à la fin de chaque présentation de maquette sur les limites et les perspectives de généralisation de ces approches.

Le premier exemple choisi concerne une zone urbaine dense dans laquelle de grandes modifications des déplacements sont envisagées. Le travail d'analyse et de modélisation s'appuie ici sur de très grandes échelles de représentation spatiale et temporelle. Le second exemple traite d'une zone plus étendue, sur laquelle nous avons cherché à évaluer les impacts acoustiques à long terme. La figure 58 projette les deux maquettes de test proposées, dans un repère commun de visualisation.

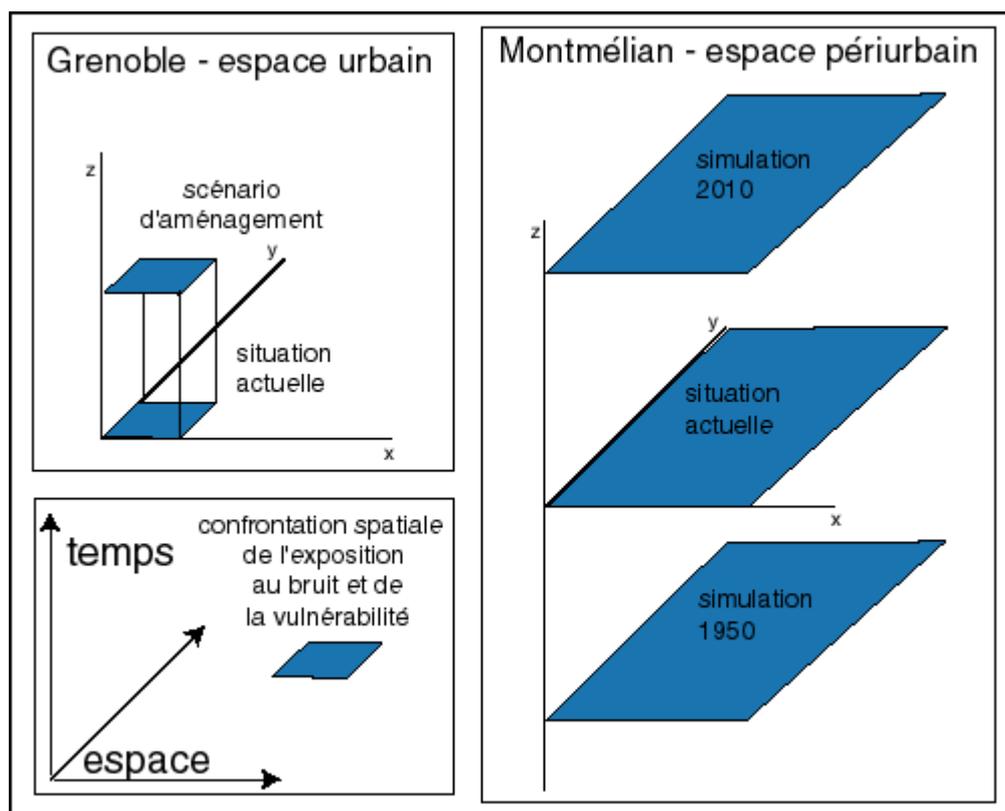


Figure 58 - Les échelles spatiale et temporelle des deux exemples d'application

## **3.1. Exemples de traitements en zone urbaine dense : Grenoble**

### **3.1.1. Justification de l'échelle de traitement**

#### **3.1.1.1. *Le bruit et la ville***

Du fait des activités qui s'y concentrent, des multiples déplacements de population et de marchandises qui y convergent, l'espace urbain est un endroit privilégié pour le développement d'un environnement sonore anarchique. A toutes les périodes de l'histoire des villes, des témoignages attestent de la prégnance de ce problème. Ainsi dès l'Antiquité, les autorités de Rome avaient interdit la circulation des charrettes de marchandise durant la nuit. Au cours du siècle dernier, la situation sonore des villes ne s'est pas améliorée ... L'industrialisation dans un premier temps, puis l'explosion des déplacements et l'électrification ont largement marqué l'espace sonore urbain. Le bruit est aujourd'hui omniprésent, à tel point qu'un ronronnement permanent est perceptible jour et nuit dans les villes des pays industrialisés.

Avec l'avènement de la motorisation individuelle des déplacements, les villes ont littéralement explosé en surface. La structure des tissus urbains et celle des réseaux n'évoluent plus selon le même rythme et les approches de l'urbanisme des années 50 à 70 ont encore accru le phénomène, par la séparation de la réflexion sur le tissu urbain et les réseaux.

Aujourd'hui on admet le fait que le bruit des transports terrestres est inévitable en zone urbaine dense. Les déplacements sont à la base même de l'activité économique et sans elle, la ville n'a pas de raison d'être. En plus des progrès techniques (isolation, contrôle des émissions, surface de roulement, ...) et d'une meilleure gestion des flux, une approche spatiale de l'environnement sonore doit permettre un partage maîtrisé des usages du territoire.

#### **3.1.1.2. *Les enjeux actuels du bruit des transports terrestres dans la ville***

La politique française actuelle, en matière de gestion du bruit des transports terrestres, s'appuie sur les cadres légaux présentés dans la partie 1. Pour les territoires urbains denses, la pratique du classement sonore des voies est bien trop macroscopique. Selon sa logique, l'ensemble des bâtiments de notre zone d'étude se trouvent dans la zone d'impact probable du bruit (cf. carte 9). L'approche en zone de bruit critique, proposée par C. Lamure, dans son rapport sur les points noirs, semble plus adaptée à ce type de territoire. Pour les évaluations prospectives d'impact, rien n'est vraiment prévu aujourd'hui à cette échelle d'analyse.

Aujourd'hui l'enjeu consiste à gérer au mieux ... et au moins cher possible, les situations urgentes. La lutte contre les situations d'accumulation des facteurs d'exclusion sociale et spatiale est une priorité affichée [GUA 98]. Par ailleurs, il est nécessaire de repenser nos façons d'aménager l'espace sonore urbain, afin de ne pas réitérer les erreurs du passé.

Le site d'étude choisi est caractéristique d'une situation où les incohérences dans les choix d'aménagement du passé, sont généralement attribuées à de mauvaises approches d'urbanisme. En réalité, c'est la mise en œuvre trop lente de la décision qui a fait perdre sa cohérence au projet de départ. De tels considérations justifient d'autant la rénovation des moyens de diagnostics employés pour accompagner le processus de décision !

### **3.1.1.3. Application de notre cadre de traitement en milieu urbain dense**

En milieu urbain dense, les paramètres de description des impacts du bruit sont multiples et très variables dans le temps. La morphologie souvent complexe du tissu urbain entraîne de grandes disparités spatiales de l'exposition au bruit. Pour analyser de tels phénomènes, on doit partir d'une description très précise du territoire. Les volumes du bâti, la variabilité des trafics, la répartition des activités et des populations sensibles, doivent être recensées selon un même référentiel spatial. Ces considérations nous ont amenés à travailler sur la base d'échelle de l'ordre du 1/5000ème. Des échelles de diagnostic plus petites ne pourraient pas intégrer les données de bruit issues de cartes de récepteurs Mithra. A l'inverse, une grande précision est difficile à atteindre du point de vue des données socio-économiques.

L'étude de la vulnérabilité potentielle du territoire au bruit est complexe dans les zones urbaines denses. Elle suppose la production de données à grande échelle pour tenter de différencier des situations d'exposition qui sont souvent très homogènes. Ainsi dans la zone d'étude que nous avons choisie, l'occupation du sol étant largement dominée par l'activité résidentielle, il est nécessaire de trouver d'autres paramètres locaux de différenciation.

De la même façon, la dimension temporelle des impacts potentiels du bruit doit être étudiée à des échelles très fines. La population d'un territoire urbain change de profil tout au long d'une même journée. En matière d'émission sonore, les phénomènes de mouvement pendulaire entraînent eux aussi de grandes variations des expositions du territoire au bruit.

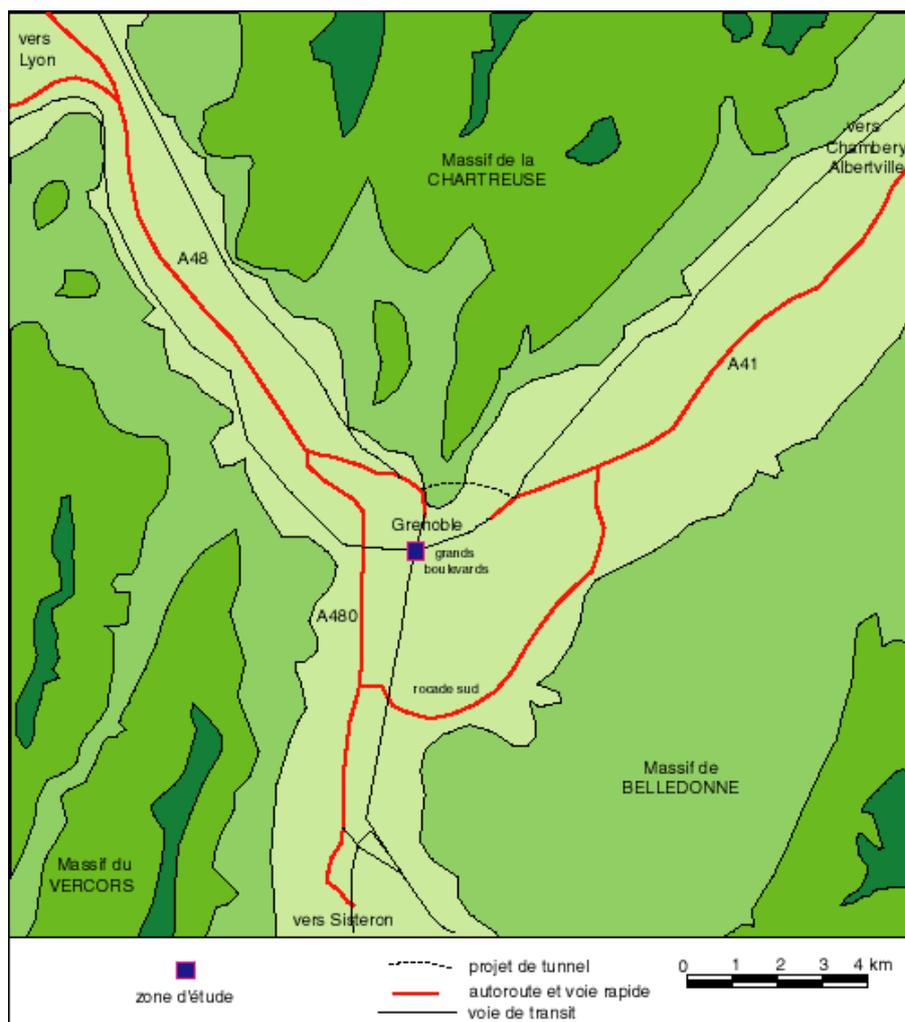
Le pilotage du projet SIGAUR par l'Agence des Villes a contribué au développement d'une réflexion sur le transfert éventuel de nos approches de traitement vers le monde opérationnel. L'élaboration de réseaux d'échange de compétences entre les milieux de la recherche et le monde opérationnel était la raison d'être de l'Agence des villes. Nous avons donc choisi de travailler sur un site d'étude où un processus de décision est actuellement en cours. Cette solution nous a donné l'occasion de tester la validité de nos approches et d'adapter nos diagnostics aux besoins futurs de l'acoustique environnementale.

Les objectifs méthodologiques de cette maquette de test en zone urbaine dense sont de plusieurs ordres :

- concevoir une base de données localisées, adaptée à l'analyse spatiale des impacts du bruit des transports terrestres en zone urbaine dense
- proposer des modes de quantification des impacts du bruit selon les caractéristiques propres à ce type de territoire
- réaliser un état des lieux des impacts du bruit aujourd'hui, par le dénombrement des populations exposées, la confrontation des niveaux de bruit calculés et des activités sensibles au bruit ...
- modéliser les propositions d'aménagements futurs, afin d'insérer le critère acoustique dans le processus de décision en cours

### **3.1.2. Présentation du site d'étude de l'estacade à Grenoble**

Notre terrain d'étude en zone urbaine dense se situe dans la commune de Grenoble, au sud du centre historique.



Carte 7 - Localisation de la zone d'étude dans l'agglomération grenobloise (Isère - France)

Cette zone appartient au quartier de l'Estacade. Elle constitue l'un des espaces les plus densément peuplés de l'agglomération grenobloise. Deux axes routiers de transit et une voie ferrée orientée nord/sud la traversent de part en part. D'importantes modifications des déplacements sont prévus dans cette zone, ce qui va nous donner l'occasion de simuler des scénarios d'impact probables du bruit dans le territoire.

Nous allons rapidement présenter la configuration générale du site d'étude en matière de réseau et de peuplement, avant de détailler l'histoire du projet de grand boulevard urbain qui a abouti à la situation sonore actuelle. Pour finir, nous reviendrons sur les projets de redéploiement des réseaux de transport aujourd'hui à l'étude.

### 3.1.2.1. Configuration générale de la zone d'étude

Ce quartier englobe un des principaux carrefours de Grenoble, il se trouve à l'intersection du cours Jean Jaurès et des Grands Boulevards<sup>77</sup>. Depuis les années 1970, ces infrastructures

<sup>77</sup> Les grands boulevards sont constitués des boulevards Joseph Vallier et Maréchal Joffre.

routières se sont transformés en véritable autoroute urbaine. Les impacts liés au bruit y sont considérables.

Les axes de circulation principaux qui constituent ce carrefour sont parmi les plus fréquentés de l'agglomération. Le pont automobile passant au dessus du cours Jean Jaurès peut être considéré comme un des équipements les plus bruyants de Grenoble. Ce dernier fait partie intégrante d'un itinéraire de transit qui traverse l'agglomération d'est en ouest par les grands boulevards. Il draine près de 3000 véhicules à l'heure durant des heures de pointe, à une vitesse avoisinant les 80 km/h<sup>78</sup>. L'axe du cours Jean Jaurès et du cours de la Libération traverse notre zone d'étude du nord au sud. Cette voie a acquis le statut de route nationale en 1965. Outre ces deux grands axes de transit, des petites rues de desserte découpent les îlots, les trafics y sont naturellement beaucoup moins importants.

Au nord de la zone, la voie ferrée emprunte un pont pour traverser le cours J. Jaurès. Elle le longe ensuite par l'est et coupe les Grands Boulevards à moins de 300 mètres du carrefour. A ce niveau, les immeubles les plus proches se trouvent à moins de 100 mètres.

Le secteur choisi pour cette maquette est caractérisé par un tissu urbain essentiellement fermé, avec des rues à profil en U (les abords du carrefour). Seule la partie sud est de la zone laisse apparaître des ouvertures où l'on observe quelques parcelles résidentielles de type pavillonnaire. On compte une quinzaine d'îlots de superficie très différentes les uns des autres, de 700 mètres carrés, pour les plus petits, à 1 hectare et demi pour les plus grands.

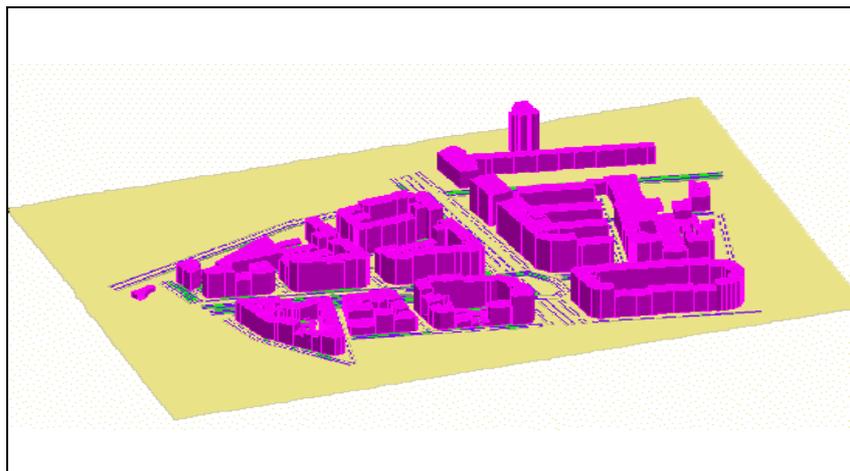


Figure 59 - Visualisation en volume simplifié de la zone d'étude de Grenoble Estacade -Vue depuis le nord ouest de la zone.

La population dans le secteur retenu est de 3854 habitants pour 2491 logements à la date du recensement de 1999. Ces données sont issues d'un relevé manuel effectué sur les documents papier de l'INSEE à l'échelle de l'îlot physique de bâtiment<sup>79</sup>. Au moment de compiler ces informations, les agrégats IRIS 2000 n'étaient par encore accessibles. Les données de l'IRIS 5000 de 1990 nous permettent toutefois d'avoir une vue approximative du profil de cette population. On observe ainsi 85 % de résidences principales, et 11 % de logements vacants. Les occupants des résidences principales sont pour 42 % des propriétaires,

<sup>78</sup> source: Mission Déplacement de la ville de Grenoble

<sup>79</sup> pâté de maison

45 % des locataires privés et 3 % des locataires HLM. A ce jour, des données de répartition de la population par classe d'âge, la part de la population active doivent être rendues publiques mais le temps nous a manqué pour les intégrer dans nos travaux. En comparant les totaux de populations de 1990 et 1999, pour l'ensemble des îlots de notre zone d'étude, on peut noter une petite baisse de la population totale de 37 individus (soit environ 1 %). De même, 58 logements auraient disparus.

### ***3.1.2.2. Genèse de l'existant***

Le processus d'aménagement des grands axes routiers qui traversent de part en part notre zone d'étude, est caractéristique des changements profonds qui ont marqué les formes urbaines des villes françaises aux cours des cent dernières années [BON 91].

A l'origine, le projet d'aménagement fut imaginé en 1925 par Léon Jaussely, architecte urbaniste parisien. L'alignement des cours J. Jaurès et de la Libération devait constituer une artère verte faiblement construite, assurant l'articulation de la ville à venir avec celle du passé, largement marquée par les aménagements militaires. Finalement, le tissu urbain de la zone ne conserve que peu de rapport avec les concepts architecturaux qui en sont à l'origine. Des procédures de décision trop longues, des conflits de personnes et enfin des freins économiques, ont fini par dénaturer complètement l'intégrité du projet. Les voies routières furent finalement exploitées comme des artères urbaines à forte densité bâtie. Elles se sont progressivement saturées sous l'effet des flux du transit automobile, pour lesquels aucun itinéraire de délestage n'était alors prévu.



*Photographie 1 - Vue de l'autopont depuis le nord ouest de la zone d'étude - cours J. Jaurès - J. Jouannet - juin 2000.*

Actuellement la situation sonore de la zone est alarmante. En appliquant l'approche de classement sonore des voies prévues par la loi Royale de 1992, on constate que l'ensemble de la zone d'étude se trouve incluse dans le secteur théorique de nuisance (cf. carte 9). Bien entendu ce diagnostic masque la grande diversité des situations d'exposition au bruit dans le secteur. L'exploitation des résultats de modélisation acoustique à plus grande échelle, va nous permettre de préciser ce constat.

# Carte 8 - Répartition de la Population et des trafics - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



Estimation de la population par bâtiment	
<span style="color: red;">■</span>	240 > nbre d'habitants > 60
<span style="color: orange;">■</span>	60 > nbre d'habitants > 30
<span style="color: lightorange;">■</span>	30 > nbre d'habitants > 20
<span style="color: yellow;">■</span>	20 > nbre d'habitants > 1
<span style="color: grey;">■</span>	bâtiment non résidentiel
<span style="color: lightgreen;">■</span>	îlot

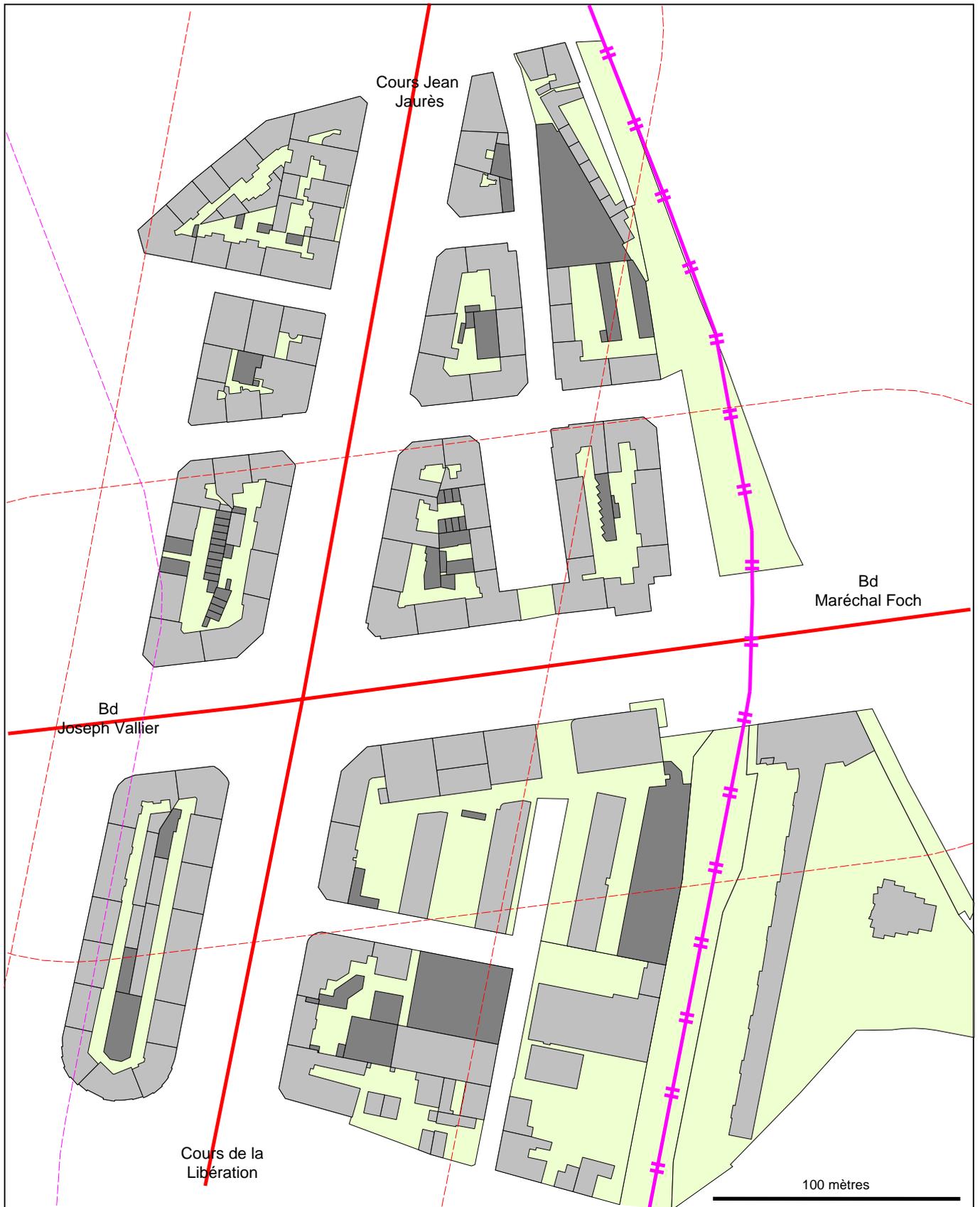
Trafic	
<span style="color: blue; font-size: 2em;">▬</span>	environ 1000 véhicules/heure en moyenne de jour
<span style="color: blue; font-size: 1.5em;">▬</span>	environ 200 véhicules/heure en moyenne de jour
<span style="color: blue; font-size: 0.8em;">▬</span>	moins de 50 véhicules/heure en moyenne de jour
<span style="color: green; font-size: 1.5em;">+ +</span>	environ 5 trains par heure en moyenne de jour
<span style="color: yellow; font-size: 1.5em;">▬▬▬▬</span>	autopont à quatre voies

sources : RGP INSEE 1999 - Mission de la prospective urbaine  
- Mission déplacement - ville de Grenoble

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



# Carte 9 - Classement sonore des infrastructures de transport - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



**Classement sonore des voies**

		Voie routière classée 3 et la zone de nuisance résultante (100m)
		Voie ferroviaire classée 2 et la zone de nuisance résultante (250m)

**Tissu urbain**

	bâtiment résidentiel
	bâtiment non résidentiel
	îlot

Erwan Quesseur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000

sources : Mission de la prospective urbaine - Mission environnement - ville de Grenoble



### 3.1.2.3. Les projets de redéploiement

Pour l'agglomération grenobloise, la procédure d'élaboration du PDU imposée par la loi sur l'air (cf. point 1.2.3.4.) a permis de comparer différentes approches de l'avenir des transports dans la ville. Deux bureaux d'études extérieurs furent ainsi chargés de l'élaboration d'un scénario différent de déploiement du PDU.

Le **projet A** préconise un fort développement des modes alternatifs à l'automobile, sans investissement dans des infrastructures routières nouvelles.

Le **projet B** a comme objectif principal l'achèvement de la rocade de transit autour de l'hypercentre de l'agglomération, qui suppose l'aménagement d'un tunnel sous les premiers contreforts du massif de la Chartreuse (cf. carte 1). La nouvelle organisation doit théoriquement offrir plus d'espace aux transports en commun dans la ville. Une 3<sup>ème</sup> ligne de tramway est ainsi programmée.

Le PDU de l'agglomération grenobloise a finalement été adopté le 26 avril 1999 par le Syndicat Mixte des transports en commun. Le choix s'est porté sur une solution très proche du projet B :

- poursuite du développement des transports en commun urbains, en privilégiant les sites propres et plus particulièrement le tramway sur les grands boulevards
- optimisation du fonctionnement des réseaux de déplacement et notamment celui de toutes les grandes voiries, en travaillant à leur intégration dans les sites traversés
- mise en œuvre d'une rocade complète d'agglomération, qui pourrait fluidifier le trafic au cœur de l'agglomération au profit des transports en commun.

A l'échelle du site d'étude que nous avons choisi, l'application du PDU va bouleverser l'organisation des déplacements. Les résolutions du PDU engendrent la création de la ligne de tramway sur les grands boulevards. Une diminution générale de 40 % du trafic automobile est par ailleurs espérée, grâce au détournement d'une partie du trafic de transit vers la rocade qui doit être complétée.

Actuellement, plusieurs options d'aménagements locaux sont encore à l'étude. La procédure d'enquête publique pour le lancement du projet de tramway, doit être lancée à la fin de l'année 2001.

Dans le **premier projet**, l'autopont est conservé et les deux voies de tramway passent de part et d'autre de ce dernier. Le tramway ne pourrait pas passer sur le pont puisque le SMTC souhaite placer une station (un arrêt de tramway) au niveau du carrefour, afin que ce dernier constitue un important nœud dans le réseau des Transports de l'Agglomération Grenobloise (TAG).

Pour le **second projet**, l'autopont est supprimé et la ligne de tramway passe au nord des « grands boulevards ».

Dans le **troisième projet**, l'autopont est démoli et la ligne de tramway se positionne au centre de l'espace ainsi libéré, avec une courte partie en souterrain au niveau du carrefour.

La carte 10 présente l'ensemble de ces options d'aménagement.

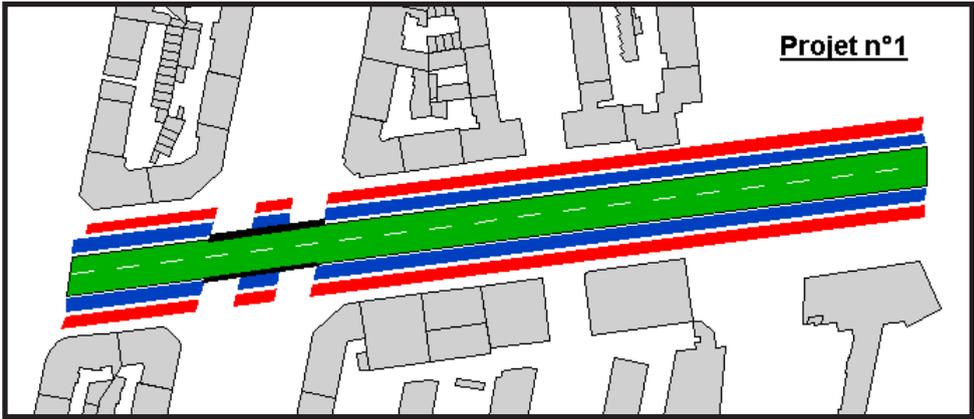
Avant de présenter des exemples d'application de notre cadre de traitement spatial des impacts du bruit, nous revenons tout d'abord sur la construction de la maquette de test.



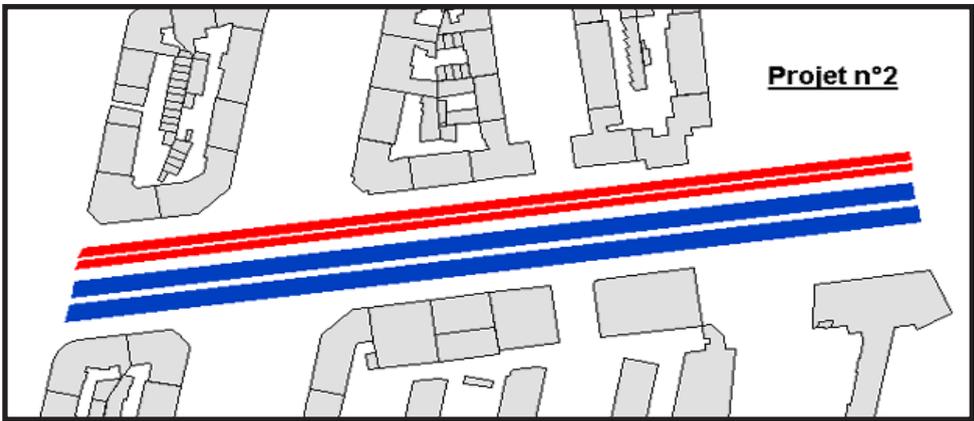
# Carte 10 - Situation actuelle et options d'aménagement futur - - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



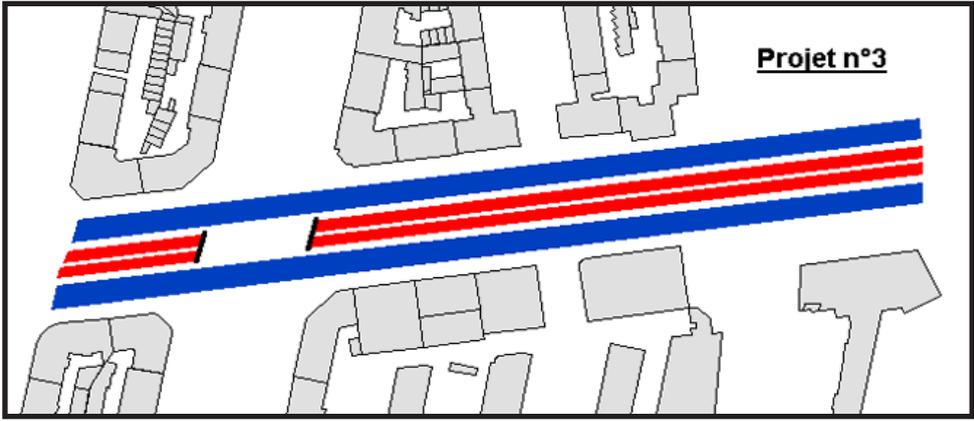
voies de bus latérales  
autopont à quatre voies



suppression des voies  
de bus  
aménagement de voies  
de tramway latérales



suppression de l'autopont  
voies de tramway contigües



suppression de l'autopont  
voies de tramway latérales

-  autopont
-  voie de bus
-  voie de tramway
-  voie routière

 bâtiment  
100 mètres

sources : - Mission de la prospective urbaine  
- ville de Grenoble  
Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



### **3.1.3 Production de la maquette de traitement**

Les premières démarches entreprises auprès des services de la ville Grenoble visaient à établir un bilan des actions menées dans le domaine de la politique de lutte contre le bruit. La ville de Grenoble s'est vue remettre une distinction pour ses actions exploratoires dans le domaine au cours de l'année 1993<sup>80</sup>. Le service hygiène et santé avait alors réalisé des tests de cartographie sonore. Le projet s'est ensuite subitement arrêté. Les résultats de ces travaux n'ont jamais pu être réutilisés. En parallèle, les nouvelles prérogatives de la ville en matière de lutte contre le bruit ont amené d'autres services à travailler dans le domaine. La mission environnement s'est par exemple chargée de la procédure de classement sonore des voies.

En matière d'information géographique, la situation de la ville de Grenoble est originale. Les bases de données localisées ne sont pas gérées de façon centralisée. De nombreux services doivent donc être contactés pour rassembler les informations nécessaires à nos traitements. Nos deux principaux partenaires furent le service de la prospective urbaine et la mission déplacement. Le premier est actuellement en charge de la réflexion sur l'aménagement de la zone de l'estacade. La mission déplacement gère quant à elle l'ensemble des opérations liées à la circulation et au stationnement dans la ville de Grenoble. Les campagnes de comptages des trafics automobiles sont réalisées sous sa responsabilité.

#### ***3.1.3.1. Bilan des données compilées***

Le service de la prospective urbaine nous a fourni une base de donnée à grande échelle de l'ensemble du tissu urbain de la zone d'étude. Elle comporte une description de la topographie de la zone, le détail des bâtiments en 2 dimensions (surface au sol)<sup>81</sup>, les îlots de la zone auxquels est associé un nombre d'habitants et un nombre de logements et enfin un parcellaire qui peut être connecté à une base de données spécifiant l'occupation des sols.

La mission déplacement nous a donné accès à de nombreuses données au format papier. Il s'agit d'informations issues de comptages automatiques, de relevés tous les quarts d'heures sur 24 heures et pour les 7 jours de la semaine du 14 mars 1998 au 20 mars 1998. D'autres informations concernent les comptages manuels réalisés le 9 janvier 1998 aux heures de pointe du matin (7h30 - 8h30) et du soir (16h30 - 17h30) avec distinction des véhicules légers, des poids lourds et des deux roues.

#### ***3.1.3.2. Mise en place et organisation de la base de données :***

Au début de notre travail, l'interface de transfert entre Mithra et le SIG n'étant pas encore opérationnelle, nous avons réalisé des bases de données dédiées à chaque logiciel. Seuls les résultats des calculs de Mithra étaient alors exportables vers le SIG. Nous allons rapidement retracer les différentes opérations nécessaires à l'intégration de ces données d'origines multiples dans notre chaîne de traitement.

---

<sup>80</sup> Le Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit décerne annuellement des distinctions appelées les "décibels d'or".

<sup>81</sup> une base de données du bâti en volume est disponible mais aucun format ne permet actuellement de l'exploiter dans notre chaîne de traitement.

La création du site d'étude dans Mithra peut être décomposée en trois étapes : la construction numérique de l'espace de propagation du son, la localisation des sources de bruit et enfin la production d'une couche de récepteurs virtuels. L'espace de propagation est ici essentiellement marqué par les formes urbaines. Les altitudes ne variant pas de plus d'un mètre sur l'ensemble de la zone, nous avons choisi de ne pas les prendre en considération. La trace au sol des bâtiments est récupérée dans la base de données fournie par le service de la prospective urbaine. La hauteur ainsi que le nombre d'étage de chaque bâtiment ne sont pas des informations présentes dans les bases de données. Des relevés de terrain ont donc été nécessaires. Le modèle de données de Mithra ne supportant pas les polygones fermés contigus, nous avons été contraint de déplacer artificiellement les objets les uns par rapport aux autres. Si cette modification n'est pas entreprise, Mithra peut omettre la présence de certains bâtiments. De même, les façades arrondies sont géométriquement simplifiées sur les conseils des concepteurs du logiciel. Le schéma 60 illustre ces deux modifications de la base de données des bâtiments.

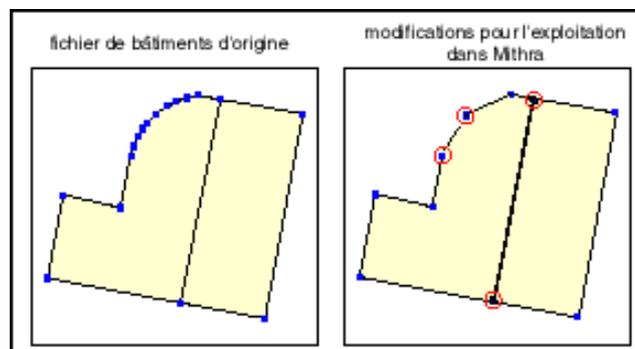


Figure 60 - les modifications nécessaires de la base de données de bâtiments pour son exploitation dans Mithra

La saisie du réseau routier suppose une très bonne connaissance du terrain afin de différencier précisément les types de voies : couloir de bus, contre allée, voie normale. Les trafics et autres données nécessaires au calcul de la puissance acoustique par mètre de voie, nécessitent là encore une grande précision. Dans la réalité, nous avons largement extrapolé l'information, pour disposer de données sur l'ensemble du territoire d'étude. Par exemple, les comptages automatiques ne concernent souvent qu'une voie sur trois. Il faut alors en déduire le trafic total et réaliser, en parallèle, des comptages sur les rues adjacentes.

Le site d'étude est modélisé en parallèle dans le SIG. Il est simplement composé de 4 couches d'information : les bâtiments, les parcelles, les îlots et le réseau routier. Pour chaque bâtiment, on dispose de diverses informations descriptives : qualité de l'isolation, date approximative de construction, nombre d'étages, numéro de parcelle. Les parcelles nous renseignent sur l'occupation dominante du sol. Cette information fut produite au cours des années 90 mais ne semble plus mise à jour régulièrement. Des vérifications sur le terrain ont donc été nécessaires. A la couche d'îlots est associée les deux indicateurs démographiques élémentaires, le nombre total de résidents et le nombre de logements. Pour estimer la population à l'échelle des bâtiments il est donc nécessaire de désagréger l'information disponible à l'îlot. Seuls les bâtiments présents sur des parcelles à dominante résidentielle sont conservés. Nous avons ensuite procédé à un calcul de densité ramené au mètre carré de façade. Ce choix entraîne sans doute une surestimation des populations dans les immeubles en barre. Comme la position qui est imposée par la norme, pour les micros dans les simulations (à deux mètres en avant des façades), cette solution permet une approche pessimiste de l'exposition des populations au bruit. Un calcul des surfaces totales de façades est réalisé pour

chaque îlot (somme des périmètres de bâtiments X hauteur moyenne par étage X nombre d'étage) afin de calculer ensuite la densité de population de l'îlot. La carte 8 présente le résultat de ce traitement. On peut voir que la densité est relativement homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. L'îlot au sud est du carrefour est toutefois sensiblement plus peuplé que les autres. Nous reviendrons sur la production des données de vulnérabilité au bruit lors de l'application de notre cadre de traitement.

### **3.1.3.3. La production de cartes d'exposition sonore dans Mithra :**

En milieu urbain, le mode de calcul sur récepteurs au bâtiment est celui qui nous a semblé le plus pertinent, compte tenu de la complexité du tissu urbain. L'échelle de temps choisie est celle de la législation en vigueur (6h-22h et 22h-6h).

Les spécifications des calculs réalisés sur le site d'étude de Grenoble Estacade sont les suivantes :

- 12011 micros virtuels disposés à deux mètres des façades de bâtiment à chaque étage.
- caractéristique générale du sol : très réfléchissant
- lancement de 72 rayons depuis chaque récepteur, soit un rayon tous les 5° sur 360°
- 30 intersections de rayons sont admises au maximum, de même que 3 réflexions successives sur des obstacles.
- la distance de propagation maximale d'un rayon est limitée à 500 mètres.
- les paramètres météorologiques sont considérés comme homogènes car nous ne disposons pas de données suffisamment précises pour tenir compte des effets de micro-météorologie qui sont caractéristiques des formes urbaines massives.

La carte 11 présente l'organisation des microphones virtuels dans notre zone d'étude

Les calculs acoustiques que nous avons réalisés comportent de nombreuses limites. Ainsi nous n'avons pas intégré les émissions qui proviennent des voies passant sous l'autopont. Ce traitement nécessite un second calcul acoustique indépendant, pour chaque situation sonore simulée. Le temps nous a manqué pour le réaliser. Nous avons de même éludé la question des effets de bord du calcul. Dans nos traitements, la description du territoire de propagation est limitée aux seuls éléments concernés ensuite par les confrontations. Les résultats produits en bordure de zone d'étude ne sont sans doute pas très réalistes. Pour plus de justesse, il aurait sans doute fallu intégrer une bande de 100 mètres de bâtiment autour de notre zone de traitement actuelle. Les données de trafic dont nous disposons mériteraient quant à elles, d'être mise à jour. Les trafics sur les grands boulevards évoluent en effet continuellement et les techniques de comptages manuelles ne sont sans doute pas les plus adaptées à de telles situations.

L'absence de données ne peut être admise dans la modélisation acoustique. On doit disposer d'une information de même qualité pour l'ensemble de la zone, mais dans la réalité cela est rarement le cas. Ces problèmes se poseront d'autant plus quand l'on voudra transposer ces approches sur des zones plus étendues.

Le schéma 61 présente une vue générale de l'ensemble des traitements réalisés pour la zone de Grenoble estacade. Ils reprennent globalement la logique de traitement proposée dans notre cadre formel (cf. point 2.1.3.).

