

CSTB - Projet Ville numérique : bilan 2012-2013, rapport final

Julien Maillard

▶ **To cite this version:**

Julien Maillard. CSTB - Projet Ville numérique : bilan 2012-2013, rapport final. CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment. 2013. hal-01044792

HAL Id: hal-01044792
https://cstb.hal.science/hal-01044792

Submitted on 24 Jul 2014

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.

CSTB
le futur en construction

Simulation et outils numériques

Projet Ville numérique

Bilan 2012-2013

Rapport final

MAILLARD Julien

21/10/2013

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX. (33) 01 60 05 70 37 | SIRET 775 688 229 000 27 | www.cstb.fr
ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

Simulation et outils numériques

Projet Ville numérique

Bilan 2012-2013

Rapport final

MAILLARD Julien

Université Paris-Est, Centre scientifique et technique du bâtiment, Direction technologies de l'information et diffusion du savoir

Relecteur : SOUBRA Souheil, SOULA Julien

Décembre 2013

Rapport de recherche RE-151-130SON-712-VIL

© 2014 CSTB

Ce texte est distribué sous les termes de la licence Creative Commons Attribution 3.0 non transposé (CC BY 3.0).
Le texte complet de la licence est disponible à l'adresse suivante : http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode

Résumé des droits et conditions de la licence :
⇒ **Vous êtes libre de** :
→ partager (reproduire, distribuer et communiquer) l'œuvre ;
→ remixer, adapter l'œuvre ;
→ d'utiliser cette œuvre à des fins commerciales.
⇒ **Selon les conditions suivantes** :
→ Attribution (paternité, crédit) : vous devez attribuer l'œuvre de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous approuvent, vous ou votre utilisation de l'œuvre).
Toute citation d'extraits, reproduction ou utilisation doit obligatoirement faire apparaitre la référence de ce document sous la forme : **MAILLARD J. Projet Ville numérique : bilan 2012-2013, rapport final, CSTB, décembre 2013, 32 p. [rapport RE-151-130SON-712-VIL]**

⇒ **Comprenant bien que**
→ les droits suivants ne sont en aucune manière affectés par la licence :
- Vos prérogatives issues des exceptions et limitations aux droits exclusifs ou *fair use* ;
- Les droits moraux de l'auteur que rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint.

→ A chaque réutilisation ou distribution de cette œuvre, vous devez faire apparaître clairement au public la licence selon laquelle elle est mise à disposition. La meilleure manière de l'indiquer est un lien vers cette page web : http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.fr.

Résumé

Le présent rapport présente un bilan du projet *Ville numérique*, l'un des quatre projets de recherche de la priorité scientifique et technique « Simulations et outils numériques » du programme de recherche 2010-2013 du CSTB. Le projet *Ville numérique* intègre des travaux sur la simulation et la représentation des phénomènes à l'échelle du quartier et de la ville. Il vient compléter les projets *Référentiel numérique* et *Simbio* qui traitent des échelles composants et bâtiment, respectivement, au sein de la même priorité.
On présente dans une première partie le contexte et les enjeux de la recherche menée dans le cadre du projet *Ville numérique*. La deuxième partie fournit les principaux résultats et avancées obtenues durant la période 2012-2013. Les perspectives de cette recherche sont abordées dans une troisième partie.

Mots clés : **eveCity, maquette, modèle, numérique, ville, urbain, simulation, CSTB**

Abstract

The following research report presents an overview of work carried out in the frame of the CSTB project « Ville Numérique ». « Ville Numérique » is part of the main program « Simulations et Outils Numériques ». Research within « Ville Numérique » deals with the simulation and the representation of urban data. The objective is to promote the use of novel simulation and communication tools for urban planners in the various fields that are impacting both comfort and health of inhabitants such as lighting, noise, radio waves, pollution.

Keywords: **eveCity, mock-up, model, digital, city, urban, simulation, CSTB**

Table des matières

INTRODUCTION 8
1. ENJEUX 9
2. RÉSULTATS 11
2.1 L'apport des maquettes numériques dans les projets urbains durables 11
2.2 Données et couplages moteurs externes – CityGML 14
2.3 SpÉcifications pour une plateforme interopérable 16
2.4 Représentation réaliste des ambiances lumineuses 17
2.5 Auralisation en milieu urbain 24
2.6 *Articulation avec les projets internes et externes* 26
3. PERSPECTIVES 28
LISTE DES RÉFÉRENCES 30

Liste des figures

Figure 1 : Représentation réaliste des ambiances lumineuses.....17
Figure 2 : Opérateurs de reproduction de tons 18
Figure 3 : Taxonomie portant sur 17 opérateurs de reproduction de tons 19
Figure 4 : Conception et évaluation d'un opérateur de reproduction de tons pour des études de visibilité routière.....20
Figure 5 : Opérateur de reproduction de tons - Exemples de résultats (1) 21
Figure 6 : Opérateur de reproduction de tons - Exemples de résultats (2) 21
Figure 7 : Pyramide d'images de contraste 23

INTRODUCTION

Le présent rapport présente un bilan du projet *Ville numérique*, l'un des quatre projets de la priorité scientifique et technique « Simulations et Outils Numériques » du programme de recherche du CSTB pour la période 2010-2013. Le projet *Ville numérique* intègre des travaux sur la simulation et la représentation des phénomènes à l'échelle du quartier et de la ville. Il vient compléter les projets *Référentiel numérique* et *Simbio* qui traitent des échelles composants et bâtiment, respectivement, au sein du même programme.

Bien que dans la continuité de certains travaux antérieurs poursuivis durant l'année 2011, le projet a officiellement démarré en 2012. Le présent bilan couvre donc la période 2012-2013.

On présente dans une première partie le contexte et les enjeux de la recherche menée dans le cadre de ce projet. La deuxième partie fournit les principaux résultats et avancées obtenues durant la période 2012-2013. Les perspectives de cette recherche sont abordées dans une troisième partie.

1. ENJEUX

Le développement urbain durable représente aujourd'hui une préoccupation grandissante chez les aménageurs et collectivités territoriales. En particulier, la nécessité d'intégrer différentes problématiques dans le processus de décision complexifie le travail de l'urbaniste. Dans ce contexte, les acteurs du développement urbain réclament des outils logiciels facilitant la compréhension et l'évaluation intégrée d'un projet par les décideurs à l'aide d'indicateurs et de représentations pertinents.

Les domaines et disciplines concernés recouvrent la qualité des ambiances, la gestion des énergies, la maîtrise des risques mais également la sociologie urbaine. Concernant la qualité des ambiances, l'ensemble des phénomènes qui ont un impact sur le confort et la santé à l'échelle de la ville sont visés : éclairage, acoustique, qualité de l'air, confort aérothermique ainsi que les expositions aux ondes électromagnétiques. La liste des thèmes pouvant bénéficier de l'apport d'outils nouveaux montre ainsi que les problématiques soumises aux acteurs de la ville concernent des champs scientifiques très variés et multidisciplinaires.

Par ailleurs, les processus et phénomènes en jeux sont interdépendants. La gestion des énergies concernant l'éclairage urbain et le confort visuel sont fortement liés. De même, la gestion des déplacements a un impact direct sur le confort acoustique et la qualité de l'air. Par conséquent, on comprend bien l'intérêt de disposer d'outils facilitant les analyses croisées. Ces outils incluent à la fois des modules de simulations ou d'analyses de données propres à chaque domaine et des outils de représentations croisées. De tels outils doivent permettre au non-spécialiste d'évaluer l'impact de différents paramètres sur l'ensemble des domaines pertinents. On favorise ainsi le choix de solutions intelligentes prises sur la base d'informations multicritères dont l'analyse est facilitée.