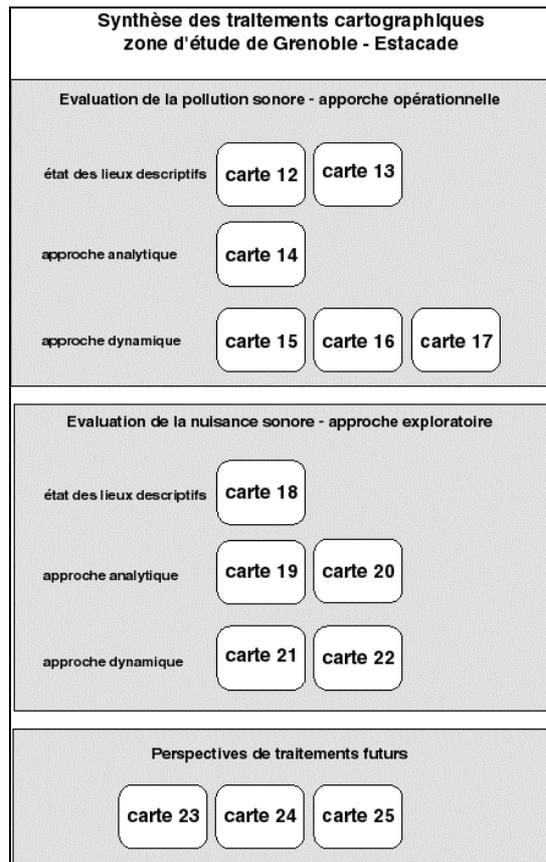
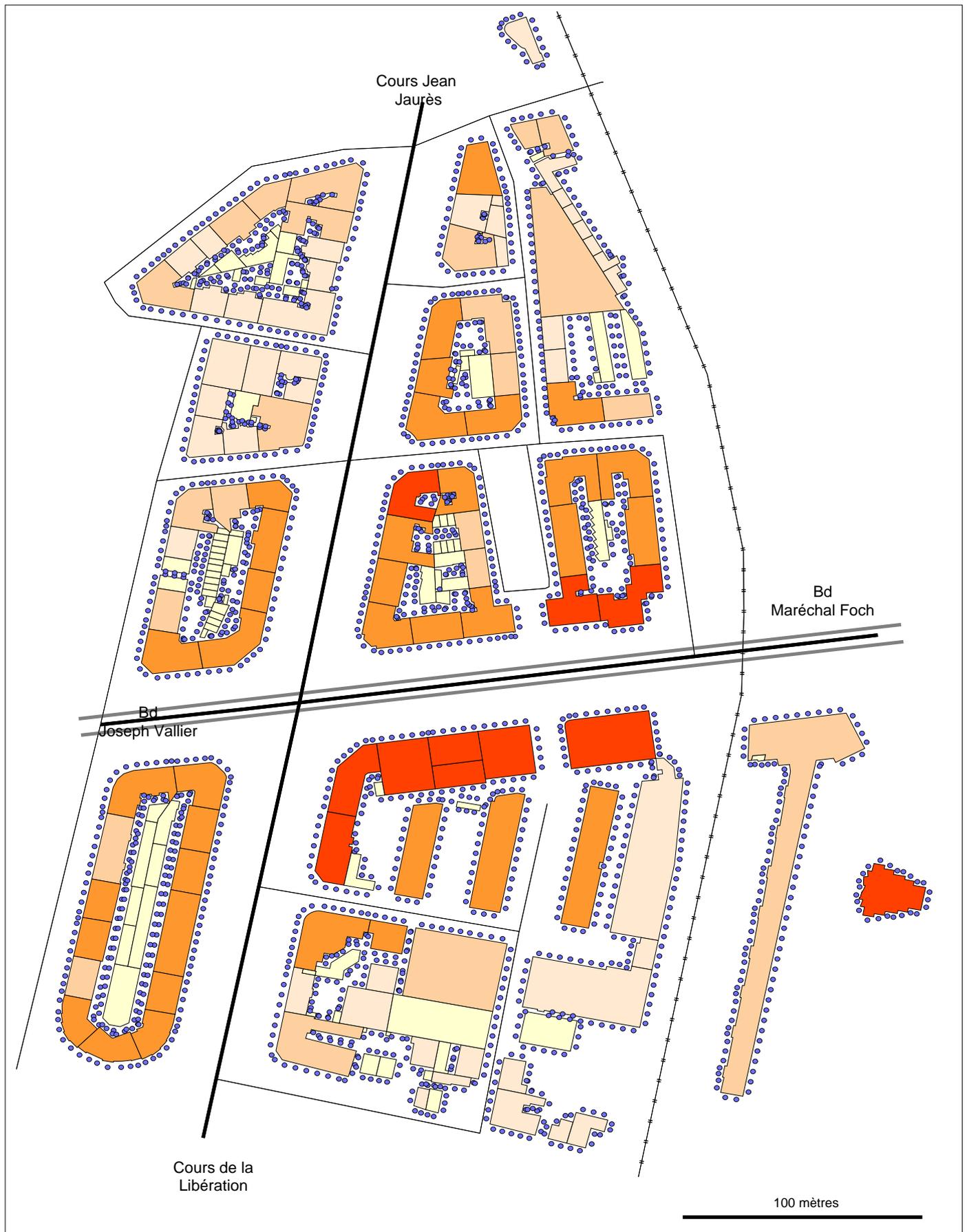


Figure 61 - Présentation des traitements cartographiques réalisés sur la maquette de Grenoble - Estacade

# Carte 11 - Organisation du calcul Mithra - - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



Réseau	
	voie de transit
	voie de desserte
	voie ferrée
	autopont

**Dispositif de micros virtuels**

micro virtuel

il y a autant de micro en vertical que d'étage, soit 12011 micros au total

Nombre d'étage par bâtiment	
	entre 10 et 15 étages
	entre 7 et 10 étages
	entre 5 et 7 étages
	entre 1 et 5 étages
	rez de chaussée ou 1 étage



### **3.1.4 Evaluation des pollutions sonores potentielles, approche opérationnelle**

#### ***3.1.4.1. Etat des lieux descriptif***

Pour réaliser les traitements de la carte 12, nous avons travaillé sur l'ensemble de l'enveloppe sonore de chaque bâtiment à partir des fichiers de résultat Mithra. Chaque récepteur virtuel étant rattaché à un bâtiment par son identifiant numérique, il est possible de réaliser de tels regroupements d'informations. Une typologie est établie en fonction de la classe d'exposition sonore dominante (soit une majorité de micros du bâtiment contenue dans la classe). Les seuils d'exposition appliqués sont ceux établies par C. Lamure, dans son rapport relatif aux points noirs [LAMU 98]. Les seuils sont rappelés dans la légende de la carte.

On peut constater que la majorité des bâtiments soumis à une exposition de points noirs, le sont du fait du trafic routier diurne. La situation nocturne est beaucoup moins catastrophique. Seuls quelques bâtiments isolés présentent alors des niveaux d'exposition extrêmes. Les projets d'indicateurs européens aujourd'hui à l'étude, donneront l'occasion de préciser ce premier diagnostic. Un indicateur d'exposition sonore de soirée (de 19h à 23h) est en effet à l'étude. Il nécessitera une précision supplémentaire dans la description des émissions au cours de la journée.

Le traitement suivant (carte 13) propose une autre forme d'analyse de l'enveloppe sonore de chaque bâtiment, à partir de la base de données issue du calcul sur récepteur au bâtiment. En appliquant les seuils d'exposition légaux présentés dans le point 2.1.4.1., on a cherché à identifier la répartition des expositions par façade de bâtiment. D. Aubrée a montré que les habitants qui bénéficiaient au moins d'une façade calme supportaient mieux le bruit. Les bâtiments pour lesquels toutes les façades sont soumises à des expositions supérieures aux limites admises seront donc plus vulnérables au bruit.

Il est important de signaler deux limites à ce traitement. Tout d'abord nous avons exploité le niveau maximum d'exposition à la façade, ce qui peut être assez réducteur pour représenter l'exposition de bâtiments de plus de 8 étages. Par ailleurs un nombre important de bâtiments n'ont pu être traités car ils n'étaient pas représentés par un nombre suffisant de micros. C'est le cas par exemple, des bâtiments comportant trois façades accolés à d'autres bâtiments.

L'îlot du sud est de la zone ainsi que les petits pâtés de maison du nord est, sont les moins favorisés selon cette approche des impacts du bruit dans le territoire. Cette situation s'explique par un tissu urbain plus ouvert que dans le reste de la zone.

#### ***3.1.4.2. Approche analytique – confrontation exposition/vulnérabilité***

Le traitement de la carte 14 est basé sur l'hypothèse de la répartition homogène de la population sur le pourtour de chaque bâtiment. On a ensuite projeté les classes d'exposition sonore de l'enveloppe du bâtiment sur cette population. Là encore, l'îlot du sud est de la zone d'étude semble le plus problématique en terme d'impact lié au bruit. L'information relative au nombre de micros décrivant chaque bâtiment permet de juger de la validité des données d'exposition sonore. L'hypothèse de la répartition homogène de la population ne permet sans doute pas une représentation très réaliste de la situation réelle d'exposition de la population au bruit. A l'avenir une analyse de la morphologie du tissu urbain doit permettre d'identifier les façades à vivre des bâtiments, à partir de règles simples (distance à la façade la plus proche,

rapport entre la largeur et la longueur du bâtiment, date de construction, présence d'une cour intérieure ...).

### ***3.1.4.3. Approche prospective***

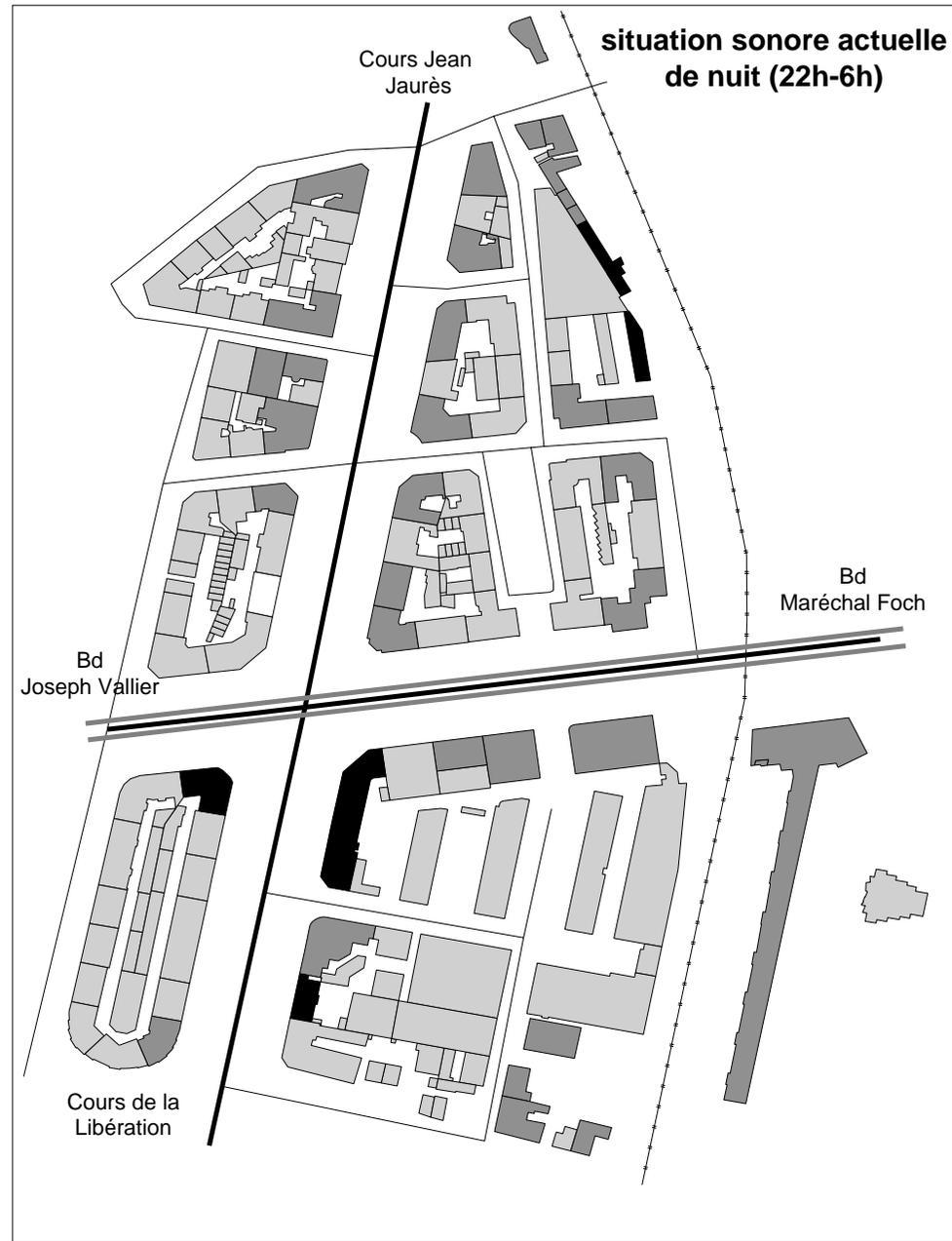
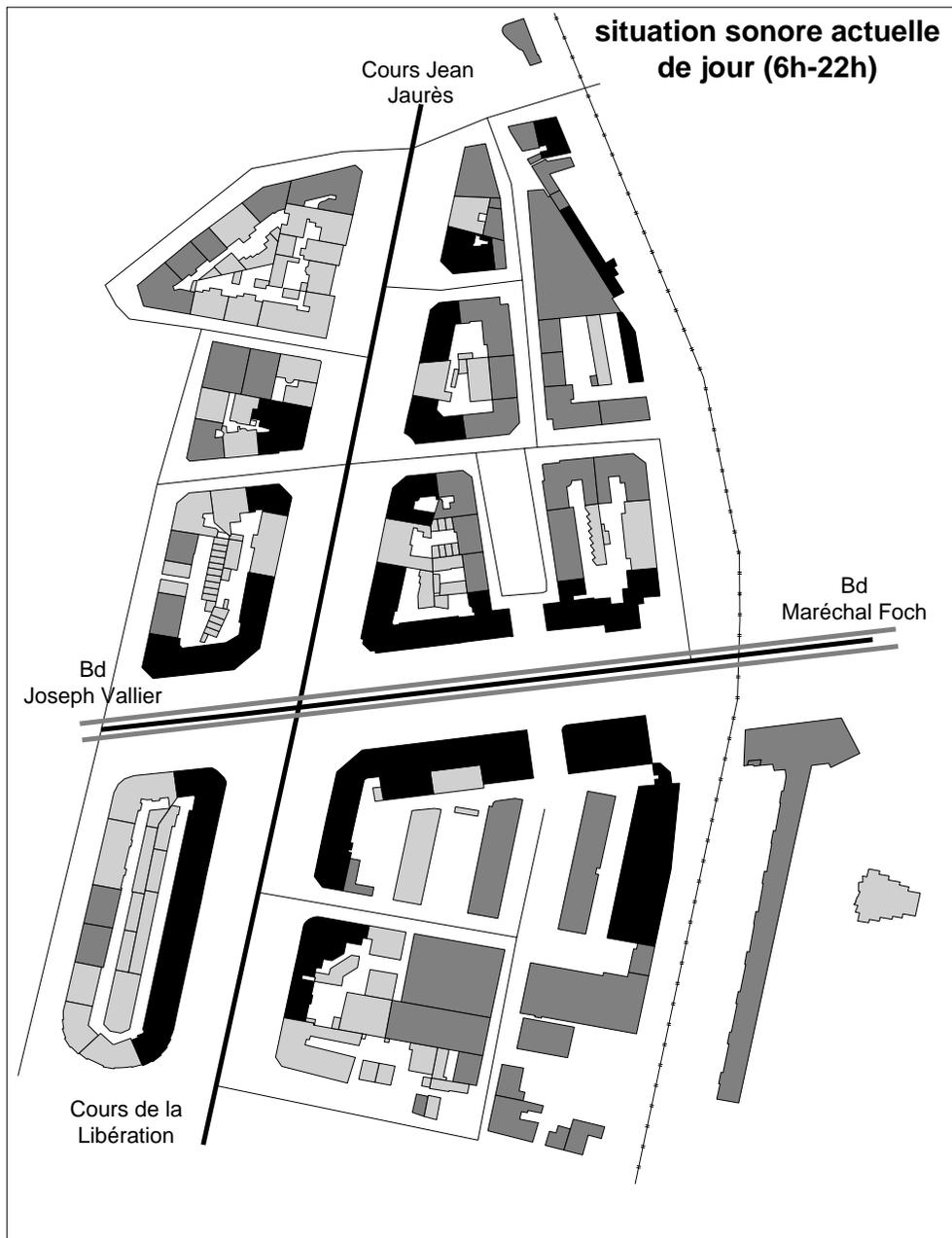
Une fois que les calculs sur récepteurs sont réalisés pour chaque options d'aménagement envisagées (cf. carte 10), de multiples comparaisons sont possibles. Le traitement présenté dans la carte 15 compare les scénarios avec la situation sonore actuelle, à partir de l'exposition maximale observée de jour au bâtiment. En dessous de 3db(A), on a considéré que la différence n'est pas clairement perceptible pour la population, car cela équivaut au doublement de l'énergie exposante. Cet indicateur manque forcément de précision mais il permet d'avoir une première idée des différences entre les projets d'aménagement. On peut tout de même identifier le projet n°2 comme le plus favorable en terme d'exposition sonore. Le voisinage nord des grands boulevards est la zone qui pourrait profiter le plus de ces modifications.

Les deux traitements qui vont suivre reprennent successivement les logiques des cartes 12 et 14 pour les projeter selon les trois options d'aménagement envisagées. Une comparaison chiffrée des évolutions attendues, selon les options d'aménagement par rapport à la situation sonore actuelle, est aussi proposée. La carte 16 applique l'approche « point noir » et là encore le projet n°2 semble clairement plus favorable que les autres.

La carte 17 projette la population selon la répartition du bruit par classe d'exposition. Un bilan chiffré des transferts théoriques de population d'une classe d'exposition à une autre est proposé pour chaque option de projet. L'indicateur présenté ici ramène le problème de l'exposition sonore au niveau de la population exposée, il est donc peut être plus facilement compréhensible. L'option n°2 est à nouveau la plus avantageuse.

L'approche opérationnelle nous a permis de présenter la situation sonore actuelle de la zone d'étude au regard des cadres juridiques existants et de comparer les différentes options d'aménagement envisagées. L'éclairage exploratoire a pour objectif de préciser ce diagnostic en intégrant d'autres paramètres dans l'évaluation des impacts potentiels du bruit dans le territoire.

# Carte 12 - Description de l'enveloppe sonore par bâtiment - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



**Réseau**

	voie de transit
	voie de desserte
	voie ferrée
	autopont

**Analyse de l'enveloppe sonore par bâtiment**

	Exposition $\geq 70$ dB(LAeq, t) dominante (point noir)
	$60 \leq$ Exposition $< 70$ dB(LAeq, t) dominante (zone grise)
	Exposition $< 60$ dB(LAeq, t) dominante

100 mètres

**sources :** Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble  
Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



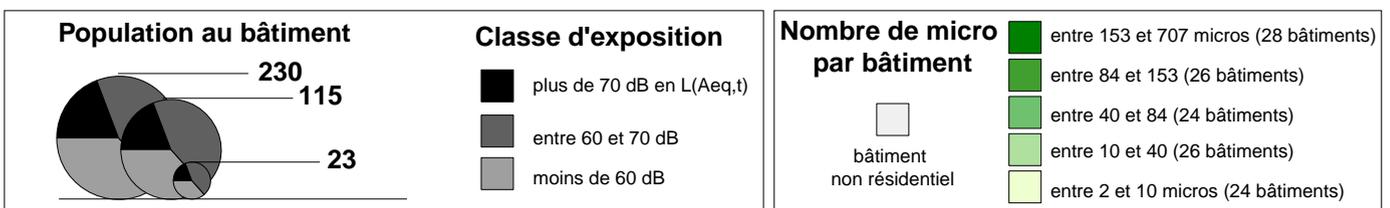
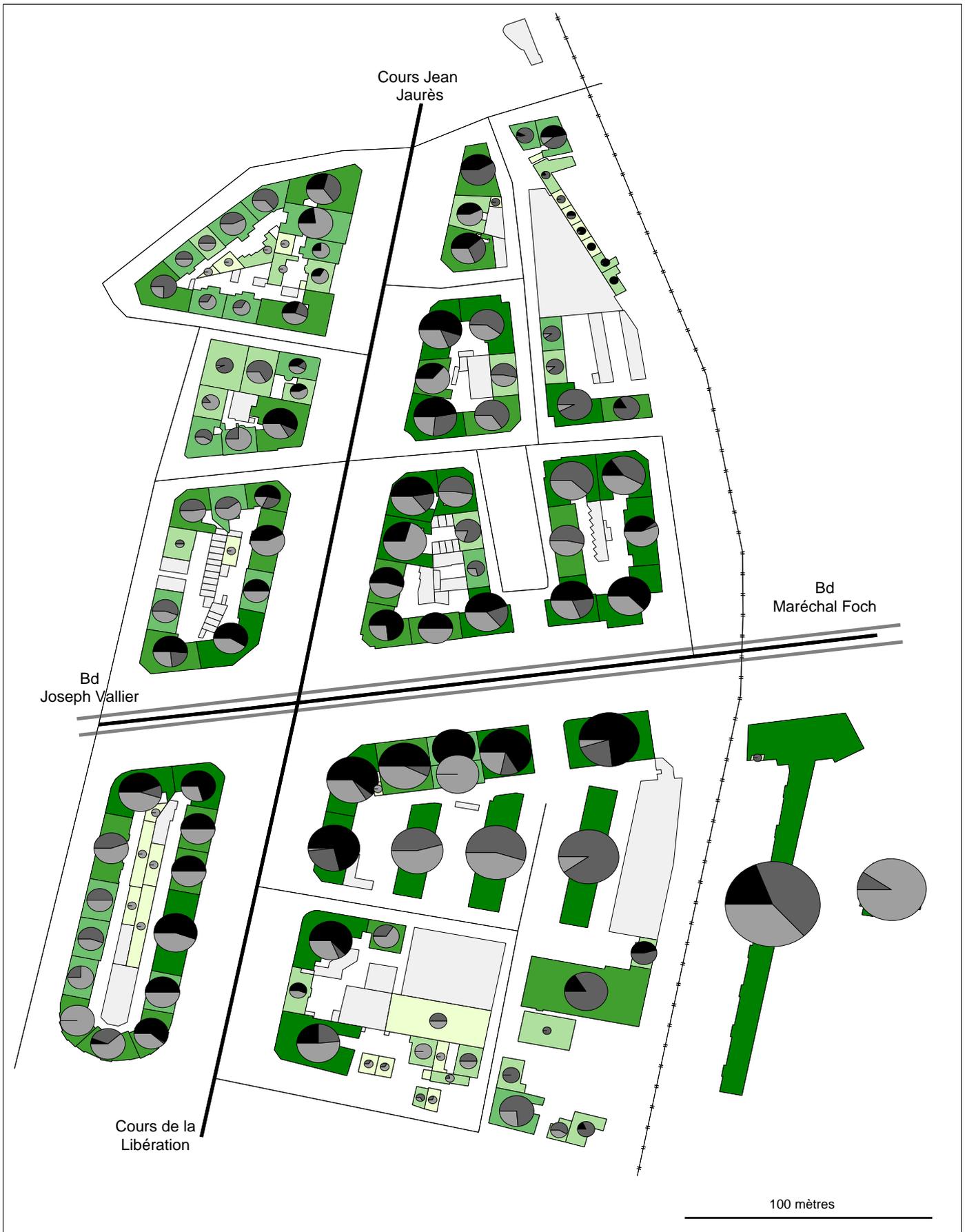
# Carte 13 - Traitement de l'exposition par façade de bâtiment - situation actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



<b>Réseau</b> voie de transit voie de desserte voie ferrée autopont	<b>Relation entre exposition maximale par façade et limites légales</b> toutes les façades au dessus des seuils au moins une facade aux normes de jour au moins une façade aux normes de nuit bâtiment non traité pour raison technique	une façade aux normes jour et nuit au moins deux façades aux normes jour et nuit toutes les façades aux normes jour et nuit



# Carte 14 - Répartition de la population par classe d'exposition sonore - situation de jour actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



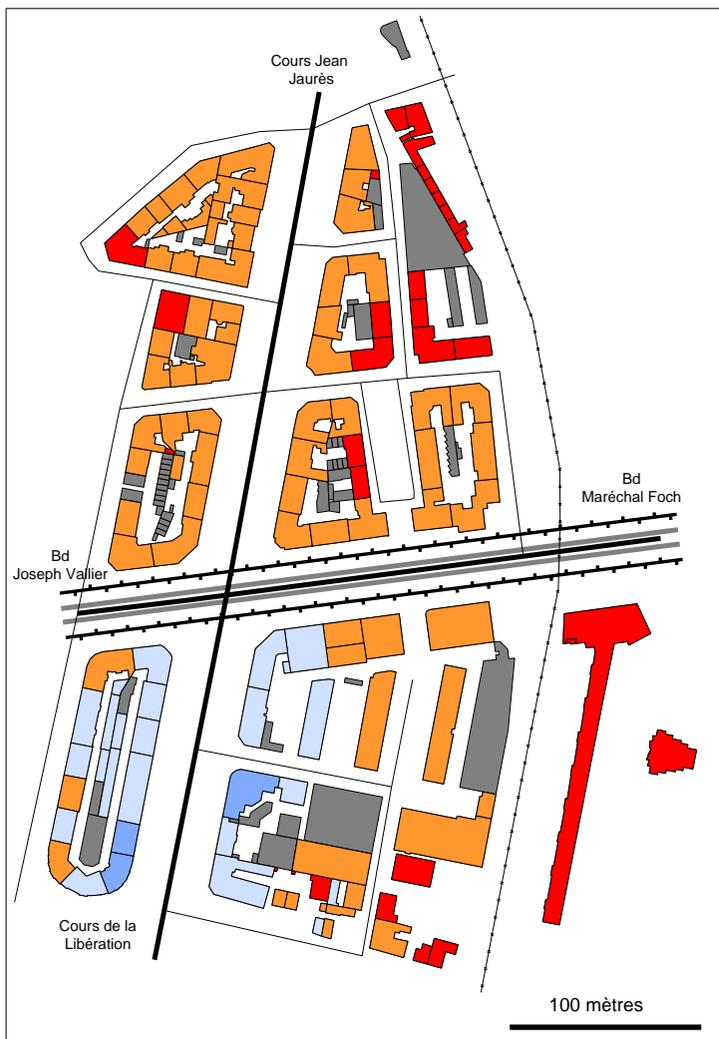
sources : RGP INSEE 1999 - Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000

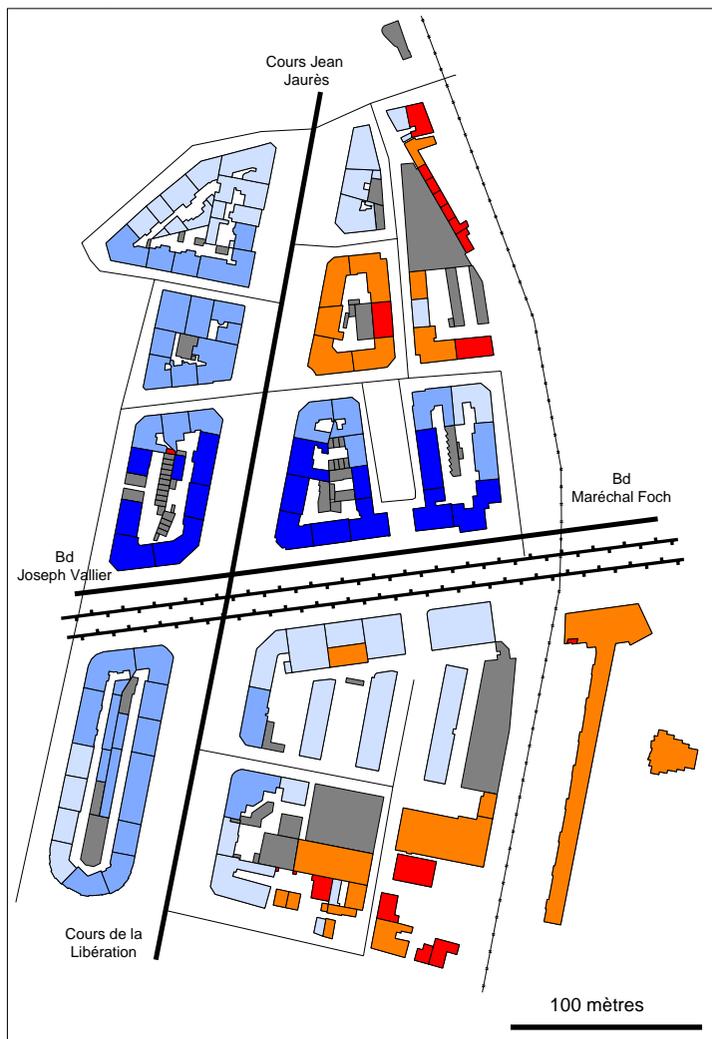


# Carte 15 - Evolution de l'exposition sonore maximale selon les différents projets d'aménagement situation sonore de jour - zone d'étude de Grenoble Estacade -

**Différence entre le projet n°1 et la situation sonore actuelle**



**Différence entre le projet n°2 et la situation sonore actuelle**



**Différence entre le projet n°3 et la situation sonore actuelle**



Réseau	
	voie de transit
	voie de desserte
	voie ferrée
	voie de tramway
	autopont

Evolution probable de l'exposition maximale au bâtiment			
	perte de 14,5 à 9 dB(LAeq, 6-22h)		perte 3 à 1 dB(LAeq,6-22h)
	perte de 9 à 6 dB(LAeq,6-22h))		perte 1 à 0 dB(LAeq,6-22h)
	perte de 6 à 3 dB(LAeq, 6-22h)		bâtiment non résidentiel

**sources :** Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble  
Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000

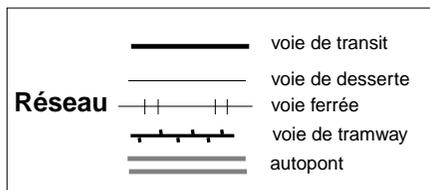
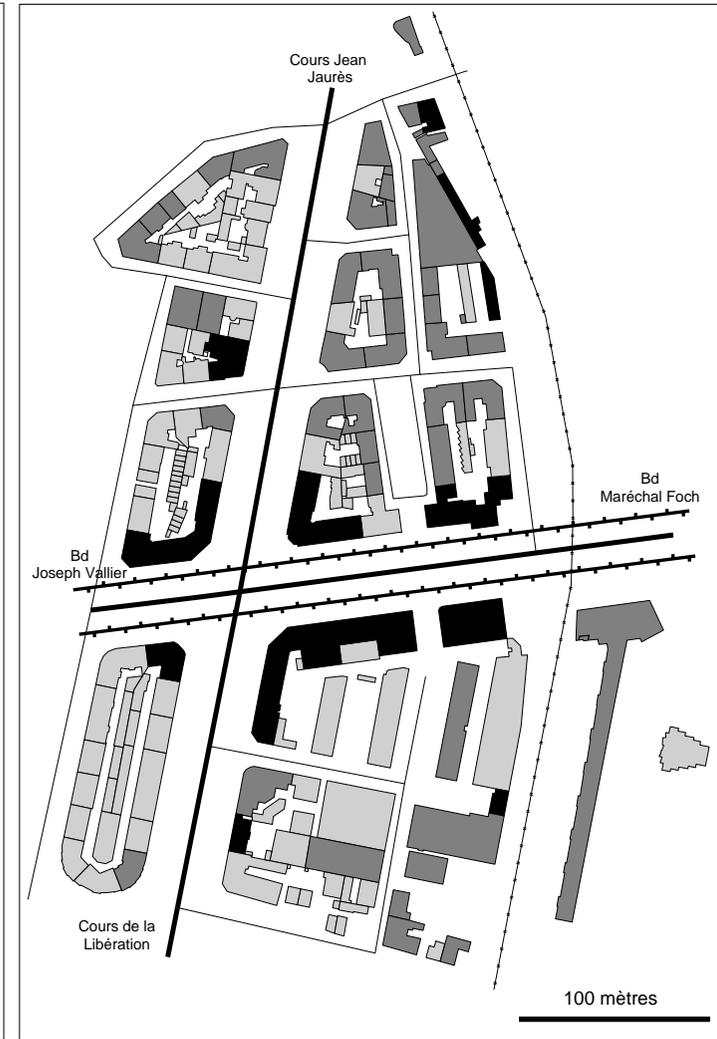
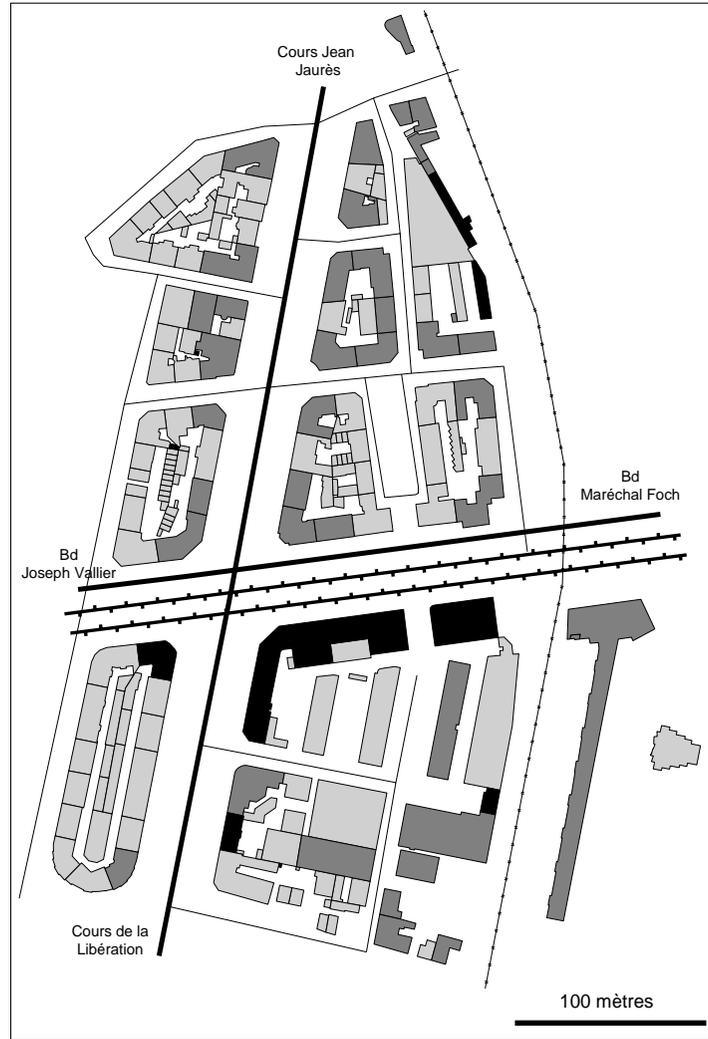
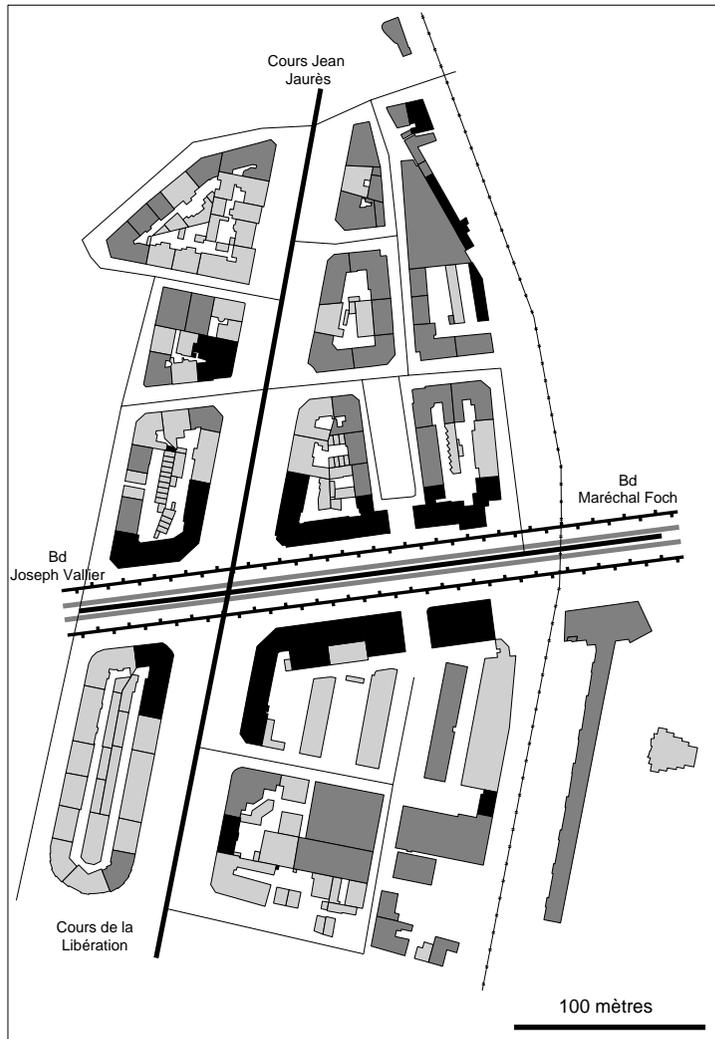


# Carte 16 - Application de l'approche "point noir" pour les différents projets d'aménagement - zone d'étude de Grenoble - Estacade -

Situation sonore simulée avec le projet 1

Situation sonore simulée avec le projet 2

Situation sonore simulée avec le projet 3



**Gain par classe d'exposition en nombre de bâtiment (projet d'aménagement - état actuel)**

	Projet P1	Projet P2	Projet P3
	-8	-20	-12
	-4	-14	-5
	+12	+34	+17

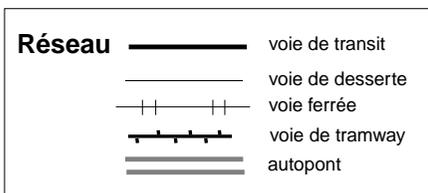
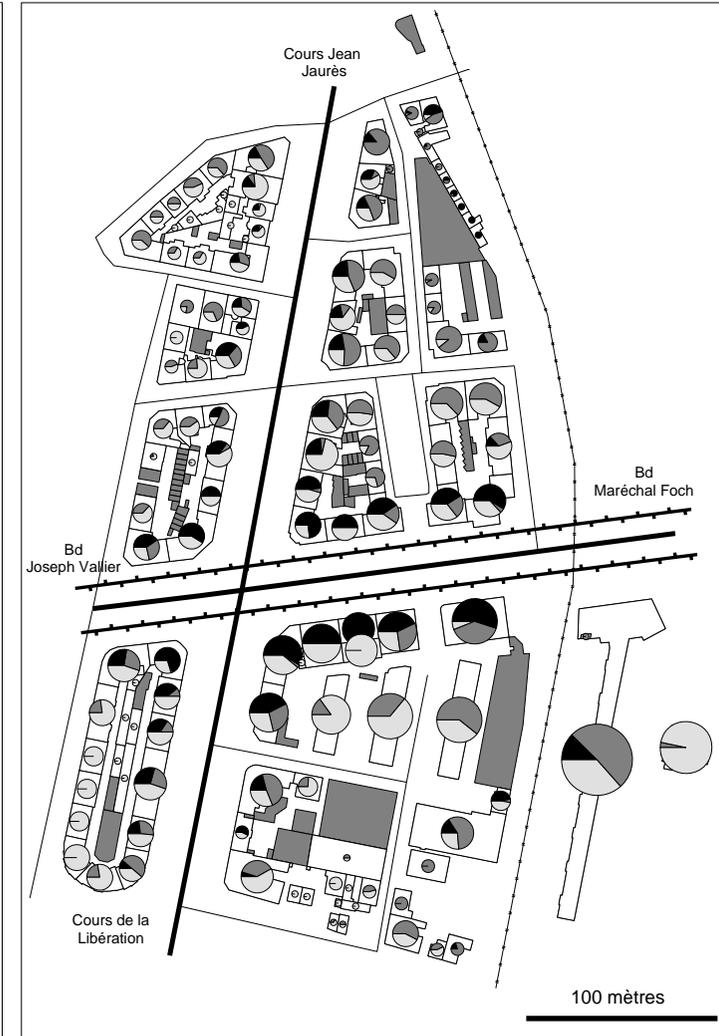
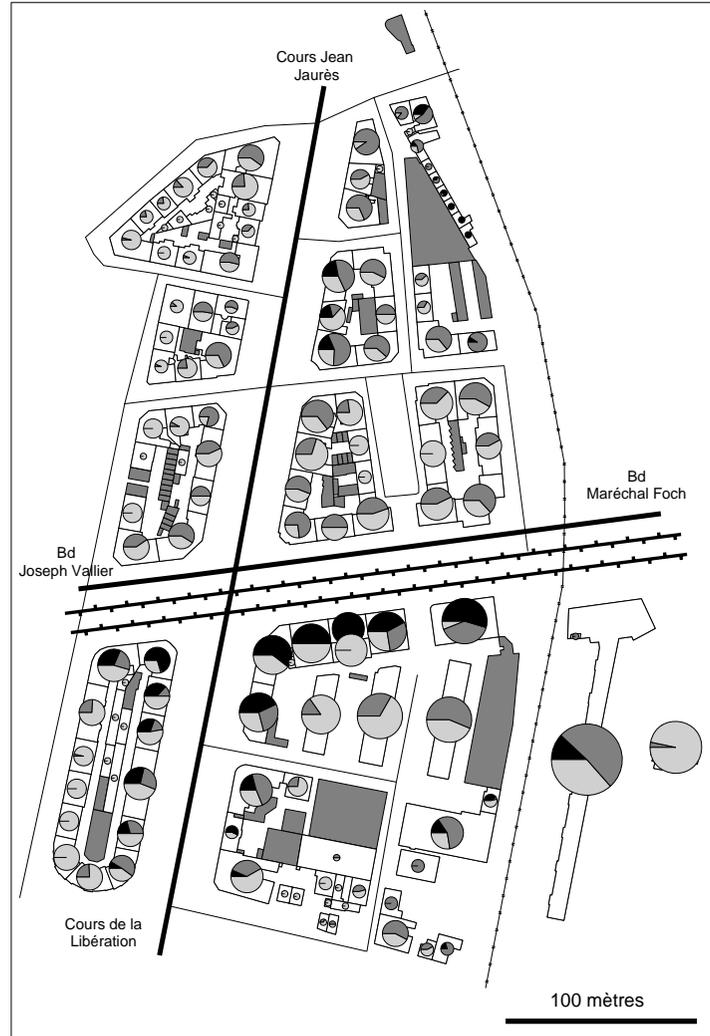
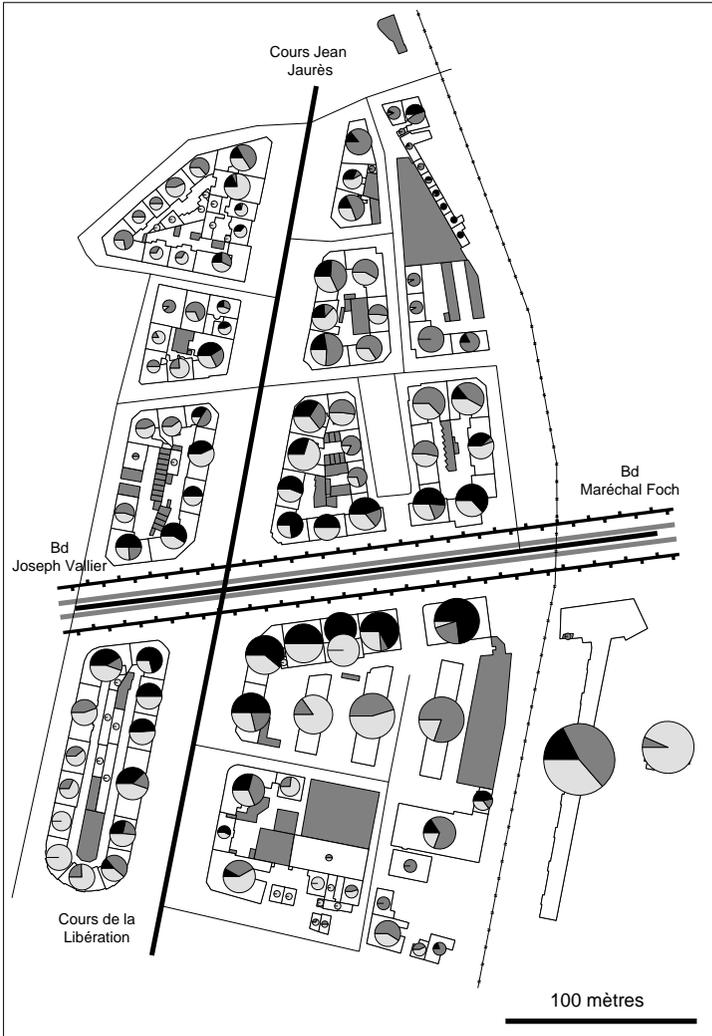


# Carte 17 - Application de l'approche "point noir" ramenée à la population pour les différents projets d'aménagement - zone d'étude de Grenoble - Estacade -

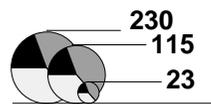
Situation sonore simulée avec le projet 1

Situation sonore simulée avec le projet 2

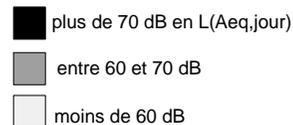
Situation sonore simulée avec le projet 3



**Population au bâtiment**



**Classe d'exposition**



**Gain par classe d'exposition en nombre d'habitant (projet d'aménagement - état actuel)**

Projet P1	Projet P2	Projet P3
-171	- 634	-310
+34	+168	+76
+137	+466	+234

bâtiment non résidentiel

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD  
- Grenoble - 2000

sources : RGP INSEE 1999 - Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble



### 3.1.5 Evaluation des nuisances sonores potentielles, approche exploratoire

#### 3.1.5.1. Etat des lieux descriptif

Dans le but d'évaluer la vulnérabilité des bâtiments de la zone, nous avons réalisé une agrégation de deux critères décrivant les conditions de réception du bruit : une typologie de l'isolation des façade de bâtiment et une description de la répartition de l'exposition sur les façades (cf. carte 13).

Le niveau d'isolation présenté dans la carte 18 dépend des facteurs suivants [MIN 95] (ceux-ci sont classés par ordre d'importance décroissant) :

- étanchéité de la fenêtre et/ou présence de vérandas ou de double vitrages
- date supposée de construction du bâtiment
- rapport entre la surface de la paroi vitrée et la surface de la paroi opaque : l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi dépendant principalement de sa partie la plus faible, les isolements importants sont d'autant plus difficiles à obtenir que la paroi est largement vitrée.
- balcons à garde-corps pleins avec une sous face absorbante / pas de balcons ou balcons à garde-corps non pleins avec une sous face réfléchissante.
- les parois opaques peuvent être lourdes, semi-lourdes ou légères suivant la nature du matériau.
- présence ou absence d'entrées d'air et de coffres de volets roulants.

Chaque bâtiment résidentiel est ainsi renseigné par un niveau d'isolation allant de 1 pour les bâtiments ayant un niveau d'isolation acoustique très important (présence de vérandas, de double vitrages, forte étanchéité de la fenêtre, un rapport surface de la paroi vitrée / surface de la paroi opaque proche de 0, des balcons à garde-corps pleins avec une sous face absorbante, des parois lourdes et l'absence d'entrées d'air et de coffres de volets roulants), à 10 pour les bâtiments possédant un niveau d'isolation acoustique très faible (faible étanchéité de la fenêtre, construction très ancienne du bâtiment, un rapport surface de paroi vitrée / surface de paroi opaque proche de 1, des balcons avec une sous face réfléchissante, des parois opaques légères et la présence d'entrées d'air et de coffres de volets roulants) [JOU 00]. Ce travail descriptif a nécessité de nombreux relevés sur le terrain car ces informations ne sont pas disponibles dans les documents d'urbanisme existants.

Une fois produite, la carte d'isolation des bâtiments est confrontée à notre typologie de la répartition des expositions sonore par façade (cf. carte 13). L'opération appliquée est une multiplication des codes de chaque typologie. Il en résulte la carte finale (carte 18) qui localise les bâtiments les moins bien protégés vis à vis du bruit. Ces derniers cumulent de mauvaises caractéristiques d'isolation et peu ou pas de façade de repli. Ce traitement montre la grande diversité des contextes de réception du bruit au niveau des bâtiments de la zone d'étude. L'îlot du sud semble le moins favorisé car il comporte de nombreux bâtiments très vulnérables au bruit.

Cette différenciation des contextes d'exposition au bruit potentiel nous a semblé la plus pragmatique car elle se base sur des données observables. D'autres tests furent entrepris pour cette zone d'étude par R. Dorne et J. Jouannet au cours de leur travaux de Maîtrise [DOR 99]

[JOU 00]. Ils concernaient la prise compte de facteurs de représentation probable du bruit par la population : exposition solaire, prestige de l'adresse, visibilité des sources de bruit. Sans le recours aux enquêtes auprès de la population, il semble illusoire de produire de telles évaluations car notre zone d'étude est très homogène du point de vue des conditions observables de réception du bruit. Nous avons donc choisi de ne pas traiter ici ces approches de la vulnérabilité.

### ***3.1.5.2. Approche analytique***

Avec l'approche exploratoire, l'application d'une relation « dose/effet » (cf. point 1.2.2.3.) permet de traduire les niveaux d'exposition en évaluation du nombre de personnes qui pourraient se trouver fortement gênées (cf. carte 19). Pour ne pas que cette carte soit redondante avec les évaluations de l'exposition sonore présentées précédemment, nous avons choisi de traduire les estimations de population en valeur absolue. Cette approche permet de localiser les grandes concentrations de population soumises à de forts niveaux de bruit. A l'inverse, une telle approche ne permet pas d'identifier les populations dans les situations sonores les plus défavorables, à l'image des petites résidences au bord de la voie ferrée dans le nord est de la zone d'étude.

Le traitement présenté dans la carte 20 est une application de la logique de confrontation spatiale vulnérabilité/exposition. Il précise grandement le diagnostic d'impact qui est présenté dans la carte 12 (identification des points noirs). Par exemple, les bâtiments en bordure nord de Bd M. Joffre, qui étaient classés en point noir, sont généralement peu vulnérables au bruit. Les nuisances sonores potentielles y sont donc relativement faibles.

### ***3.1.5.3. Approche prospective***

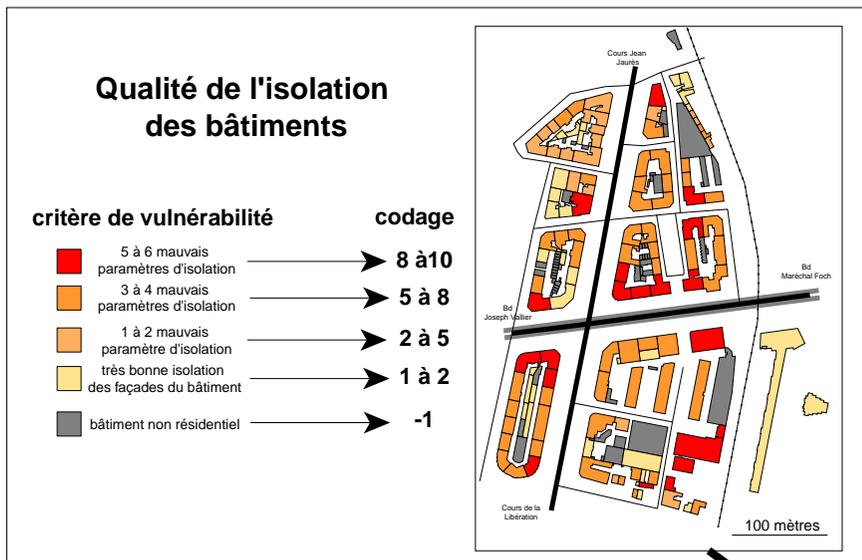
Le traitement de la carte 21 doit être exploité avec beaucoup de précautions. Nous proposons ici d'appliquer la relation « dose effet » de la carte 19 pour les différentes situations sonores simulées. Le contexte sonore devant être modifié, on peut penser que le sentiment de gêne envers les différentes infrastructures de transport va évoluer. Appliquer une même relation exposition/gêne pour les différentes situations simulées n'est donc pas correcte si l'on cherche à évaluer l'étendue de la gêne en valeur absolue. Par contre, il est acceptable d'observer en relatif, l'évolution de la gêne. Les résultats n'ont donc de sens que s'ils sont comparés les uns aux autres. Là encore le projet n°2 semble le plus favorable.

Le traitement de la carte 22 réalise une comparaison des nuisances sonores potentielles actuelles et d'une simulation avec l'option d'aménagement n°2 qui est considérée comme la plus avantageuse en terme de réduction des impacts liés au bruit. En matière de vulnérabilité, nous manquons de données pour établir sérieusement des projections. Nous avons donc choisi de considérer comme une constante le niveau d'isolation des bâtiments présenté dans la carte 18. Seules l'évolution des niveaux d'exposition et leur répartition par façade sont donc prises en compte ici.

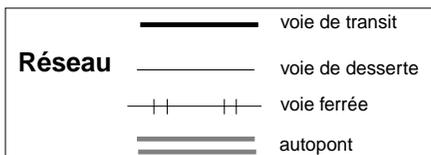
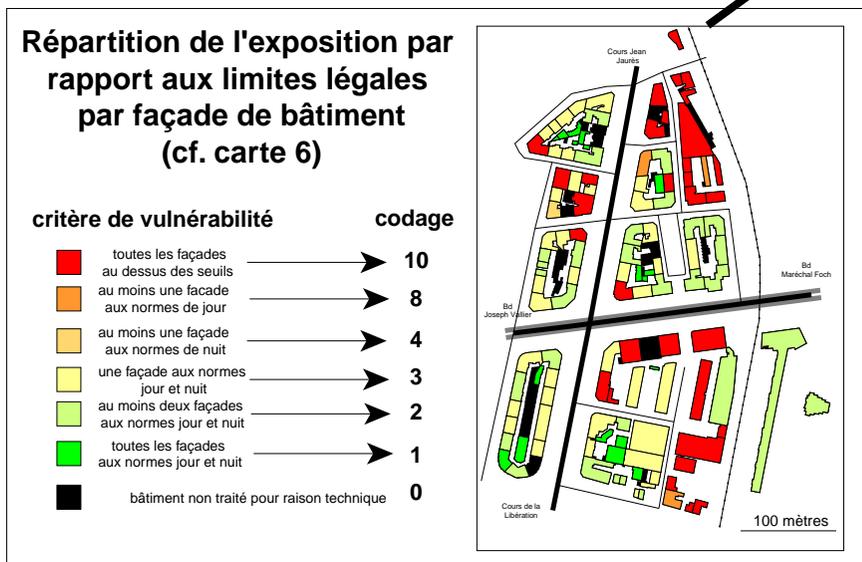
La diminution générale du trafic routier sur les grands axes de la zone d'étude, entraîne une baisse des nuisances sonores potentielles dans tous les îlots. La bordure nord du Bd M. Joffre est la zone qui semble profiter le plus des aménagements envisagés.

# Carte 18 - Evaluation de la vulnérabilité au bâtiment - situation actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -

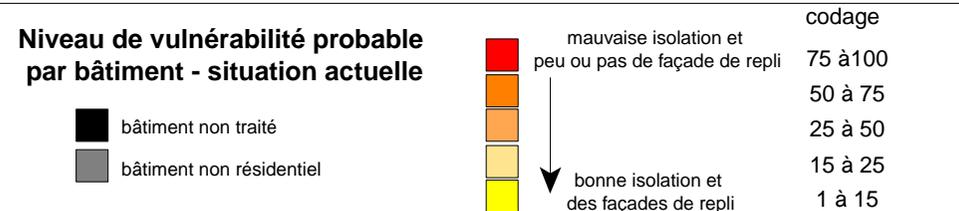
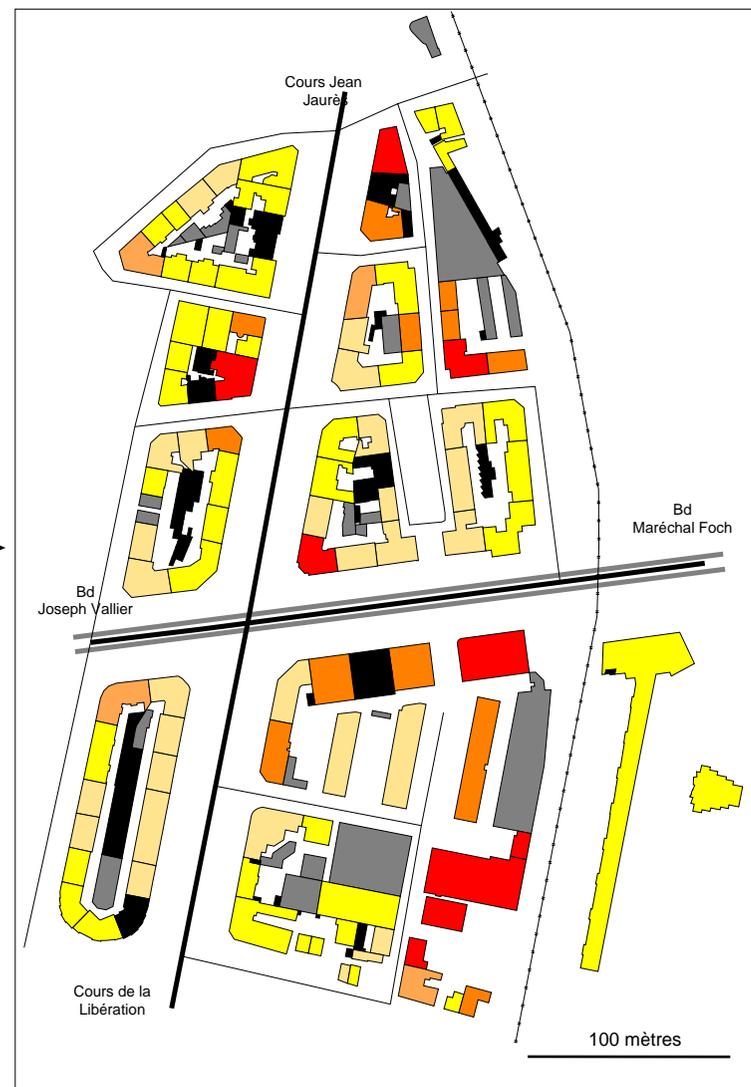
## Critères de vulnérabilité probable des bâtiments



typologie d'isolation X typologie de répartition de l'exposition



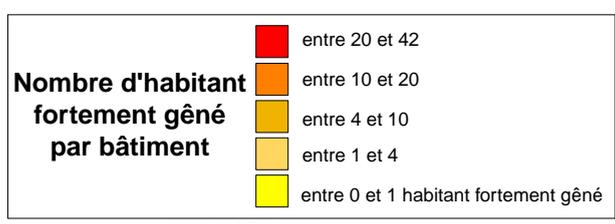
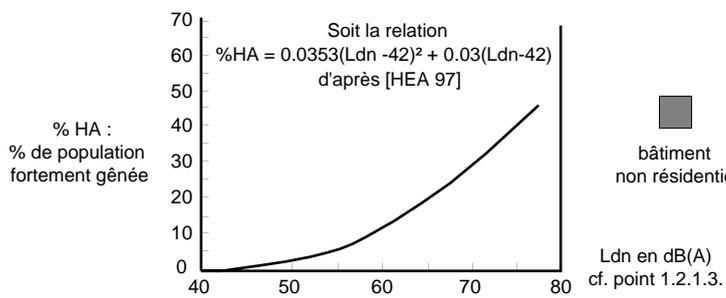
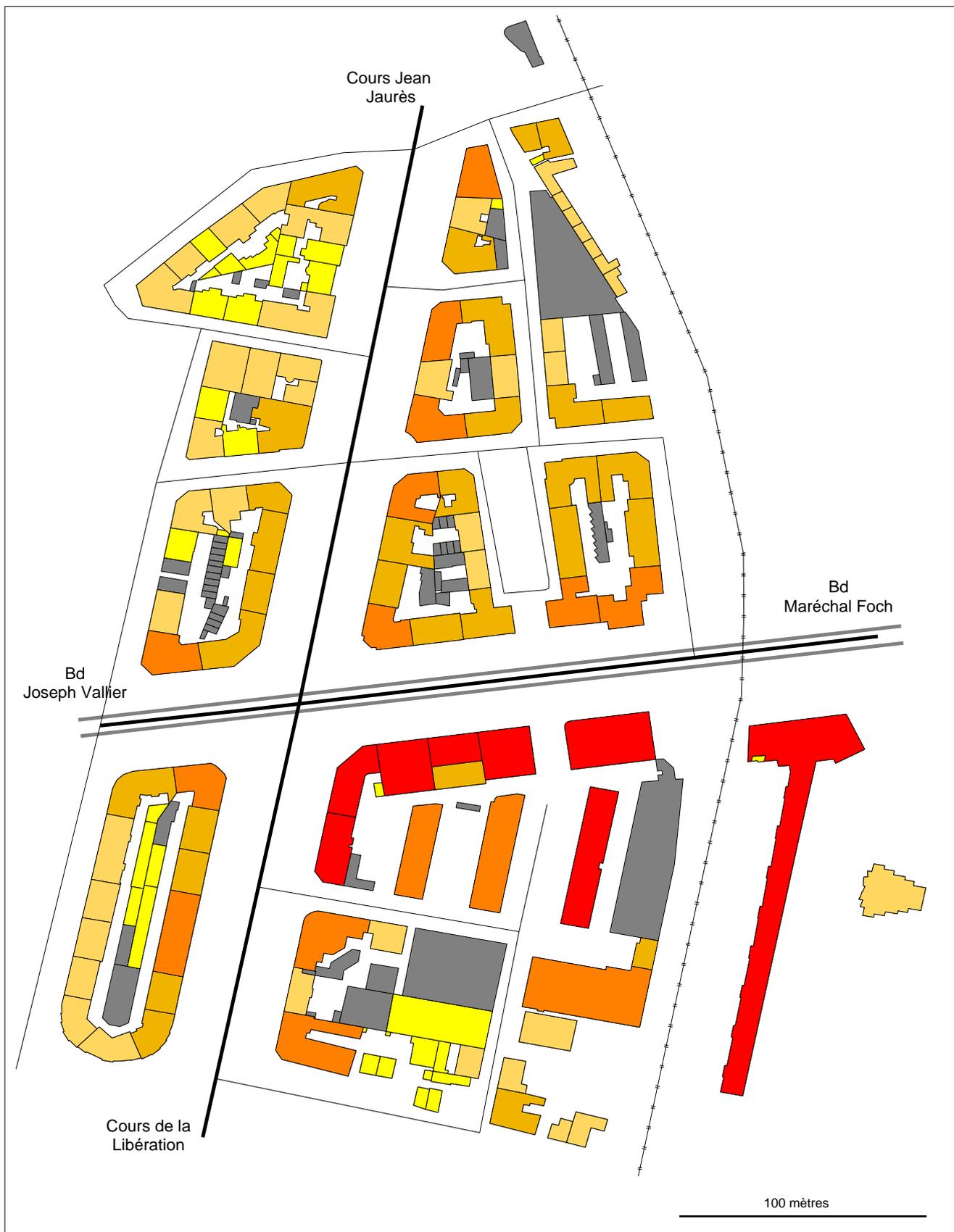
## Vulnérabilité probable des bâtiments





# Carte 19 - Application d'une relation "dose effet" pour l'évaluation de la population fortement gênée

- situation de jour actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



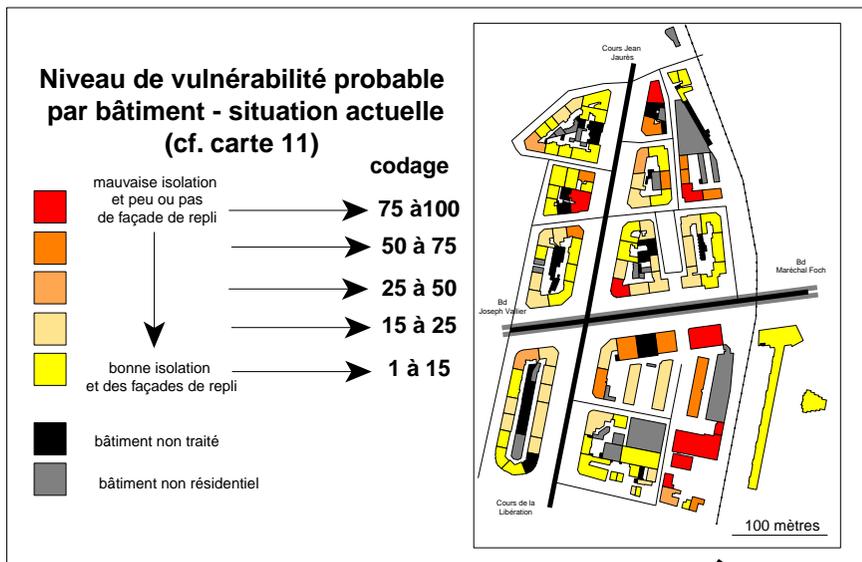
sources : RGP INSEE 1999 -  
 Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble  
 Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



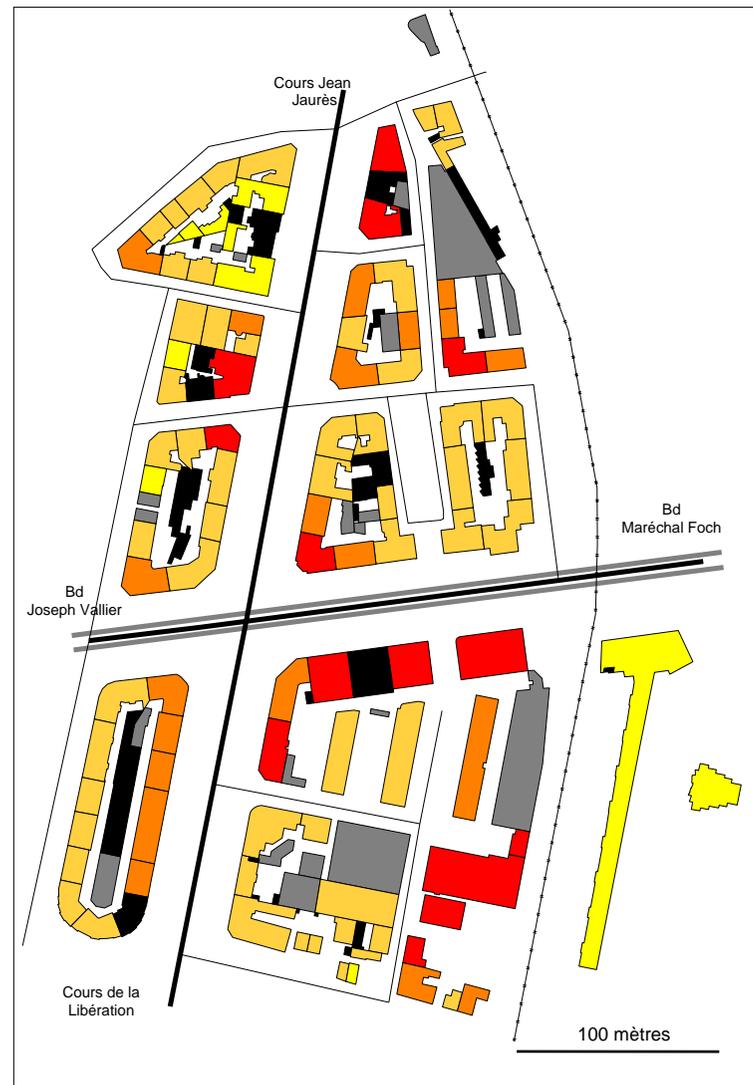
# Carte 20 - Evaluation de la nuisance sonore au bâtiment - situation actuelle

## - zone d'étude de Grenoble Estacade -

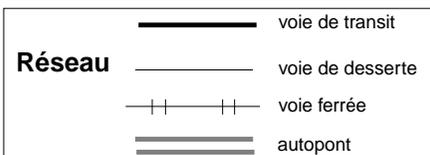
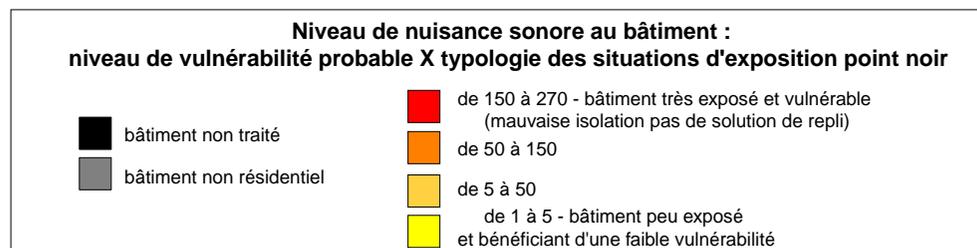
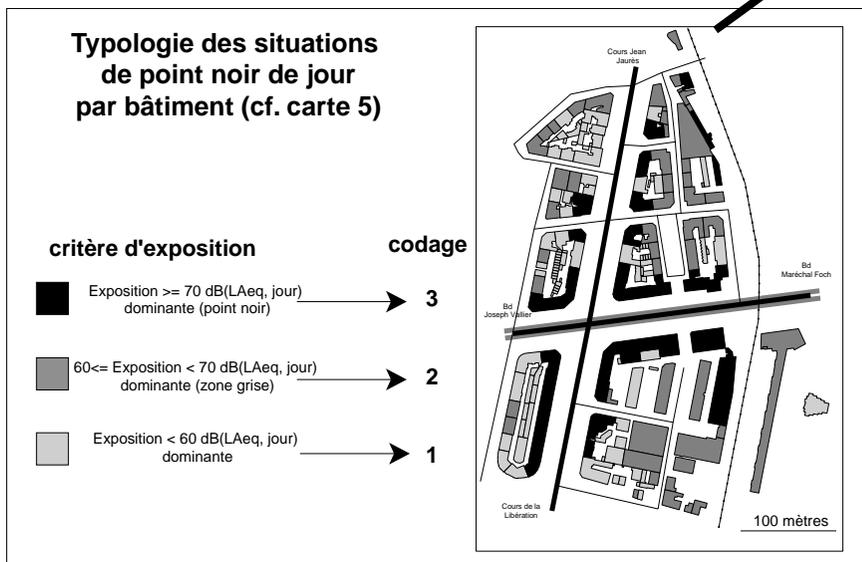
### Critères de vulnérabilité probable des bâtiments



### Nuisance sonore probable au bâtiment



vulnérabilité probable X typologie des points noirs



sources : Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000

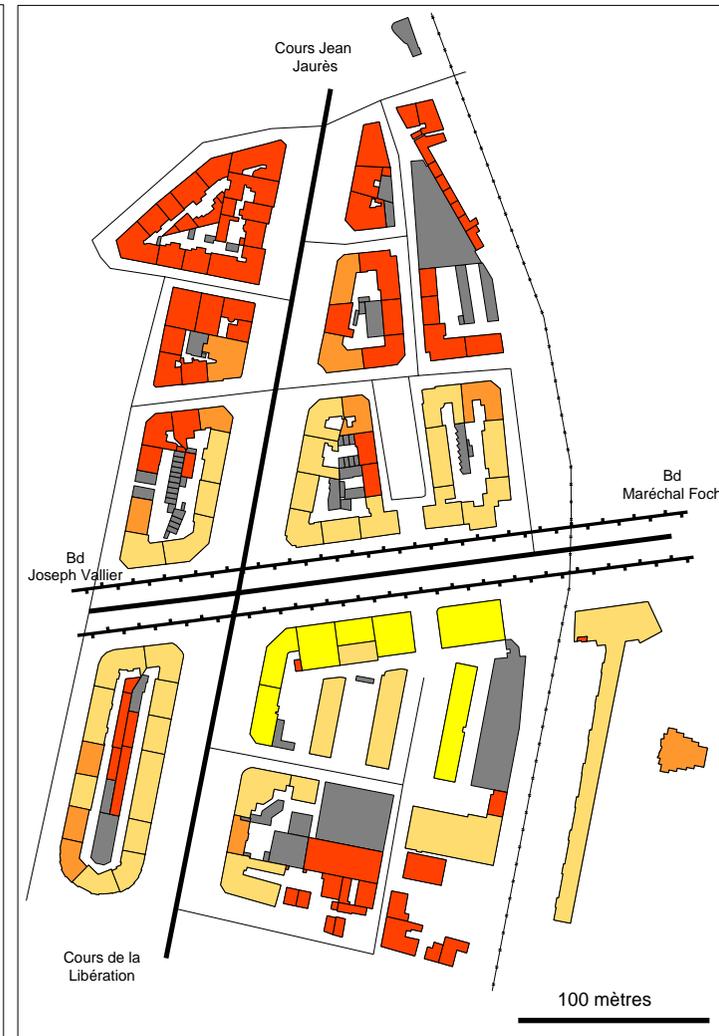
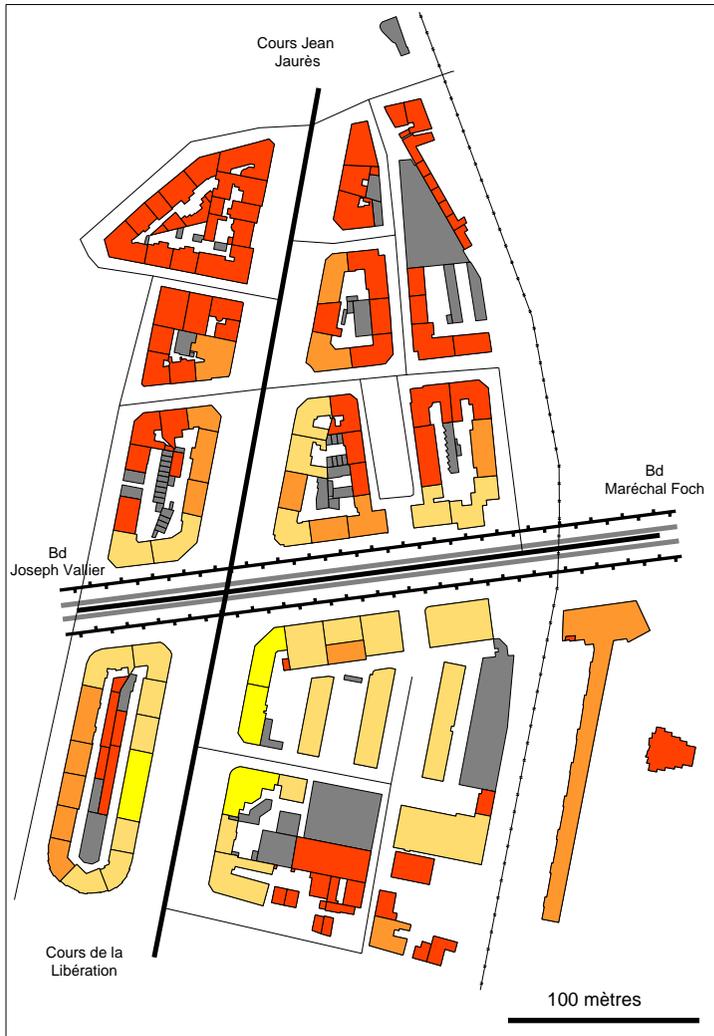


# Carte 21 - Comparaison des estimations de population fortement gênée entre la situation actuelle et les différents projets d'aménagement - zone d'étude de Grenoble - Estacade -

Projet 1 - situation sonore actuelle

Projet 2 - situation sonore actuelle

Projet 3 - situation sonore actuelle



**Réseau**

	voie de transit
	voie de desserte
	voie ferrée
	voie de tramway
	autopont
	bâtiment non résidentiel

**Evolution probable de la population fortement gênée au bâtiment**  
D'après la relation exposition/gêne présentée dans la carte 12

- 0.5 à 0 habitant fortement gêné
- 1 à -0.5 habitant fortement gêné
- 5 à -1 habitants fortement gênés
- 12 à - 5 habitants fortement gênés

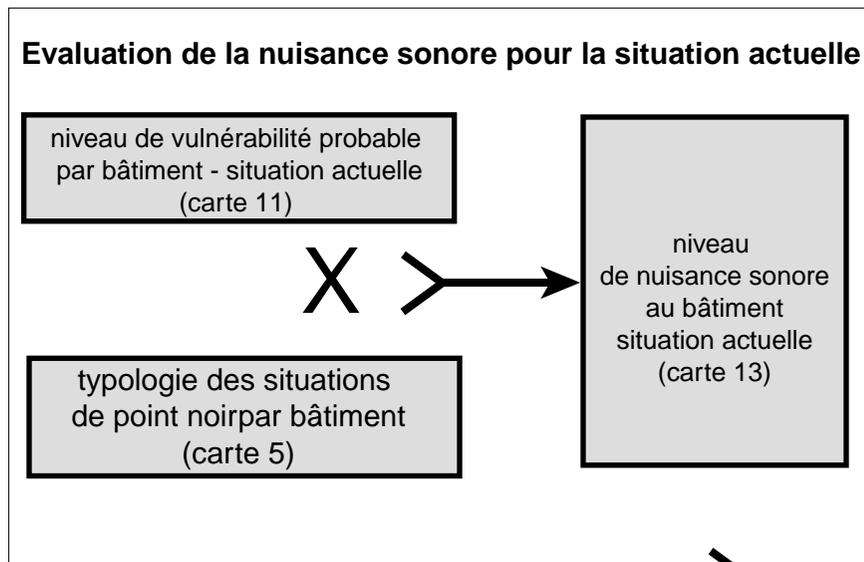
**Evolution de la population totale fortement gênée**

- perte de **102** habitants fortement gênés avec le **projet 1**
- perte de **234** avec le **projet 2**
- perte de **147** avec le **projet 3**

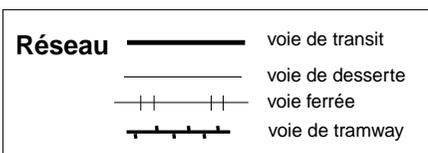
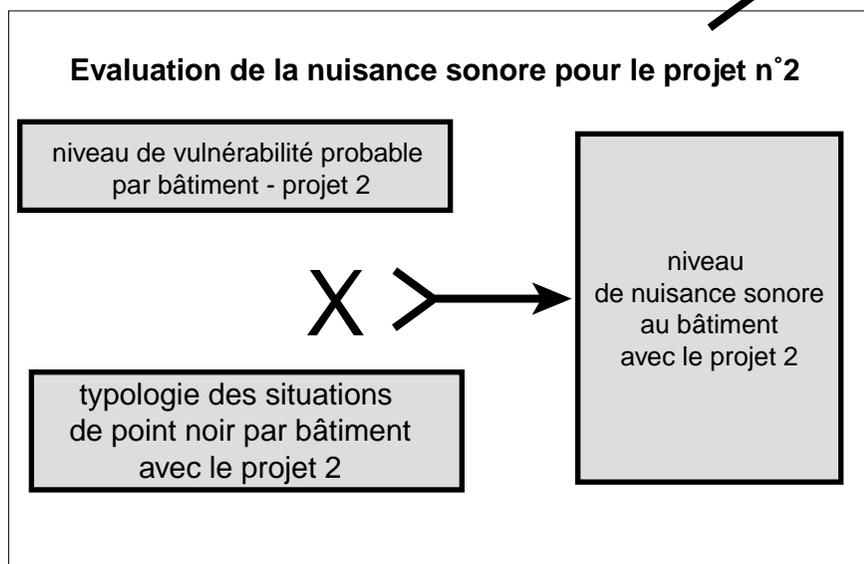
source : Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble  
Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



# Carte 22 - Comparaison des situations de nuisance sonore - entre la situation actuelle et le projet 2 - zone d'étude de Grenoble Estacade -



## Nuisance du projet 2 - nuisance actuelle



## Evolution probable de la nuisance sonore



### Evolution probable de la nuisance sonore au bâtiment : nuisance sonore probable avec le projet 2 - nuisance sonore de la situation actuelle





### 3.1.6 Limites et perspectives de ces approches en milieu urbain dense

En matière d'échelle d'analyse il est bien sûr possible de traiter des impacts du bruit au niveau d'un récepteur, d'un étage de bâtiment ou encore d'une façade. Ces échelles de diagnostic permettront de mieux gérer localement les situations d'exposition dangereuse. Ce n'est pas le propos de notre travail. Dans l'optique de l'acoustique environnementale, les indicateurs produits doivent permettre de juger les impacts des décisions d'aménagement à l'échelle d'une population. Une fois que les situations critiques sont identifiées, d'autres diagnostics à grandes échelles doivent prendre le relais.

Les traitements proposés dans ce point tendent ainsi à montrer combien notre approche de la situation sonore est macroscopique. Pour des modifications d'infrastructure, comme celles que nous avons simulées ici, l'évaluation des expositions sonores en  $L(A_{eq}, t)$  gomme inévitablement certaines modifications de l'environnement sonore. Ce débat concerne en premier lieu les spécialistes de l'acoustique. L'approche spatiale permet tout de même d'illustrer quelques uns de ces phénomènes. L'analyse de la répartition par bande de fréquence de l'exposition sonore<sup>82</sup> amène ainsi à quelques réflexions. Dans la carte 23, on a identifié la bande de fréquence dominant l'exposition pour chaque récepteur. La bande de 125 Hz est largement majoritaire pour l'ensemble de la zone. Seuls quelques bâtiments semblent soumis à un bruit de nature différente. Dans la situation actuelle de jour, le voisinage de la voie ferrée génère une domination de la bande des 500 Hz. L'aménagement du tramway dans le projet n°2 ne semble pas entraîner de modification importante de cette répartition du bruit par bande de fréquence. Seul l'effet de la voie ferrée semble s'étendre, comme si il était auparavant couvert ou masqué par le bruit routier.

La contribution énergétique de chaque source de bruit au niveau du récepteur est aussi une information encore peu valorisée en sortie du logiciel Mithra. Nous avons réalisé quelques tests afin de localiser les secteurs d'exposition au bruit, selon la source qui contribue le plus à l'exposition de chacun. Le résultat des comparaisons en dynamique réalisé par J. Jouannet est assez décevant. Le tramway n'émerge pas clairement du bruit routier qui va pourtant diminuer [JOU 00]. A titre d'exemple, nous présentons ici la situation actuelle de jour et de nuit (cf. carte 24). On peut voir que le bruit reçu par de nombreux bâtiments change radicalement d'origine entre le jour et la nuit. Le train et les sources secondaires contribuent beaucoup plus à l'exposition sonore de la zone durant la nuit. Inversement, les grands boulevards voient leur influence se réduire à leur voisinage direct. On peut supposer que de telles modifications de l'origine du bruit dominant ont une influence sur le niveau de gêne subjective de la population. De même, cette situation complique d'autant le choix de la source de bruit à combattre en priorité.

En matière d'évaluation des vulnérabilités du territoire au bruit nous avons rencontré d'importants problèmes d'accès aux données. Une enquête aurait sans aucun doute fournit des informations précieuses, mais les coûts d'une telle opération ne sont pas faciles à justifier dans un contexte opérationnel. Nous avons donc choisi de nous limiter aux seules données accessibles par observation. En matière de scénarios, la production de données de vulnérabilité potentielle constitue un point faible de nos traitements.

A l'avenir on a vu dans le point 2.3.2.1. que des sources de données nouvelles vont pouvoir être exploitées. Dans la zone de l'estacade, des bases de données seront bientôt produites à

---

<sup>82</sup> Information produite par Mithra mais non valorisée en sortie de calcul

l'occasion d'une opération programmée d'amélioration de l'habitat. Une enquête doit ainsi avoir lieu pour faire état des conditions de résidence de la population dans la zone. Ce type de données pourrait améliorer grandement nos diagnostics de vulnérabilité du territoire au bruit. Des données issues du géomarketing pourraient, quant à elles, donner des indications sur le profil démographique des populations soumises au bruit. D'autres approches basées sur l'observation sont encore à explorer. La thermographie qui permet de produire une évaluation des émissions d'énergie à l'échelle d'un bâtiment, pourrait fournir une évaluation des niveaux d'isolation différenciés des bâtiments.

L'étude de la morphologie du tissu urbain peut être un moyen d'évaluer l'adaptation des bâtiments à leur contexte sonore. On a vu que la baisse généralisée des trafics ne va pas régler à elle seule le problème des impacts du bruit. Les formes du tissu urbain doivent donc participer à la protection des habitants. A l'avenir, il est important de ne pas reproduire les organisations de bâtiments le plus perméable au bruit. Dans cette optique, nous avons réalisé une simulation acoustique dans laquelle l'ensemble des sources de bruit de la zone d'étude produisent strictement les mêmes émissions sonores. Ensuite, le minimum et le maximum d'exposition auxquels est soumis chaque bâtiment est comparé, afin de calculer la perméabilité théorique des différentes organisations morphologiques d'îlots. La typologie de la perméabilité ainsi produite, est confrontée à la situation d'exposition réelle, afin d'identifier les bâtiments dans les îlots dont la morphologie n'est pas adaptée au contexte d'exposition sonore. La carte 25 présente ce traitement.

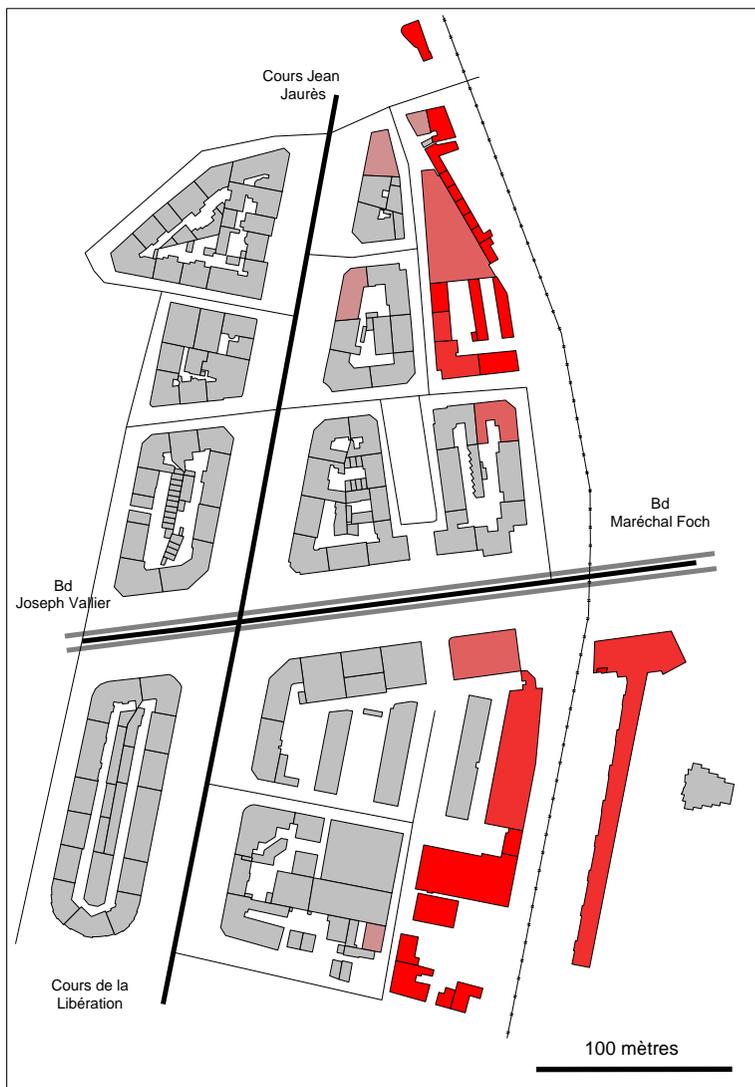
A nouveau l'îlot du sud est de la zone d'étude semble le moins favorisé vis à vis du bruit. Les petites résidences situées en bordure de la voie ferrée au nord est de notre zone d'étude, sont dans la situation la plus défavorable. Pour chacun de ces bâtiments, la seule façade ouverte donne directement sur la voie ferrée sans aucune protection acoustique.