Au-delà de l'enjeu d'une représentation multi-domaine, ces nouveaux outils logiciels peuvent également fournir un accès direct pour les acteurs de la ville (décideurs, urbanistes, citoyens) à une représentation compréhensible des phénomènes analysés. Ici, le développement de modes de représentation compréhensibles par tous, qu'ils soient basés sur des métaphores de représentations adaptées, ou bien sur les techniques de réalité virtuelle ou de réalité augmentée (visuelle, sonore, …), favorise les actions de concertation et de communication autour des projets urbains.

Dans ce contexte, l'objectif du projet *Ville numérique* est de fournir des outils logiciels pour la simulation et l'analyse de la qualité environnementale de la ville.

Un aspect essentiel de ces travaux concerne l'interopérabilité des outils. Des outils interopérables sont capables de communiquer efficacement grâce à des schémas de données compatibles. On diminue ainsi les temps de saisie des données en entrée des outils, ces données pouvant être communes à plusieurs outils. On facilite également l'intégrabilité de différents modules au sein d'une même plateforme pour la présentation de résultats issus de disciplines distinctes.

A long terme, le projet a pour ambition le développement de modules interopérables d'acquisition, de stockage, de prévision et de représentations de données qui soient pertinentes et pérennes pour l'ensemble des acteurs travaillant à l'échelle du quartier. Ces données englobent à la fois les données liées à des grandeurs physiques (mesurées ou calculées à partir de modèles) et les données immatérielles (issues d'enquêtes sur site ou en laboratoire). Les représentations vont de la cartographie 2D jusqu'à la réalité virtuelle 3D (visuelle et sonore). L'ensemble de ces outils et données sont rassemblés sous la terminologie maquette numérique urbaine (MNU) dans le reste de ce document.

Les travaux réalisés durant la période 2012-2013 n'abordent que certains des champs d'application cités ci-dessus. Ils s'appuient sur des acquis antérieurs, en particulier dans le domaine de la visualisation 3D, la simulation de trafics routiers à travers un partenariat privilégié avec l'Ifsttar, et la simulation auditive ou auralisation des nuisances sonores associées aux transports terrestres. Ces acquis ont d'ores et déjà fait l'objet de valorisations externes, en particulier pour le compte du Conseil général du Nord. Ils ont démontré l'intérêt d'un outil d'évaluation multicritère fondé sur la maquette numérique et le couplage de simulations à l'échelle urbaine.

L'objectif principal des travaux réalisés sur 2012-2013 est de renforcer le caractère interopérable des simulations et modules de représentation à travers l'adoption de schémas de données communs et standards. Par ailleurs, un axe de recherche nouveau concerne l'utilisation de la maquette numérique comme outil d'analyse et de concertation par les urbanistes sociologues. Ces derniers sont en effet demandeurs d'outils permettant d'intégrer des données d'ordre perceptif à la représentation des projets d'aménagement. Les travaux portant sur le rendu réaliste et physiquement valide des nuisances sonores en milieu urbain se poursuivent, l'objectif visé étant ici un module opérationnel d'analyse et d'évaluation de la gêne perçue intégré à la maquette numérique. Enfin, la représentation réaliste des ambiances lumineuses est également un thème abordé.

Pour mémoire, on rappelle ici la structuration initiale du projet en 5 tâches et le contenu général de chaque tâche.

La tâche 1 (Définition des besoins, évaluations utilisateur) a pour objectif de préciser les besoins des sociologues et urbanistes, et plus généralement des acteurs de la ville, en termes d'indicateurs, de représentation et d'usages de la MNU. Parallèlement, cette tâche doit mettre en place une évaluation utilisateur des outils développés à travers l'organisation de séminaires internes et externes.

La tâche 2 (Données et couplage modules « métiers ») vise à sélectionner, enrichir ou développer les schémas de données adaptés aux différents usages de la maquette. Ce travail inclut également la mise en forme des données spécifiques en entrée des moteurs de calcul « métiers » et leur extraction à partir de données standardisées ainsi que le stockage des indicateurs mesurés et/ou calculés.

La tâche 3 (Outils pour la caractérisation multicritère de l'urbain) regroupe les efforts de conception et d'aide au développement pour l'intégration dans la MNU des différents codes de calcul « métiers » issus de recherches internes ou bien de recherches collaboratives au sein du réseau scientifique et technique (RST). L'intégration proprement dite dans les plateformes logicielles cibles fait également partie de cette tâche.

La tâche 4 (Outils pour l'évaluation perceptive sonore et visuelle) concerne le domaine spécifique de l'évaluation perceptive des ambiances sonores et visuelles. Cette tâche vise en particulier à améliorer la qualité des restitutions temps réel de scènes dynamiques dans le contexte de la navigation interactive et de l'immersion.

La tâche 5 (Articulation avec les autres projets) assure l'articulation avec les autres projets de recherche internes du CSTB et externe au sein du RST.

Les principaux livrables attendus étaient :

- un cahier des charges en vue de l'élaboration d'une maquette numérique avec des fonctionnalités pertinentes pour un projet de renouvellement urbain durable ;
- des outils passerelle pour le stockage des données en entrée et en sortie des modules métiers suivant un schéma standard assurant l'interopérabilité des simulations (essentiels pour une utilisation efficace par les services techniques d'une collectivité par exemple) ;
- l'intégration de briques métiers au sein d'une plateforme logicielle visant des simulations multicritères ;
- le développement de techniques avancées pour un rendu sonore et visuel interactif basé sur des modèles physiques.

2. RÉSULTATS

Les principaux résultats issus des travaux menés dans le cadre du projet sur la période 2012-2013 sont présentés ci-dessous.

2.1 L'APPORT DES MAQUETTES NUMÉRIQUES DANS LES PROJETS URBAINS DURABLES

Dans le cadre de la tâche 1 du projet, la Direction économie et sciences humaines (DESH) du CSTB a mené une réflexion spécifique sur les apports potentiels des maquettes numériques urbaines (MNU) comme aide à la conception des projets de renouvellements urbains durables. Cette réflexion a permis d'établir les différents usages de la maquette pouvant faciliter le travail de conception et de concertation autour des projets d'aménagements. Parallèlement aux usages, un catalogue des données socio-urbaines pour lesquelles une représentation intégrée à la maquette faciliterait l'analyse et les échanges est proposé. On donne ici un résumé de ces travaux.

Un inventaire des récentes maquettes numériques urbaines et des cartographies utilisées dans les projets urbains a été réalisé. A partir de cet inventaire, les

besoins d'outillage des maîtrises d'ouvrage ont été précisés, en particulier dans l'élaboration de projets urbains durables [7]. L'évolution nécessaire des maquettes urbaines ou « territoires numériques » qui en résulte peut s'articuler autour de quatre enjeux majeurs.

Un premier enjeu concerne la traduction des connaissances urbaines et sociales dans les maquettes numériques urbaines, fondées sur des critères scientifiques. Les représentations 3D sont le plus souvent centrées sur les données physiques ponctuelles sans contextualisation spatiale et temporelle. La contextualisation spatiale permettrait de distinguer le périmètre projet du périmètre de réflexion urbaine. La contextualisation temporelle introduit pour sa part la prise en compte des différentes phases du projet urbain. De plus, les cartographies ou représentations qui cherchent à traduire des données immatérielles (usage, perception, ambiances sonores, paysage …) s'appuient rarement sur des données scientifiques éprouvées. Il s'agit par conséquent de tirer profit des possibilités de la maquette numérique pour fiabiliser le recueil, le traitement et la représentation de ces données immatérielles.

Le deuxième enjeu concerne la définition d'un langage cartographique 2D et 3D partagé. La diversification des modes de représentations des données socio-urbaines et le développement de formes hybrides entre le langage cartographique, la maquette d'architecture, et la maquette numérique rendent nécessaire ce développement. Il est l'occasion d'enrichir les représentations centrées sur la forme urbaine en utilisant notamment les avancées en matière de représentations 2D de données immatérielles.

Le troisième enjeu se situe autour de l'optimisation des possibilités d'usages de la maquette numérique urbaine. Elle semble aujourd'hui souvent réduite au seul outil de communication. Il s'agit par conséquent d'exploiter le potentiel de connaissance et de partage d'information qu'elle peut représenter pour qu'elle devienne également un outil de concertation et un outil collaboratif, aspects essentiels pour une conception urbaine durable.