Dans le cadre du projet SIGAUR, nous avons présenté quelques uns de ces résultats devant des professionnels du domaine. Les réactions recueillies sont toutes très réservées quant aux possibilités de transposer ces approches de diagnostic dans un véritable processus de décision. Le problème essentiel réside surtout dans l'échelle spatiale d'analyse qui semble inaccessible aux yeux des professionnels. En ce sens, le temps nécessaire à l'élaboration de la base de données semble un frein important. Pour justifier une telle dépense, il devient urgent de construire des bases de données plus polyvalentes qui seront exploitées par plusieurs corps de métier, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer d'importantes manipulations d'échelle et de sémantique.

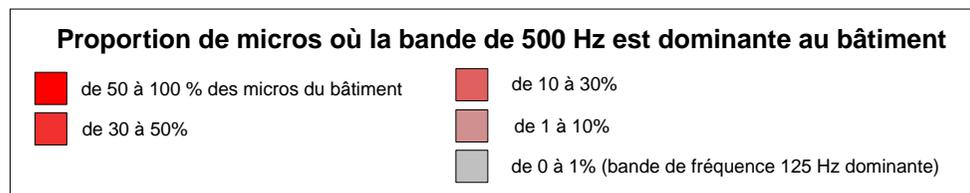
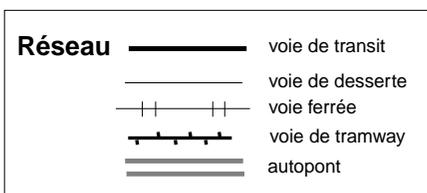
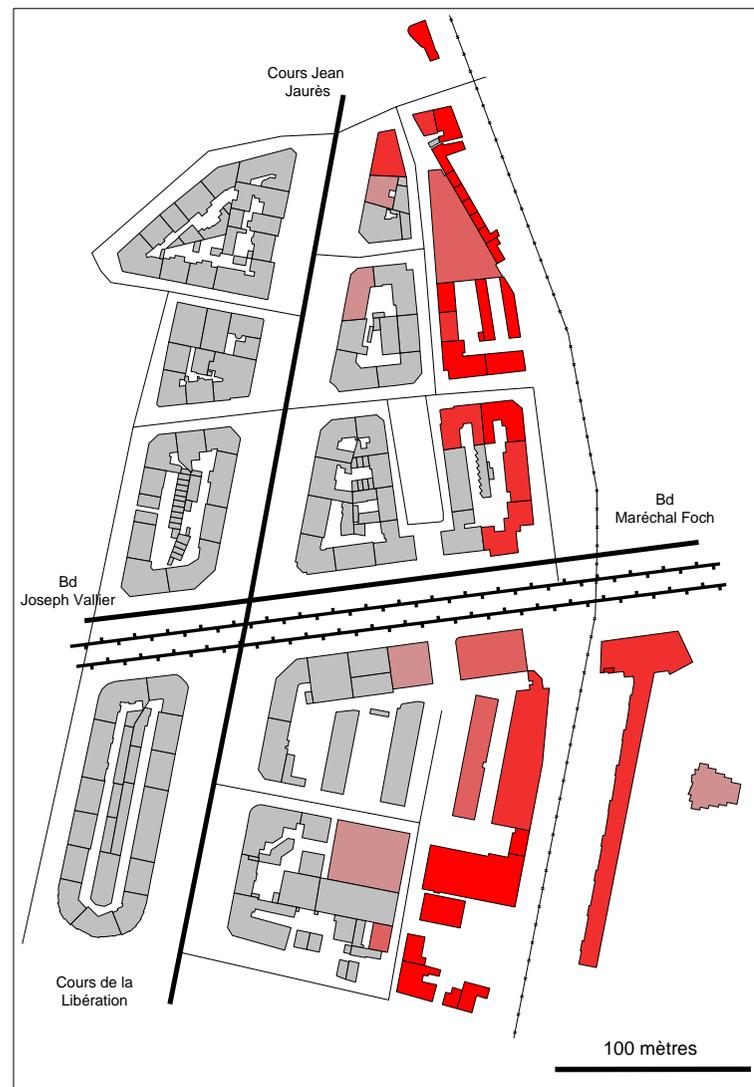
La portée opérationnelle de nos évaluations d'impact reste donc très relative. Par ailleurs, comme les détails des options d'aménagement simulées dans cette maquette (cf. carte 10) ont largement évolué depuis le début de la réflexion. Les diagnostics produits ci dessus n'ont donc plus grand chose à voir avec les réalités du projet. On touche là à des problèmes qui concerne plus les pratiques courantes actuellement en vigueur dans les processus de décision. Pour que la fourniture de diagnostics d'impacts éventuels contribue à l'amélioration du processus de décision, une évolution des arbitrages stratégiques, très en amont de la décision, est sans doute nécessaire. L'objectif n'est certainement pas de rationaliser à outrance le processus de décision mais seulement de lui donner la même lisibilité aux yeux de tous les acteurs du projet. Ce chantier est important car dans tous les domaines d'évaluation d'impacts, des méthodes quantitatives équivalentes à celle développée ici, sont disponibles. Le problème réside donc essentiellement dans la compilation harmonieuse de cette masse d'information pour orienter la décision.

# Carte 23 - Domination de la bande de fréquence 500 Hz par bâtiment pour la situation actuelle et le projet 2 - zone d'étude de Grenoble - Estacade -

Situation sonore actuelle de jour



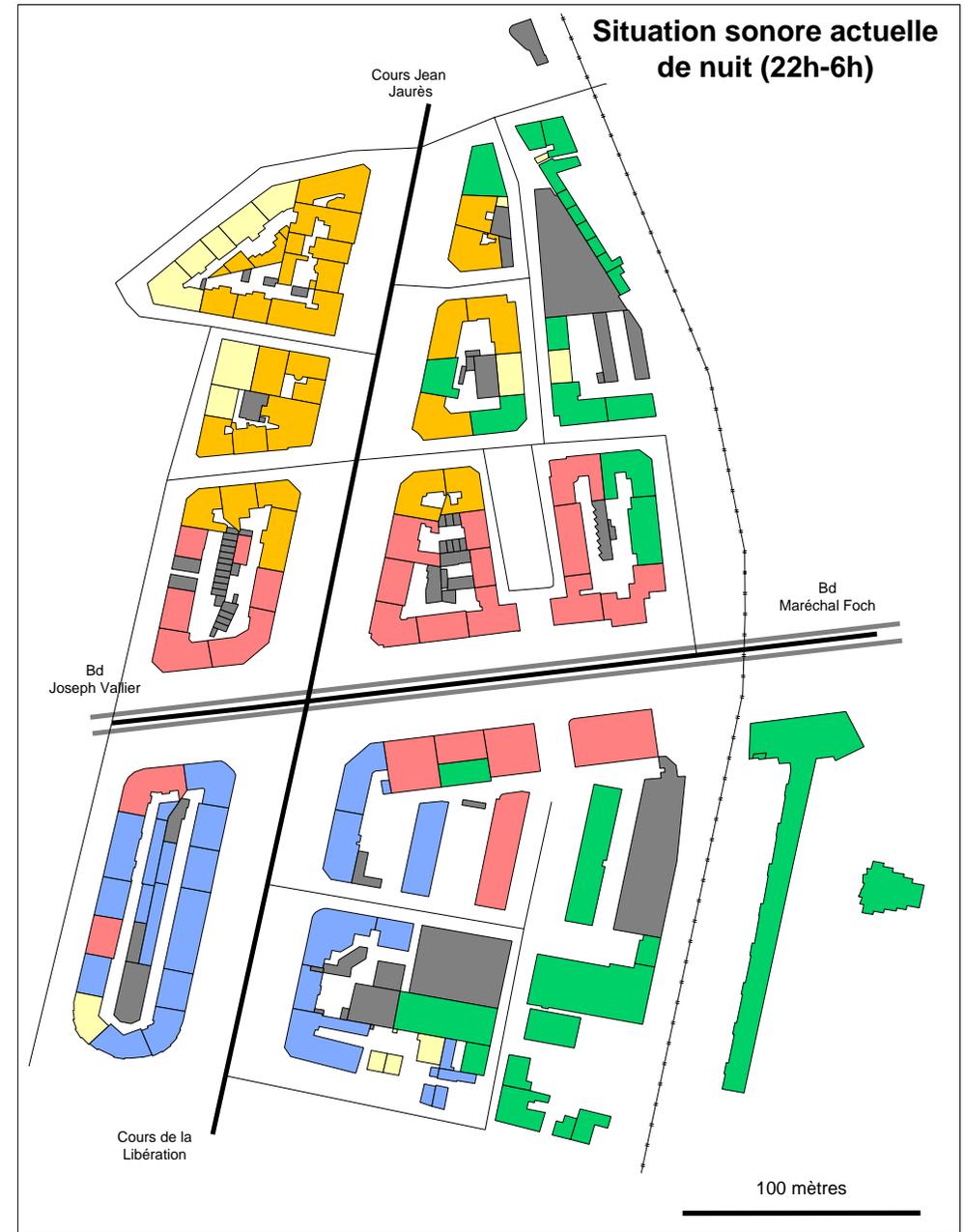
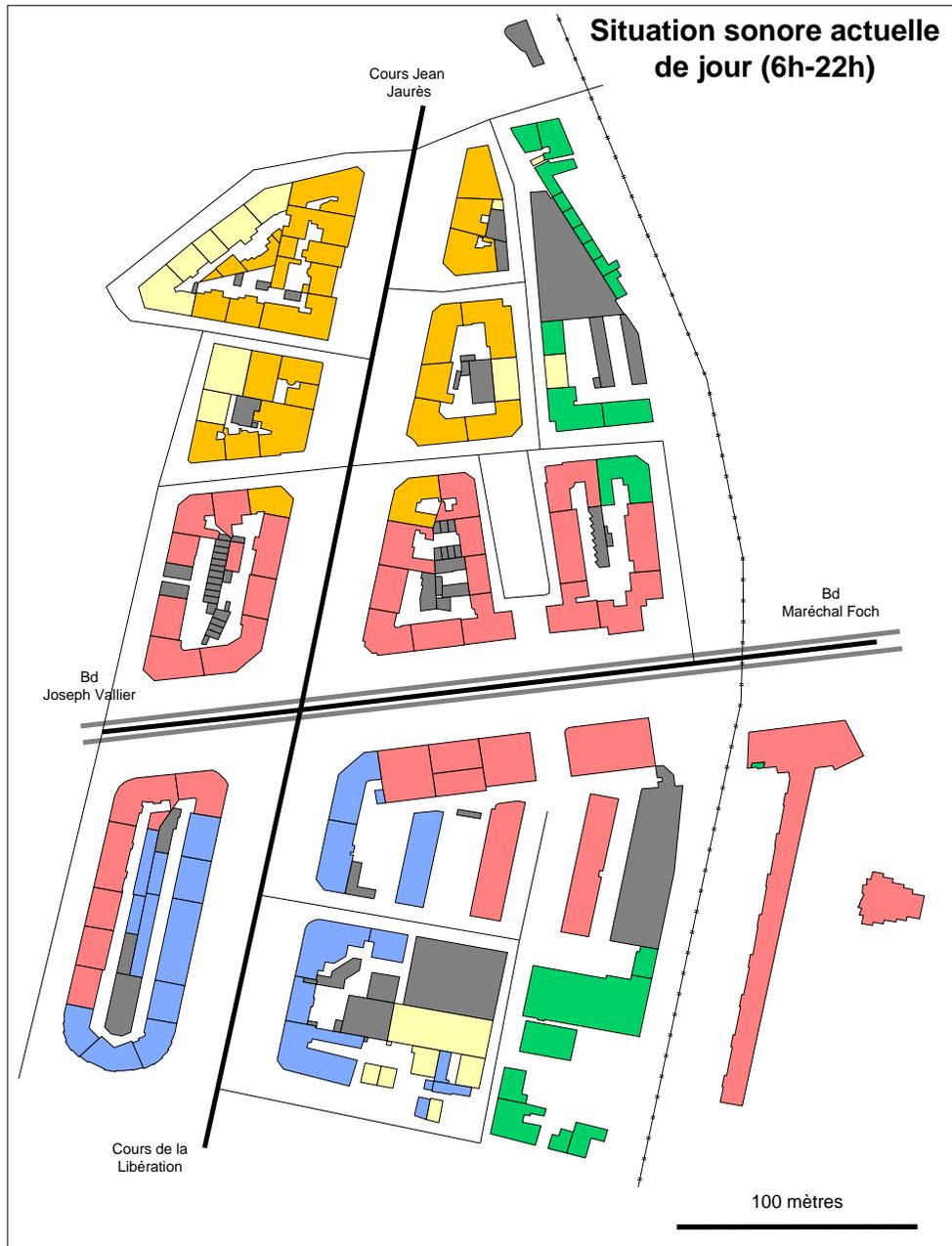
Situation sonore simulée du projet 2 de jour



sources : Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble  
Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



# Carte 24 - Identification de la source dominante par bâtiment - zone d'étude de Grenoble - Estacade -



Réseau	
	voie de transit
	voie de desserte
	voie ferrée
	autopont

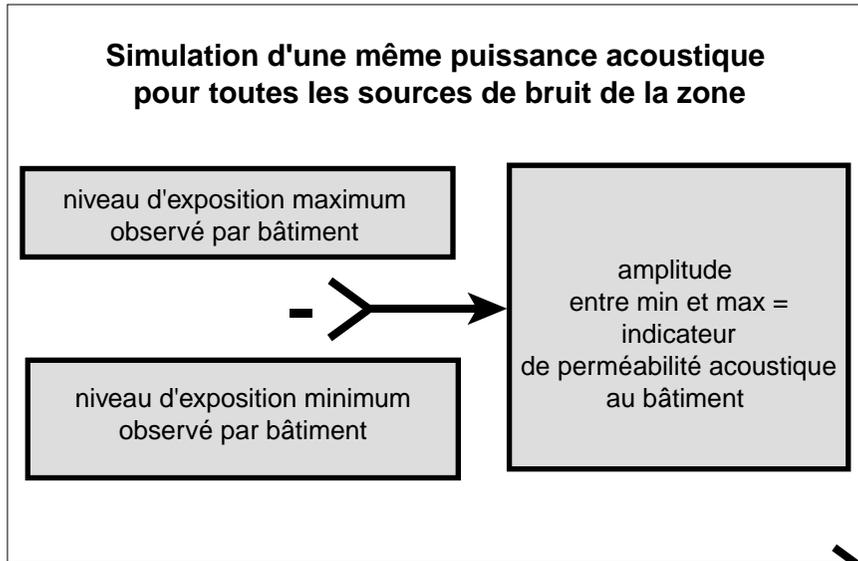
Source sonore dominante par bâtiment			
	Bd J. Vallier et M. Foch		Voies ferrées
	Cours de la Libération		Autres voies
	Cours J. Jaurès		bâtiment non résidentiel

**sources :** Mission de la prospective urbaine - ville de Grenoble  
Jonathan Jouannet - Erwan Quesseveur  
- Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000 -

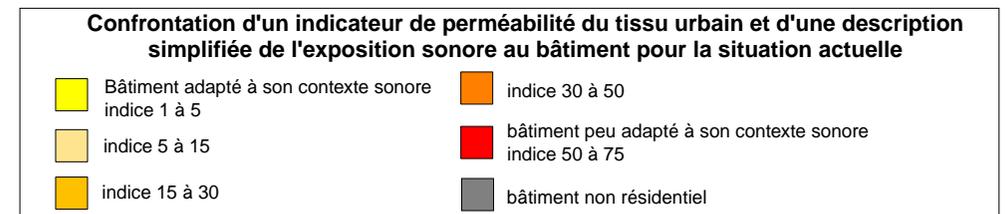
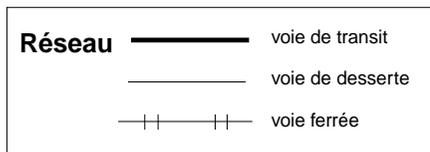
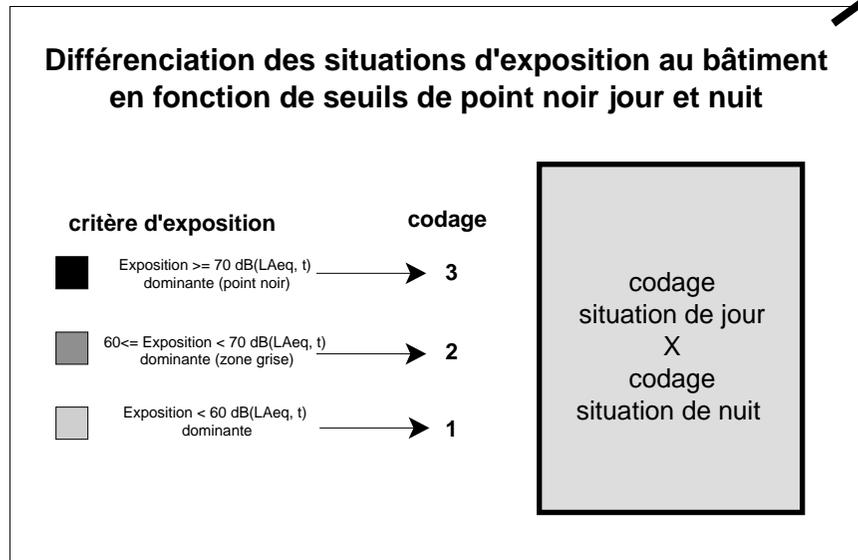


# Carte 25 - Adaptation du tissu urbain au contexte d'exposition sonore actuel - zone d'étude de Grenoble Estacade -

## Adaptation du bâtiment à son contexte sonore



### Typologie des points noirs (jour nuit) X Typologie de perméabilité





## **3.2. Exemples de traitements en zone périurbaine : Montmélian**

### **3.2.1 Justification de l'échelle de traitement**

#### *3.2.1.1. Le développement des territoires périurbains*

Le phénomène de périurbanisation est apparu en France à la fin des années 60. L'accroissement de la mobilité des populations urbaines et les nouvelles aspirations à la propriété foncière individuelle en sont les moteurs principaux. Les zones périurbaines se situent au delà de la périphérie de la ville et de sa banlieue, aux franges de l'espace urbanisé et au delà des zones couvertes par les règlements d'urbanisme [VIG 95]. Pendant les trente premières années de leur développement, ces zones ont subies une très forte croissance démographique qui est essentiellement liée à l'arrivée d'une population de jeunes actifs travaillant dans les aires urbaines. Aujourd'hui cette croissance se ralentit mais l'extension spatiale de l'occupation résidentielle tend à se poursuivre [INSEE 00].

Tout d'abord espace « naturel » largement marqué par l'agriculture, les territoires périurbains se sont transformés peu à peu en zone de résidence pour des populations urbaines à la recherche de « campagne ». On y distingue trois formes générales d'urbanisation :

- le nouveau village, ou grand lotissement, constitué de plusieurs centaines de maisons individuelles ; ces nouveaux villages, en vogue dans les années 70, ont tendance à se raréfier ;
- la densification des lotissements existants ;
- le mitage, expression classique de la périurbanisation et grand consommateur d'espace, mais qui a tendance à reculer avec l'application du règlement national d'urbanisme (RNU) et la publication des plans d'occupation des sols (POS) communaux.

Les implantations industrielles sont de même attirées par les grandes surfaces de terrain libres et bon marché.

Les territoires périurbains sont nés avec le développement des infrastructures de transport qui ont désenclavé le monde rural. Aujourd'hui encore, ce sont des zones privilégiées pour l'aménagement de voies nouvelles à grand gabarit (rocade de contournement, ligne ferroviaire, ...)

L'avenir des territoires périurbains verra sans doute quelques réajustements de l'occupation du sol. La configuration plus souple des journées de travail pourrait par exemple entraîner une augmentation de la mobilité des populations pour leur travail et leurs loisirs. L'accessibilité aux grands réseaux de transport pourrait ainsi devenir moins prioritaire dans le choix du lieu de résidence.

#### *3.2.1.2. Les enjeux actuels du bruit dans les territoires périurbains*

Ces territoires se développent du fait de la présence d'infrastructures de transport qui les désenclavent. A l'inverse, ces aménagements sont générateurs de grandes différenciations

spatiales. Une voie ferrée ou une autoroute entraîne nécessairement des effets de coupure dans les espaces traversés qui sont mal desservis par les échangeurs ou les gares [VIG 95]. La proximité d'une route à fort débit est quant à elle, un facteur d'insécurité pour les populations alentours. L'ensemble des risques de pollution (atmosphérique, acoustique, pollution des eaux) aggrave encore ces différenciations.

La population des territoires périurbains est caractérisée par un taux d'activité élevé. De nombreuses migrations quotidiennes vers les lieux de travail sont donc observées [PAC 98]. Le choix du lieu de résidence de ces populations résulte donc d'un compromis complexe entre une bonne accessibilité à la ville et un cadre de vie agréable (densité de population acceptable, paysage préservé, ...). En matière d'environnement sonore, le problème ne peut donc être réduit à celui de la distance aux sources.

La zone périurbaine assure le lien entre la ville et la campagne. En ce sens, elle doit assurer la séparation entre ces deux mondes sonore afin de préserver des espaces de silence relatif qui seront dédiés au repos. On cherche ainsi à éviter une propagation continue du bruit dans un territoire devenu monotone.

### ***3.2.1.3. Application de notre cadre de traitement au territoire périurbain***

L'étude spatiale des impacts du bruit en zone périurbaine est effectuée à petite échelle spatiale, tout en restant dans les limites de l'usage de Mithra. Une équipe du CETE de Lyon a déjà travaillé dans ce sens en interfaçant une image Spot avec une carte de bruit Mithra (cf. point 1.2.4.2.)[CET 95]. L'information exploitée est peu précise mais théoriquement exhaustive et homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. L'intérêt est ici de pouvoir traiter des zones d'étude de grande dimension. Nous utilisons un modèle de représentation spatiale raster. Ce dernier facilite grandement les confrontations spatiales entre les paramètres d'exposition et de vulnérabilité au bruit. Une telle échelle de diagnostic peut s'intégrer aux procédures préalables des études d'impact, pour fournir une première évaluation ne nécessitant pas de base de données trop complexe à mettre en œuvre. Dans notre cas, les diagnostics de vulnérabilité sont réalisés par interprétation de photographies aériennes.

Nous avons choisi de travailler sur les dynamiques longues. Les échelles temporelles utilisées traitent des mutations supposées au cours de décennies entières. Dans une approche rétrospective, nous avons tenté de reconstituer la situation sonore de la zone d'étude il y a 50 ans, afin d'établir un bilan chronologique des territoires affectés par le bruit. En prospectif, le travail a porté sur la simulation des impacts probables du bruit, selon l'évolution future des expositions sonores et de la vulnérabilité au bruit.

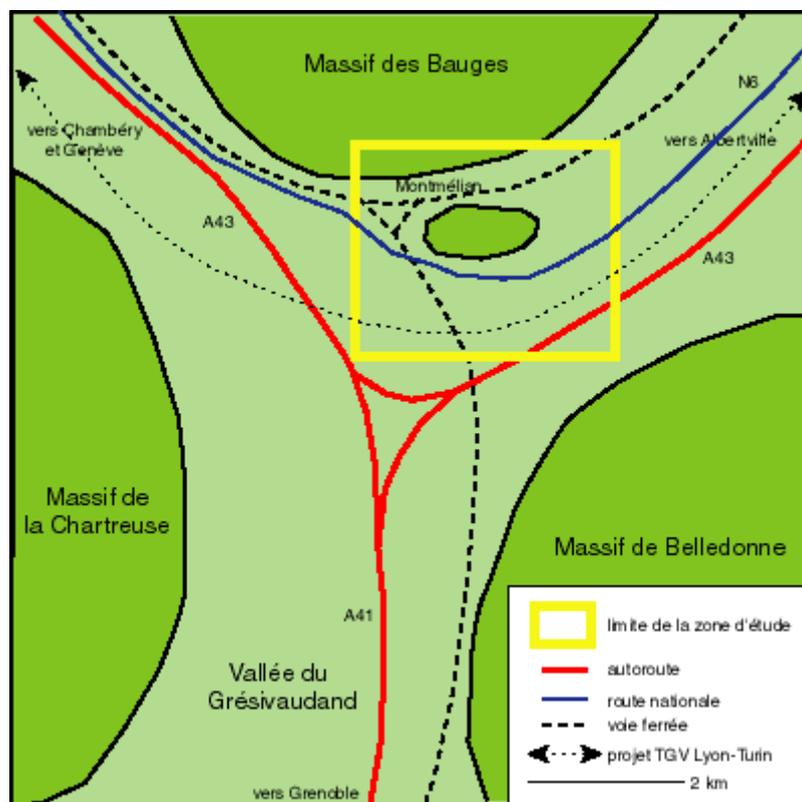
Les objectifs méthodologiques de cette maquette de test en zone périurbaine sont de plusieurs ordres :

- concevoir une base de données localisées, adaptée à l'analyse spatiale des impacts du bruit des transports terrestres en zone périurbaine.
- proposer des modes de quantification des impacts du bruit qui s'adaptent au modèle de donnée spatiale raster
- réaliser un état des lieux des impacts du bruit aujourd'hui, en analysant plus particulièrement la situation des espaces résidentiels.
- reconstituer une situation d'impact sonore passée, afin d'observer l'historique de l'exposition du territoire et ses effets

- proposer des opérateurs spatiaux issus des approches de l'acoustique environnementale pour produire des options de tracé de la future ligne TGV.
- évaluer l'opportunité des différentes options d'aménagement proposées, du point de vue des impacts du bruit sur le territoire.

### 3.2.2 Présentation du site d'étude de Montmélian

La commune de Montmélian est située dans le département de la Savoie, au croisement de la Combe de Savoie, de la vallée du Grésivaudan et de la cluse de Chambéry. Ce site exigu est un lieu de passage important à l'intérieur des Alpes.



Carte 26 - Vue générale de la zone d'étude de Montmélian

#### 3.2.2.1. Configuration générale

Le site d'étude choisi pour cette maquette de traitement en zone périurbaine se trouve à la connexion de trois vallées importantes pour la circulation dans les Alpes : le Grésivaudan au sud, la Combe de Savoie à l'ouest et la vallée qui mène à Albertville à l'est. Le versant sud du massif des Bauges, que l'on distingue en arrière plan de la photographie n°2, borde notre zone d'étude par le nord. Ses pentes très abruptes ont entraîné une forte concentration d'infrastructures de transport dans le fond de la vallée. Deux autoroutes y ont vu le jour au cours des vingt dernières années. L'A41-43 relie Chambéry à Grenoble, elle fut mise en

service en 1979 et longe notre zone d'étude par l'Ouest. L'A43 passe en partie dans le secteur d'étude. Elle fut inaugurée en 1991 dans le cadre des investissements liés aux jeux olympiques d'Albertville de 1992. Elle dessert les vallées de la Maurienne et de la Tarentaise. La route nationale 6, qui passe à proximité du centre de la commune de Montmélian, est également une voie à grand débit.

Montmélian constitue par ailleurs un nœud ferroviaire important. Avec les axes Chambéry-Grenoble et Albertville-Chambéry, ce sont près de 220 trains qui traversent quotidiennement la gare de Montmélian qui se trouve à la convergence des trois lignes.

De 1500 habitants environ au début des années 1960, la population de Montmélian est passée à 3585 habitants en 1975 puis 4016 en 1982 et 3926 lors du recensement de 1999. La population de Montmélian semble donc avoir atteint un plafond. Le manque d'espace disponible sur le territoire de la commune, la diminution du nombre de personnes par logement et la préférence affichée pour l'habitat pavillonnaire ont encouragé cette évolution. La carte 27 donne une idée générale de l'évolution des modes d'occupation du sol entre les années 50 et aujourd'hui. On peut constater la croissance importante de l'occupation résidentielle et industrielle dans l'ensemble de la zone d'étude.

La carte 28 propose une vue générale de la zone d'étude de Montmélian dans sa configuration actuelle.



*Photographie 2 - Vue du vieux bourg de Montmélian depuis les abords de l'autoroute A43 au sud est de la zone d'étude - E. Quesseveur - mai 2000.*

Comme pour le quartier de l'estacade à Grenoble, l'approche de classement sonore des voies appliquée à la zone d'étude de Montmélian place une grande partie des parcelles dans le secteur d'impact potentiel. La carte 29 présente ce traitement. Nous y proposons par ailleurs une typologie des occupations du sol selon leur endommagement potentiel au regard de l'exposition sonore. Pour produire cet indicateur, nous avons considéré la sensibilité différenciée d'une population qui a fait le choix de son lieu de résidence, en fonction de la distance à son lieu de travail. Soit une population de « pendulaires » à la recherche d'un cadre de vie plus « naturel ». Dans cette logique, les zones de résidences, les espaces de repos et les

équipements de santé ont un potentiel d'endommagement plus fort que les espaces industriels et commerciaux, vis à vis du bruit (cf. point 2.1.1.3). L'échelle de cet indicateur s'établit comme suit :

Occupation du sol	Niveau d'endommagement potentiel	Remarques
Zone commerciale	1	Sauf pour les hôtels = 7
Friche et prairie	1	Sauf pour les lieux de promenade = 4
Terrain vague	1	
Zone industrielle	1	Ouvert ou fermé
Agriculture	1	
Loisir en intérieur	1	
Loisir extérieur	3	
Vigne	4	Zone fréquentée par les promeneurs
Bois et forêt	De 1 à 5	Selon la fréquentation
Bâtiment publique	5	
Habitat	7	
Santé, scolaire, religieux	8	

Tableau 21 - Typologie de l'endommagement potentiel du territoire par le bruit [GIR 99]

La confrontation spatiale du secteur d'impact<sup>83</sup> et de la typologie des endommagements montre que 70 % des parcelles du territoire à fort endommagement potentiel (supérieur à 6) se trouve à l'intérieur du secteur d'impact. Les conclusions sont donc similaires à celles proposées pour le site d'étude de Grenoble. Malgré une échelle spatiale beaucoup plus petite, le classement sonore des voies ne permet pas de différencier suffisamment les situations d'exposition au bruit.

### 3.2.2.2. Les projets d'aménagement

Le site d'étude que nous avons choisi doit connaître de nouvelles mutations dans les prochaines décennies. Un projet de ligne TGV reliant Lyon à Turin est en effet à l'étude et l'ensemble des options de tracé concernent directement la zone de Montmélian. Dans le cadre du projet SIGAUR, nous avons projeté de s'associer au processus préliminaire d'évaluation des différents fuseaux du tracé. Malheureusement, ce projet qui suppose le percement d'un nouveau tunnel de plus de 50 km sous les Alpes est, aujourd'hui encore, sujet à caution. Dans le cadre de l'avant projet sommaire de la future ligne, un processus d'expertise novateur fut mis en œuvre afin d'évaluer son incidence réelle dans la concertation [CHA 94] [LAM 94] [REV 97]. Pour l'évaluation des impacts du bruit de ce nouvel aménagement, B. Reverdy a relevé un problème de décalage entre les diagnostics de spécialistes et la volonté de concertation avec le public. Nous avons voulu modestement participer à ce débat, en exploitant notre cadre de traitement spatial des impacts du bruit sur ce site d'étude. Aucun tracé n'étant à ce jour clairement défini, notre propos reste donc strictement méthodologique.

Localement, d'autres projets de moindre envergure vont modifier l'usage du sol de notre zone d'étude. Un lotissement pavillonnaire doit être construit face à la gare, au nord de la voie ferrée. Le foyer des personnes âgées va être déplacé du centre ville vers l'hôpital, à proximité de la RN6. De même, l'aménagement d'un nouveau lotissement est prévu dans le sud de la commune. La mairie prévoit ainsi que 10 à 20 logements seront construits chaque année dans l'avenir.

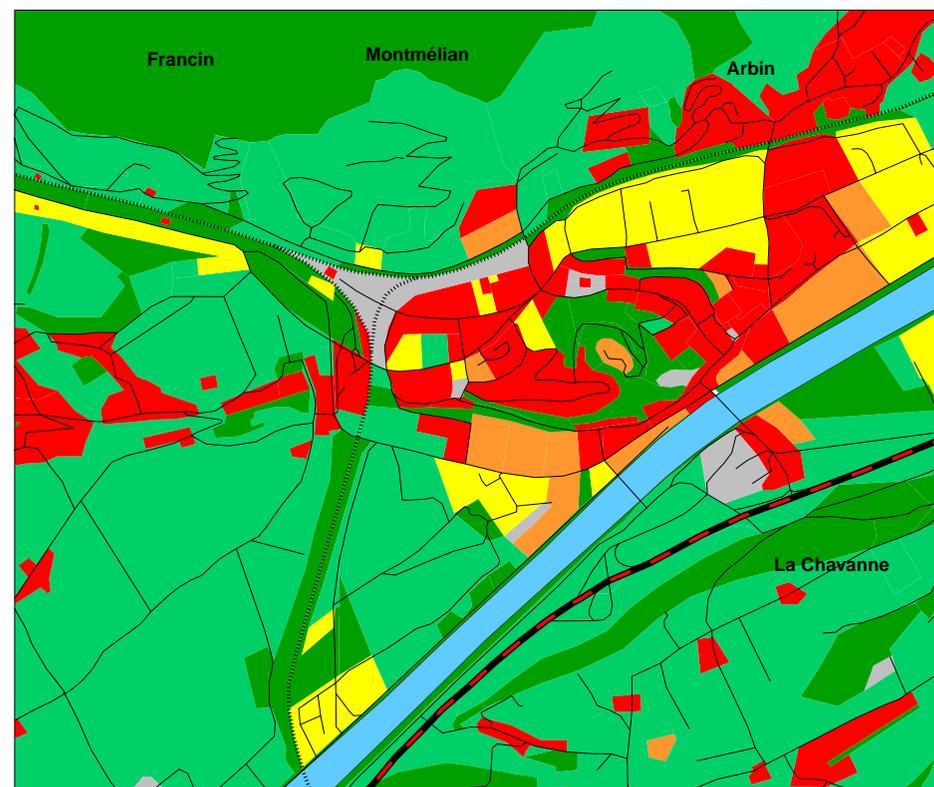
<sup>83</sup> établi avec le classement sonore des voies



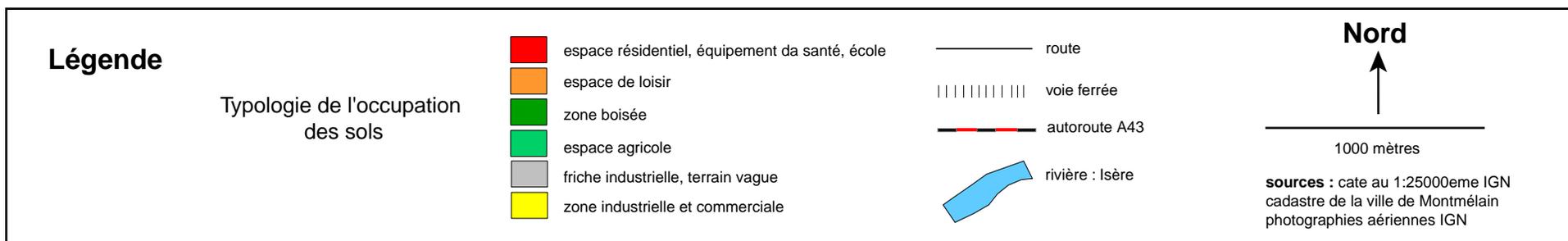
## Carte 27 - Evolution de l'occupation du sol entre les années 1950 et 2000 - site d'étude de Montmélian (Savoie - France)



Situation des années 1950

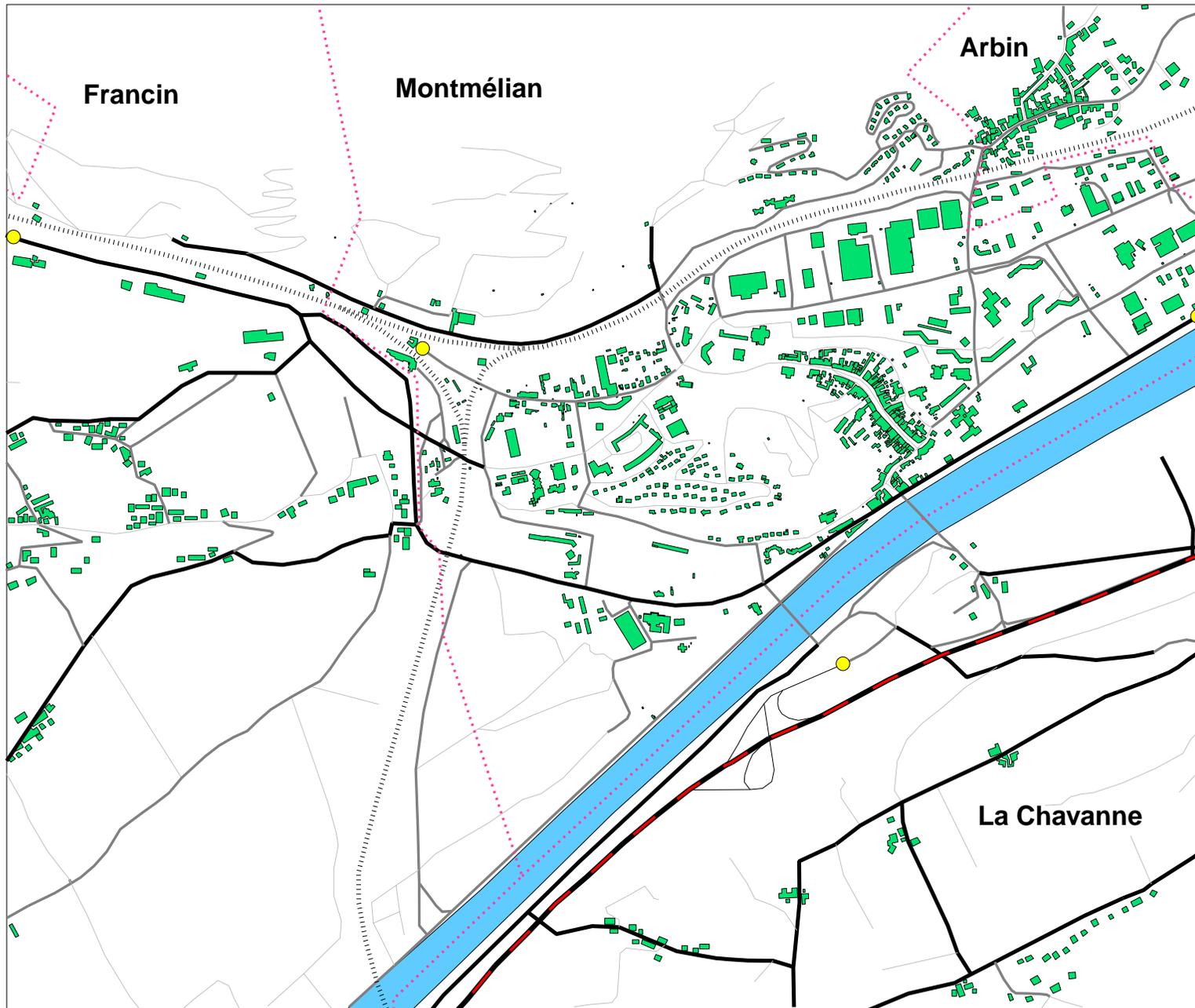


Situation actuelle





# Carte 28 - Configuration des réseaux et du tissu urbain - situation actuelle site d'étude de Montmélian (Savoie - France)



### Légende

**Arbin** nom de commune

bâtiments

rivière : Isère

point de sortie de la zone d'étude pour une population de pendulaire

route - vitesse moyenne  $\geq 70$  km/h

route - vitesse moyenne entre 70 et 50 km/h

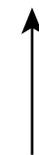
route - vitesse moyenne  $\leq 50$  km/h

voie ferrée

autoroute A43

limite communale

Nord



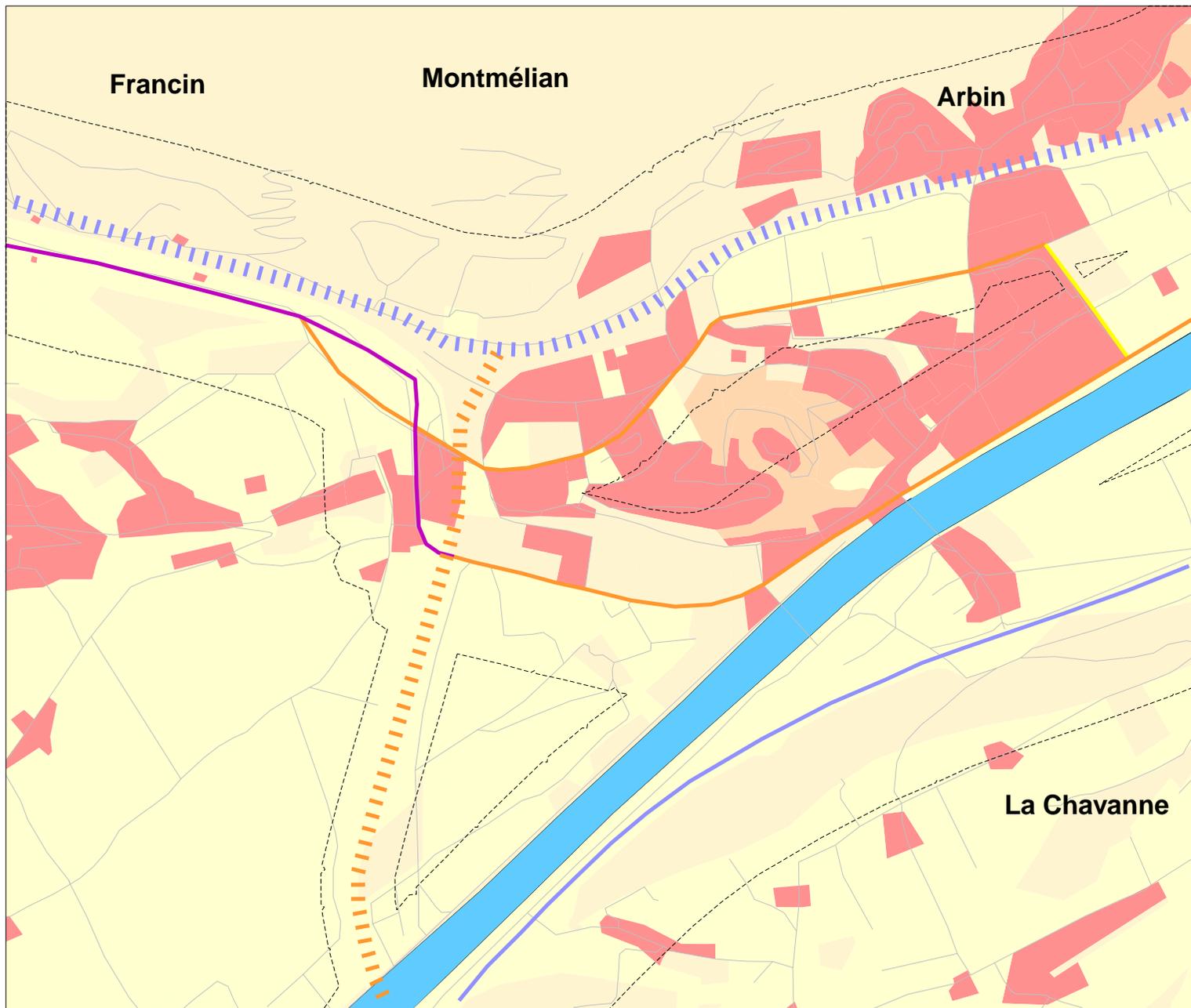
1000 mètres

sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



# Carte 29 - Classement sonore des voies et endommagement potentiel par le bruit - site d'étude de Montmélian (Savoie - France)



### Légende

**Arbin** nom de commune

rivière : Isère

**Classement sonore des voies**

catégorie de l'infrastructure	largeur de la zone de nuisance selon le classement
1	300 m
2	250 m
3	100 m
4	30 m

Tampon

**Réseau**

Train

Autoroutes et grands axes

Réseau routier

**Endommagement potentiel par le bruit en fonction de l'occupation du sol**

	1 à 3 - faible endommagement potentiel
	3 à 6
	6 à 7
	7 à 8 - fort endommagement potentiel

Nord



1000 mètres

sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



## **3.2.3 Production de la maquette de traitement de Montmélian**

### ***3.2.3.1. Bilan des données compilées***

Les agents de la DDE de Savoie nous ont accordé un large accès aux comptages routiers dont ils disposaient : des données de plusieurs dizaines d'années pour la RN6, des estimations pour d'autres voies importantes du réseau, telles que les autoroutes et des données de trafic projetées pour l'année 2015 [BAL 97]. La SNCF a pour sa part fournit les données de trafics ferroviaires de 1995 ainsi qu'une projection pour 2017, selon les options d'aménagement prévus.