Enfin, le quatrième enjeu concerne les problématiques liées à la gestion de la maquette numérique urbaine. Il s'agit ici de favoriser son utilisation sur toute la durée du projet plutôt que de manière ponctuelle comme c'est encore souvent le cas. Cela nécessite la prise en compte des aspects essentiels tels que l'actualisation et la gestion des données, mais également la formation à son utilisation, ou plus généralement l'animation autour de son contenu durant toute la durée du projet.

Les éléments résumés ci-dessus sont développés dans un rapport de synthèse [7] qui fait état de premières préconisations sur l'apport des outils numériques dans la conception et la concertation des projets de renouvellement urbain durable.

Par ailleurs, un travail a été réalisé afin d'expérimenter sur un projet concret certains des usages possibles de la maquette numérique dans la conception urbaine durable.

Ainsi, dans le cadre du réaménagement de l'Ile Saint Denis (93), une maquette numérique a été créée (intégration du bâti existant, des infrastructures, du projet d'éco-quartier …), l'objectif étant d'expérimenter un premier exemple d'utilisation de la maquette intégrant des données issues des sciences humaines, notamment sur la perception et la représentation ressentie de la ville, à travers l'étude d'enquêtes réalisées auprès des populations. A partir d'une capture vidéo, les éléments recueillis au cours des entretiens de terrain (perceptions sonores et visuelles, taxonomies, …) sont insérés en surimpression lors du passage du point de vue au-dessus des zones concernées. Cette maquette a permis de valider l'intérêt de ce type de représentations auprès des utilisateurs urbanistes.

Suite à cette phase de réalisation d'un premier prototype de maquette numérique intégrant des dimensions "immatérielles" et donc *a priori* non représentables, plusieurs remarques, complémentaires aux travaux antérieurs menés par le Laboratoire de sociologie urbaine du CSTB, sont ressorties.

En particulier, sa réalisation ayant été élaborée en aval d'une recherche sur la perception d'un environnement urbain périphérique et son potentiel "paysage", plusieurs ajustements ont été nécessaires. Afin d'éviter cette phase d'ajustement, consommatrices en temps, il apparaît donc judicieux d'envisager la conception de la maquette en amont, et simultanément à la recherche menée. C'est donc une méthode de conception itérative qu'il faudrait chercher à élaborer, fondée sur un aller-retour continu entre l'équipe chargée de la recherche et celle en charge de l'élaboration de la maquette.

En effet, il apparaît important de :

- concevoir un fond de carte et de MNU commun en amont de la recherche ;
- réaliser dans le cadre de la recherche, des cartes géolocalisées pour éviter d'avoir à reproduire la cartographie 2D en système d'information géolocalisé, indispensable pour la MNU. Cela implique que la conception des recherches et des projets soient réalisés sur des logiciels compatibles ;
- élaborer une méthode de traduction des données qualitatives en base de données compatibles avec les besoins de la MNU ;
- prévoir des temps d'ajustements commun pour la représentation de la maquette urbaine (choix de représentation, localisation, etc.) ;
- distinguer la représentation à visée pédagogique (le film) avec celle de la MNU à visée scientifique et évolutive.

2.2 DONNÉES ET COUPLAGES MOTEURS EXTERNES – CITYGML

La Tâche 2 du projet portait sur le stockage des données et leurs échanges avec des moteurs de traitement externes afin de garantir l'interopérabilité des outils utilisés autour de la maquette numérique urbaine. Le contexte et les conclusions de ce travail [10] sont présentés ci-après.

La majorité des outils d'aide à l'aménagement urbain sont aujourd'hui basés sur des données géoréférencées de types SIG (système d'informations géoréférencées). Plusieurs formats existent, chacun ayant ses spécificités propres. On peut distinguer les formats orientés vers la représentation de type cartographie et la simulation et les formats orientés vers une représentation 3D de la ville plus ou moins réaliste. Les premiers (par exemple ShapeFile) contiennent en général des données en 2D, voire 2.5D, et un degré de sémantisation suffisant pour alimenter certaines simulations métier (par exemple cartographie acoustique). Les seconds (par exemple VRML, X3D, Collada, KML) contiennent des informations géométriques en 3D, voire des textures, mais peu, ou pas, d'information sémantique. Dans les deux cas, ces formats sont normalisés. Cependant, étant donné qu'ils sont utilisés dans des domaines différents, les entités responsables de la normalisation sont multiples, ce qui rend difficile toute communication entre eux.

Les fonctionnalités de représentation et de simulations multi-domaines de la maquette numérique, telle qu'envisagée aujourd'hui, font apparaître un réel besoin autour d'un format normalisé permettant à la fois différents niveaux de représentations visuelles, dont des représentations 3D texturées réalistes, et l'accès à des données sémantiques complexes permettant d'alimenter directement des moteurs de calcul métier sans passer par une phase de conversion et de saisie manuelle.

Deux formats majeurs, actuellement disponibles, répondent aujourd'hui à ces besoins : LandXML et CityGML. Le premier, orienté génie civil, est d'ores et déjà intégré à des logiciels commerciaux. Le format, bien que standardisé n'est normalisé par aucun organisme, ce qui constitue un frein à son utilisation, de même que sa maintenance et son évolution qui semblent être suspendues. A l'inverse, CityGML est lui reconnut comme un standard et une norme depuis 2008 (version 1.0), par l'Open Geospatial consortium (OGC). C'est la raison pour laquelle les travaux du CSTB sur les données à l'échelle urbaine se concentrent aujourd'hui sur le format CityGML.

CityGML a été spécialement imaginé et conçu pour le stockage, la modélisation, et la représentation de l'information géographique sémantique à l'échelle urbaine (il permet cependant de modéliser de plus larges espaces) : c'est le pendant des IFC pour la ville. L'intérêt majeur de CityGML est d'être à la fois conçu comme un modèle sémantique de données 3D pour la représentation et le stockage des objets urbains, et un format d'échange, lui permettant d'assurer les diverses fonctions nécessaires à la visualisation, à la simulation et à l'interopérabilité.

CityGML est « découpé » en plusieurs modules thématiques (bâtiments, relief, infrastructures, routes, …), chacun étant porteur de sémantique. Il permet en outre la représentation des niveaux de détails (pour un même objet, plusieurs niveaux de détails peuvent être spécifiés), de l'échelle régionale (LOD 0) à l'intérieur des bâtiments (LOD 4). Ceci rend CityGML parfaitement adapté pour la modélisation urbaine qui nécessite ce type de représentations variées, représentations dépendant des applications et des objectifs.

Par ailleurs, et c'est un point fondamental, CityGML, en plus de sa modularité, a été pensé comme extensible, via un mécanisme appelé Application Domain Extensions (ADE). Ce formalisme permet, tout en restant générique et compatible avec le standard, d'étendre le format en fonction d'applications non prévues à l'origine. Cela permet de couvrir des applications métiers spécifiques, aspect crucial pour les applications centrées sur la ville. Ainsi, il est par exemple possible de définir des modules pour les simulations (sonores, pollutions, …), tout en restant dans la norme définie. C'est un avantage de CityGML par rapport à d'autres formats, avantage dont le CSTB doit tirer parti pour ses propres applications.

Les travaux réalisés sur la période 2012-2013 ont permis une première utilisation du format CityGML pour la création de maquettes urbaines. Plusieurs étapes ont été nécessaires pour parvenir à une intégration dans les outils développés au CSTB, et, des outils de conversion, pour l'utilisation de données existantes ont été développés. En effet, les producteurs / fournisseurs de données sont à l'heure actuelle peu nombreux à proposer leurs données nativement en CityGML (le ShapeFile reste largement utilisé). Une chaîne de traitement générique a été réalisée sous FME (outil de conversion open source) afin d'extraire des données depuis la BD Topo de l'IGN qui couvre les grands thèmes urbains sous forme vectorielle (bâti, routes, …). Cette chaîne permet d'extraire les couches de bâtiments, de végétation et de topographie, en convertissant les attributs pour assurer la cohérence des données. La gestion des niveaux de détails (LOD0 et LOD1) est également prise en compte. Cette chaîne de conversion est destinée à être étendue afin de pouvoir traiter l'ensemble des thèmes requis par les applications métiers. C'est notamment le cas de la route, et des images raster (orthophotographies).

Parallèlement à ces outils de conversion, les travaux ont concerné l'intégration du CityGML dans la plateforme eveCity3 du CSTB, dédiée à la création, la manipulation et la gestion de maquettes numériques urbaines. En particulier, les 3 tâches suivantes ont été réalisées :

- Développement d'une bibliothèque C++ permettant la lecture et l'écriture de fichiers au format CityGML et le parcours des données lues à l'aide de « visiteurs » ;
- Développement de classes C++ encapsulant des fonctionnalités haut-niveau telles que la gestion des différents niveaux de détail, la recherche et l'application de textures ;
- A partir de ces développements, mise en œuvre d'une première visualisation de modèles au format CityGML sous eveCity3.

Enfin, un travail préparatoire a été mené sur le mécanisme des ADEs (Application Domain Extensions) permettant d'étendre les thèmes existants du CityGML pour l'utilisation des données par des applications métiers. En particulier, le développement de deux modules tirant partis de ce mécanisme a été initié : l'un s'intéressant au potentiel photovoltaïque (module « PotPV »), l'autre intégrant des données issues d'études d'urbanisme et de sciences humaines (module « PlaineCommune »).

2.3 SPÉCIFICATIONS POUR UNE PLATEFORME INTEROPÉRABLE

Le CSTB a développé lors de travaux antérieurs [3] une plateforme logicielle, eveCity2, destinée à la visualisation 3D interactive de projets urbains, enrichie par les résultats de simulations « métier » pour le trafic, les nuisances sonores, et la dispersion de polluants [4] . Bien que fortement intégrés à la plateforme pour l'aspect visualisation du trafic dynamique et auralisation des nuisances sonores, les 3 modules métiers concernés utilisent des données en entrée qui leurs sont propres et la visualisation des résultats en sortie ne suit pas un schéma standardisé commun. L'un des objectifs de la Tâche 3 du présent projet concerne l'évolution de la plateforme eveCity2 afin de mettre en œuvre une plus grande interopérabilité des modules métier en se basant sur les apports de la Tâche 2 sur l'utilisation du format normalisé CityGML. Par ailleurs, il s'agit également d'ajuster les fonctionnalités du logiciel aux besoins utilisateurs issus des travaux de la Tâche 1, mais également des valorisations potentielles de l'outil qui ressortent des expériences antérieures et d'une récente analyse de marché réalisée dans le cadre de la Tâche 5 du projet.

Dans cette optique, un travail a été réalisé autour des fonctionnalités de la plateforme logicielle eveCity3, en tant que support de la maquette numérique urbaine, telle qu'envisagée par le CSTB. Comme expliqué ci-dessus, ce travail s'appuie d'une part sur les préconisations établies dans la Tâche 1 sur l'utilisation de la maquette par les urbanistes et d'autre part sur une analyse de marché menée en parallèle [8] afin de mieux cibler l'effort de recherche et développement du CSTB par rapport aux outils existants.

Ce travail a conduit à la rédaction d'un cahier des charges fonctionnel établissant l'ensemble des fonctionnalités attendues pour la plateforme eveCity3. Ce cahier des charges doit notamment servir à alimenter la feuille de route des développements futurs. On liste ci-dessous les fonctionnalités principales telles que décrites dans le cahier des charges fonctionnel :

- l'utilisation d'un modèle de données unifié au format CityGML ;
- l'édition générique des données ;
- des modules « métier » encapsulant ou interfaçant les simulations métier (interne CSTB ou externes partenariales) à l'aide d'une extension idoine du CityGML. Ces modules ont pour rôle de pré/post traiter les données d'entrées et de sorties des expertises (adaptation des entrées, stockage des résultats obtenus, visualisations 3D pédagogiques) via la maquette ;
- la création et la comparaison de scénarios ;
- la visualisation 3D du modèle et des résultats de simulation ;
- l'exportation et l'exploitation des résultats.

Les développements ont permis d'aboutir à une version 3 d'eveCity, basée sur la même technologie qu'eveBIM, permettant de charger et d'éditer les éléments et les attributs d'un fichier CityGML, et de les visualiser simplement. Il permet en outre de charger parallèlement tout fichier SIG standard et de le superposer au modèle CityGML.

Un premier module est prévu pour la fin d'année 2013, exploitant les résultats de l'expertise photovoltaïque développée dans le projet du CSTB *Quartier bas carbone*.

Notons que les efforts de développements sur la période 2012-2013 ont également abouti à la mise à jour de plusieurs briques logicielles disponibles sur la plateforme eveCity2. Ces développements concernent en particulier :

- la brique de visualisation dynamique des simulations de trafic routier intégrant les derniers développements du moteur de trafic Symuvia de l'Ifsttar ;
- la brique de visualisation et d'auralisation des résultats de simulation acoustique intégrant les dernières avancées de la Tâche 4 ;
- la brique de visualisation des résultats de simulation de la dispersion de polluants.

Une première version de la brique de visualisation des résultats de simulation du potentiel photovoltaïque et/ou de l'héliodon a également été développée sur la plateforme eveCity2.

2.4 REPRÉSENTATION RÉALISTE DES AMBIANCES LUMINEUSES

Les travaux décrits ici concernent la représentation réaliste des ambiances lumineuses, et en particulier la prise en compte de l'adaptation visuelle spatiale et temporelle.



Figure 1 : Représentation réaliste des ambiances lumineuses

Source Phanie, CSTB

Contexte

La représentation des ambiances lumineuses sur écrans (ou projecteurs) est problématique car elle est fortement limitée par les capacités de ces médias. La luminance et la dynamique reproduites sont environ 100 fois plus faibles qu'en réalité et l'espace des couleurs est également très limité. Il en résulte une très mauvaise restitution des couleurs et des contrastes ce qui conduit à une très mauvaise perception des détails, des sensations de confort ou d'éblouissement. Sans correction, le jugement de qualité sur écran est donc totalement faussé.

Les opérateurs de reproduction de tons

Pour envisager une restitution réaliste des ambiances lumineuses sur écran, divers opérateurs de reproduction de tons (ORT) ont été proposés. Ils suivent le schéma suivant :

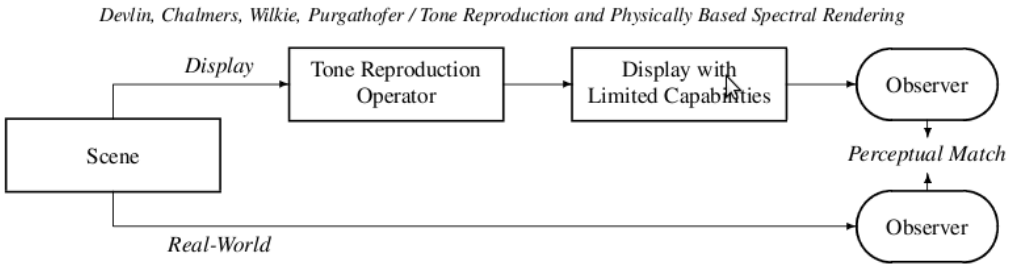


Figure 2 : Opérateurs de reproduction de tons

Source : Tone Reproduction and Physically Based Spectral Rendering.
D. Devlin, Alan Chalmers, Alexander Wilkie, Wzerner Purgathofer.
Eurographics 2002.

Les opérateurs de reproduction de tons les plus simples visent à embellir les images de synthèse. Par une égalisation de l'histogramme et une correction du blanc, ils appliquent des corrections empiriques généralement présentes dans les appareils photos numériques.