Pour la reconstitution de la situation sonore des années 50, nous avons été contraint de travailler en tendance, ce qui n'a sans doute pas beaucoup de valeur quand on connaît l'évolution brutale du parc automobile au cours des années 60. Malheureusement, les données d'archives en matière de trafic sont régulièrement détruites, que ce soit à la SNCF comme à la direction de l'équipement. A terme, l'informatisation des données va sans doute améliorer cette situation, mais il faut commencer par sensibiliser les autorités à l'intérêt des analyses rétrospectives afin de mieux comprendre les effets de nos décisions dans le territoire. Pour produire les données de trafic des années 50, nous avons finalement complété les calculs de trafic en tendance par des enquêtes de terrain auprès des personnes âgées résidant dans la zone d'étude [GIR 99].

Les données géographiques nécessaires à la modélisation de notre terrain d'étude proviennent principalement de trois sources différentes. Les services techniques de la commune de Montmélian nous ont fourni un cadastre au format numérique issue de la digitalisation du document papier au 1:5000eme. A notre connaissance, pour le reste de la zone d'étude, aucun document de cette nature n'est disponible. L'information fut donc complétée par l'interprétation de photos aériennes de l'IGN<sup>84</sup> à différentes dates (1956 - 1997) et des cartes topographiques de l'IGN au 1:25000eme.

### ***3.2.3.2. Mise en place et organisation de la base de données***

Comme dans le cas de la maquette de l'estacade à Grenoble, deux bases de données ont du être constituées, l'une pour produire les cartes de bruit dans Mithra et l'autre pour les confrontations ultérieures dans le SIG. A l'avenir, les derniers développements informatiques réalisés dans le cadre du projet SIGAUR, vont permettre une gestion plus cohérente de l'information (cf. point 2.2.3.).

L'ensemble des trafics de la zone d'étude sont ramenés à des moyennes annuelles sur 24 h.

Pour la commune de Montmélian, les données de relief de la zone sont récupérées par digitalisation sur un cadastre papier. Nous avons épuré ces informations afin de respecter la logique de modélisation de Mithra. Pour les communes alentours, l'information n'étant pas disponible, nous avons utilisé les données de la carte topo au 1:25000eme. Le résultat de ce mélange est donc très discutable. Si les tests de photogrammétrie s'étaient révélés satisfaisants, nous aurions disposé d'une information de qualité homogène pour l'ensemble de la zone d'étude et ce, avec une précision acceptable pour Mithra (cf. point 2.2.1.1.).

---

<sup>84</sup> Institut Géographique National

La description graphique des bâtiments est issue du cadastre numérique pour la commune de Montmélian. Pour les autres communes, nous avons réalisé une saisie à partir des photos aériennes et de la carte topo au 1:25000ème. Les hauteurs de bâtiments ont fait l'objet d'un relevé sur le terrain. Des relevés en photogrammétrie numérique à base de photographies aériennes standards pourraient, là encore fournir de telles informations...

Les données d'occupation du sol sont produites par digitalisation au format vectoriel dans le logiciel Mapinfo. Elles résultent de l'interprétation des photographies aériennes et de vérifications sur le terrain. Elles furent ensuite traduites en mode maillé avec une résolution spatiale de 10 mètres.

### ***3.2.3.3. La production de cartes d'exposition sonore***

Les spécifications des calculs Mithra pour le site d'étude de Montmélian sont les suivantes :

- Environ 17500 micros virtuels disposés de façon homogène à cinq mètres du sol en champ libre. Pour avoir une information dans les zones fortement bâties nous avons par ailleurs réalisé une seconde carte de bruit pour chaque situation avec des micros en champ libre à 20 m en hauteur.
- Caractéristique générale du sol : herbe tassée, surface peu réfléchissante
- Lancement de 72 rayons depuis chaque récepteur, soit un rayon tout les 5° sur 360°.
- 50 intersections de rayons sont admises au maximum, de même que 3 réflexions successives sur des obstacles.
- La distance de propagation maximale d'un rayon est limitée à 3000 mètres. Cette valeur va bien au delà des spécifications conseillées pour l'utilisation courante de Mithra. En ce sens, elle limite grandement la validité de nos résultats mais nous a permis de réaliser des calculs plus nombreux. Pour obtenir des résultats plus justes il est souhaitable de travailler sur la base de mosaïques de calcul, afin de respecter les spécifications de Mithra. Nos objectifs étant avant tout méthodologiques, nous n'avions pas d'obligation stricte en terme de précision des calculs acoustiques.
- Les conditions météorologiques sont considérées comme homogènes car nous ne disposons pas de données suffisamment précises pour tenir compte des effets du relief très marqué au nord de la zone (massif des Bauges).

Les carte de bruit 1950 et 2015 répondent aux même spécifications que les calculs réalisés pour la situation actuelle. Pour la reconstitution de 1950, les données de puissance acoustique des trains et des voitures ne sont pas disponibles. Nous avons donc utilisé par défaut les valeurs les moins favorables. De même pour 2010, il est impossible d'intégrer d'éventuels progrès techniques qui vont sans aucun doute diminuer les niveaux d'émission (voiture électrique, boîte de vitesse automatique, nouveau revêtement de chaussée ...). Notre évaluation des expositions sonores aux différentes dates est donc sans doute assez pessimiste.

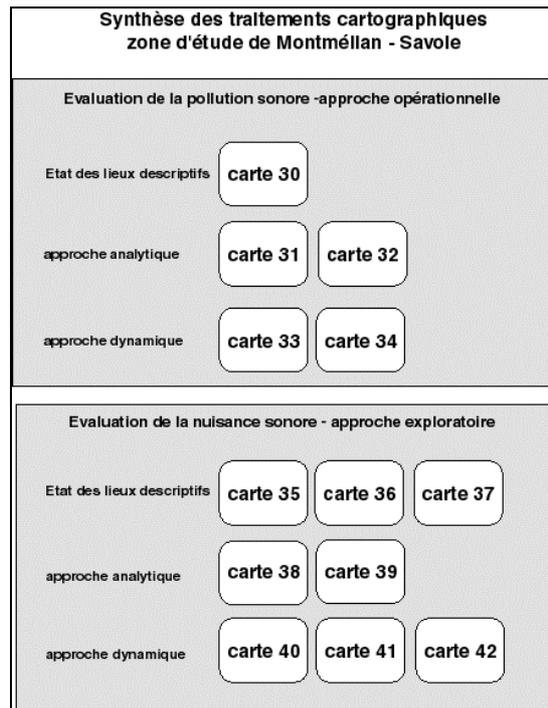


Figure 62 - Présentation des traitements cartographiques réalisés sur la maquette de Montméllan

### 3.2.4 Evaluation des pollutions sonores potentielles - approche opérationnelle

L'objectif de cette approche des impacts du bruit des transports terrestres est de produire des projections spatiales des cadres légaux existants dans le domaine de la lutte contre le bruit.

#### 3.2.4.1. Etat des lieux descriptif

La carte 30 est le résultat de la récupération d'une carte horizontale de bruit produite avec Mithra, dans le SIG raster Idrisi. Chaque pixel élémentaire de l'image représente une parcelle de territoire de 10 mètres de coté, à laquelle est associée une valeur maximale d'exposition sonore estimée. Des cartes équivalentes sont produites pour les situations sonores des années 1950 et 2010, selon les mêmes spécifications de calcul. Dans la carte 30 nous avons appliqué les codes couleurs associés aux expositions sonores spécifiés par la norme de cartographie de bruit NF S 31 130. On peut constater qu'elles ne respectent pas les règles de sémiologie graphique des valeurs quantitatives ordonnées...

#### 3.2.4.2. Approche analytique

Le traitement proposé dans la carte 31 résulte de la confrontation d'une carte d'exposition sonore reclassée selon la définition des points noirs de bruit, avec une carte des zones à fort potentiel d'endommagement (cf. carte 29). Le traitement réalisé consiste tout d'abord à reclasser la carte d'exposition sonore selon les classes de point noir avant de ne conserver que les pixels de l'image dont l'occupation du sol est résidentielle. Les zones de points noirs ne représentent ainsi que 12% des surfaces considérées. Elles sont logiquement localisées le long

des réseaux. Les zones grises concernent 44 % des parcelles et se concentrent surtout dans les communes de Montmélian et d'Arbin.

Le traitement suivant (carte 32) exploite les limites d'exposition acceptable définies dans la législation française selon le type d'occupation du sol (cf. point 2.1.4.1.). Cette carte permet d'évaluer la pollution sonore en continu sur la zone d'étude, puisque que chaque parcelle est identifiée par une limite d'exposition au bruit. La confrontation réalisée est une soustraction des limites légales à l'exposition réelle calculée avec Mithra. Le résultat donne une indication du niveau de conformité de l'exposition avec les limites en vigueur. Le voisinage de la route N6 semble être la zone la plus en décalage négatif avec les règlements. On distingue ainsi clairement le camping municipal au bord de cette voie à l'est de la zone d'étude.

### **3.2.4.3. Approche analytique prospective**

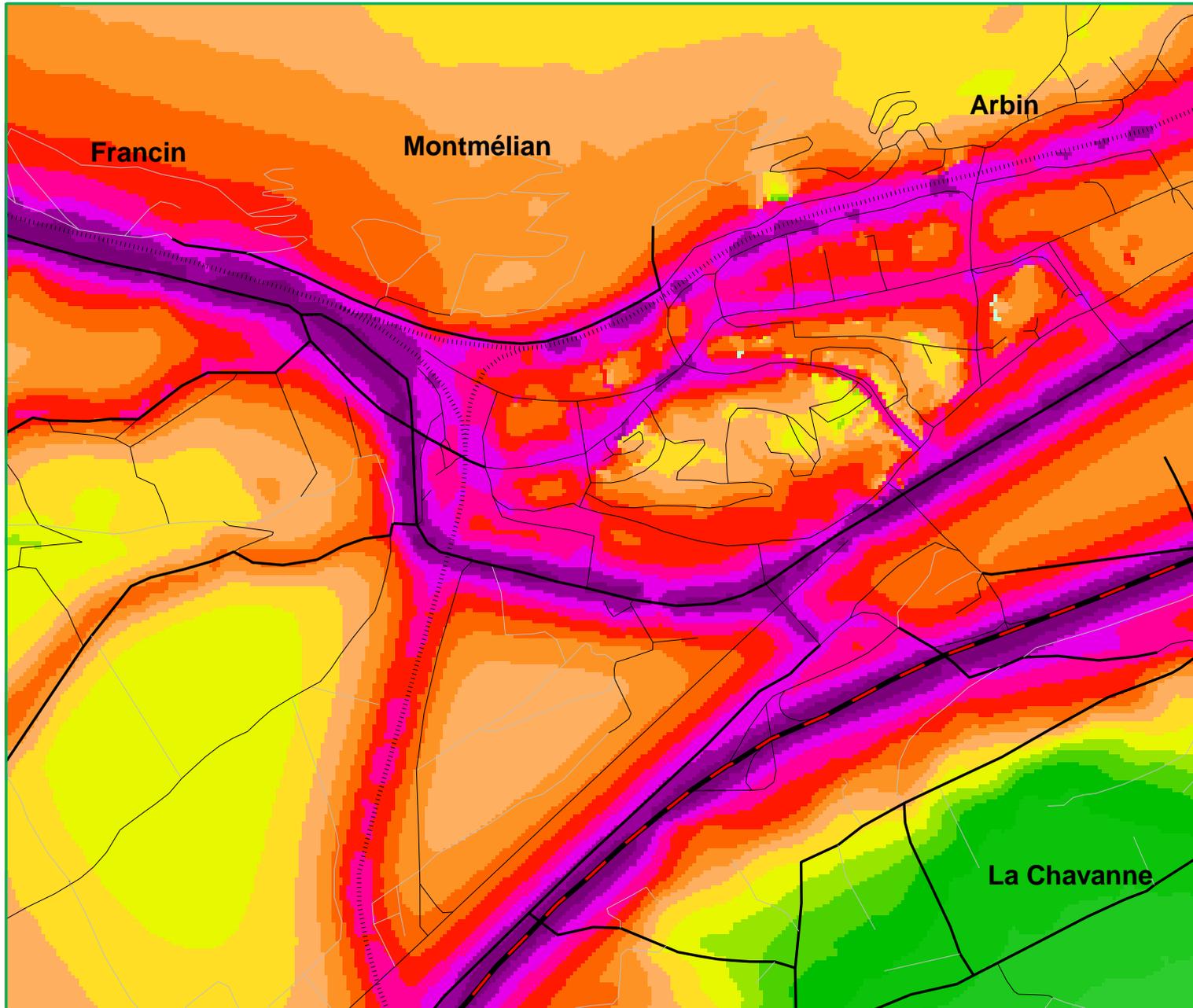
Le traitement de la carte 32 est repris en dynamique pour la reconstitution des années 50 et la projection 2010. Les cartes 33 et 34 permettent de comparer l'évolution de l'écart entre l'exposition légale et l'exposition sur le terrain. Entre 1950 et aujourd'hui (carte 33), les modifications de la pollution sonore sont de deux ordres. D'un côté, on note un accroissement des situations d'exposition au dessus des normes essentiellement le long du réseau routier. Naturellement l'aménagement de l'autoroute est très bien visible. A l'inverse, le réseau ferroviaire semble générer moins d'impact sur le territoire. Du fait des nombreuses approximations, ces résultats sont à prendre avec précaution, mais on peut penser que l'évolution du matériel roulant a favorisé une baisse des émissions sonores.

La carte 34 permet d'estimer les modifications de l'exposition par rapport aux normes entre aujourd'hui et 2010. Pour ce traitement, on a appliqué les prévisions de trafics routiers de la direction de l'équipement ainsi qu'un scénario de reconversion de la ligne ferroviaire du nord de la zone en voie TGV. On peut constater que le secteur où l'exposition est supérieure aux normes s'étend en tache d'huile. Le tissu urbain étant très lâche la moindre augmentation de trafic augmente d'autant le secteur soumis à des expositions importantes. Seul le vieux bourg de Montmélian, avec ses maisons accolées, permet de circonscrire le bruit à l'espace de la route malgré l'évolution négative des émissions (cf. photographie n°3).



*Photographie 3 - Rue centrale du vieux bourg de Montmélian - E. Quesseveur - mai 2000.*

**Carte 30 - Carte de l'exposition sonore actuelle produite avec Mithra  
- site d'étude de Montmélian (Savoie - France) - en dB L(Aeq, 24h)**



**Légende**

**Arbin** nom de commune

- exposition sonore = 34 dB
- 46 dB
- 52 dB
- 61 dB
- 64 dB
- 77 dB

dégradé de couleur selon la norme de cartographie du bruit (NF S 31-130)

- route - vitesse moyenne  $\geq$  à 70 km/h
- route - vitesse moyenne entre 70 et 50 km/h
- route - vitesse moyenne  $\leq$  à 50 km/h
- voie ferrée
- autoroute A43

**Nord**



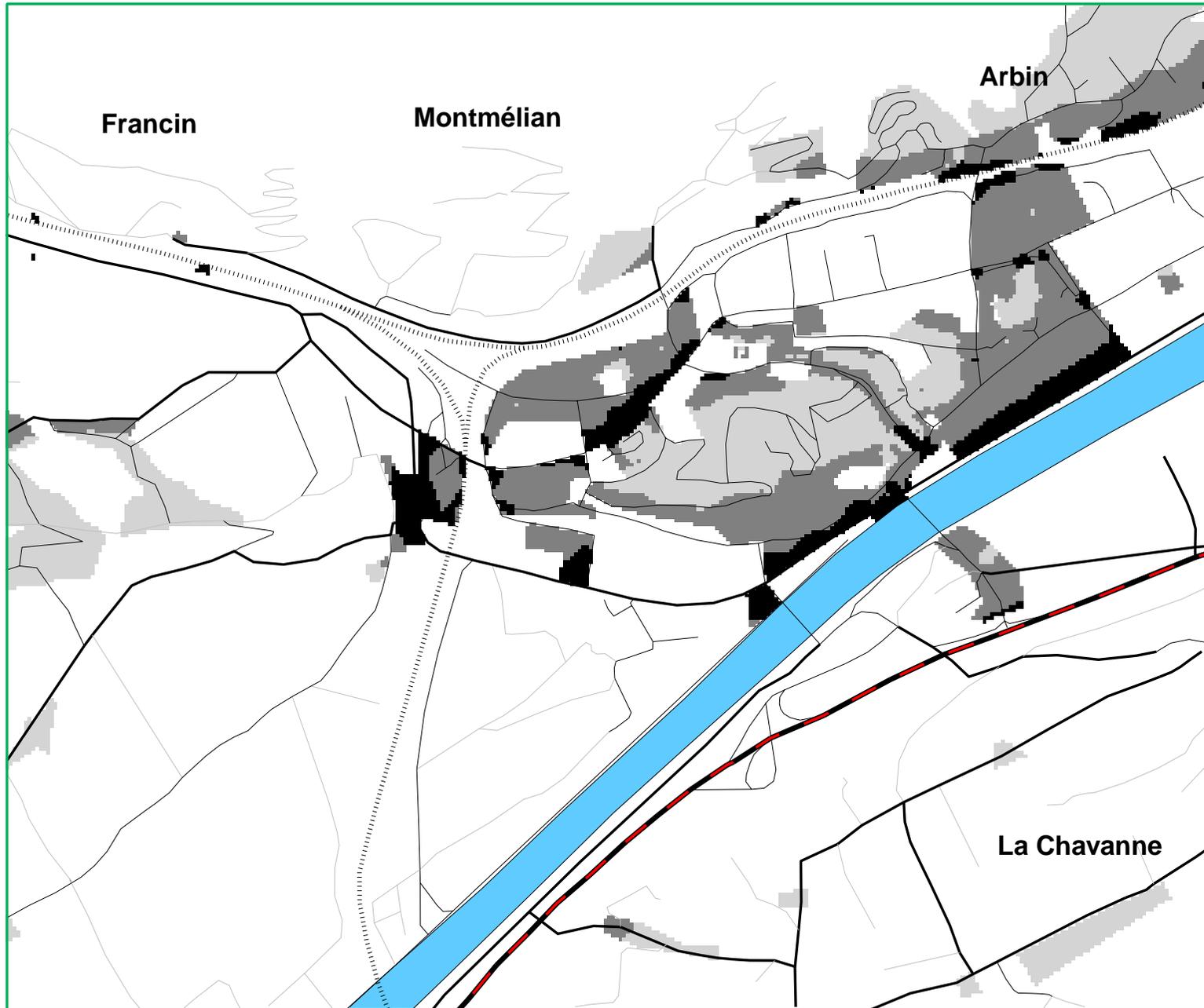
1000 mètres

**sources** : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
données de trafic DDE SNCF

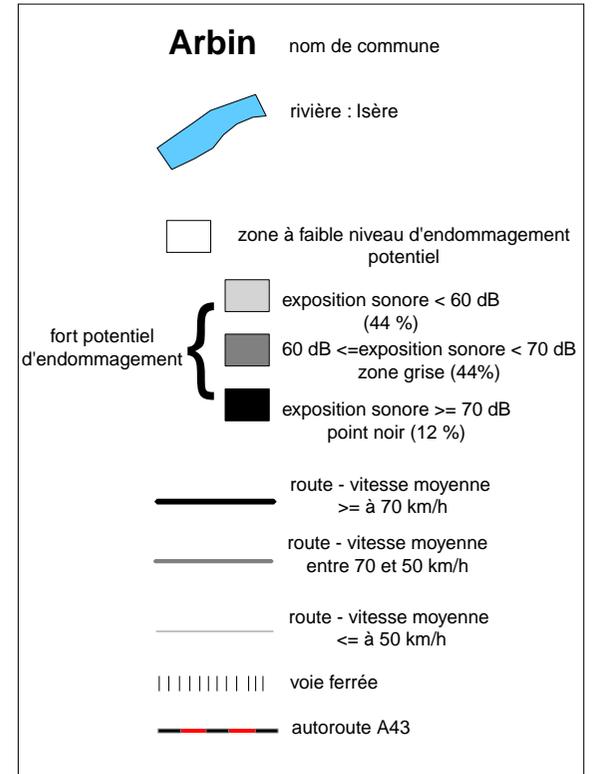
Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



# Carte 31 - Confrontation des situations de points noirs et des espaces à fort potentiel d'endommagement - site d'étude de Montmélian (Savoie - France) - exposition sonore en dB L(Aeq, 24h)



## Légende



Nord



1000 mètres

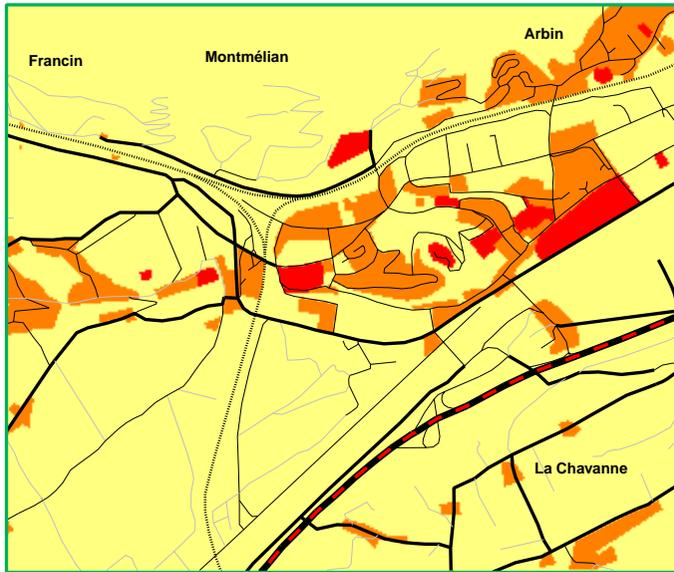
**sources** : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
données de trafic DDE SNCF



# Carte 32 - Confrontation des limites légales d'exposition avec l'exposition sonore estimée - situation sonore actuelle en dB L(Aeq,24h) - zone d'étude de Montmélian -

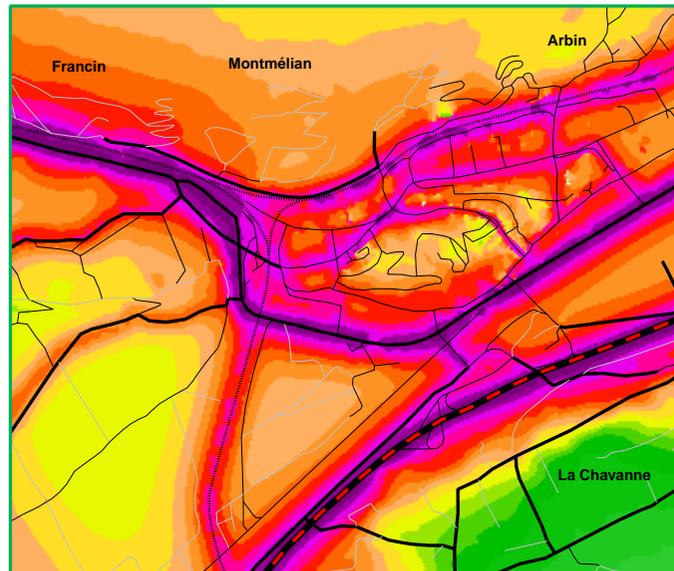
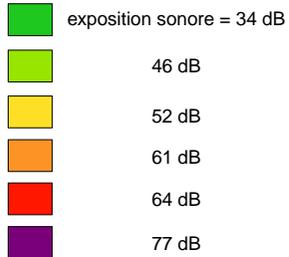
## Niveau d'exposition légal de jour selon l'occupation du sol

Selon Lamure [GUAL 98]

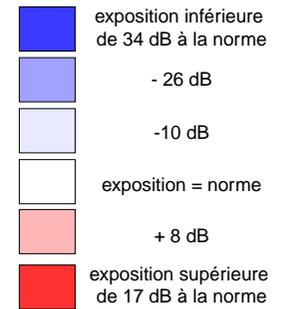
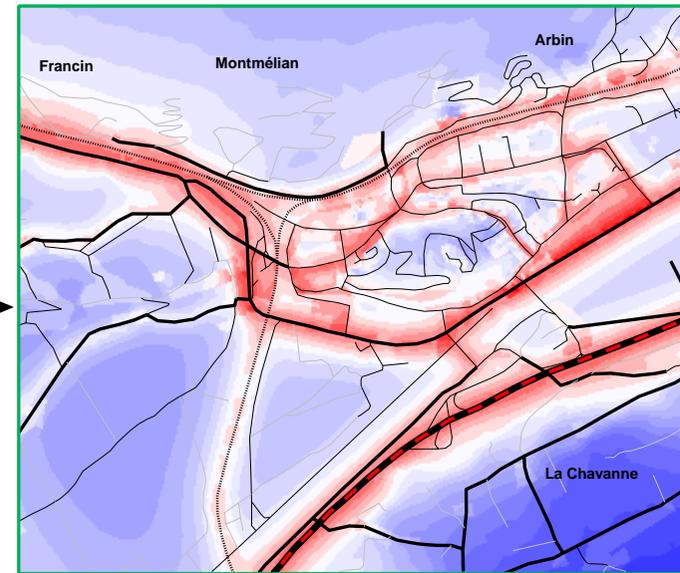


Exposition sonore réelle - exposition sonore admise

## Niveau d'exposition sonore actuel calculé avec Mithra



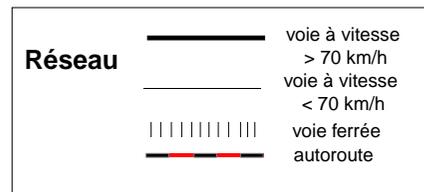
## Confrontation des niveaux d'exposition sonore légaux



Nord



1500 mètres



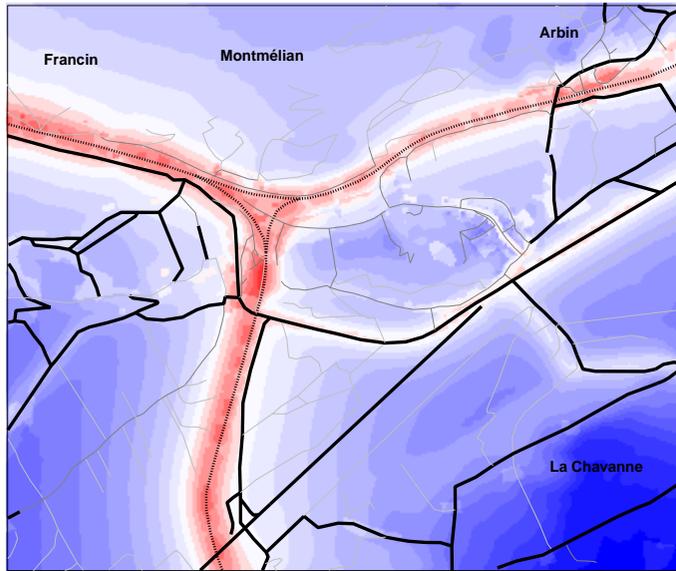
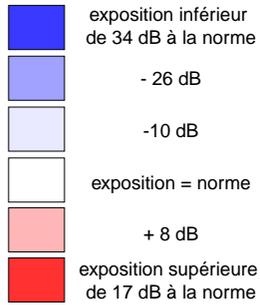
**sources :** cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN  
données de trafic DDE SNCF

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000

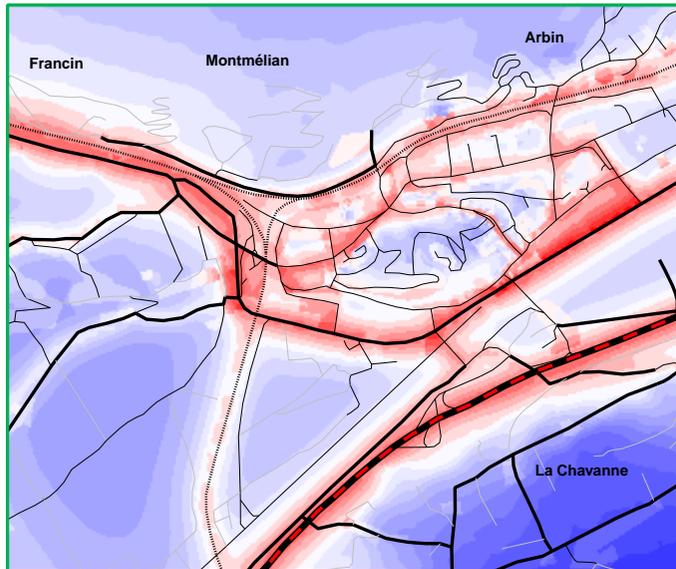


# Carte 33 - Evolution de la différence entre l'exposition réelle et l'exposition légale entre la situation reconstituée des années 1950 et l'état des lieux actuel - en dB L(Aeq,24h) - zone d'étude de Montmélian -

Reconstitution du rapport exposition admise - norme légale pour les années 1950

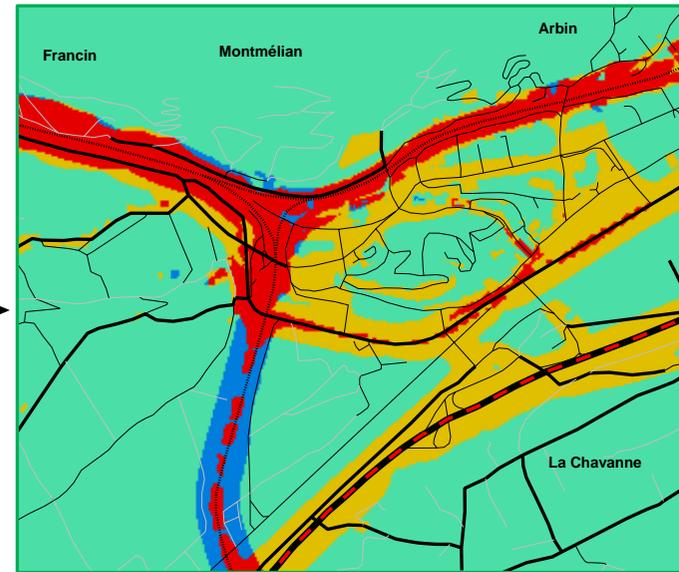


Comparaison de la situation actuelle avec la situation supposée des années 1950

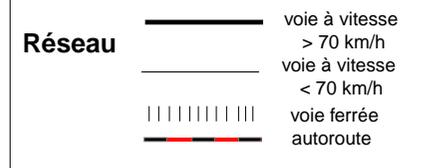


Rapport exposition admise - norme légale pour la situation actuelle

Evolution de la situation d'exposition au regard de la norme entre les années 1950 et aujourd'hui



Nord

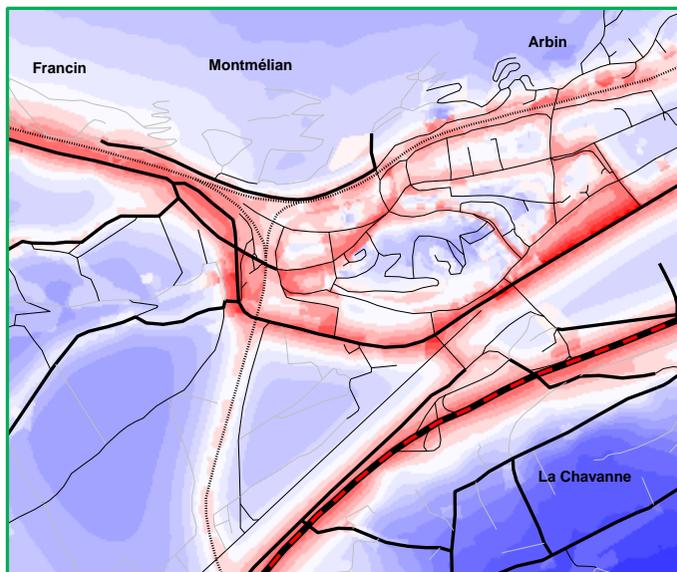


sources : cate au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN  
données de trafic DDE SNCF

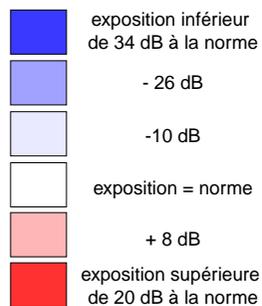
Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



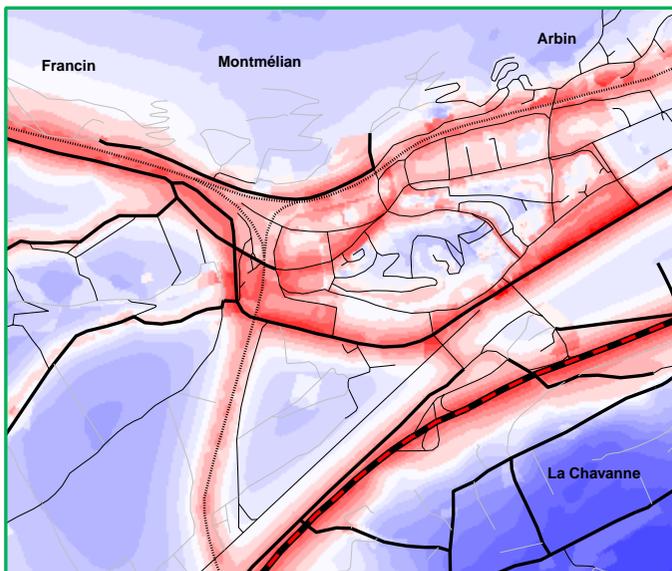
# Carte 34 - Evolution de la différence entre l'exposition réelle et l'exposition légale entre l'état actuel et la situation projetée de 2010 avec la ligne TGV - en dB L(Aeq,24h) - zone d'étude de Montmélian -



Rapport exposition admise - norme légale pour la situation actuelle

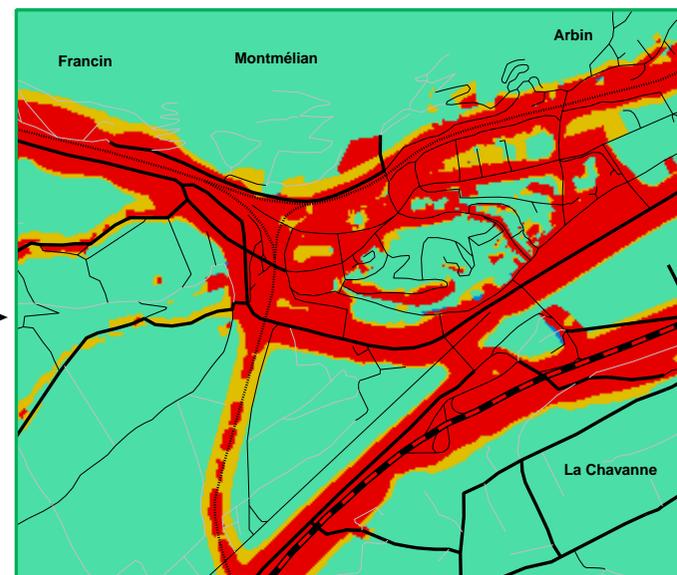


Comparaison de la situation projetée de 2010 avec l'état actuel



Projection du rapport exposition admise - norme légale en 2010 avec le tracé TGV par le nord.

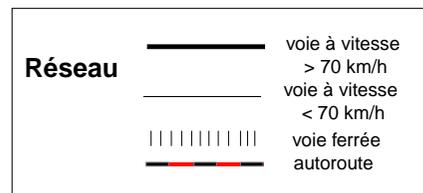
Evolution probable de la situation d'exposition au regard de la norme entre aujourd'hui et 2010 avec une ligne TGV au nord de la zone



Nord



1500 mètres



sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN  
données de trafic DDE SNCF

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



### 3.2.5 Evaluation des nuisances sonores potentielles - approche exploratoire

L'objet de cette approche spatiale des impacts du bruit des transports terrestres est de fournir de nouveaux moyens de différenciations spatiales, tout d'abord pour évaluer les contextes de réception du bruit et ensuite pour produire des options d'aménagement à partir de critères propre à l'acoustique environnementale.

#### 3.2.5.1. Etat des lieux descriptif

Pour définir la vulnérabilité du territoire au bruit, nous avons choisi de développer plusieurs optiques complémentaires de la fonction d'acceptabilité du risque d'impact. Dans la même logique que pour l'évaluation du niveau d'endommagement potentiel (carte 29), nous avons considéré une population de résidents actifs, usagers réguliers des infrastructures de transport à la recherche d'un cadre de vie agréable. L'objectif n'est certainement pas de produire un diagnostic définitif des vulnérabilités probables du territoire au bruit des transports terrestres. Nous avons plutôt cherché à montrer la diversité des éclairages de la vulnérabilité qui peuvent être envisagés par une approche spatiale de ce paramètre.

La première approche proposée, évalue l'effet des conditions de réception du bruit sur le niveau d'acceptabilité du risque d'impact (cf. point 2.1.1.3.). La carte 35 présente les trois critères qui sont pris en compte. Une typologie des formes de tissu urbain est proposée. Les parcelles résidentielles sont qualifiées en fonction d'un « idéal périurbain », soit une habitation individuelle dans un quartier encore verdoyant. Les différents tissus urbains sont évalués en fonction de cet idéal.

Type de tissu urbain résidentiel	Facteur de vulnérabilité
Grands ensembles	6
Urbanisation dense des années 50	5
Centre bourg historique	4
Urbanisation en lotissement des années 70	3
Lotissement neuf	2
Mitage en zone rurale	1

Tableau 22 - Facteur de vulnérabilité lié au type de tissu urbain résidentiel

Le second paramètre d'évaluation des conditions de réception du bruit concerne la distance euclidienne aux sources de bruit classées. Plus cette distance est faible plus ce paramètre aura des effets négatifs sur l'acceptabilité du bruit par la population résidente. Ce critère reprend l'idée de l'insécurité générale engendrée par la proximité d'une voie.

Le troisième paramètre présenté dans la carte 35, traite de l'orientation des pentes par rapport au soleil. On suppose ici que l'acceptabilité du risque d'impact est moindre quand le terrain est majoritairement orienté vers le nord. A l'inverse les parcelles résidentielles localisées sur des pentes orientées au sud seront relativement moins fragiles.

La seconde approche de l'acceptabilité du risque d'impact liée au bruit tente d'évaluer la représentation probable du bruit par la population (cf. point 2.1.1.3.). Trois critères sont là aussi proposés. Ils sont représentés dans la carte 36.

L'accessibilité différenciée des parcelles résidentielles de la zone d'étude est calculée en fonction de la somme des « coûts-distances » vers les différents points de sortie de la zone d'étude. Toujours dans l'optique de différencier les conditions d'exposition auxquelles serait soumise une population de pendulaire qui travaille en dehors de la zone d'étude, ce traitement évalue la facilité d'usage des sources de bruit. Ce paramètre est calculé à partir de 4 portes de sorties de la zone d'étude vers les différentes villes voisines : la gare SNCF, les deux extrémités de la N6 à l'ouest et à l'est et enfin l'échangeur de l'autoroute. On suppose ici qu'une population profitant d'une bonne accessibilité aux réseaux acceptera mieux le risque d'impact lié au bruit.

L'intervisibilité des sources de bruit peut elle aussi intervenir dans la représentation du bruit par la population résidente. L'absence de source visible est ici considérée comme un facteur aggravant l'acceptabilité du risque d'impact. Moins les sources de bruit sont visibles plus les attentes de la population en terme d'environnement sonore seront fortes.

Le contexte de voisinage est le dernier paramètre que nous avons choisi d'intégrer dans cette évaluation de l'acceptabilité du risque d'impact lié au bruit. Dans l'optique d'une population à la recherche d'un cadre de vie agréable, les attentes en matière d'environnement sonore seront plus fortes pour les parcelles situées dans les zones les plus verdoyantes en bordure des réseaux routiers secondaires.

Dans le but d'obtenir des cartes d'évaluation de la vulnérabilité au bruit, il est nécessaire d'agrèger les critères d'acceptabilité présentés dans les cartes 35 et 36. Nous avons eu recours à la méthode de comparaisons des critères par paire. Le logiciel Idrisi dispose d'un module qui permet d'appliquer la méthode AHP<sup>85</sup> de T. L. Saaty<sup>86</sup>. Dans un tableau à double entrée symétrique, chaque critère est affecté d'un poids d'importance relative au critère auquel il est comparé. Ce poids est défini sur une échelle de pondération continue à 9 niveaux.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
moins important (+ ou -)					plus important (+ ou -)			

Figure 63 - Echelle de pondération continue [EAS 94]

Les tableaux d'agrégation produits à partir des cartes 35 et 36 sont présentés dans la figure 64.

<sup>85</sup> pour Analytical Hierarchy Process

<sup>86</sup> des références à son travail sont référencées dans l'aide en ligne du logiciel Idrisi

Critères d'acceptabilité du risque d'impact selon les conditions de réception du bruit					
Critère	Distance aux sources de bruit	Orientation de la pente	Tissu urbain		poils résultants
Distance aux sources de bruit	1	9	1	→	0.4737
Orientation de la pente	1/9	1	1/9	→	0.0526
Tissu urbain	1	9	1	→	0.4737

Critères d'acceptabilité du risque d'impact selon la représentation probable du bruit par la population					
Critère	accessibilité aux sources de bruit	intervisibilité des sources de bruit	voisinage		poils résultants
accessibilité aux sources de bruit	1	9	1	→	0.4737
intervisibilité des sources de bruit	1/9	1	1/9	→	0.0526
voisinage	1	9	1	→	0.4737

Figure 64 - Evaluation des poids des critères selon la méthode de comparaisons par paire

Dans nos traitements, ces grilles de pondération nous ont permis de relativiser l'importance des critères ayant trait au relief (intervisibilité et orientation de pente). En effet, notre modèle numérique de terrain n'a pas une précision suffisante pour que ces critères interviennent en premier lieu dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Ces différents critères sont ensuite confrontés les uns aux autres par multiplication. Trois évaluations de la vulnérabilité sont ainsi proposées. Les opérations réalisées par overlay<sup>87</sup> dans le logiciel Idrisi sont détaillées dans la figure 65.