Les ORT les plus évolués s'appuient sur une modélisation du fonctionnement de notre appareil de vision, de manière à reproduire les mêmes sensations avec un média aux capacités très limitées.

Bibliographie

L'étude bibliographique a été réalisée sur plus de 15 articles, certains faisant un état de l'art assez complet du sujet et un comparatif de performances.

Parmi les opérateurs étudiés dans ces travaux, il faut noter des opérateurs « simples » tels que ceux de Trumblin, Rushmeir, Larson et Ward. Très utilisés et rapides, ils appliquent une correction spatialement uniforme en vue d'une bonne restitution des contrastes. Cette correction se fait éventuellement au détriment des niveaux de luminance (des pièces très sombres peuvent apparaître très lumineuses). Ces algorithmes ont été testés sur sujets par le Laboratoire central des Ponts et chaussées (LCPC), pour des applications routières, avec des résultats très mitigés.

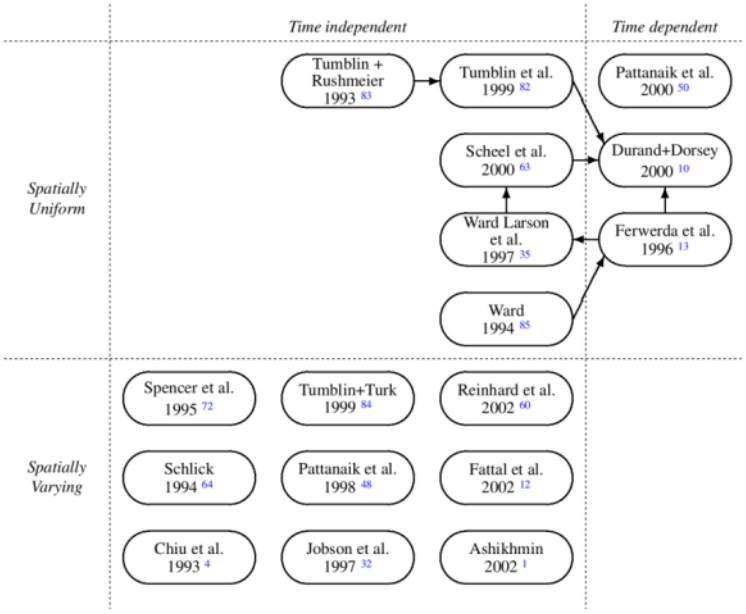


Figure 3 : Taxonomie portant sur 17 opérateurs de reproduction de tons

Source : Tone Reproduction and Physically Based Spectral Rendering.
D. Devlin, Alan Chalmers, Alexander Wilkie, Wzerner Purgathofer.
Eurographics 2002.

Certains opérateurs appliquent une correction variable sur l'image. Celui de Pattanaik, par exemple, applique un modèle de vision (datant de 1968) pour la sensibilité aux contrastes (locaux), eux-mêmes fonction de la fréquence spatiale. L'image est décomposée suivant des filtres passe-bande en une pyramide d'images qui permet, par comparaison entre deux niveaux successifs, de retrouver des images de contrastes. L'algorithme de Larson (Just Noticiable Difference) est alors appliqué sur chaque niveau avant une reconstruction de l'image en suivant un principe inverse comme l'illustre la figure suivante :

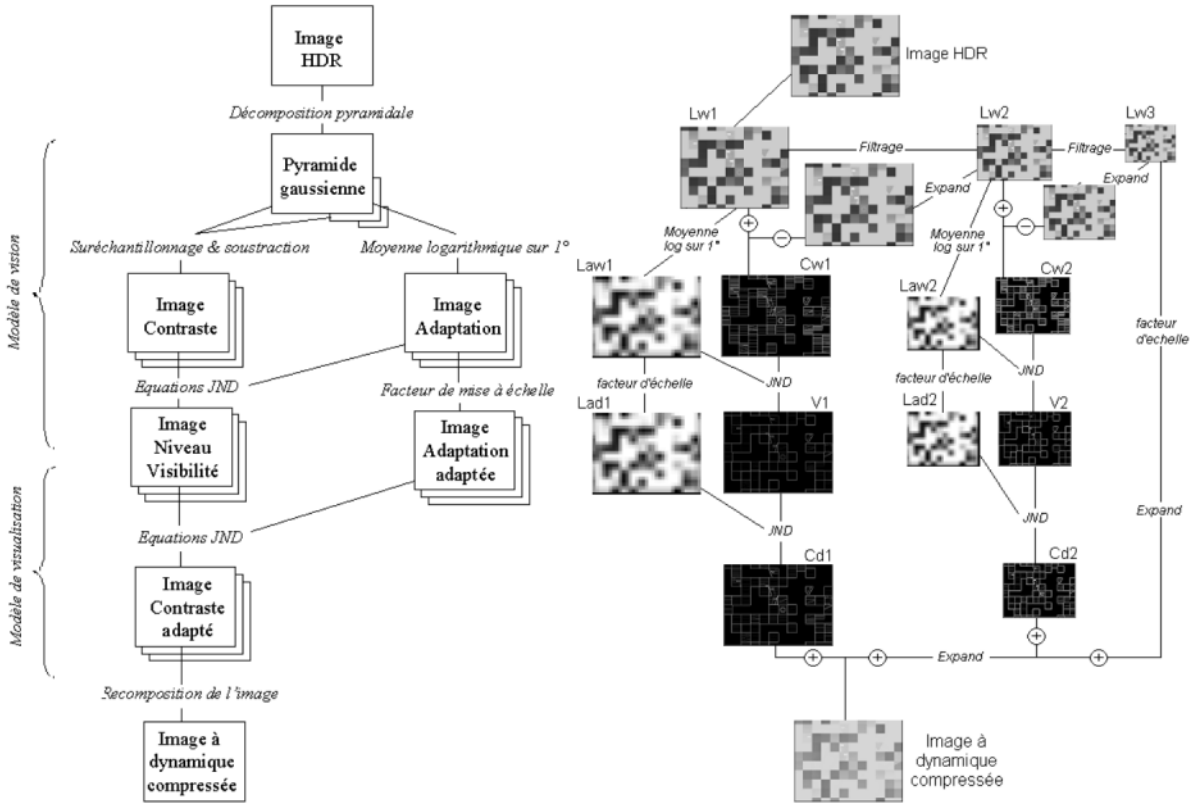


Figure 4 : Conception et évaluation d'un opérateur de reproduction de tons pour des études de visibilité routière

Source : Thèse de Justine Grave. LCPC. 2006.

Enfin, d'autres opérateurs prennent en compte une modélisation du comportement temporel de notre appareil de vision. Celui de Pattanaik-Tumblin l'applique d'ailleurs « en couleur », en différenciant le comportement des cônes et bâtonnets.

Comparatifs

Comme l'illustrent les figures suivantes, il y a autant de résultats différents qu'il y a d'opérateurs de restitution de tons. Mis à part des travaux réalisés par le LCPC sur un simulateur de conduite, aucun travail de validation de ces ORT qui restent très théoriques n'a été trouvé.