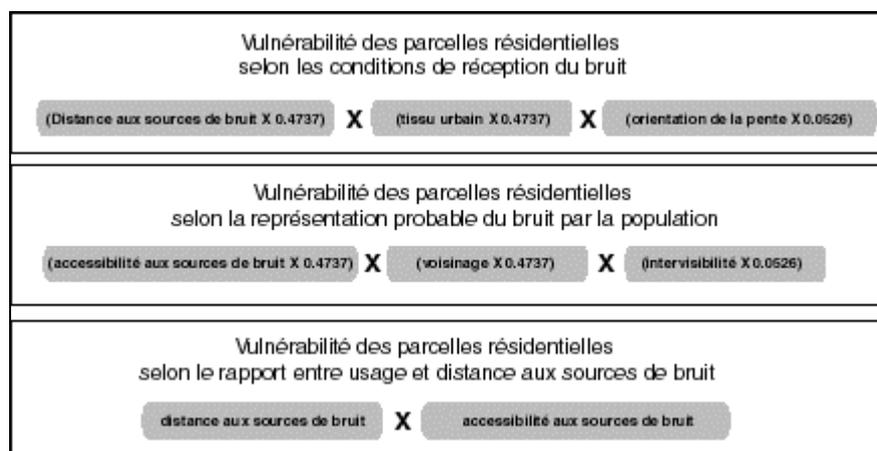
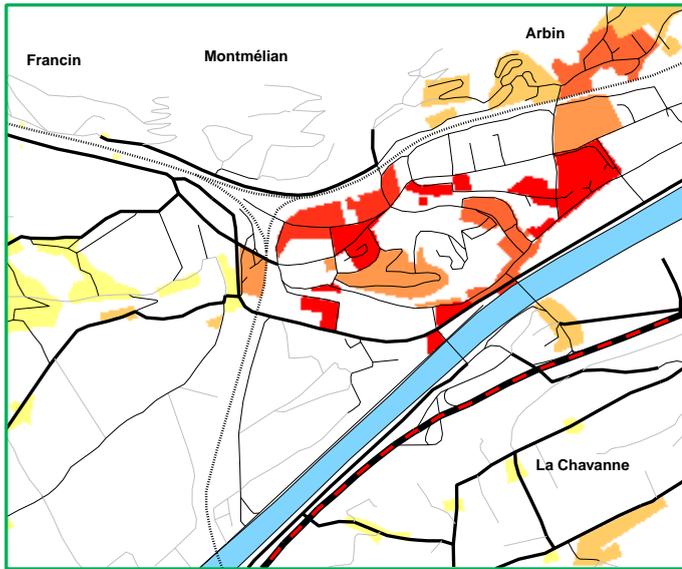


Figure 65 - Trois traitements multicritères d'évaluation de la vulnérabilité du territoire au bruit

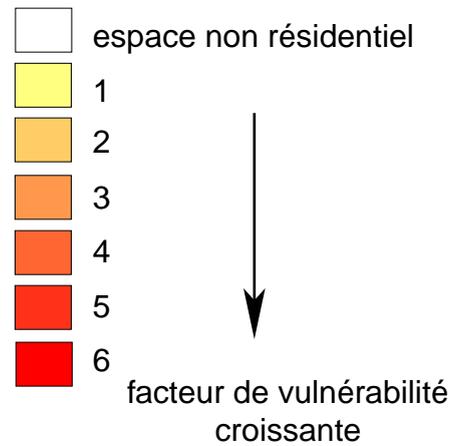
<sup>87</sup> cf. point 2.2.2.3.



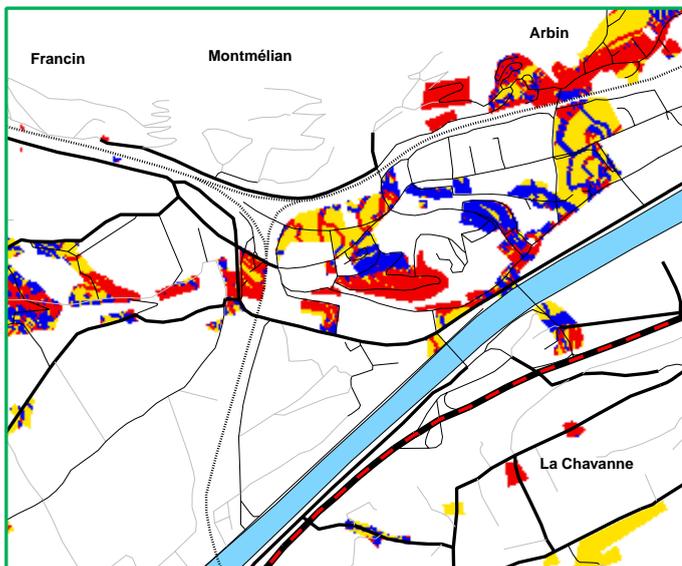
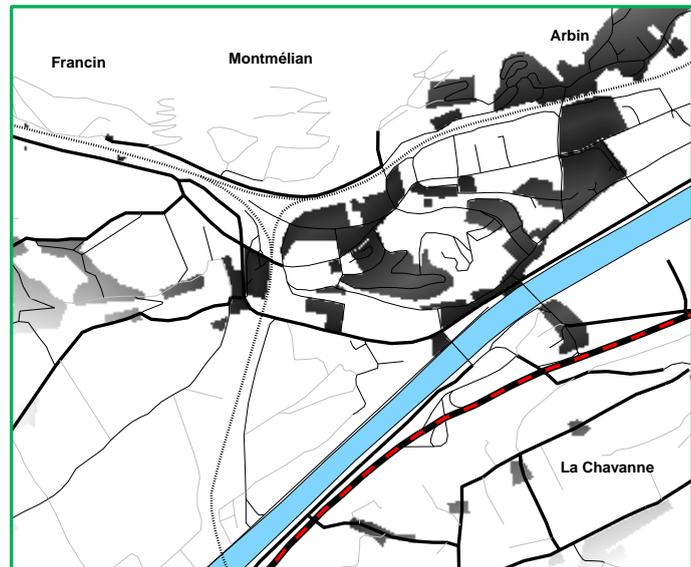
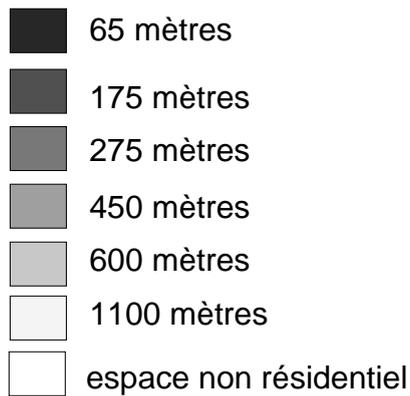
# Carte 35 - Critères de différenciation spatiale de la vulnérabilité au bruit : conditions de réception du bruit des zones résidentielles situation actuelle - zone d'étude de Montmélian -



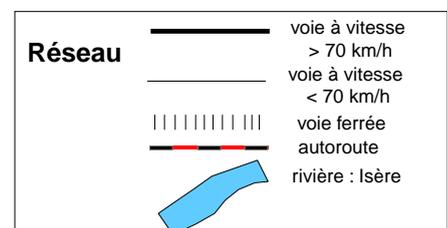
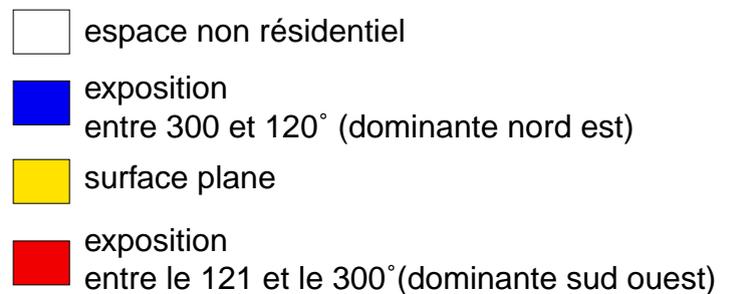
## Typologie des tissus urbains



## Distance aux sources classées



## Orientation des pentes par rapport au soleil

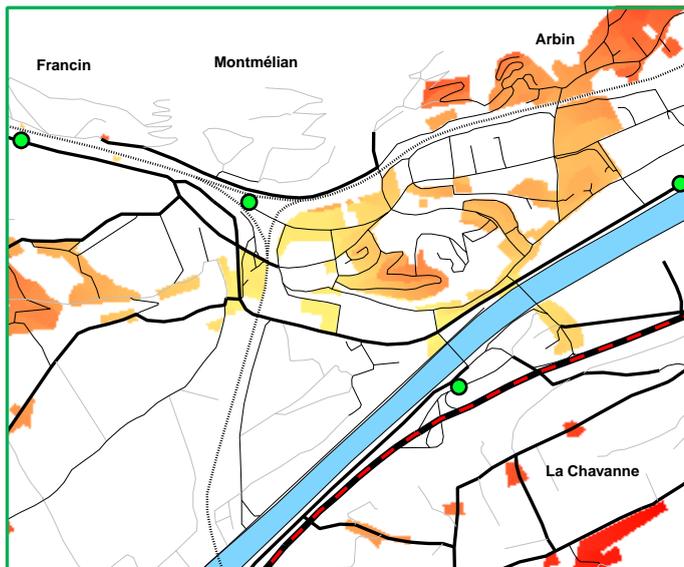


sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

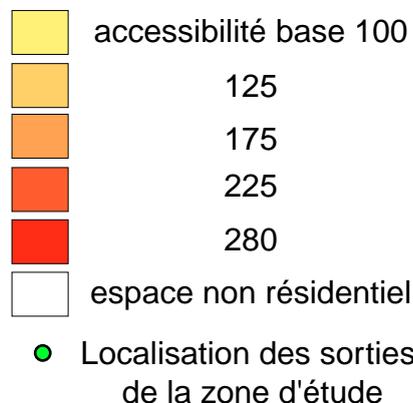
1500 mètres



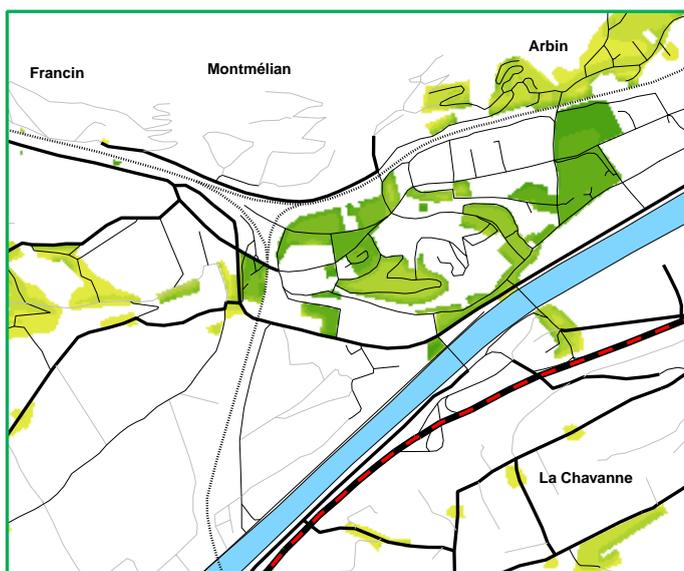
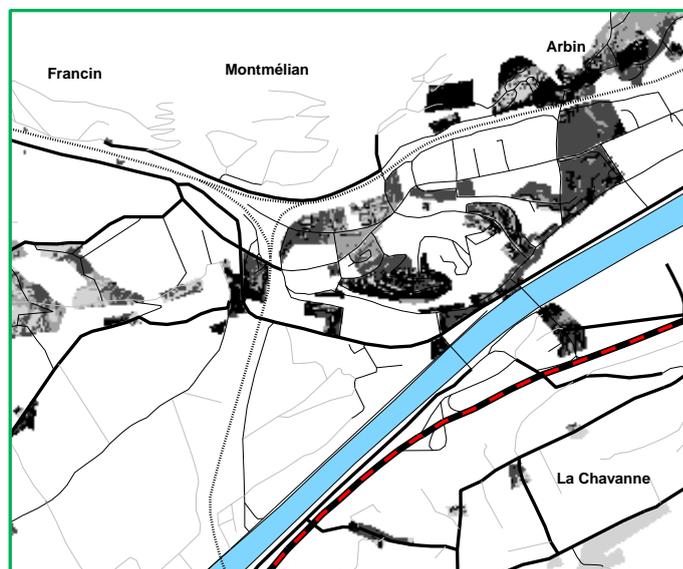
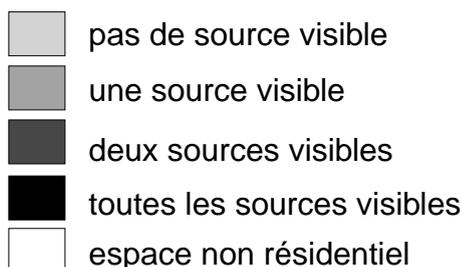
# Carte 36 - Critères de différenciation spatiale de la vulnérabilité : représentation du bruit par la population résidentielle - situation actuelle - zone d'étude de Montmélian -



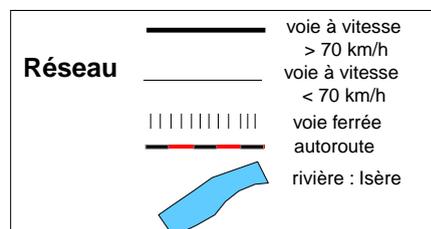
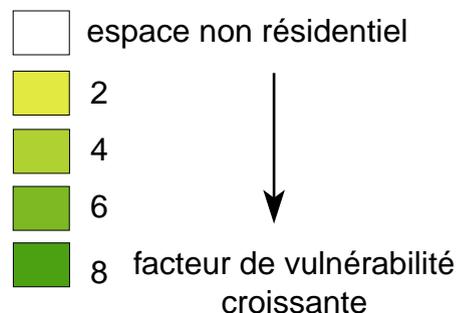
## Accessibilité des zones résidentielles aux sorties de la zone d'étude



## Intervisibilité des différentes sources de bruit classées



## Typologie des contextes de voisinage des parcelles résidentielles



sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

1500 mètres

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



Ces traitements sont présentés dans la carte 37. Les approches de vulnérabilité en terme de condition de réception et de représentation du bruit peuvent paraître antagonistes, pourtant on peut voir que le centre historique de la commune d'Arbin est relativement vulnérable quel que soit l'approche envisagée. Le traitement exploitant le rapport entre l'usage et la distance aux sources confirme cette situation. Dans notre maquette de test, c'est cette dernière approche de la vulnérabilité qui nous semble la moins discutable car elle n'intègre pas de paramètres qualitatifs.

En matière d'exposition sonore les données qui peuvent être valorisées en sortie du calcul de carte horizontale de Mithra sont limitées aux seules valeurs maximum et minimum à la parcelle. Pour affiner cette information, nous avons réalisé quatre simulations acoustiques pour la situation sonore actuelle, en ne localisant à chaque fois qu'un seul type de source : le réseau ferroviaire, l'autoroute, la route nationale et enfin les autres voies. Les différentes cartes résultantes sont ensuite comparées afin d'identifier la source dominante pour chaque parcelle de la zone d'étude. La carte 38 présente le résultat de ce traitement. On peut constater qu'aucune source de bruit ne domine clairement la zone d'étude. Ceci complique bien évidemment les mesures à prendre pour lutter contre le bruit.

Par ailleurs on peut noter à nouveau les effets perturbateurs de notre mauvaise modélisation du relief sur la partie nord ouest de la carte 38. Les classes en « marche d'escalier » sont sans doute liées à une mauvaise répartition des points cotés sur le versant.

#### ***3.2.5.2. Approche analytique***

L'approche analytique consiste à confronter nos évaluations de la vulnérabilité avec des données d'exposition au bruit. La carte 39 propose deux confrontations de ce type. La première agrège les approches de vulnérabilité en terme de conditions de réception et de représentation probable du bruit pour les confronter à une typologie de situations d'exposition vis à vis des normes. Le secteur qui cumule le plus de paramètres négatifs se trouve aux abords de la voie ferrée dans le centre historique d'Arbin. Le quartier de la nouvelle mairie de Montmélian est lui aussi en situation défavorable du point de vue des impacts potentiels du bruit.

La seconde confrontation met en relation l'évaluation de la vulnérabilité issue du rapport entre distance et usage des sources avec une typologie des points noirs. A nouveau le secteur d'Arbin est le plus soumis aux impacts supposés.

#### ***3.2.5.3. Approche analytique prospective***

Avec l'approche analytique exploratoire, on a voulu montrer la grande diversité des situations d'exposition au bruit et les différentes possibilités dont on dispose pour les différencier. L'approche analytique prospective permet d'analyser l'évolution probable des impacts liés au bruit dans le territoire. Dans cette optique, il est possible de simuler l'évolution de la vulnérabilité du territoire au bruit. Dans le cas de notre zone d'étude, cette thématique n'est plus un enjeu important car l'espace résidentiel ne pourra pas augmenter beaucoup plus. Seul la reconversion d'anciens espaces industriels pourrait fournir de nouvelles possibilités d'aménagement.

Pour notre part nous avons choisi de proposer une démarche possible pour la production de scénarios d'anticipation [BAI 75]. Des options de tracé pour la future ligne TGV sont établies en fonction de critères de décision spatiale issus de l'acoustique environnementale.

La carte 40 présente les quatre critères intégrés dans nos propositions de tracé TGV. Ils sont tous modélisés au format raster dans le SIG Idrisi. Chacun de ces critères constitue une évaluation des coûts d'aménagement du tracé à travers le territoire. La distance inverse au bâtiment résidentiel favorise l'aménagement du tracé sur les parcelles qui sont les plus éloignées des espaces résidentiels. Pour ce paramètre nous regrettons de n'avoir pas pondéré la distance aux espaces résidentiels par la surface au sol de ces dernières. La distance aux infrastructures classées doit favoriser une concentration des sources de bruit dans le territoire. En ce sens, plus le nouvel équipement est isolé des sources de bruit déjà existantes, plus son aménagement sera coûteux en terme d'impact lié au bruit sur le territoire. Les deux autres critères intégrés dans ce traitement évaluent localement l'opportunité de l'aménagement du tracé TGV. Ici, il n'est pas question de produire une analyse complète de l'opportunité d'un tel tracé, mais seulement de proposer de nouvelles pistes d'évaluation prospective des décisions d'aménagement. D'autres paramètres tels que les valeurs foncières ou encore les règlements d'urbanisme devraient logiquement alimenter ce type diagnostic dans un contexte plus pragmatique. Pour notre part, nous avons intégré à titre d'exemple une évaluation du coût local d'aménagement du tracé TGV<sup>88</sup> et la prise en compte des valeurs de pente<sup>89</sup>.

Les différents critères sont ensuite agrégés selon plusieurs approches présentées dans la carte 41. Les points de départ et d'arrivée du tracé sont définis arbitrairement dans la zone d'étude. Leur position s'inspire d'une des possibilités de tracé qui étaient proposées dans l'avant projet sommaire de la ligne TGV Lyon-Turin [REV 97]. Un calcul est réalisé pour rejoindre ces deux points, en minimisant le coût qui résulte de l'agrégation des différents critères pris en compte.

La première solution de tracé tient compte des seuls paramètres de distance aux résidences et aux sources de bruit déjà présentes dans la zone d'étude. Le compromis entre ces deux critères est complexe à établir dans la zone considérée, car les densités de population sont importantes et les infrastructures de transports classées quadrillent le territoire (cf. carte 29). La seconde option de tracé rajoute le critère de coût local de construction du TGV. C'est la solution qui semble la plus avantageuse du point de vue des expositions sonores du territoire. Avec cette solution le tracé serait réalisé à proximité immédiate de l'autoroute. Cette zone se caractérise par une croissance des espaces résidentiels relativement modérée. La troisième et dernière option de tracé semble plus farfelue. Nous la présentons ici car elle montre combien un seul critère mal modélisé (ici l'information relative au pente) peut faire émerger un résultat très différent des autres.

Pour chaque option de tracé présentée dans la carte 41, une simulation Mithra est produite. Le tracé n°2 semble le plus favorable en terme de limitations de impacts du bruit sur les espaces résidentiels. Par rapport aux deux autres options de tracés, le nombre de parcelles résidentielles soumises à des expositions supérieures aux normes augmentent moins. La carte 42 présente la situation probable des espaces résidentiels au regard des normes, avec l'aménagement du tracé n°2. Le second traitement proposé dans la carte 42, montre à nouveau les limites de validité de nos traitements. En comparant les cartes d'exposition au bruit, pour la situation actuelle et la situation simulée avec le tracé n°2, on observe des évolutions parfois incohérentes. Ce phénomène peut s'expliquer par deux facteurs. La mauvaise qualité de notre modélisation numérique du relief entraîne la production de « marches d'escalier » qui sont

---

<sup>88</sup> cette dernière s'apparente au critère d'endommagement potentiel présenté dans la carte 29

<sup>89</sup> ce traitement est à l'image de notre modèle de terrain ... il doit être interprété avec beaucoup de précaution

interprétées par Mithra comme des décrochements dans le relief. En second lieu, l'échelle de représentation du territoire est sans doute trop petite. A nouveau, ce constat nous incite à considérer essentiellement la méthode proposée plutôt que les résultats des traitements en eux même.

### 3.2.6 Limites et perspectives de ces approches en milieu périurbain

Le parti pris de notre échelle d'analyse des impacts du bruit en milieu périurbain est de ne pas considérer le problème au niveau des populations mais selon l'occupation dominante du sol. A cette échelle macroscopique, l'usage de Mithra est sans doute abusive. Lors de son travail d'interface entre une image spot et une carte de bruit Mithra, le CETE de Lyon avait déjà signalé les risques d'erreurs d'une telle approche<sup>90</sup>[CET 94]. C'est pourtant une échelle de diagnostic véritablement stratégique pour l'aménagement de grandes infrastructures de transport, surtout lors des étapes préliminaires d'évaluation des impacts. Nous nous en remettons aux acousticiens pour mesurer l'opportunité du développement d'un modèle de propagation acoustique plus macroscopique. Sur le même principe de lancé de rayon inverse, un modèle pourrait exploiter une représentation simplifiée du tissu urbain, ne plus considérer les volumes au niveau du bâtiment mais du pâté de maison par exemple. De même, la densité du dispositif de récepteurs virtuels pourraient varier dans le territoire en fonction du niveau d'endommagement potentiel.

Outre le problème de l'inadaptation du logiciel acoustique à l'échelle d'analyse, la fourniture de données de modélisation constitue un frein important à la diffusion d'une telle approche. Pour notre part, nous avons compilé des informations d'origine et de niveau de généralisation très différents. Ces opérations sont des sources d'erreurs multiples car la qualité de la modélisation ne peut être homogène sur le territoire et entre les différents objets modélisés. A l'avenir le développement de bases de données de type SIG dans les petites communes améliorera sans doute la situation en matière de description du territoire. Par contre, on risque d'être confronté à des formalismes de données différents d'une collectivité à une autre. Dans le cadre de grand projet d'aménagement linéaire, la compilation d'informations locales ne peut être la solution unique. Le développement d'une base de données topographique comme la Bdtopo de l'IGN est une solution intéressante. Le CSTB a engagé en ce sens une réflexion afin d'intégrer le format de données IGN en entrée de calcul de Mithra. Des problèmes de sémantique relatifs à la représentation du relief sont tout de même à craindre, car la Bdtopo est une base de données généraliste. L'intérêt essentiel d'une telle base de données vient du fait qu'elle décrit théoriquement tout le territoire français. A cette échelle d'autres sources de données sont envisageables. Le traitement par photogrammétrie numérique doit permettre de produire une base de données de précision suffisante pour les calculs acoustiques et homogène pour l'ensemble d'un territoire d'étude comme celui de Montmélian (cf. point 2.2.1.1.). Pour l'évaluation des impacts de l'ensemble d'un tracé, la compilation de l'information pourrait tout de même s'avérer coûteuse avec les deux solutions précitées. Le recours aux nouvelles images satellites à haute résolution spatiale (inférieure à 5 mètres) et l'exploitation de données radar de type Lidar sont sans doute des solutions d'avenir. Par ailleurs, à l'image des bases de données issues du géomarketing, quelques grandes entreprises privées développent aujourd'hui des bases de données géographiques dans des domaines aussi divers que la navigation automobile, la simulation

---

<sup>90</sup> les échelles exploitées dans ce travail étaient encore plus petites

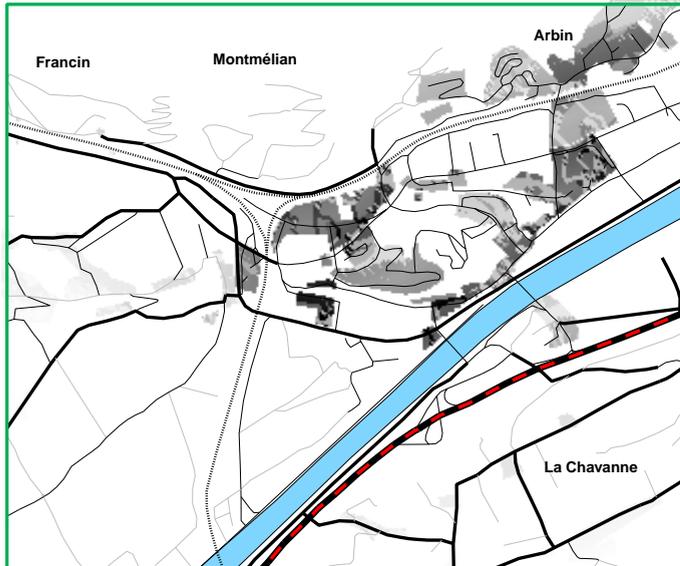
paysagère en trois dimensions... A terme, elles pourraient concurrencer l'offre de données actuelle et rendre la production de nos approches d'analyse beaucoup plus accessible.

En matière de données de trafic, la procédure de classement sonore des voies a permis d'entamer une petite révolution dans la gestion des données. A l'avenir, l'archivage et le traitement en continu des données vont sans doute se généraliser à l'ensemble du réseau routier urbain et périurbain. Ces informations fourniront une base solide pour l'évaluation des impacts du bruit. Par ailleurs, les modèles de simulations de trafic sont amenés à s'affiner grâce à cet apport nouveau de données fiabilisées. Pour la description de la vulnérabilité du territoire au bruit, les bases de données à exploiter sont les mêmes que pour la modélisation du territoire pour les calculs Mithra. Une précision moindre peut être acceptée.

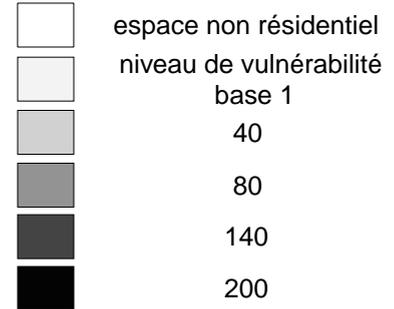
Pour que le développement de telles bases de données soit possible, il faudra sans aucun doute réfléchir à l'interconnexion des problématiques de l'acoustique environnementale avec d'autres enjeux environnementaux comme les pollutions atmosphériques.

La portée opérationnelle des traitements proposés dans cette maquette en milieu périurbain est très relative. Cela est en partie lié à la piètre qualité de nos données, de même qu'à l'absence d'un véritable processus d'évaluation des impacts du bruit dans ce territoire. L'organisation des responsabilités lors de l'aménagement de tels espaces constitue un obstacle important au développement d'une telle approche d'analyse. Pour gérer les impacts des infrastructures linéaires comme les voies ferrées, les routes nationales et les autoroutes, il est difficile de traiter les problèmes localement. Dans le cas de Montmélian, où tous ces différents réseaux se concentrent, aucune action transversale sur l'environnement sonore ne semble être entreprise. Pour que de tels approches se mettent en place, il faudrait imaginer une forme de plan de déplacement urbain étendue aux secteurs périphériques.

# Carte 37 - Evaluation de la vulnérabilité au bruit des zones résidentielles situation actuelle - zone d'étude de Montmélian -



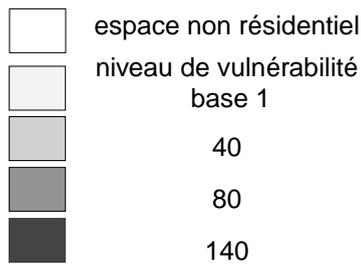
## Evaluation de la vulnérabilité des zones résidentielles en fonction des conditions de réception du bruit



Critères

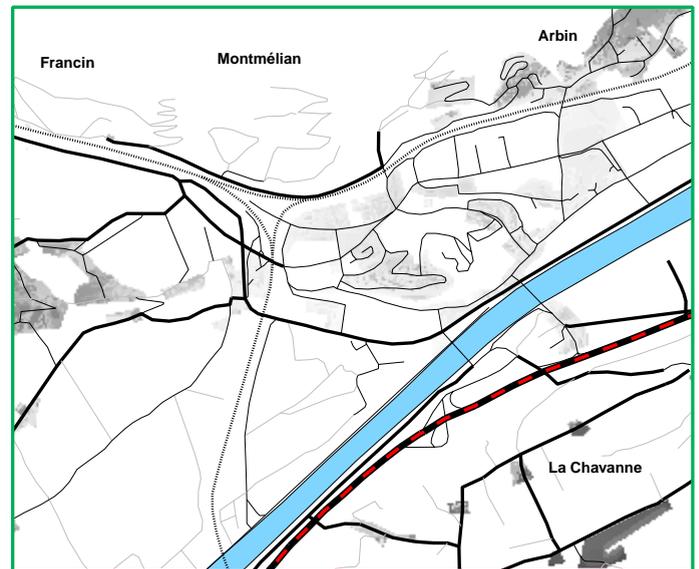
distance euclidienne aux sources classées  
caractérisation du tissu urbain  
orientation de la pente

## Evaluation de la vulnérabilité des zones résidentielles en fonction de la représentation probable du bruit par la population

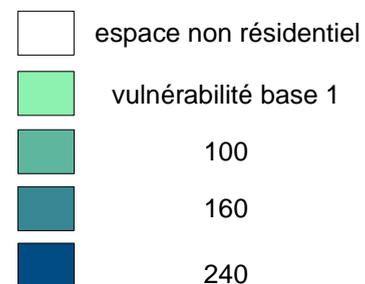


Critères

accessibilité aux portes de sorties de la zone d'étude  
intervisibilité des sources classées  
contexte de voisinage

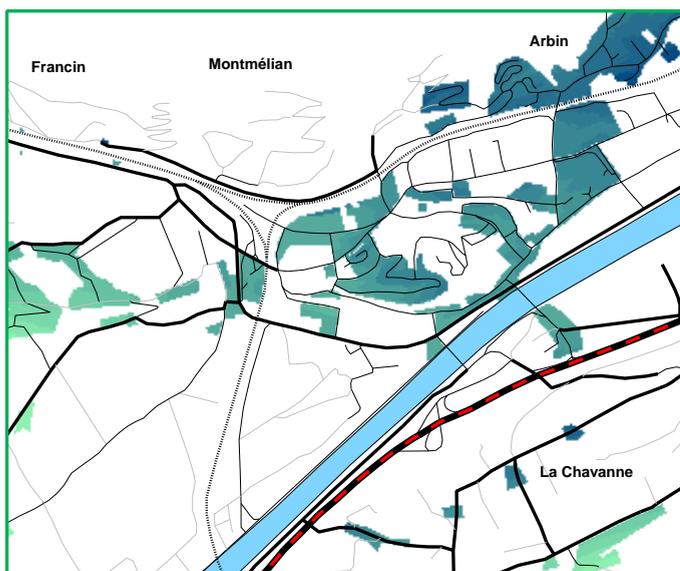


## Evaluation de la vulnérabilité des zones résidentielles en fonction du produit de la distance aux sources classées et de l'accessibilité

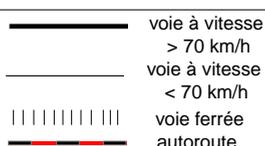


Critères

distance aux sources classées  
et  
accessibilité aux portes de sorties de la zone d'étude



### Réseau



N

1500 mètres

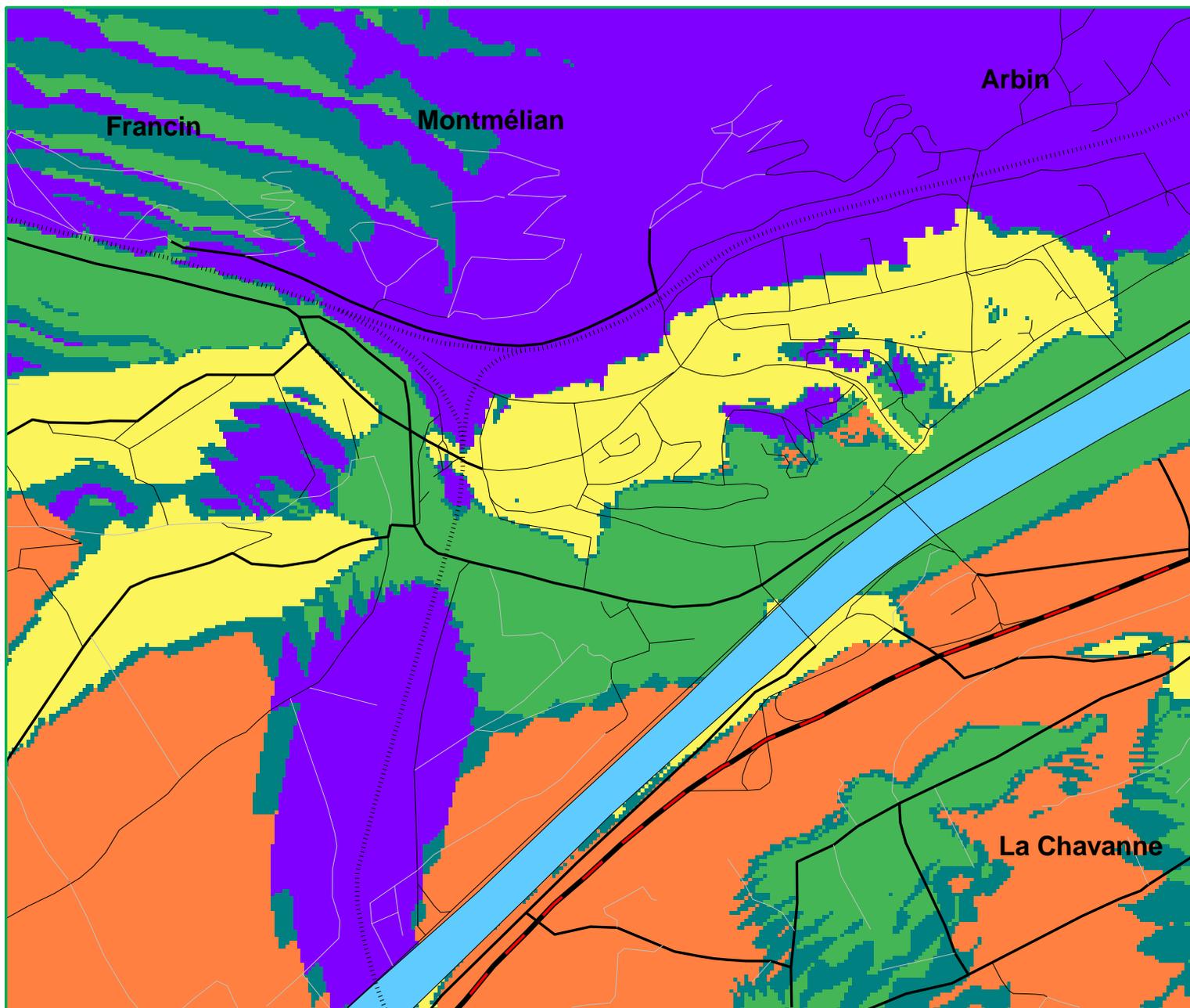
sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



# Carte 38 - Identification de la source dominante de bruit dans la situation actuelle

## - site d'étude de Montmélian (Savoie - France) -



### Légende

**Arbin** nom de commune

#### Source dominante et répartition des pixels

- voie ferrée (28 %)
- autoroute (25 %)
- route nationale (20 %)
- autres voies (13 %)
- au moins deux sources d'égale puissance (12 %)

#### Réseau

- rivière : Isère
- route - vitesse moyenne  $\geq$  à 70 km/h
- route - vitesse moyenne entre 70 et 50 km/h
- route - vitesse moyenne  $\leq$  à 50 km/h
- voie ferrée
- autoroute A43

**Nord**

↑

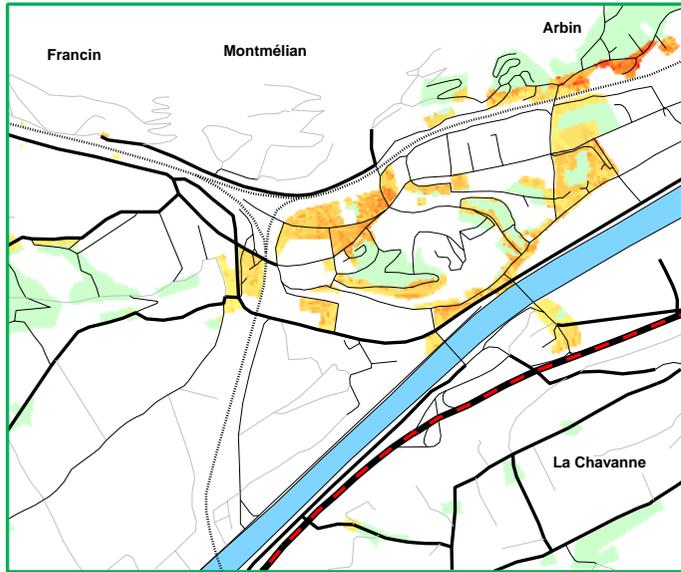
---

1000 mètres

sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

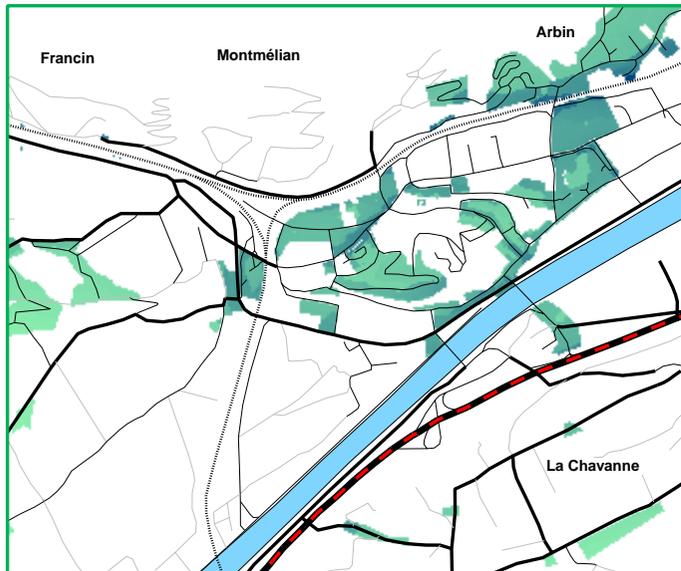
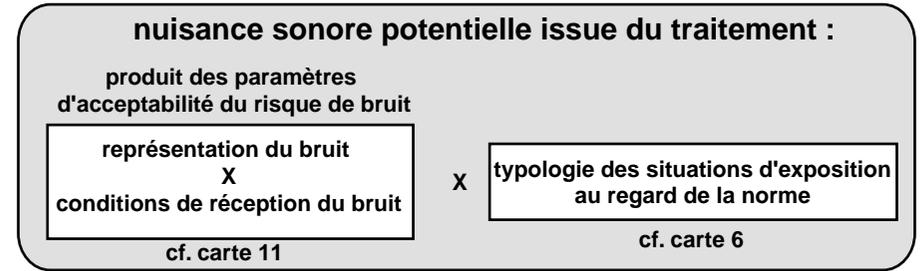


# Carte 39 - Exemples de confrontations spatiales pour l'évaluation de la nuisance sonore - approche spatiale exploratoire - situation sonore actuelle - zone d'étude de Montmélian -



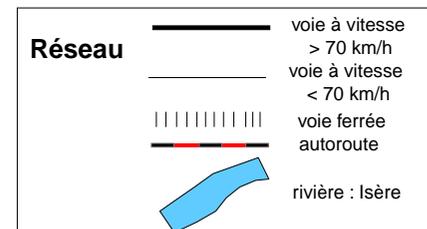
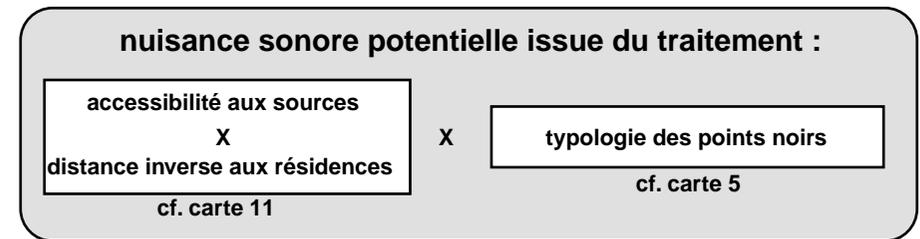
## Niveau d'acceptabilité du risque de bruit et situation des espaces résidentiels au regard de la norme d'exposition

- espace non résidentiel
- zone résidentielle soumise à une exposition sonore admise par la norme
- nuisance sonore probable base 1
- 15
- 50
- 100