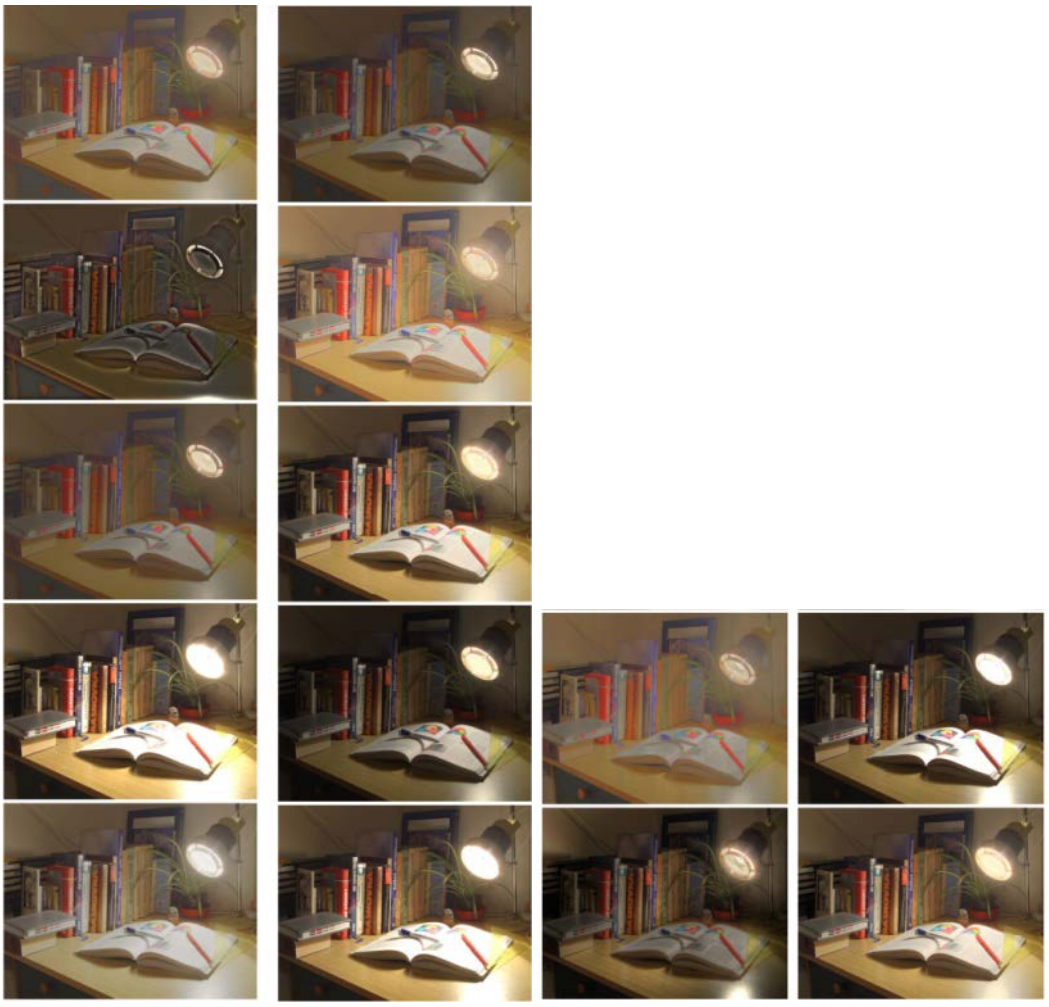


Figure 5 : Opérateur de reproduction de tons - Exemples de résultats (1)

Source : Image Attricutes and Quality for Evaluation of Tone Mapping Operators
M. Cadik, M. Wimmer, L. Neumann, A. Artusi.
Proceedings of Pacific Graphics 2006.

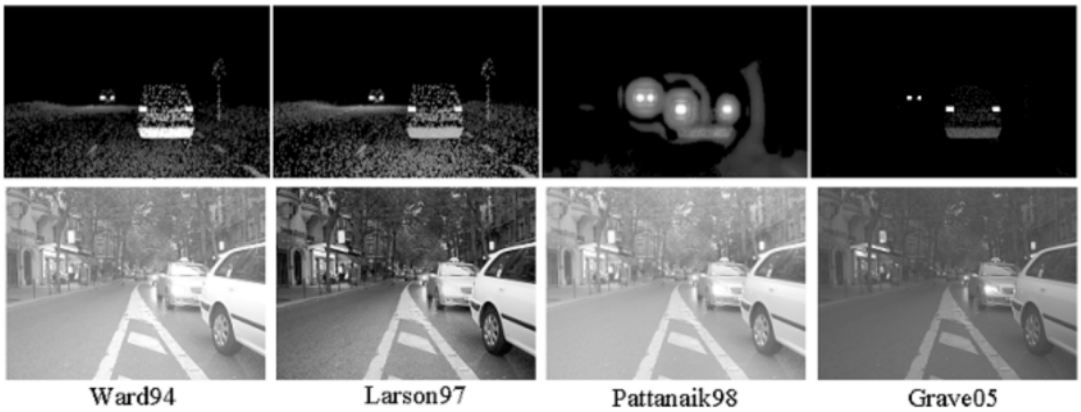


Figure 6 : Opérateur de reproduction de tons - Exemples de résultats (2)

Source : Conception et évaluation d'un opérateur de reproduction de tons pour des études de visibilité routière.
Thèse de Justine Grave. LCPC. 2006.

Travaux réalisés

Le sujet des ORT a été largement traité dans la littérature, depuis longtemps et continue d'alimenter de nombreux travaux de recherche. Des modèles de comportement de notre système visuel ont été pris en compte et ils sont beaucoup plus complexes que ce qui avait été imaginé au départ. Par conséquent, la recherche envisagée par le CSTB sur le sujet n'est pas en mesure d'apporter de nouveaux développements.

Si les opérateurs uniformes sont simples à mettre en œuvre, l'intérêt est plutôt limité. Les autres approches sont plus intéressantes mais beaucoup plus complexes à reproduire. Les techniques sont décrites de manière trop imprécises dans les diverses publications citées et font surtout référence à des tableaux de valeurs introuvables (issues d'expérimentations sur sujets).

Dans ce contexte, le travail actuel porte sur l'adaptation de développements existants en open source (projet Luminance-HDR). Ces développements intègrent des opérateurs assez récents et peuvent être testés sur des images HDR (High Dynamic Range). Cependant ils demandent de nombreuses adaptations pour être intégrés au logiciel de simulation d'éclairage du CSTB qui fonctionne en approche spectrale.

Perspectives

Une grande partie des traitements réalisés par les ORT sont trop longs pour être intégrés dans une boucle d'affichage (20 images par secondes). La plupart de ces opérations (comme la création de la pyramide d'images crée ci-dessous via le processeur) sont toutefois réalisables en exploitant les cartes graphiques.

Une fois finalisé en processeur, le travail portera sur la mise en œuvre de l'opérateur sur processeur graphique (GPU), ce qui permettra d'intégrer également des éléments dépendant du temps.

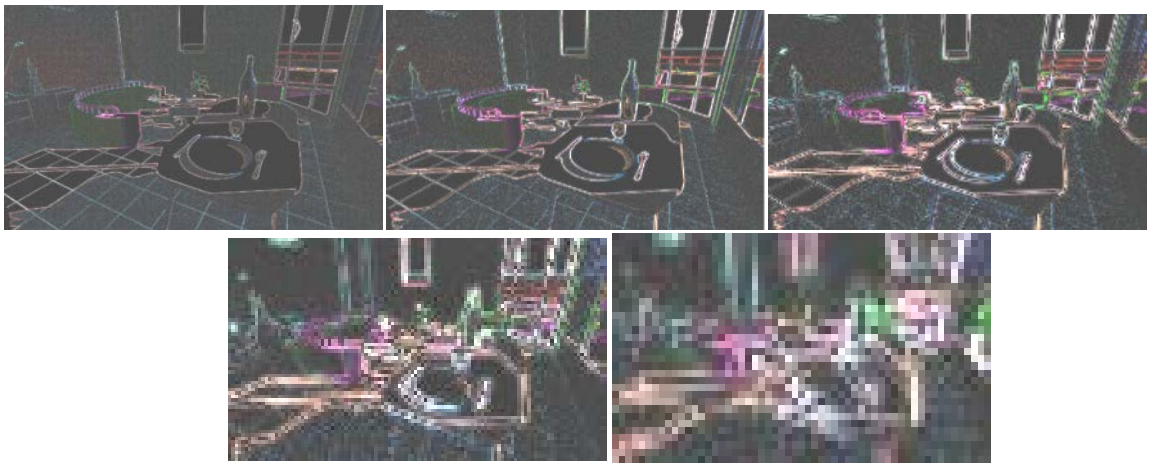


Figure 7 : Pyramide d'images de contraste

Source Phanie, CSTB.

2.5 AURALISATION EN MILIEU URBAIN

Le CSTB possède une compétence forte en acoustique environnementale et urbaine, plus particulièrement dans le domaine de la simulation des phénomènes de propagation acoustique en milieu extérieur d'une part, et dans le domaine de la simulation auditive ou auralisation des environnements sonores d'autre part. Concernant la prévision des niveaux d'exposition au bruit routier, le CSTB a développé des méthodes numériques permettant de simuler l'émission et la propagation du bruit routier. Parmi ces méthodes, les méthodes d'ingénierie telle la NMPB 2008 sont intégrées dans son logiciel Mithra-SIG, utilisé par de nombreux bureaux d'étude pour la cartographie sonore. Parallèlement, ses recherches dans le domaine de l'auralisation lui permettent aujourd'hui de proposer un module d'auralisation des nuisances sonores du bruit routier. Cet outil utilise en entrée les résultats des méthodes de prévision afin de restituer fidèlement et de manière réaliste l'ambiance sonore d'un environnement comprenant des infrastructures routières. La combinaison des outils de prévision et d'auralisation du bruit de trafic fournit un nouvel outil d'analyse quantitatif et qualitatif des scénarios d'aménagement routier. Cet outil vient enrichir les outils traditionnels de cartographie acoustique grâce à la possibilité pour l'utilisateur d'évaluer directement la gêne perçue par l'écoute.

Les travaux antérieurs ont permis de coupler l'auralisation du trafic routier au simulateur de trafic dynamique de l'Ifsttar, Symuvia. Le module d'auralisation considère chaque véhicule individuellement, suivant ses paramètres de position, vitesse et accélération fournis à intervalle de temps constant par Symuvia, pour construire le signal sonore associé au point d'écoute.

Notons que l'approche utilisée fournit également, grâce à la prise en compte des véhicules individuels, des données de niveaux de bruit dynamiques. Les indicateurs qui en découlent permettent de prendre en compte les aspects dynamiques du trafic, aspects qu'un indicateur de bruit moyen ne peut représenter. Ces caractéristiques influent de manière significative sur la gêne perçue dans le cas de trafics instationnaires comme ceux habituellement présents en milieu urbain. Il est donc essentiel de pouvoir les quantifier.

Dans sa version 2, la plateforme eveCity intègre la simulation et l'auralisation du trafic à une visualisation dynamique des véhicules au sein de la représentation 3D du site. On dispose ainsi d'un outil interactif de simulation visuelle et sonore du trafic routier. Cet outil est actuellement en cours d'évaluation par le Conseil général du Nord qui a participé à son financement. L'outil fait également l'objet d'une évaluation par le Cete de Lyon.

Plus récemment, le CSTB a développé une nouvelle technique de synthèse temps réel des bruits source des véhicules à moteur (bruit moteur et bruit de contact pneu/chaussée). Cette technique [13] [17] , brevetée en 2012 [12] , permet la simulation auditive des trafics non-stationnaires pour lesquels les effets liés aux accélérations et décélération de véhicules doivent être reproduits fidèlement afin de garantir la validité des évaluations par l'écoute. Elle utilise des algorithmes de

synthèse granulaire appliqués à des enregistrements contrôlés du bruit moteur et pneumatique.

Les travaux menés sur la période 2012-2013 ont porté sur l'utilisation de cette nouvelle technique de synthèse des bruits source dans le moteur d'auralisation du trafic routier, couplé au simulateur de trafic Symuvia. Un travail de développement informatique a été réalisé pour sa mise en œuvre au sein du moteur d'auralisation, ainsi que son couplage aux méthodes récentes de la prévision acoustique. Parallèlement, une validation complète du moteur d'auralisation a été réalisée d'un point de vue quantitatif.

Tout d'abord, la synthèse granulaire a été mise en œuvre dans le module temps réel d'auralisation du bruit de trafic. Son efficacité en termes de puissance de calcul a ainsi pu être démontrée : la charge de calcul associée n'est que légèrement supérieure à la lecture en mémoire de signatures sonores pré-calculées. On dispose désormais de bruits source réalistes pour des vitesses et régimes moteur variables. Ceci représente une avancée significative par rapport à l'approche antérieure basée sur des signatures pré-calculées pour des vitesses de véhicule constante.

De plus, la séparation du bruit moteur et du bruit de contact pneu/chaussée permet le couplage du moteur d'auralisation aux méthodes récentes de prévision de la propagation acoustique, telles la méthode NMPB 2008 ou Harmonoise. Ces méthodes considèrent en effet différentes hauteurs de source en fonction du type de bruit (moteur ou roulement), et type de véhicule (véhicule léger, poids-lourd, deux roues). Le module d'auralisation actuel permet ainsi d'appliquer à chaque signal synthétisé les chemins acoustiques spécifiques du type de source associée. Ce point a son importance, par exemple pour l'évaluation des effets liés aux protections acoustiques de faible hauteur. Dans ce cas, l'atténuation est plus importante pour le bruit de roulement que pour le bruit moteur.

Enfin, la séparation des bruits moteur et de roulement autorise également la prise en compte du type de revêtement de chaussée. Différentes bases de données de grains sont construites en fonction des différents types de chaussée étudiés. Le module d'auralisation peut ensuite sélectionner la base de données associée au type de revêtement choisi. Cette fonctionnalité a été largement utilisée dans le cadre du projet européen Hosanna pour l'évaluation perceptive de différentes solutions de protection acoustique, dont le type de chaussée.

Un autre aspect contribuant fortement au réalisme de l'auralisation du trafic, et donc à la justesse des évaluations perceptives qui en découlent, est l'évolution du régime moteur en fonction de la vitesse du véhicule et des changements de rapports. Les travaux menés sur le sujet ont permis la mise en œuvre d'un premier algorithme pour le calcul de l'évolution du régime moteur à partir de valeurs cibles de vitesse et d'accélération du véhicules. L'algorithme prend en compte les données cinématiques du véhicule considéré (rapports de boîte, rapport de pont, diamètre des roues) ainsi que des paramètres reliés au type de conduite.

L'effort de recherche a également porté sur la validation du module d'auralisation de trafics. Ces travaux [19] , [20] ont concerné tout d'abord une validation quantitative basée sur la comparaison des niveaux de pression auralisés, c'est-à-dire calculés à partir des signaux restitués, aux niveaux de pression mesurés sur site réels ou bien issus des méthodes de prévision dans le cas des seuls niveaux de bruit moyens. Trois sites de mesure ont été utilisés pour ces validations : un site dégagé, sans bâtiments, le long d'une route rectiligne, et deux sites urbains denses comprenant des bâtiments et plusieurs voies de circulation. Les mesures sur site incluent les niveaux de bruit moyen, LAeq, les niveaux de bruit au passage, LAmax, une prise de son binaural à l'aide d'une tête artificielle ainsi que les vitesses et instants de passage des véhicules, la voie empruntée et leur type. Ces mêmes sites ont ensuite été modélisés dans l'outil Oasis du CSTB, utilisé pour le développement des méthodes de prévision et d'auralisation des bruits en milieu extérieur qui intègre le moteur d'auralisation et de simulation du trafic Symuvia [14] . Des séquences sonores ont ensuite été générées suivant différents scénarios de trafic dont des passages de véhicules individuels, puis analysées afin d'en extraire les niveaux de bruit moyen. La comparaison des niveaux mesurés et auralisés a démontré la validité du moteur d'auralisation d'un point de vue quantitatif [18] .

Enfin, bien que les seuls tests d'écoute formels réalisés durant ces travaux concernent uniquement les signaux source associés aux bruits moteur et de roulement, les tests d'écoute informels sur les bruits de trafic au point d'écoute montrent que le système d'auralisation fournit une restitution sonore réaliste extrêmement convaincante. Ce résultat rend prometteuse l'utilisation de séquences sonores issues du moteur d'auralisation pour l'évaluation perceptive de la gêne sonore des infrastructures routières et la comparaison de différents scénarios d'aménagement par l'écoute. Une validation formelle de ce résultat à partir de tests d'écoute en laboratoire doit rapidement être mise en place.