## Niveau d'acceptabilité du risque de bruit et situation des espaces résidentiels au regard des points noirs

- espace non résidentiel
- nuisance sonore potentielle base 1
- 100
- 160
- 240



sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

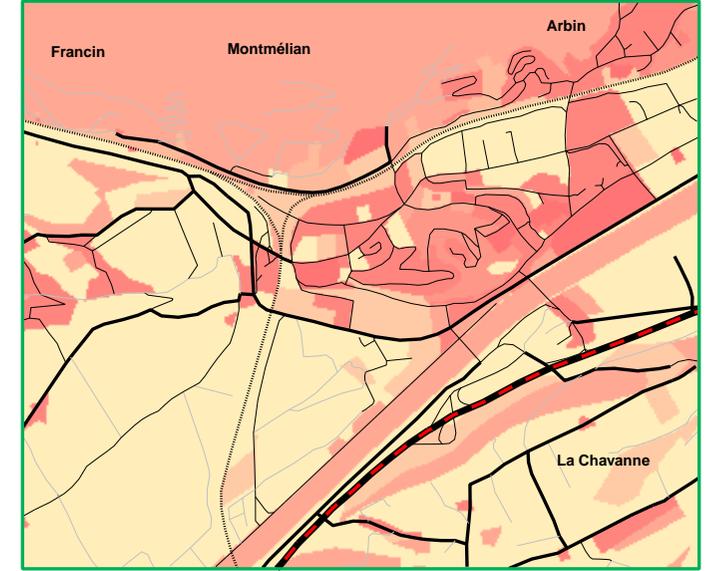
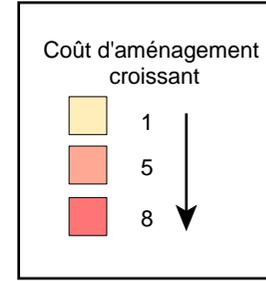
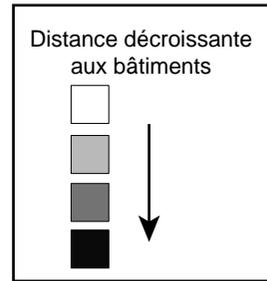
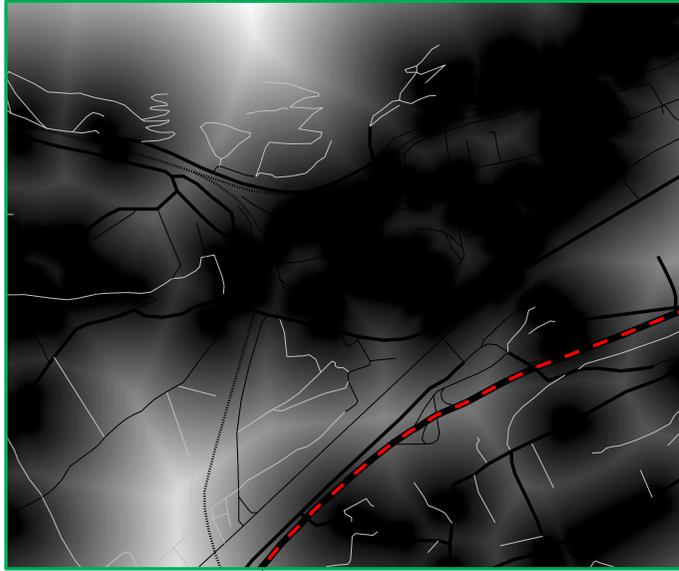
1500 mètres



# Carte 40 - Les critères spatiaux exploités pour la production d'options de tracés TGV - zone d'étude de Montmélian -

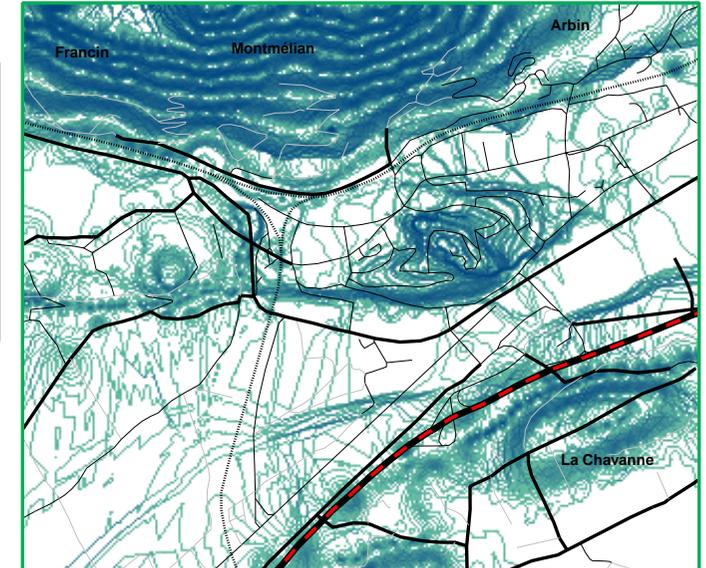
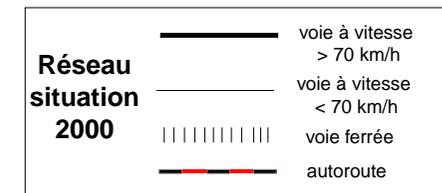
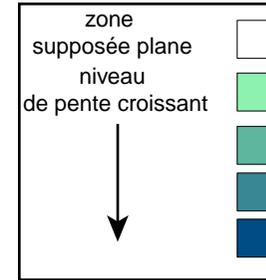
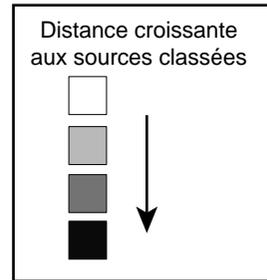
Inverse de la distance aux bâtiments résidentiels

Estimation locale du coût d'aménagement d'un tracé TGV



Distance aux infrastructures classées

Evaluation des pentes



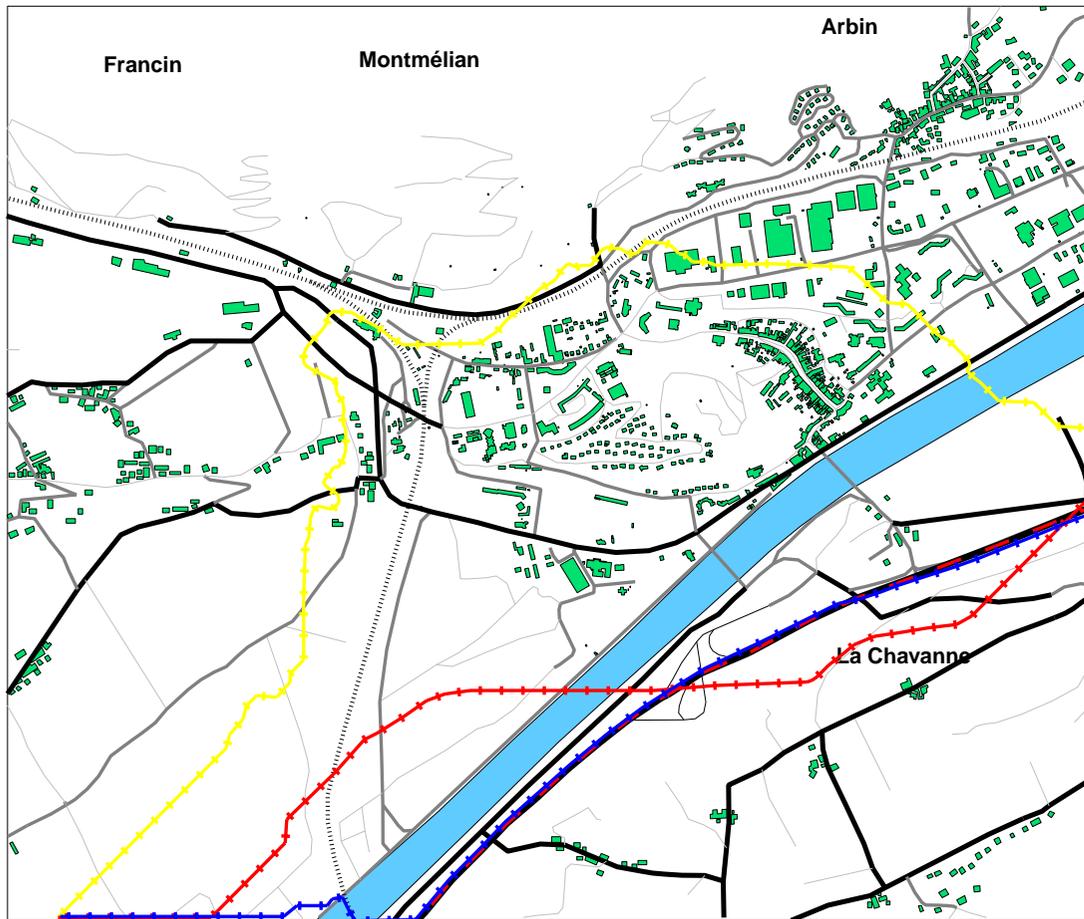
sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

1500 mètres

Erwan Quesseveur - Laboratoire SEIGAD - Grenoble - 2000



# Carte 41 - Présentation des différentes options de tracé TGV issues de traitements spatiaux multicritères - site d'étude de Montmélian (Savoie - France) -



**Option de tracé TGV 1** ++++++

chemin optimal dans la carte de friction issue du traitement :

distance inverse aux résidences X distance aux sources classées

**Option de tracé TGV 2** ++++++

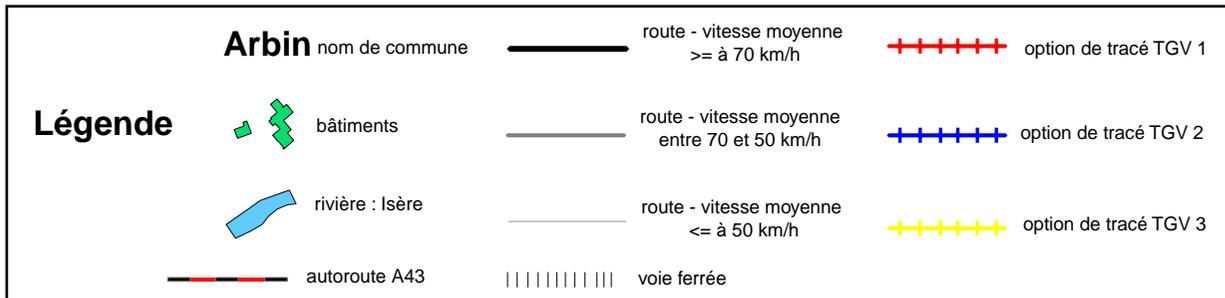
chemin optimal dans la carte de friction issue du traitement :

distance inverse aux résidences X coût local de construction  
distance aux sources classées

**Option de tracé TGV 3** ++++++

chemin optimal dans la carte de friction issue du traitement :

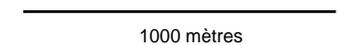
distance inverse aux résidences + niveau de pente X  
distance aux sources classées + coût local de construction



Nord



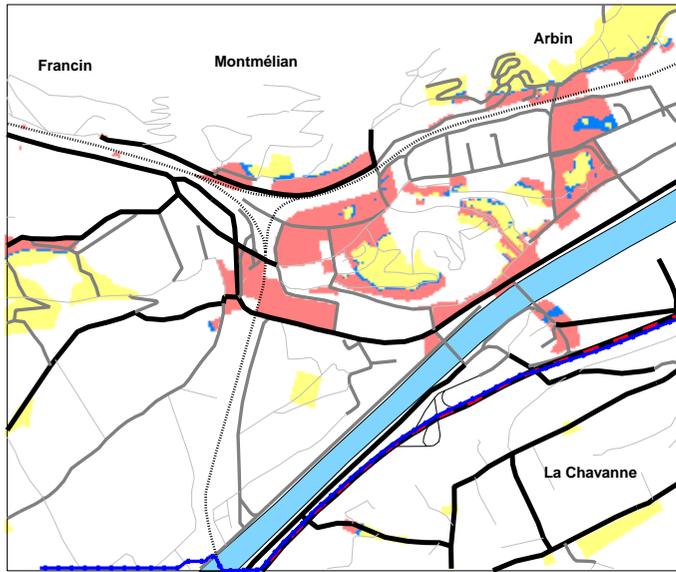
sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN



1000 mètres



# Carte 42 - Présentation du tracé TGV le plus favorable évaluation de la pollution sonore potentielle et des limites du diagnostic - zone d'étude de Montmélian -



Evaluation des impacts de l'option de tracé TGV 2 au regard de la norme d'exposition sonore (soit 60 dB en LAeq jour pour les espaces résidentiels)

		Bilan des surfaces, comparaison situation tracé TGV 2 (2010) - situation actuelle (2000)	
	espace non résidentiel	→	- 12150 m <sup>2</sup>
	zone résidentielle soumise à une exposition sonore admise par la norme	→	- 5000 m <sup>2</sup>
	zone résidentielle soumise à une exposition sonore égale à la norme	→	+ 5000 m <sup>2</sup>
	zone résidentielle soumise à une exposition sonore supérieure à la norme	→	+ 11980 m <sup>2</sup>

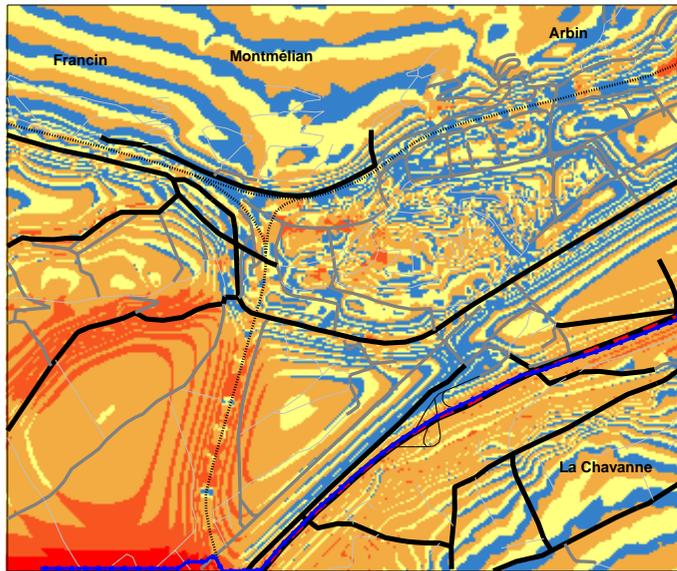


Illustration des limites de validité de nos analyses avec le traitement :  
(exposition sonore simulée avec le tracé TGV 2 - exposition sonore actuelle)

Résultat de la soustraction	
	exposition sonore avec le tracé TGV 2 inférieure à la situation actuelle
	exposition sonore inchangée
	augmentation de l'exposition sonore de 1 à 3 dB(A)
	augmentation de l'exposition sonore de 3 à 9 dB(A)
	augmentation de l'exposition sonore supérieure à 9 dB(A)

sources : cote au 1:25000eme IGN  
cadastre de la ville de Montmélian  
photographies aériennes IGN

1500 mètres



Réseau	
	voie à vitesse > 70 km/h
	voie à vitesse < 70 km/h
	voie ferrée
	autoroute
	option de tracé TGV 2



### **3.3. Les travaux actuellement en cours**

La première phase du projet SIGAUR fut le cadre de production des deux maquettes présentées ici. Actuellement un projet SIGAUR2 est en cours, les travaux se poursuivent dans le cadre d'un postdoctorat réalisé par L. Merchez au sein du département acoustique de CSTB de Grenoble. Cinq axes de travail sont ainsi développés :

- approfondissement de la notion de population soumise au bruit et des moyens de l'estimer à différentes échelles,
- approche multi-échelle de la production et de la réception du bruit (de l'immeuble au quartier urbain),
- introduction de scénarios (reconstitution de situation passée, simulation d'hypothèses d'aménagement),
- expérimentations sur le terrain en collaboration avec les collectivités et organismes concernés.
- étude de la faisabilité d'une représentation conjointe des nuisances sonores et des pollutions atmosphériques.

Le territoire d'étude choisi est la commune d'Ecully qui se trouve dans la proche périphérie de Lyon. La maquette produite à cette occasion traite de l'ensemble du territoire de la commune. L'objectif est donc de tester une échelle d'analyse entre les deux approches de Montmélian et de Grenoble.

# CONCLUSION

Le présent projet nous a permis d'explorer un champ de recherche novateur à la frontière de l'acoustique et de la géographie. La connexion de ces deux disciplines qui s'étaient quelque peu ignorées jusqu'alors, fournit de nouvelles formes de lecture du territoire. En acoustique, l'approche géographique permet de progresser dans la compréhension de la genèse des impacts du bruit et la diversité de ces situations d'impact dans le territoire. Pour la géographie, l'analyse des phénomènes de propagation acoustique et l'évaluation de vulnérabilité territoriale est l'occasion de traiter des différenciations spatiales générées par le bruit. A travers ces apports pluridisciplinaires, notre approche du traitement spatial des impacts du bruit peut alimenter la réflexion actuelle pour la rénovation des moyens de lutte contre le bruit. Plus largement, ces avancées méthodologiques doivent favoriser l'intégration des problématiques de l'acoustique environnementale dans les processus de décision de l'aménagement du territoire.

Nous avons tout d'abord détaillé les conditions d'émergence de l'acoustique environnementale dans les pays industrialisés. La propagation des environnements bruyants, au delà du cadre strictement urbain, s'est largement accélérée au cours du dernier siècle écoulé. Les progrès théoriques dans la compréhension des impacts du bruit sur l'homme et l'évolution parallèle des aspirations de la société, ont fait naître une prise de conscience des méfaits du bruit sur la population. Les moyens couramment utilisés jusqu'ici pour lutter contre les situations d'exposition sonore anormales ne semblent pas en mesure de canaliser la diffusion en tache d'huile du problème dans le territoire. A l'image des transports terrestres, sur lesquels nous avons choisi de travailler, la croissance actuelle des trafics rend les efforts de réduction du bruit à la source peu efficace. De nouveaux moyens de lutte contre le bruit sont donc à envisager. Dans cette perspective, l'approche spatiale des impacts du bruit selon la logique de l'acoustique environnementale semble très prometteuse. Elle vise plus à circonscrire le bruit dans le territoire qu'à le faire totalement disparaître.

A travers un rapide état de l'art, nous avons montré que les outils existants sont très performants pour analyser le phénomène d'impact lié au bruit dans le territoire. Ils permettent de produire des évaluations et des simulations de plus en plus réalistes. Par ailleurs, il existe actuellement une volonté politique en Europe, pour une rénovation profonde de la lutte contre le bruit, qui pourrait favoriser le recours aux nouvelles techniques de simulation.

Nos travaux ont permis de structurer l'usage de l'approche spatiale pour l'évaluation et la gestion des impacts du bruit des transports terrestres aux échelles de travail de l'acoustique environnementale. Un cadre méthodologique général est d'abord détaillé. Il est destiné à couvrir le champ des possibles du traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres. Il s'inspire de la logique générale d'évaluation des risques, dans lequel les niveaux d'exposition au phénomène sont confrontés à la vulnérabilité du territoire à ce même phénomène.

Les paramètres de la genèse des impacts du bruit dans le territoire sont ensuite précisés. La description de l'émission sonore, de la propagation et de la réception du bruit dans le territoire s'appuie sur les bases théoriques de l'acoustique. Nous avons choisi de traiter plus particulièrement de l'usage des modèles de simulation de la propagation du bruit en espace extérieur pour l'évaluation de l'exposition du territoire au bruit. Le recours à ces outils permet la production de scénarios prospectifs.

Notre analyse de la vulnérabilité du territoire au bruit s'est plus particulièrement portée sur les paramètres spatiaux de cette notion. Nous avons ainsi détaillé les conditions de réception du bruit et la représentation probable du bruit par la population.

La confrontation spatiale des données d'exposition sonore et de vulnérabilité du territoire au bruit permet de proposer une estimation des impacts potentiels du bruit dans le territoire.

La logique générale d'évaluation des risques justifie une double approche de gestion et d'évaluation des risques d'impact. Le traitement spatial des impacts du bruit peut être entrepris selon ces deux optiques complémentaires. Nous en avons détaillé les caractéristiques. L'approche de gestion des impacts du bruit des transports terrestres permet de projeter sur le territoire les cadres réglementaires existants. L'approche d'évaluation du risque d'impact donne l'occasion de tester de nouveaux paramètres intervenants dans la genèse des impacts du bruit. Pour chacune de ces approches, nous avons présenté les différents apports éventuels du traitement spatial.

Les conditions nécessaires à l'application de ce cadre général de traitement ont ensuite été identifiées. Les solutions techniques actuelles permettent d'appliquer nos approches de traitement grâce au développement de passerelles informatiques adaptées.

Du point de vue des contextes de décision, l'application du cadre de traitement proposé suppose une certaine évolution des méthodes de travail aujourd'hui en vigueur. Nos propositions de diagnostics d'impacts à base d'indicateurs quantitatifs aisément compréhensibles par la population, peuvent en effet bouleverser les rapports de force entre les différents acteurs de la décision. Des domaines jusqu'alors réservés à des spécialistes semblent devenus très accessibles. Cette impression est bien sûr trompeuse. Sous prétexte de clarifier le processus de décision, il est dangereux d'envisager une simplification des diagnostics en amont.

Du point de vue des données indispensables à l'exploitation du cadre de traitement proposé, nous avons fait état des nombreux écueils qui peuvent limiter la portée des diagnostics proposés. L'exploitation de bases de données de sources différentes, le choix d'échelle de travail non adaptée, sont autant de risques d'erreur qu'il est complexe de quantifier. Grâce aux traitements présentés dans la partie 3, nous avons montré les limites de validité de nos diagnostics à deux échelles courantes de l'acoustique environnementale.

Les axes méthodologiques développés dans notre projet sont de nature à favoriser un meilleur recul sur les politiques de lutte contre le bruit actuellement mises en œuvre et de nouvelles perspectives pour la production de scénarios d'impact des aménagements.

Aujourd'hui, l'application de l'approche spatiale du CERTU (cf. point 1.2.3.2.2.), pour le classement sonore des voies est la plus adaptée au contexte actuel, car elle nécessite peu de données spatiales et l'information résultante est aisément compréhensible par de non spécialistes.

Le futur de notre approche de traitement des impacts du bruit peut être envisagé selon trois points de vue différents.

Du point de vue technique, on peut envisager une connexion croissante des modèles acoustiques avec les outils de gestion et d'analyse de l'information géographique. A l'image de Mithra, les fonctionnalités de transfert de l'information sont de plus en plus transparentes. De même les systèmes multi-agent pourraient intervenir lors de la définition de la résolution spatiale du calcul acoustique ou encore pour évaluer la localisation probable des façades les plus vulnérables des bâtiments. En matière acoustique, le développement d'un modèle de propagation plus macroscopique pourrait limiter les risques d'usage abusif des outils existants

pour le traitement spatial des impacts du bruit à petite échelle. L'exploitation de données volumétriques semble elle aussi une perspective technique prometteuse, que ce soit pour la simulation de la propagation acoustique, comme pour l'évaluation de la vulnérabilité.

Du point de vue de la législation, la publication des prochains textes européens va logiquement orienter le développement des méthodes nationales d'évaluation et de gestion du bruit. Par exemple, de nouvelles limites d'exposition sonore en fonction de la période de la journée devraient voir le jour. Une définition plus claire des objets considérés comme sensibles au bruit pourrait de même s'inspirer du concept de vulnérabilité. A plus long terme la relation entre les échelles spatiales et les formes de diagnostic pourraient évoluer. Ainsi, pour les grands projets d'aménagement tel qu'un tracé TGV, une approche plus analytique que celle en vigueur actuellement est imaginable. A très grande échelle spatiale, de nouvelles procédures de recensement et d'analyse des impacts permettraient d'étendre le recensement des points noirs aux zones de bruit critique en situation urbaine dense. On a vu dans nos exemples des traitements à Grenoble que les analyses à grande échelle spatiale supposent l'usage d'informations socio-économiques actuellement protégées par une réglementation stricte. Un accès plus large à ces données pour les seuls institutions en charge des dossiers de santé publique et d'environnement permettraient d'affiner grandement les diagnostics.

Du point de vue méthodologique, les diagnostics d'impact dans le territoire vont encore s'affiner du fait des rapprochements pluridisciplinaires qui favorisent la connexion de considérations acoustiques, économiques, environnementales, sociales ... Le travail de mise en conformité des vocabulaires de chaque discipline intervenante doit être poursuivi pour maîtriser cette masse d'informations nouvelles toujours plus précises. Dans cette logique, on peut imaginer des réflexions plus transversales sur le concept de vulnérabilité territoriale.

Enfin, pour rendre véritablement opérationnelle l'usage de ces diagnostics d'impact des décisions d'aménagement sur le territoire, il semble indispensable de concevoir des méthodes de compilation de l'information qui n'occulte pas la finesse des résultats tout en favorisant une approche synthétique des tensions potentielles générées dans le territoire.

# BIBLIOGRAPHIE

- [ALT 93] ALENHOFF D., SAEUNGIL L., « A decision support for the simulation of noise propagation and noise abatement measures using ARC/INFO », *Third international conference on computers in urban planning and urban amenagement*. Atlanta, Georgia ; juillet 1993.
- [ASC 98] ASCHIERI A., GRZEGRZULKA O., Propositions pour un renforcement de la sécurité sanitaire environnementale, Rapport au Premier Ministre, novembre 1998.
- [AUB 92/1] AUBREE D., RAPIN J. M., Les bruits, les indices et la gêne, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1992.
- [AUB 92/2] AUBREE D., « Le confort acoustique : indices sonores et critères sociaux », *Actes du colloque international sur la qualité des espaces habités*, Grenoble, pp. 228-235.
- [AUG 95] AUGOYARD J. F. TORQUE H., *A l'écoute de l'environnement – Répertoires des effets sonores*, Edition Parenthèses, Marseille, 1995.
- [BAI 75] BAILLY A. S., *La géographie du bien-être*, Edition Presses Universitaires de France, Paris, 1975.
- [BAI 95] BAILLY A. S., FERRAS R., PUMAIN D., *Encyclopédie de géographie*, sous la dir., Edition Economica, Paris, seconde Edition, 1995.
- [BAL97] BALESTRA J. P., Cluse de Chambéry, Dossier de voirie d'agglomération, Cartographie des axes bruyants, trafic routier 1995 et prévisionnel 2015, Direction Départementale de L'équipement du département de Savoie, Service d'aménagement et d'urbanisme, Cellules études générales, avril 1997.
- [BAL 99] BALAY O. et al., La représentation de l'environnement sonore urbain à l'aide d'un système d'information géographique, CRESSON LISI, Agence des villes, octobre 1999.
- [BAR 83] BAR P., « Transports terrestres : problématique et actions », *Revue Après-demain*, n°258, 1983, pp. 23-32.
- [BAR 97] BARRY A., BLANDINIÈRE J. P., FOURNIER J. M., La formation des prix des terrains à bâtir - l'exemple de Paris et de la première couronne, ministère de l'équipement, juin 1997, Référence Internet : <http://www.equipement.gouv.fr/dau/observation/prixterr/pagegard.htm>
- [BAR 99] BARRAQUE P., « Le bruit : question de santé ou de qualité de vie ? », *Revue Devenir*, n°33, 1999.
- [BEG 94] BEGUIN M., PUMAIN D., *La représentation des données géographiques - statistique et cartographie*, Edition Armand Colin, col. Cursus, Paris, 1994.
- [BER 93] BERNARD M., MIELLET P., *Géocube, encyclopédie interactive sur l'information géographique et les SIG*, SIAGE, GIP RECLUS, Montpellier, février 1993.
- [BER 95] BERGLUND B., LINDVALL T., *Community noise*, Center for Sensory Research, Stockholm, 1995.
- [BER 98] BERGLUND B., « Community noise in a public health perspective », *Actes de Internoise 98*, Vol. 1, novembre 1998, Christchurch, pp. 19-24.
- [BER 00] BERGLUND B., LINDVALL T., SCHWELA D. H., *Guidelines for community noise*, Organisation mondiale de la santé, 2000
- [BLA 98] BLANCHI R., Elaboration et validation d'indicateurs pour la prévention des risques naturels - vers des outils d'évaluation, d'aménagement et de gestion du territoire, rapport d'avancement 1ere année de thèse, Ecole des Mines, Sophia Antipolis, avril 1998.
- [BON 91] BONHOMME B., BAJARD M., MALVERTI X., *L'atlas urbain de Grenoble*, Ecole d'architecture de Grenoble, 1991.
- [BOT 99] BOTTELDOOREN D., DECLOEDT S., BRUYNEEL J., POTTIE S., « Characterisation of quiet areas : subjective evaluation and sound level indices », *Acta Acoustica, Journal of the european acoustics association*, Vol. 85, janvier février 1999.
- [CAR 99] CARLSON L., Internet presentation and application of digital photogrammetry, Master of science thesis in photogrammetry, KTH, Stockholm, 1999, Référence Internet : <http://www.geomatics.kth.se/~linusc/>

- [CE 96] COMMISSION EUROPEENNE., La politique future de lutte contre le bruit, Livre Vert de la commission Européenne, 1996.
- [CER 96] CENTRE D'ETUDES SUR LES RESEAUX, LES TRANSPORTS, L'URBANISME ET LES CONSTRUCTIONS PUBLIQUES, Eléments méthodologiques pour le classement sonore des infrastructures de transports terrestres, Rapport infrastructures routières, n°1, septembre 1996.
- [CETE 95] CETE Rhône Alpes, Cstb., La connexion des images Spot avec Mithra, document provisoire, 1995
- [CET 81] CETUR, *Bruit et formes urbaines, propagation du bruit routier dans les tissus urbains*, Ministère des transports, Ministère de l'urbanisme et du logement, 1981.
- [CHA 94] CHATELUS G., « Analyse de l'élaboration institutionnelle de grands projets ferroviaires internationaux – comparaisons des traversées alpines suisses et du TGV Lyon-Turin », *Revue Recherche Transports Sécurité*, n° 44, septembre 1994, pp. 13-22.
- [CHA 98] CHAMPELOVIER P., LAMBERT J., VERNET I., « Railway annoyance in Europe: an overview », *Euro-Noise 98*, Munchen, 1998.
- [CLE 97] CLEMENT L., « Une histoire synthétique des transports urbains en France de 1800 à 1997 », *Revue Transports*, n°386, novembre décembre 1997, pp. 411-423.
- [CNI 98] CONSEIL NATIONAL DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE, Constitution de données géographiques par photogrammétrie, Fiche technique du CNIG, n° 16, avril 1998.
- [COH 98] COHEN DE LARA M, DRON D., « Evaluation économique et environnement dans les décisions publiques », *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°33, avril 1998.
- [CON 93] CONSEIL G., DEPORCQ D., VIANES A., « Environnement : les conséquences de la loi antibruit" », *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, n°4653, janvier 1993, pp. 30-32.
- [CSTB 96] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT, Manuel technique du logiciel Mithra version 2.2 – C.S.T.B. 1996.
- [DAM 93] DAMAIS J. P., « Apports des analyses à mirco-échelle dans les recherches urbaines sur la différenciation sociale de l'espace en milieu urbain », *Revue geographia polonica*, n°61, 1993, pp. 33-46.
- [DEB 95] DE BLOMAC F., GAL F., « Les systèmes d'information géographique - des outils au service de la démocratie », *Revue Hérodote*, n°76, 1<sup>er</sup> trimestre 1995.
- [DEF 98] DEFRANCE J., Présentation du logiciel MITHRA : Méthode Inverse de Tracé dans l'Habitat de Rayons Acoustiques– CSTB, mars 1998 – 23 p.
- [DEL 93/1] DELAGE B., « Nature et structure de l'identité sonore des villes », *Actes des rencontres de Marne La Vallée – « Vers une nouvelle culture urbaine »*, Edition Altamira, pp. 77-89, décembre 1993
- [DEL 93/2] DELANNE Y. R. D., "Strategies for the mitigation of traffic noise in urban area", *Internoise 93*, Leuven, 1993, Vol. 1, pp. 599-602.
- [DEM 62] DEMANGEAT G., Le bruit dans la cité moderne ; Recueil des publications, 1962, Référence Internet : <http://homeoint.org/books/dempubli/bruit.htm>
- [DEG 99] DE GREGORIO R., Notions élémentaires d'acoustique, le son, nature et propriétés, 1999, Référence Internet : <http://www.univ-pau.fr/~degreg/communication/P6Acoustique.Htm>
- [DER 94] D'ERCOLE R., « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, mode d'analyse », *Revue de géographie alpine*, Grenoble, n° 4, 1994, pp. 87-96.
- [DET 81] DE TOCQUEVILLE A., *De la démocratie en Amérique*, Edition GF Flammarion, Paris, 2 tomes, 1981.
- [DETR 98] DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND THE REGIONS, Noise mapping : experience in Germany and its relevance to the UK, Référence Internet : <http://www.environment.detr.gov.uk/airq/nnp/noise/mapping/exsum.htm>
- [DIC 99] DICTIONNAIRE DE L'ECOLOGIE, Encycloaedia Universalis, Edition Albin Michel, 1999.
- [DOR 99] DORNE R., Les nuisances sonores : simulations dans le quartier de l'Estacade - Grenoble, mémoire de Maîtrise en géographie, Université de Grenoble 1, 1999.

- [DREIF 99] DIRECTION REGIONALE DE L'EQUIPEMENT ILE DE FRANCE, Division des études d'infrastructures de transports et d'ouvrages d'art, Groupe environnement et infrastructures de transports, Identification et évaluation des points noirs bruit, mars 99.
- [DRO 97] DROIN L. , « Classement des infrastructures de transport et cartographie sonore », *Revue Echo-bruit*, Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit, n°80-81, avril-mai 1997, pp. 24-26.
- [DUB 97] DUBOSC A., Eléments de sociologie de l'environnement et de l'eau en France – résumés et synthèse de sept études et enquêtes d'opinion, Agence de l'eau Seine Normandie, 1997, Référence Internet : <http://61.com/fiches/gest/97gest17.htm> (lien mort).
- [DUP 96] DUPUY G., « Le bien-être urbain – Villes », *Le courrier du CNRS*, n° 82, juin 1996.
- [EAS 94] EASTMAN J. R. et al., *Exploration in Geographic Information Systems Technology*, Volume 4, GIS and Decision making, UNITAR European office, Genève, 1994.
- [EEA 98] DGVII, DGXI, EUROSTAT, EAA., Spatial and ecological assessments of the transeuropean transport network, progree report of the DGVII-DGXI-Eurostat-EAA working group of the spatial and ecological assesement of the transeuropean transport network, avril 1998.
- [EEA 99] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Environment in EU at the turn of the century, 1999, Référence Internet : <http://themes.eea.eu.int/theme.php/issues/noise>
- [EEA 00] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Are we moving in the right direction ? - Indicators on transport and environment integration in the EU, Environmental issues series n°12, février 2000.
- [EGE 98] EGELS Y., « La photogrammétrie numérique : vers une banalisation du métier de photogrammètre ? », *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, Vol. 1, n°149, 1998, pp. 8-11.
- [FER 97] FERRY J. M., « Raison scientifique, décision politique, opinion publique », in. La civilisation tributaire de sa passion du bien-être, Bruxelles, Edition Entre-vues & Labor, 1997, pp. 72-89.
- [FID 91] FIDELL S., BARBER D. S., SCHULTZ T. J., « Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transport noise », *Journal of acoustical society of America*, Vol. 89, n°1, 1991, pp. 221-233.
- [FIE 93] FIELDS J. M., « Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas », *Journal of acoustical society of America*, Vol. 93, n°5, 1993, pp. 2753-2763.
- [FIN 94] FINGOLD L. S., STANLEY HARRIS C., VON GIERKE H. E., « Community annoyance and sleep disturbance : updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people », *Noise control engineering journal*, Vol. 42, n°1, 1994, p. 25-30.
- [FIT 97] FITZKE J., « Development of a GIS-prototype for quantification of noise pollution on the basis of noise immission levels and population data », Référence Internet : <http://www.giub.uni-bonn.de/greve/team/fitzke/idrisicd/fitzke.html>
- [FOL 99] FOLLET F., Mise en place d'un restituteur photogrammétrique - apport de la photogrammétrie aux outils de prévention des risques naturels, Mémoire de diplôme d'ingénieur géomètre topographe, ESGT, Le Mans, 1999.
- [FYH 99] FYHRI A., KLAEBOE R., ., « Exploring the impact of visual aesthetics on the soundscape », *Internoise99*, Fort Lauderdale, USA, 1999.
- [GAB 90] GABILLET Y., « Une méthode inverse de recherche de rayons : le logiciel Mithra », *Cahier du CSTB*, n°2444, 1990.
- [GIR 99] GIRARDIER F., Les nuisances sonores : Simulations dans le cadre de Montmélian, mémoire de Maîtrise en géographie, Université de Grenoble 1, 1999.
- [GRA 97] GRANÖ J. G., *Pure geography*, translated by HICKS M., the John Hopkins university press, 1997.
- [GRAN 96] GRANNEMAN J. H., HUIZER H., « Noise emission from stadiums », *Actes de Internoise 96*, Liverpool, pp. 1879-1882.
- [GUA 98] GUALEZZI J. P., Le bruit dans la ville, Avis et rapport du Conseil Economique et Social, les Editions des journaux officiels, avril 1998
- [GUS 95] GUSKI R., « Limits of utility of dosae-response analysis for predicting the prevalence of annoyance », *Acta Acoustica, Journal of the european acoustics association*, Vol. 85, janvier février 1999.

- [GUS 98] GUSKI R., FLESCHER-SUHR U, SCHUEMER R., « The concept of noise annoyance : what international experts tell », *Internoise98*, Christchurch, 1998, pp. 1045-1048.
- [GUS 00] GUSKI R., « Aspects contributing to global annoyance judgments in field interviews », *Internoise2000*, Nice, 2000, sous presse.
- [HAB 00] HABERMEHL K., OHSE L., « Use of geographic systems in noise abatement strategies », *Internoise2000*, Nice, 2000, sous presse.
- [HAR 91] HARRIS C. M. dir., *Hanbook of acoustical measurements and noise control*, ed. Mc Graw Hill, 1991.
- [HAR 00] HARRIS R., « Who's in ? Lifestyles data and geographical research », *Cybergéo*, n°119, 2000, Référence Internet : <http://www.cybergeopresse.fr/essoc/harris/harris.html>
- [HAU 90] HAUMONT A., « Les habitants, les experts et les élus, la gestion urbaine du bruit », *Colloque effets et traitement du bruit des transports, Quatrième entretiens du centre Jacques Cartier*, Rhône Alpes, 4 - 7 décembre 1990.
- [HEA 97] HEALTH COUNCIL OF THE NETHERLANDS, COMMITTEE ON UNIFORM ENVIRONMENTAL NOISE EXPOSURE METRIC., *Assessing noise exposure for public health purposes*, octobre 1997.
- [HIN 99] HINTON J., « A progress report on European Commission noise mapping », *Acta Acoustica, Journal of the european acoustics association*, Vol. 85, janvier février 1999.
- [HOU 98] HOUOT H., « Traitement de l'information géographique et acoustique en vue de la prise en compte des nuisances sonores en aménagement urbain », *Acte du colloque Géopoint 98*, Avignon, mai 1998.
- [HUR 98] HURTIG S., APPELBERG T., RUNSTRÖM H. ., « A pilot study : definition and location of soilent environments », *Internoise98*, Christchurch, 1998, pp. 1175-1178.
- [HWA 97] HWANG D., KARIMI H. A., BYUN D. W., « Uncertainty analysis of environmental models within GIS environments », *Computers and Geosciences*, Edition Elsevier Science, Vol. 24, n°2, 1998, pp. 119-130.
- [IBGE 98] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, *La lutte contre le bruit en milieu urbain dans la région de Bruxelles - capitale - Données de base pour le plan*, 1998.
- [INSEE 97] INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DES ETUDES ECONOMIQUES, « L'évolution des transports depuis 40 ans », *INSEE Première*, n°522, juin 1997.
- [INSEE 00] INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DES ETUDES ECONOMIQUES, « Recensement de la population 1999, les formes de la croissance urbaine », *INSEE Première*, n°701, mars 2000.
- [IRM 00] IRMER V. K. P., ., « Assessment of conflict plans on the basis of noise mapping in Germany », *Internoise2000*, Nice, août 2000, sous presse.
- [ISO 99] THE INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION, *Acoustics – Description, assessment and measurement of environmental noise*, ISO/TC 43/SC 1/WG 45, 1999.
- [JAB 99] JABBen J., DASSEN A.G.M., NIJLAND H.A., STAATSEN B.A.M., « A model for noise mapping in the Netherlands », *Internoise99*, Fort Lauderdale, USA, 1999.
- [JOU 00] JOUANNET J., *Pollution et nuisances sonores en milieu urbain : Etude du quartier de l'Estacade à Grenoble*, mémoire de Maîtrise en géographie, Université de Grenoble 1, 2000.
- [KAI 99] KAIL M., LAMBERT J., QUINET E., *Evaluer les effets des transports sur l'environnement, le cas des nuisances sonores*, Comité des applications de l'Académie des Sciences, rapport n°16, novembre 1999.
- [KIH 99] KIHLMAN T. « City traffic noise - a local or global problem ? », *Internoise99*, Fort Lauderdale, USA, 1999.
- [KOE 87] KOELEGA H. S., *Environmental Annoyance: Characterization, Measurement, and Control*, Edition Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 1987.
- [KRA 97] KRAUS K., WALDHÄUSL P., *Manuel de photogrammétrie - principes et procédés fondamentaux*, traduction de Grussenmeyer et Reis, Edition Hermès, Paris, 1997.
- [LAA 00] LAARIBI A., *SIG et analyse multicritère*, Edition Hermès, Paris, 2000.
- [LAC 97] LACAVE M. et al., *Les politiques publiques locales en matière d'environnement : information, démocratie locale et services municipaux*, Bilan d'un premier appel d'offres et état des lieux du programme sur l'écologie urbaine, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Ministère de

- l'Environnement, juin 1997, Référence Internet :  
<http://www.urbanisme.equipement.gouv.fr/pu/ao/ecologie/resume6.htm>
- [LAM 82] LAMBERT J., DUISIT R., VENTRE C., L'impact du bruit de circulation sur le marché immobilier - résultats d'une préenquête, Institut de recherche des transports, Centre d'évaluation et de recherche des nuisances et de l'énergie, décembre 1982.
- [LAM 83] LAMBERT J., « Le coût social du bruit », *Revue Après-demain*, n°258, octobre novembre 1983, pp. 18-20.
- [LAM 91] LAMBERT J., « Quelle politique pour lutter contre le bruit routier en zone urbaine ? », *Revue Recherche Transports Sécurité*, n° 32, décembre 1991, pp. 7-9.
- [LAM 93/1] LAMURE C., LAMBERT J., Impact des transports terrestres sur l'environnement, méthodes d'évaluation et coûts sociaux, Synthèse INRETS n°23, Bron, 1993.
- [LAM 93/2] LAMBERT J., Impact du bruit du T.G.V. Atlantique, Rapport INRETS, Bron, 1993.
- [LAM 94] LAMBERT J., MATHERON J., « Les méthodes quantitatives d'évaluation de l'impact sur l'environnement des programmes et projets de transports terrestres », Séminaire international, *Actes INRETS*, n°41, décembre 1994.
- [LAM 98] LAMBERT J., CHAMPELOVIER P., VERNET I., « Assessing the railway bonus : the need to examine the "new infrastructure" effect », *Actes de Internoise 98*, Vol. 3, novembre 1998, Christchurch, pp. 1665-1668.
- [LAMU 98] LAMURE C., La résorption des Points Noirs du bruit routier et ferroviaire, rapport de mission, novembre 1998
- [LAU 91] LAURINI R., « Ingénierie des connaissances spatiales : le cas de la géomatique », *Revue l'Espace géographique*, n°1, 1990-1991, pp. 24-40.
- [LAU 93] LAURINI R., MILLERET-RAFFORT F., *Les bases de données en géomatique*, Edition Hermès, Paris, 1993.
- [LEO 96] LEONE F., Concept de vulnérabilité appliquée à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain, Thèse de doctorat, Université de Grenoble 1, 1996.
- [LER 99] LE ROY O., sous la dir., *Lutte contre le bruit : la politique de l'Union Européenne*, Edition Impact Europe, 1999.
- [MAG 91] MAGUIRE D., GOODCHILD M.F., RHIND D.W., *Geographical Information System*, Vol.1 Principes, Vol.2 Applications, Edition Longman Scientific and Technical, New York, 1991.
- [MAR 94] MARTIN B., « Pratiques en France pour les projets routiers et ferroviaires », *Les méthodes quantitatives d'évaluation de l'impact sur l'environnement des programmes et projets de transports terrestres*, Séminaire international, 9-10 décembre 1993, Paris, Actes INRETS n°41, décembre 1994.
- [MAT 92] MATHYS J., « Les normes garantissent-elles le confort acoustique ? », *Actes du colloque international sur la qualité des espaces habités*, Grenoble, 1992, pp. 68-76.
- [MAY 88] MAYSTRE L. Y., MARTIN J., *Santé et pollution de l'air*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, col. Gérer l'environnement, 1988.
- [MAY 94] MAYSTRE L. Y. et al., *Méthodes multicritères ELECTRE, Description, conseils pratique et cas d'application à la gestion environnementale*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994.
- [MEB 98] MEBRATU D., « Sustainability and sustainable development : historical and conceptual review », *Environmental impact assessment revue*, Vol. 6, n°28, nov. 1998., pp. 493-520.
- [MER 94] MERIC L., *Le bruit nuisance, message, musique*, Société pour la protection de l'environnement, Edition Georg, Dossiers de l'environnement, Berne, 1994.
- [MIE 78] MIEDEMA H. M. E., « Exposure-response relationships for transportation noise », *Journal of acoustical society of America*, Vol. 104, n°6, 1998, pp. 3432-3445.
- [MIN 95] MINISTERE DU LOGEMENT, DIRECTION DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION, nouvelle réglementation acoustique, 1995.
- [MIY 99] MIYARA F., Sound levels, 1999, Référence Internet :  
<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/comite/soundlev.htm>

- [MUR 79] MURRAY SCHAFFER R., *Le paysage sonore, toute l'histoire de notre environnement sonore à travers les âges*, Edition J. C. Lattès, Col. Musiques & musiciens, Paris, 1979.
- [NOV 94] NOVEMBER V., « Risques naturels et croissance urbaine : réflexion théorique sur la nature et le rôle du risque dans l'espace urbain », *Revue de géographie alpine*, Grenoble, n° 4, 1994, pp. 87-96.
- [OCDE 91] ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES, *L'état de l'environnement*, Paris, 1991.
- [OCDE 93] ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES, *Urban travel and sustainable development: an analysis of 132 OECD cities*. Urban affairs division, Paris, 1993.
- [PAC 98] PACCOLAT E., *Modélisation et intégration d'une couche bruit dans un Système d'information géographique : tentative de quantification des nuisances sonores en milieu périurbain. L'exemple de Montmélian*, mémoire de Maîtrise en géographie, Université de Grenoble 1, 1998.
- [PER 88] PERIANEZ M., « La gêne attribuée au bruit, approche anthropologique », *Revue Diagonale*, n°71, 1988, pp. 38-40.
- [PER 94] PERIANEZ M., « Est-ce bien du bruit qu'il s'agit ? », *Revue Problèmes politiques et sociaux*, n°734, 1994, pp. 40-42.
- [PER 96] PERAYA D. *Entendre, voir, comprendre, des mécanismes perceptifs aux mécanismes cognitifs*, 1996, Référence Internet : <http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/staf13/mod-1/perception/st13-1-1-96.html>
- [PHI 97] PHIPPS M., LANGLOIS A., *Automates cellulaires : application à la simulation urbaine*, Edition Hermès, Paris, 1997.
- [POR 90] PORNON H., *Systèmes d'information géographique, des concepts aux réalisations*, Edition Hermès, Service Technique de l'Urbanisme, Paris, 1990.
- [POR 92] PORNON H., *Les SIG - Mise en œuvre et applications*, Edition Hermès, Paris, 1992.
- [POR 96] PORNON H., « Données précises ou données de qualité ? », *Revue Géomètre*, n°6, 1996, pp. 30-33.
- [PRO 97] PROBST W., « Noise map of cities and the rating of noise abatement concept », *Internoise 97*, Vol. 2, 1997, Budapest, pp. 803-805.
- [PUZ 98] PUZIN S., *Modélisation et intégration d'une couche bruit dans un Système d'Information Géographique : tentative de quantification des nuisances sonores en milieu urbain*, mémoire de Maîtrise en géographie, Université de Grenoble 1, 1998.
- [QUE 97] QUESSEVEUR E., *Systèmes d'information géographique et nuisances sonores*, mémoire de DEA Structures et Dynamiques spatiales, Institut de Géographie Alpine, Université de Grenoble 1, 1997
- [QUE 98] QUESSEVEUR E., *Systèmes d'information géographique et acoustique urbaine*, Rapport intermédiaire du projet SIGAUR, Institut National de Génie Urbain, septembre 1998.
- [QUE 99/1] QUESSEVEUR E., « Les nouvelles perspectives d'analyse spatiale des nuisances sonores », *Actes des 4eme Rencontres Théoquant 99*, Besançon, 11 – 12 février 1999, Presses Universitaires Franc-comtoises, 2001, pp. 111-124.
- [QUE 99/2] QUESSEVEUR E., DEFRANCE J., DUMOLARD P., RAPIN J. M., VAN MAERCKE D., *Systèmes d'information géographique et acoustique urbaine*, Rapport du projet SIGAUR, Institut National de Génie Urbain, octobre 1999.
- [QUE 00] QUESSEVEUR E., « S.I.G. et acoustique urbaine », *Revue Internationale de Géomatique*, numéro spécial SIG et simulations, Vol. 10, n°1, Edition Hermès, octobre 2000, pp. 61-90.
- [RAP 97] RAPIN J. M., AUBREE D., BOUCHET B., « Gérer et construire l'environnement sonore – la lutte contre le bruit en grande agglomération », *Cahier n°6*, Edition ARENE, 1997.
- [RAP 99] RAPIN J. M., « La carte de bruit, outil de gestion urbaine », *CSTB Magazine*, n 121, 1999, p. 7-9.
- [REV 97] REVERDY B., JONCTION, ACER CAMPESTRE LIERDEMAN, *Expertise sur le projet de liaison ferroviaire transalpine voyageurs et marchandises Lyon-Turin*, Rapport à la direction des transports et des communications de la région Rhône Alpes, 30 septembre 1997.
- [ROU 91] ROUET P., *Les données dans les SIG*, Edition Hermès, Paris, 1991.

- [ROU 98] ROULIER F., Le milieu sonore d'Angers, Essai d'une géographie du bruit, Thèse de doctorat, Université d'Angers, 1998.
- [ROU 99] ROULIER F., « Pour une géographie des milieux sonores », *Cybergéo*, n°71, 1999, Référence Internet : <http://www.cybergeo.presse.fr/revgeo/paysenvi/texte/roulier.html>
- [SER 95] SERROU B., La protection des riverains cintre le bruit des transports terrestres, Rapport remis au Ministre de l'environnement le 15 avril 1995.
- [SER 97] SERRE M., NAYLA N. Dir., *Dictionnaire des sciences*, Edition Flammarion - 1997.
- [SES 98] SES-DAEL, Préparation des schémas de services, prévisions de trafic, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Paris, 1998.
- [SCH 78] SCHULTZ T. J. « Synthesis of social surveys on noise annoyance », *Journal of acoustical society of America*, Vol. 64, n°2, 1978, p. 377-405.
- [SCH 85] SCHÄRLIG A., *Décider sur plusieurs critères, Panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses polytechniques romandes, 1985.
- [SOG 91] SOGUEL N., Evaluation du coût social du bruit généré par le trafic routier en ville de Neuchâtel, Rapport intermédiaire de recherche « Ville et transport », projet n°4025-27435, Institut de recherche économiques et régionales, Université de Neuchâtel, août 1991.
- [SOG 94] SOGUEL N., Evaluer l'impact environnemental des transports : le cas du bruit d'origine ferroviaire en Suisse, Réunion d'information Eurocities, Turin, Institut de recherche économiques et régionales, Université de Neuchâtel, mai 1994.
- [SOU 97] SOULAGE D., BESNARD F., « La nouvelle méthode de prévision du bruit routier avec prise en compte des conditions météorologiques », *Revue Echo Bruit*, n° 83-84, Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit, novembre 1997, pp. 13.
- [SPE 00] SPATIAL PROGRAMME ON EUROPEAN SPATIAL PLANNING, Spatial Images, Chapitre 4., Référence Internet : <http://www.nordregio.se/spesdn/welcome.htm>
- [STA 95] STANNERS D., BOURDEAU P., L'environnement de l'Europe, l'évaluation de Dobris, Edition Earthscan publications, 1994.
- [THE 87] Theys J., Fabiani J.L., sous la dir. , La société vulnérable, évaluer et maîtriser les risques, Presses de l'école normale supérieure, Paris, 1987.
- [VAL 97] Vallet M., « Pourquoi agir contre le bruit : ses effets sur la population, son coût social », *Revue Echo Bruit*, n° 80-81, Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit, avril-mai 1997, pp. 8-9.
- [VIG 95] Vigneron V., « Accessibilité routière au sud de l'agglomération grenobloise en liaison avec la construction de l'autoroute A51 », *Revue Internationale de Géomatique*, Edition Hermès, Vol. 5, n°3-4, 1995, pp. 283-297.
- [VIO 99] Viollon S., Lavandier C., Drake C., « Changing soundscape appraisal through visual information », *Internoise99*, Fort Lauderdale, USA, 1999.
- [VON 92] Von Meier A., « Thin porous surface layers - design principles and results obtained », Euro-Symposium The Mitigation of Traffic Noise in Urban Areas, mai 1992, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, (LCPC)-Centre de Nantes, Bouguenais.
- [VON 98] Von Moos M., Outils de la photogrammétrie pour visualiser des projets, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Institut de Géomatique, 1998, Référence Internet : <http://sawwww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI98/fi-sp-98/>

# TABLE DES CARTES

<i>Carte 1 - Les événements auditifs dans le milieu de Valosaari [GRA 97]</i>	65
<i>Carte 2 - Exemple de carte de classement sonore des voies dans la Combe de Savoie (E. Quesseveur, Laboratoire SEIGAD, 2000)</i>	67
<i>Carte 3 - Niveaux de bruit et volume de population exposée après la construction d'une autoroute dans le sud de Dortmund [ALT 93]</i>	74
<i>Carte 4 Exemple de carte d'occurrence de conditions favorables (période de jour, direction source récepteur 240 degrés) [SOU 97].</i>	130
<i>Carte 5 - Exemple de tracé de rayon pour un récepteur particulier dans le logiciel Mithra - site d'étude de Montmélian</i>	135
<i>Carte 6 - Carte horizontale de bruit vectorielle interpolée dans Mithra - site d'étude de Grenoble [JOU 00]</i>	136
<i>Carte 7 - Localisation de la zone d'étude dans l'agglomération grenobloise (Isère - France)</i>	170
<i>Carte 8 - Répartition de la population et des trafics - zone d'étude de Grenoble - Estacade</i>	173
<i>Carte 9 - Classement sonore des infrastructures de transport - zone d'étude de Grenoble - Estacade</i>	175
<i>Carte 10 - Situation actuelle et options d'aménagement futur - zone d'étude de Grenoble - Estacade</i>	179
<i>Carte 11 - Organisation du calcul Mithra - zone d'étude de Grenoble - Estacade</i>	185
<i>Carte 12 - Description de l'enveloppe sonore par bâtiment - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	189
<i>Carte 13 - Traitement de l'exposition par façade de bâtiment - situation actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	191
<i>Carte 14 - Répartition de la population par classe d'exposition sonore - situation de jour actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	193
<i>Carte 15 - Evolution de l'exposition maximale selon les différents projets d'aménagement - situation sonore de jour - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	195
<i>Carte 16 - Application de l'approche « point noir » pour les différents projets d'aménagement - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	197
<i>Carte 17 - Application de l'approche « point noir » ramenée à la population pour les différents projets d'aménagement - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	199
<i>Carte 18 - Evaluation de la vulnérabilité au bâtiment - situation actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	203
<i>Carte 19 - Application d'une relation « dose effet » pour l'évaluation de la population fortement gênée - situation de jour actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	205
<i>Carte 20 - Evaluation de la nuisance sonore au bâtiment - situation sonore actuelle - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	207
<i>Carte 21 - Comparaison des estimations de population fortement gênée entre la situation actuelle et les différents projets d'aménagement - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	209
<i>Carte 22 - Comparaison des situations de nuisance sonore - entre la situation actuelle et le projet 2 - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	211
<i>Carte 23 - Domination de la bande de fréquence 500 Hz par bâtiment pour la situation actuelle et le projet 2 - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	215
<i>Carte 24 - Identification de la source dominante par bâtiment - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	217
<i>Carte 25 - Adaptation du tissu urbain au contexte d'exposition sonore actuel - zone d'étude de Grenoble - Estacade -</i>	219
<i>Carte 26 - Vue générale de la zone d'étude de Montmélian</i>	223

<i>Carte 27 - Evolution de l'occupation du sol entre les années 1950 et 2000 - site d'étude de Montmélian</i>	227
<i>Carte 28 – Configuration des réseaux et du tissu urbain –situation actuelle - site d'étude de Montmélian</i>	229
<i>Carte 29 - Classement sonore des voies et endommagement potentiel par le bruit - site d'étude de Montmélian (Savoie -France) -</i>	231
<i>Carte 30 – Carte de l'exposition sonore actuelle produite avec Mithra - site d'étude de Montmélian (Savoie - France) en dB L(Aeq, 24h) -</i>	237
<i>Carte 31 - Confrontation des situations de points noirs et des espaces à fort potentiel d'endommagement - site d'étude de Montmélian (Savoie - France) - exposition sonore en dB L(Aeq, 24 h) -</i>	239
<i>Carte 32 - Confrontation des limites légales d'exposition avec l'exposition sonore estimée - situation sonore actuelle en dB L(Aeq, 24h) - zone d'étude de Montmélian -</i>	241
<i>Carte 33 - Evolution de la différence entre l'exposition réelle et l'exposition légale entre la situation reconstituée des années 50 et l'état des lieux actuel - en dB L(Aeq, 24h) - zone d'étude de Montmélian -</i>	243
<i>Carte 34 - Evolution de la différence entre l'exposition réelle et l'exposition légale entre l'état actuel et la situation projetée de 2010 avec la ligne TGV - en dB L(Aeq, 24h) - zone d'étude de Montmélian -</i>	245
<i>Carte 35 - Critères de différenciation spatiale de la vulnérabilité au bruit : conditions de réception du bruit des zones résidentielles – situation actuelle - zone d'étude de Montmélian -</i>	251
<i>Carte 36 - Critères de différenciation spatiale de la vulnérabilité au bruit : représentation du bruit par la population résidentielle – situation actuelle - zone d'étude de Montmélian -</i>	253
<i>Carte 37 - Evaluation de la vulnérabilité au bruit des zones résidentielles - situation actuelle - zone d'étude de Montmélian -</i>	259
<i>Carte 38 - Identification de la source dominante de bruit dans la situation actuelle - site d'étude de Montmélian (Savoie - France) -</i>	261
<i>carte 39 - Exemples de confrontations spatiales pour l'évaluation de la nuisance sonore- approche spatiale exploratoire - situation sonore actuelle - zone d'étude de Montmélian -</i>	263
<i>Carte 40 - Les critères spatiaux exploités pour la production d'options de tracés TGV - zone d'étude de Montmélian -</i>	265
<i>Carte 41 - Présentation des différentes options de tracé TGV issues de traitements spatiaux multicritères - site d'étude de Montmélian (Savoie France) -</i>	267
<i>Carte 42 - Présentation du tracé TGV le plus favorable - évaluation de la pollution sonore potentielle et des limites du diagnostic - zone d'étude de Montmélian -</i>	269

# TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Présentation de l'acoustique environnementale	15
Figure 2 - Schématisation des dimensions diversifiées du bruit	16
Figure 3 - Forme d'une onde périodique dans le temps	18
Figure 4 - Une forme d'onde carrée (en gras) et les harmoniques qui la composent (en gris)	19
Figure 5 - Un son dont l'onde a une forme sinusoïdale ne comprend qu'une fondamentale de même hauteur et de même amplitude.	19
Figure 6 - Deux modes de représentation du bruit autoroutier en fonction de la fréquence [RAP 97]	20
Figure 7 - Forme d'une onde périodique dans l'espace	21
Figure 8 - Courbes d'égale sensation sonore pour des sons purs (isotonie), d'après Fletcher et Munson [MIY 99]	23
Figure 9 - Courbes A, B, C de pondération de fréquence, [MIY 99]	23
Figure 10 - Exemple de bruit, détermination des niveaux fractiles et du niveau équivalent (L <sub>Amax</sub> , LA5, LA90 et L(A <sub>eq</sub> , t)) [IBG 98]	27
Figure 11 - Les descripteurs SEL et L <sub>Amax</sub> d'événements sonores	28
Figure 12 - Les modes d'observations des effets du bruit sur l'homme [QUE 00]	30
Figure 13 - Les seuils de risques auditifs pour l'oreille humaine [HAR 91]	31
Figure 14 - Distance maximum en extérieur grâce à laquelle une conversation est intelligible avec un bruit stable [BER 95]	32
Figure 15 - La notion de gêne liée au bruit dans la logique de l'acoustique environnementale	35
Figure 16 - Répartition de la population exposée à différents niveaux de bruit routier [EEA 00]	43
Figure 17 - Exposition de la population au bruit des transports terrestres	44
Figure 18 - Pourcentage de population fortement gênée en fonction du niveau d'exposition en L <sub>dn</sub> selon les fonctions de Schultz, Finegold et al. et Miedema [ISO 99]	51
Figure 19 - Exposition au bruit supérieur ou égale à 65 dB(A) selon le niveau de revenu, en % de la population française [SER 95]	53
Figure 20 - Le risque habituel dans la prise de décision [ASCH 98]	54
Figure 21 - Les paramètres de la gestion politique du risque d'impact du bruit sur la société	55
Figure 22 - Les mesures basiques pour réduire la pollution sonore à proximité des routes - d'après [DEL 93/2]	56
Figure 23 - Démarche générale de la confrontation spatiale de la vulnérabilité et de l'exposition sonore	78
Figure 24 - Différenciation de la gestion et de l'évaluation du risque d'impact lié au bruit	81
Figure 25 - Démarche de recherche	85
Figure 26 - Démarche générale d'évaluation du risque	90
Figure 27 Démarche générale de confrontation pour l'analyse des impacts potentiels du bruit dans le territoire.	90
Figure 28 - Cadre d'évaluation des stress urbains [EEA 99]	92
Figure 29 - Les paramètres de la genèse de l'exposition sonore	93
Figure 30 - Performances acoustiques de revêtements routiers	94
Figure 31 - Allure de l'évolution des différentes sources de bruit en fonction de la vitesse pour une voiture particulière	94

Figure 32 - Principe de réflexion du bruit issu d'une source linéaire [CET 81]	98
Figure 33 - Répartition de l'énergie acoustique en présence d'un obstacle [CET 81]	99
Figure 34 - L'effet de la température sur la propagation du son : en situation d'inversion thermique (a), gradient thermique (b) [SOU 97]	99
Figure 35 - Effet du vent sur la propagation du son [SOU 97]	100
Figure 36 - Adaptation du plan masse à la propagation du bruit en espace extérieur [MIN 95]	101
Figure 37 - Synthèse des différentes approches de la vulnérabilité et relations [DER 94]	103
Figure 38 - Les différents paramètres de la vulnérabilité	104
Figure 39 - Fonction d'utilité de la distance et de l'accessibilité aux infrastructures de transports, effet d'un échangeur ou d'une gare	110
Figure 40 - Principe de confrontation de l'exposition et de la vulnérabilité pour l'évaluation de la pollution sonore potentielle	116
Figure 41 - Principe de confrontation de l'exposition et de la vulnérabilité pour l'évaluation de la nuisance sonore potentielle.	118
Figure 42 - Schéma technique de production d'indicateurs d'impact du bruit sur le territoire [QUE 99/1]	123
Figure 43 - Schéma explicatif du principe de restitution des hauteurs par stéréoscopie	125
Figure 44 - Orientation externe d'une image [VON 98]	125
Figure 45 - Principe de colinéarité	126
figure 46 - Exemple de rose d'occurrences de conditions favorables (les degrés, comptés par rapport au nord, représentent la direction de provenance du son) [SOU 97]	129
Figure 47 - Réflexion spéculaire sur un obstacle traitée par la méthode des sources images – C.S.T.B. 1997	131
Figure 48 - Organigramme général de la méthode de calcul de propagation des sons par Mithra [CSTB 96].	132
Figure 49 - Exemple de saisie informatique d'un site avec le logiciel Mithra - source CSTB	134
Figure 50 - La structure générale d'un système d'information géographique [BEG 94]	138
Figure 51 - Principe de superposition géographique de couches d'information thématique [LAU 91]	139
Figure 52 - Les différentes entités graphiques du mode vectoriel - source : documentation technique de l'Office National de Forêts -	140
Figure 53 - Structure d'une couche de donnée géographique raster	143
Figure 54 – Les différents usages d'un SIG en acoustique environnementale	145
Figure 55 - Localisation des micros virtuels dans le calcul sur récepteur au bâtiment [JOU 00]	151
Figure 56 - Les différentes échelles spatiales de l'évaluation des impacts du bruit au sens de l'acoustique environnementale	156
Figure 57 - Les grandes étapes du traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres	163
Figure 58 - Les échelles spatiale et temporelle des deux exemples d'application	167
Figure 59 - Visualisation en volume simplifié de la zone d'étude de Grenoble Estacade -Vue depuis le nord ouest de la zone.	171
Figure 60 - les modifications nécessaires de la base de données de bâtiments pour son exploitation dans Mithra	182
Figure 61 - Présentation des traitements cartographiques réalisés sur la maquette de Grenoble - Estacade	184
Figure 62 - Présentation des traitements cartographiques réalisés sur la maquette de Montmélian	235
Figure 63 - Echelle de pondération continue [EAS 94]	248
Figure 64 - Evaluation des poids des critères selon la méthode de comparaisons par paire	249
Figure 65 - Trois traitements multicritères d'évaluation de la vulnérabilité du territoire au bruit	249

# TABLE DES PHOTOGRAPHIES

<i>Photographie 1 - Vue de l'autopont depuis le nord ouest de la zone d'étude - cours J. Jaurès - J. Jouannet - juin 2000.</i>	172
<i>Photographie 2 - Vue du vieux bourg de Montmélian depuis les abords de l'autoroute A43 au sud est de la zone d'étude - E. Quesseveur - mai 2000.</i>	224
<i>Photographie 3 - Rue centrale du vieux bourg de Montmélian - E. Quesseveur - mai 2000.</i>	236

# TABLE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 - Les niveaux de bruit et les impressions sonores [RAP 98]</i>	22
<i>Tableau 2 - Les bruits de la vie courante [STA 95]</i>	25
<i>Tableau 3 - Les principaux descripteurs du bruit environnemental [VON 92]</i>	29
<i>Tableau 4 - Niveaux sonores en dB(A) de différents véhicules sur rails à 80 km/h mesurés à 7,5 m de l'axe de la voie et à 1,2 m au-dessus de la face supérieure du rail [JOU 00] d'après [LAMU 98]</i>	38
<i>Tableau 5 - La croissance du parc automobile à travers le temps [CLE 97]</i>	39
<i>Tableau 6 - Les propriétaires de voiture dans les villes de l'OCDE [OCDE 93]</i>	39
<i>Tableau 7 - Niveaux de bruit diurnes en façade de bâtiments aux abords d'infrastructures routières [RAP 97]</i>	40
<i>Tableau 8 - Accroissement en pourcentage et volume brut des transports intérieurs nationaux et internationaux en France [LAMU 98]</i>	41
<i>Tableau 9 - Expression de la gêne des ménages selon leur lieu de résidence en pourcentage - Source : Enquête permanente sur les conditions de vie des ménages, INSEE janvier 1996.</i>	46
<i>Tableau 10 - Méthode d'évaluation monétaire : un exemple de classification [KAI 99] [SOG 94]</i>	48
<i>Tableau 11 - Classement des infrastructures de transports terrestres et des largeurs maximales des secteurs affectés par le bruit</i>	60
<i>Tableau 12 - Techniques de régulation de la circulation</i>	63
<i>Tableau 13 - Les cartes de bruit de la norme NF S 31-130.</i>	69
<i>Tableau 14 - Population susceptible d'être exposée au bruit du réseau TEN en fonction de différente zone tampon (indice 100 pour la situation actuelle) [EEA 98]</i>	71
<i>Tableau 15 - Typologie des effets d'absorption acoustique du sol en fonction des matériaux [CET 81]</i>	97
<i>Tableau 16 - Définition des paramètres spatiaux de l'acceptabilité du risque d'impact lié au bruit des transports terrestres</i>	109
<i>Tableau 17 - Limites légales d'exposition au bruit du trafic routier en L(Aeq, t) en extérieur - source C. Lamure, INRETS</i>	119
<i>Tableau 18 - Essai de classification des indicateurs de vulnérabilité</i>	120
<i>Tableau 19 - Le modèle de données raster</i>	142
<i>Tableau 20 - Avantages et inconvénients des deux modèles de données SIG dominant [BER 93]</i>	144
<i>Tableau 21 - Typologie de l'endommagement potentiel du territoire par le bruit [GIR 99]</i>	225
<i>Tableau 22 - Facteur de vulnérabilité lié au type de tissu urbain résidentiel</i>	247

# TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	5
SOMMAIRE .....	6
INTRODUCTION .....	7
<b><u>PARTIE 1</u> - L'acoustique environnementale, une nouvelle approche d'analyse du bruit et de ses impacts .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. L'acoustique environnementale, un champ d'étude pluridisciplinaire.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. L'émergence de l'acoustique environnementale .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.1. Les origines de l'acoustique environnementale : compréhension, mesure, effets des phénomènes sonores .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.1.1. La notion de bruit .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.1.2. Description du phénomène sonore : .....</b>	<b>17</b>
1.2.1.2.1. Les ondes sonores : .....	17
1.2.1.2.2. La fréquence : .....	18
1.2.1.2.3. Le spectre : .....	19
1.2.1.2.4. Intensité ou amplitude du son : .....	20
1.2.1.2.5. Longueur d'onde : .....	20
<b>1.2.1.3. Mesure du phénomène sonore : .....</b>	<b>21</b>
1.2.1.3.1. Pression sonore : .....	21
1.2.1.3.2. Le décibel : .....	21
1.2.1.3.3. Acoustique de l'audition : .....	22
1.2.1.3.4. Les modes de pondération de l'unité décibel.....	23
1.2.1.3.5. Les modes de représentations du bruit dans le temps et dans l'espace .....	26
<b>1.2.1.4. Les effets du bruit sur l'homme : une autre dimension du bruit .....</b>	<b>30</b>
1.2.1.4.1. Les effets auditifs du bruit .....	30
1.2.1.4.2. Les effets non auditifs du bruit .....	33
1.2.1.4.3. La notion complexe de gêne liée au bruit .....	34
<b>1.2.1.5. Les sources de bruit .....</b>	<b>36</b>
1.2.1.5.1. Le bruit de voisinage : .....	36
1.2.1.5.2. Les transports : .....	37
<b>1.2.2. Une mobilisation grandissante face au problème du bruit .....</b>	<b>42</b>
<b>1.2.2.1. Etat des lieux de l'exposition au bruit des transports terrestres.....</b>	<b>42</b>

1.2.2.1.1.	<i>Au niveau européen :</i> .....	42
1.2.2.1.2.	<i>Au niveau français :</i> .....	43
1.2.2.2.	<b><i>Prise de conscience sociale du problème du bruit</i></b> .....	45
1.2.2.3.	<b><i>Des évaluations de l'impact macroscopique du bruit toujours plus précises</i></b> .....	46
1.2.2.3.1.	<i>Evaluation du coût social du bruit</i> .....	47
1.2.2.3.2.	<i>La relation « dose effet » :</i> .....	50
1.2.2.4.	<b><i>Le difficile compromis politique</i></b> .....	53
1.2.3.	<b>Les moyens de lutte contre le bruit des transports terrestres</b> .....	56
1.2.3.1.	<b><i>La lutte contre le bruit en France</i></b> .....	58
1.2.3.2.	<b><i>La loi Royal de 1992</i></b> .....	58
1.2.3.2.1.	<i>Un droit général à la protection contre le bruit de transports terrestres :</i> .....	59
1.2.3.2.2.	<i>Le classement des infrastructures de transports terrestres.</i> .....	59
1.2.3.3.	<b><i>Les missions gouvernementales</i></b> .....	60
1.2.3.4.	<b><i>Les chantiers en cours en France et en Europe</i></b> .....	61
1.2.3.5.	<b><i>Les perspectives de lutte contre le bruit</i></b> .....	62
1.2.4.	<b>Introduction à l'approche spatiale dans l'analyse du bruit et des ses impacts</b> .....	65
1.2.4.1.	<b><i>De la carte d'exposition au bruit à la carte d'impact potentiel du bruit</i></b> .....	65
1.2.4.2.	<b><i>Etat de l'art de l'approche spatiale du bruit et de ses impacts en acoustique environnementale</i></b> .....	67
1.2.4.2.1.	<i>L'extension des cadres réglementaires existants :</i> .....	68
1.2.4.2.2.	<i>Les projets menés par les institutions pour la rénovation des moyens de la lutte :</i> .....	70
1.2.4.2.3.	<i>Les projets de recherche pluridisciplinaire :</i> .....	72
<b>1.3.</b>	<b>Apports méthodologiques potentiels de l'approche spatiale pour l'étude des impacts du bruit des transports terrestres</b> .....	<b>75</b>
1.3.1.	<b>Objectifs de la recherche</b> .....	<b>75</b>
1.3.1.1.	<b><i>Une réflexion méthodologique pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres</i></b> .....	<b>75</b>
1.3.1.2.	<b><i>Une approche quantitative favorisée</i></b> .....	<b>78</b>
1.3.1.3.	<b><i>Deux éclairages complémentaires : l'approche opérationnelle et l'approche exploratoire</i></b>	<b>79</b>
1.3.2.	<b>Hypothèse des apports mutuels de la géographie et de l'acoustique environnementale</b> .....	<b>81</b>
1.3.2.1.	<b><i>Intérêt de l'approche spatiale du géographe en acoustique environnementale :</i></b> .....	<b>82</b>
1.3.2.2.	<b><i>Intérêt de l'approche de l'acoustique environnementale spatiale pour une géographie du bruit :</i></b> .....	<b>82</b>
1.3.3.	<b>Les axes de travail</b> .....	<b>83</b>
1.3.3.1.	<b><i>Un cadre formel pour l'analyse spatiale des impacts du bruit des transports terrestres</i></b> ....	<b>83</b>
1.3.3.2.	<b><i>Une réflexion sur le contexte technique d'application de l'approche de traitement</i></b> .....	<b>83</b>
1.3.3.3.	<b><i>Une réflexion sur le contexte décisionnel d'application de notre approche de traitement</i></b>	<b>84</b>
1.3.3.4.	<b><i>Les démonstrations sur le terrain</i></b> .....	<b>84</b>

**PARTIE 2 - Un cadre méthodologique pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres .....87**

<b>2.1. Formalisation spatiale de la nuisance et de la pollution sonore des transports terrestres .89</b>	
2.1.1. La genèse spatiale des impacts potentiels du bruit des transports terrestres..... 89	89
2.1.1.1. Logique générale EPR : une approche inspirée de l'analyse des risques naturels ..... 89	89
2.1.1.2. Détails de l'approche EPR, genèse de l'exposition sonore..... 92	92
2.1.1.2.1. L'émission sonore..... 93	93
2.1.1.2.2. La propagation sonore ..... 96	96
2.1.1.2.3. L'exposition sonore résultante ..... 101	101
2.1.1.3. La vulnérabilité du territoire au bruit..... 102	102
2.1.1.3.1 Approche théorique de la vulnérabilité ..... 102	102
2.1.1.3.2 La vulnérabilité des éléments du territoire au bruit des transports terrestres : ..... 105	105
2.1.2. Le champ des possibles de l'approche spatiale du bruit et de ses impacts ..... 111	111
2.1.2.1. Description des paramètres de l'EPR et de la vulnérabilité ..... 111	111
2.1.2.2. Modélisation spatiale des paramètres de la genèse des impacts du bruit..... 112	112
2.1.2.3. Analyse spatiale des impacts potentiels du bruit..... 112	112
2.1.2.4. Analyse de scénarios prospectifs des impacts potentiels du bruit dans le territoire..... 113	113
2.1.3. L'évaluation et la gestion des impacts potentiels du bruit sur le territoire ..... 114	114
2.1.3.1. La méthodologie générale d'analyse et de gestion des risques..... 114	114
2.1.3.2. Les approches spatiales pour la gestion des impacts du bruit..... 115	115
2.1.3.3. Les approches spatiales pour l'évaluation des impacts du bruit..... 116	116
2.1.4. Des indicateurs spatiaux et temporels des impacts du bruit ..... 119	119
2.1.4.1. Forme des indicateurs de gestion des impacts du bruit dans le territoire..... 119	119
2.1.4.2. Forme des indicateurs d'évaluation des impacts du bruit dans le territoire..... 120	120
<b>2.2. Contexte technique d'application du traitement spatial des impacts du bruit..... 122</b>	
2.2.1. Les outils de production de données ..... 124	124
2.2.1.1. Production d'information géographique par photogrammétrie numérique..... 124	124
2.2.1.2. Production de données acoustiques avec le logiciel Mithra..... 128	128
2.2.1.2.1. Principes du modèle de propagation acoustique..... 128	128
2.2.1.2.2. Mise en œuvre du modèle de propagation ..... 131	131
2.2.1.2.3. Les données en entrée du calcul acoustique de Mithra ..... 133	133
2.2.1.2.4. Les modes d'exploitation des calculs de Mithra..... 134	134
2.2.2 Les systèmes d'information géographique et le traitement des données d'impact potentiel du bruit 137	137
2.2.2.1. Qu'est ce qu'un SIG ? ..... 137	137
2.2.2.2. Les SIG vectoriels ..... 139	139
2.2.2.2.1. Le mode vecteur non topologique (mode spaghetti) ..... 140	140

2.2.2.2.2.	<i>Le mode vecteur topologique.....</i>	141
2.2.2.2.3.	<i>Structure de la base de données .....</i>	141
2.2.2.3.	<b><i>Les SIG en mode maillé ou raster .....</i></b>	<b>142</b>
2.2.2.4.	<b><i>Les usages possibles d'un SIG en acoustique environnementale .....</i></b>	<b>145</b>
2.2.2.4.1.	<i>Gestion de l'information géographique.....</i>	145
2.2.2.4.2.	<i>SIG et Analyse spatiale pour l'aide à la décision en acoustique environnementale .....</i>	146
2.2.2.4.3.	<i>Communication et production de cartographies thématiques .....</i>	147
2.2.3	<b>Les réalisations techniques de projet SIGAUR pour le traitement des cartes de bruit dans les SIG</b>	<b>149</b>
2.2.3.1.	<i>Importation de données Mithra dans les SIG.....</i>	149
2.2.3.2.	<i>Valorisation de données, fréquence, contribution .....</i>	150
2.2.3.3.	<i>Une nouvelle approche spatiale de l'exposition sonore du territoire, la carte de récepteur au bâtiment</i>	150
2.2.3.4.	<i>Exportation de données SIG vers Mithra .....</i>	151
2.2.4	<b>Les difficultés rencontrées lors de l'exploitation de la chaîne de traitement.....</b>	<b>152</b>
2.3.	<b>Contexte de décision et réalité des données pour le traitement spatial des impacts du bruit .....</b>	<b>154</b>
2.3.1	<b>La cohérence entre traitement et décision .....</b>	<b>154</b>
2.3.1.1.	<i>Les échelles de travail de l'acoustique environnementale.....</i>	155
2.3.1.2.	<i>L'influence des acteurs de la décision .....</i>	156
2.3.1.3.	<i>La transfert d'information dans le processus de décision.....</i>	157
2.3.2	<b>Le problème des données, disponibilité, échelle, précision .....</b>	<b>158</b>
2.3.2.1.	<i>Le problème des données du point de vue légal.....</i>	158
2.3.2.2.	<i>Echelles de représentation et sémantiques des données.....</i>	160
2.3.2.2.1.	<i>Notion d'échelle et de précision .....</i>	160
2.3.2.2.2.	<i>Problèmes de sémantiques différenciées .....</i>	161
2.3.2.2.3.	<i>Qualité des données en sortie.....</i>	162
2.4.	<b>Les différentes étapes pour le traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres .....</b>	<b>163</b>

**PARTIE 3 - Exemples d'application du cadre de traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres ..... 165**

<b>3.1. Exemples de traitements en zone urbaine dense : Grenoble.....</b>	<b>168</b>
3.1.1.    Justification de l'échelle de traitement .....	168
3.1.1.1.    Le bruit et la ville.....	168
3.1.1.2.    Les enjeux actuels du bruit des transports terrestres dans la ville.....	168
3.1.1.3.    Application de notre cadre de traitement en milieu urbain dense.....	169
3.1.2.    Présentation du site d'étude de l'estacade à Grenoble .....	169
3.1.2.1.    Configuration générale de la zone d'étude.....	170
3.1.2.2.    Genèse de l'existant .....	172
3.1.2.3.    Les projets de redéploiement .....	177
3.1.3    Production de la maquette de traitement .....	181
3.1.3.1.    Bilan des données compilées .....	181
3.1.3.2.    Mise en place et organisation de la base de données : .....	181
3.1.3.3.    La production de cartes d'exposition sonore dans Mithra :.....	183
3.1.4    Evaluation des pollutions sonores potentielles, approche opérationnelle .....	187
3.1.4.1.    Etat des lieux descriptif.....	187
3.1.4.2.    Approche analytique – confrontation exposition/vulnérabilité.....	187
3.1.4.3.    Approche prospective.....	188
3.1.5    Evaluation des nuisances sonores potentielles, approche exploratoire .....	201
3.1.5.1.    Etat des lieux descriptif.....	201
3.1.5.2.    Approche analytique.....	202
3.1.5.3.    Approche prospective.....	202
3.1.6    Limites et perspectives de ces approches en milieu urbain dense .....	213
<b>3.2. Exemples de traitements en zone périurbaine : Montmélian.....</b>	<b>221</b>
3.2.1    Justification de l'échelle de traitement .....	221
3.2.1.1.    Le développement des territoires périurbains .....	221
3.2.1.2.    Les enjeux actuels du bruit dans les territoires périurbains.....	221
3.2.1.3.    Application de notre cadre de traitement au territoire périurbain .....	222
3.2.2    Présentation du site d'étude de Montmélian .....	223
3.2.2.1.    Configuration générale.....	223
3.2.2.2.    Les projets d'aménagement.....	225
3.2.3    Production de la maquette de traitement de Montmélian.....	233
3.2.3.1.    Bilan des données compilées .....	233
3.2.3.2.    Mise en place et organisation de la base de données.....	233
3.2.3.3.    La production de cartes d'exposition sonore .....	234
3.2.4    Evaluation des pollutions sonores potentielles - approche opérationnelle.....	235

3.2.4.1.	<i>Etat des lieux descriptif</i> .....	235
3.2.4.2.	<i>Approche analytique</i> .....	235
3.2.4.3.	<i>Approche analytique prospective</i> .....	236
3.2.5	Evaluation des nuisances sonores potentielles - approche exploratoire.....	247
3.2.5.1.	<i>Etat des lieux descriptif</i> .....	247
3.2.5.2.	<i>Approche analytique</i> .....	255
3.2.5.3.	<i>Approche analytique prospective</i> .....	255
3.2.6	Limites et perspectives de ces approches en milieu périurbain .....	257
3.3.	Les travaux actuellement en cours .....	271
CONCLUSION .....		272
BIBLIOGRAPHIE .....		275
TABLE DES CARTES.....		282
TABLE DES FIGURES.....		284
TABLE DES PHOTOGRAPHIES .....		286
TABLE DES TABLEAUX.....		286
TABLES DES MATIERES .....		287

## **Résumé : Traitement spatial des impacts du bruit des transports terrestres**

Le bruit des transports terrestres est un problème clairement reconnu par la législation française. De même, la Commission Européenne propose actuellement d'étendre le champ de la lutte contre le bruit en créant de nouveaux indicateurs. Par ailleurs, l'utilisation de l'informatique en acoustique extérieure permet de modéliser la propagation des nuisances acoustiques et de réaliser des cartographies sonores.

La présente recherche vise à formaliser l'usage de cette nouvelle information géographique par l'analyse spatiale, afin de l'intégrer pleinement dans les processus de décision en aménagement du territoire. Elle a pour cadre une collaboration de recherche entre la Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et le laboratoire SEIGAD de l'UJF.

Un travail méthodologique a permis d'évaluer les données nécessaires au calcul de propagation du bruit, les modes d'acquisition de ces données, les échelles spatiale et temporelle de traitement ainsi que la définition de la vulnérabilité du territoire au bruit.

Sur la base de cet environnement conceptuel, l'objectif est de produire un outil de gestion et d'évaluation des impacts du bruit dans le territoire. Pour cela une interface entre un outil de modélisation du bruit en espace extérieur nommé Mithra et un système d'information géographique est réalisée.

Pour valider cette approche de traitement des impacts du bruit, deux maquettes de test sont proposées. La première concerne l'aménagement d'une ligne de tramway dans un quartier urbain dense. La seconde traite du problème des impacts du bruit dans une zone périurbaine. Pour chacune d'elles, l'information géographique relative aux niveaux d'exposition sonore est confrontée à différentes approches de la vulnérabilité du territoire au bruit.

**Mots clés : traitement spatial, impact du bruit, acoustique environnementale, système d'information géographique, transports terrestres, aide à la décision.**

## **Abstract : Spatial processing of surface transports noise impacts**

The French legislation has clearly recognised the surface transport noise problem. The European Commission has also recently proposed to extend noise reduction field by creating new indicators. Moreover, using the data processing in external acoustics allows to create models of the noise pollution spreading and to carry out noise maps.

This research aims at formalizing this new geographical information using by spatial analysis, in order to fully integrate it in town and country planning decision process. It is the result of a research collaboration between the "Centre scientifique et technique du bâtiment" (CSTB) and SEIGAD laboratory from the Université Joseph Fourier (UJF).

A methodological work has allowed to determine the necessary data for the noise propagation calculation, the method of collecting these data, the spatial and temporal scales of processing and the definition of the territorial vulnerability to noise.

On the basis of this conceptual framework, the purpose is to produce a management and assessment tool of noise impacts on the territory. This means the creation of an interface between an external space noise modeling tool named Mithra and a geographical information system.

We present two examples to validate this approach of noise impacts. The first one focuses on a tramway project in a dense urban district. The second one deals with the noise impacts problem in a periurban area. For each example, the geographical information relating to the noise exposition level is compared with various approaches of the territorial vulnerability to noise.

**Key words : spatial processing, noise impact, environmental acoustics, geographical information system, surface transport, decision support.**

## **Intitulé et adresse du laboratoire :**

Laboratoire SEIGAD (Systèmes Environnementaux, Information Géographique et Aide à la Décision) – Espace Serge Martin - Bp 53X – 38041 Grenoble Cedex 9 - France