2.6 *ARTICULATION AVEC LES PROJETS INTERNES ET EXTERNES*

Plusieurs actions ont été entreprises en parallèle des travaux décrits plus haut afin d'articuler la recherche du projet *Ville numérique* avec d'autres projets internes du CSTB ou extérieurs. Ces actions ont permis notamment :

- de faire un état des lieux de la maquette numérique urbaine et de dresser des perspectives sur la stratégie et le positionnement potentiel du CSTB en adéquation avec le marché actuel [8] ;
- d'intégrer à la MNU le module de simulation du potentiel photovoltaïque issu du projet CSTB *Quartier bas carbone* ;
- de démarrer les spécifications d'un module intégrateur, exploitant les résultats d'autres modules métier pour en déduire une évaluation multicritères pour les écoquartiers [6] (lien avec le projet *Evalup* Evaluation du projet urbain) ;
- de communiquer sur la maquette numérique urbaine, les expertises liées et l'outil eveCity en interne et en externe, et ainsi de créer de nouveaux réseaux augurant de futurs projets comme Route 5G (Ifsttar) ;
- d'impliquer les Cete, et bientôt le Cerema, dans l'évaluation opérationnelle de la plateforme logicielle en construction à travers une formation et sa mise à disposition pour des études sur des projets ;

  - Formation du Cete de Lyon réalisée en 2013 pour évaluer la partie acoustique/polluants ;
  - Projet actuellement en cours de montage entre la DIR Nord, le Cete NP, l'Ifsttar et le CSTB, destiné à valider et améliorer le Module de trafic et à le transcrire en CityGML ;
  - Projet avec le Cete d'Aix en Provence sur la réalisation automatique d'une maquette numérique en utilisant les technologies de sémantisation ;
- de poursuivre les collaborations au sein du RST :
  - démarrage de la rédaction commune de la charte Ville numérique (ENPC, Météo France, Ifsttar, IGN, CSTB) destinée à harmoniser les critères d'interopérabilité et à standardiser les simulations à l'échelle urbaine ;
  - transition du projet *Ville numérique* vers un atelier de valorisation et d'intégration logicielle au sein du GIS Modélisation urbaine ;
- collaboration forte avec l'IGN sous la forme de « fiches services et recherche » ;
- de monter une offre « Decision3D » alliant opérationnel et R&D autour de l'acquisition 3D automatisée et de la sémantisation associée (technologie issue du laboratoire Imagine CSTB/ENPC et de la *spin-off* Acute3D).

3. PERSPECTIVES

Les efforts fournis en 2012-2013 ont montré l'intérêt de la maquette numérique urbaine à la fois comme outil d'ingénierie et comme outil de décision/concertation. Grâce à ses compétences dans les différents domaines qui touchent à la qualité environnementale de la ville, le CSTB est bien placé pour développer une offre basée sur des outils interopérables d'aide à la conception et la décision pour les aménageurs.

Dans ce contexte, le CSTB doit poursuivre les efforts de développement afin de renforcer l'offre au-delà du couplage fort trafic/nuisances acoustiques.

Dans le but de diminuer les temps de saisie et de paramétrage d'un projet, il est essentiel de placer l'effort de développement sur (i) l'acquisition et la sémantisation automatique, (ii) l'interopérabilité et (iii) la standardisation des outils. Ceci nécessite de généraliser les modèles SIG afin d'y intégrer la possibilité d'y inclure des représentations 3D texturées ainsi que des passerelles d'échange standardisée vers les entrées et sortie des outils métiers, en particulier :

- Les travaux d'intégration des modules métiers autour du format CityGML doivent être poursuivis ;
- La plateforme logicielle d'intégration des différents outils doit poursuivre son développement suite au travail de spécifications fonctionnelles ;
- Plusieurs outils métiers de simulation dont les développements ont débuté (potentiel photovoltaïque, évaluation et indicateurs multicritères, …) doivent être finalisés et intégrés à la plateforme logicielle.

Concernant l'utilisation de la maquette numérique urbaine pour l'évaluation et la conception des projets d'aménagement, les perspectives doivent conduire à un outil permettant la réalisation de maquettes dès la phase amont du projet urbain. Les réflexions menées sur ce sujet ont en effet montré l'intérêt de disposer d'un outil d'analyse continu qui agrège de multiples données qu'il sera possible de spatialiser grâce au géo-référencement. La capacité à représenter des données immatérielles est également fondamentale pour étendre l'usage de la maquette numérique urbaine au-delà des seules disciplines techniques. Enfin, le support de la maquette devra intégrer une dimension collaborative et participative afin là-encore d'étendre son usage.

Les axes de recherche cités plus haut doivent conduire vers une valorisation effective des outils développés à travers des partenariats industriels. Deux pistes de valorisation potentielle sont d'ores-et-déjà activées.

D'abord à travers le partenariat existant avec Géomod, distributeur français du logiciel SIS et des outils de cartographie acoustique et électromagnétique Mithra-SIG et Mithra-Rem qui utilise les moteurs de calcul du CSTB, un nouvel outil d'aide à la conception urbaine, Mithra-Cite, doit être développé. Dans le cadre du projet européen Holisteec (2013-2016), MITHRA-CITE devra intégrer les outils passerelles entre les formats existants utilisés par les logiciels SIG comme SIS et le format CityGML.

La deuxième piste de valorisation concerne l'offre opérationnelle Decision3D en partenariat avec Acute3D, IMAO et l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière). Cette offre porte sur l'acquisition généralisée des territoires via la technologie de photographie 3D. Son objectif est, à terme, de sémantiser et de préparer les maquettes pour de la simulation numérique via le format CityGML.

Les partenariats engagés avec les Cete devront être poursuivis et élargis aux autres Cete, et au futur Cerema afin de poursuivre le travail de validation des outils par les utilisateurs finaux.

En outre, l'innovation des technologies de l'information-communication à l'échelle urbaine comprend de nombreux chantiers à intégrer à la R&D CSTB, complémentaires à la maquette numérique urbaine :

- Les données (big data, open data) semblent notamment être le point focal de la révolution numérique actuelle. Cette thématique transversale apparue fin 2010 prend beaucoup d'ampleur et remet en question la gouvernance des villes (qui possède la data ? qui la diffuse ?). Elle se doit d'être traitée à sa juste mesure par le CSTB, en partenariat étroit avec des partenaires comme l'IGN ou l'Ifsttar ;
- Le monitoring urbain : il permet par exemple le pilotage de la ville en temps réel, l'alimentation et le recalage temps réel des modèles en amont, et la validation des prédictions en aval. Cela serait l'occasion d'étudier un rapprochement de la maquette numérique avec l'ontologie M2M (Machine 2 Machine) pour faciliter les échanges de données entre modèle et à partir de capteurs urbains ;
- Le mobile au service de la ville qui permettrait d'afficher les résultats des expertises sur tablettes et smartphones (exemple de l'application CSTB/Acoubat/Placoplatre), en utilisant la réalité augmentée, la remontée d'information issues des méthodes participatives dites de « crowd-sourcing »;
- La morphologie urbaine : l'élément unitaire est constitué par le quartier ou l'îlot urbain. Les modèles morphologiques, associées à des moteurs de simulation à l'échelle urbaine, permettent de faire des prédictions efficaces et utiles pour évaluer les potentiels des villes à long terme.

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] SOUBRA, S., 2009, *Combining 3D models and simulations to meet the design challenges of the twenty-first century,* Collaborative Construction Information Management, Taylor & Francis[ISBN 978–0–415–48422–0]

[2] LECLERCQ L., SOULA J., Février 2010, *Impact et modélisation du trafic urbain au sein des maquettes numériques. Prototype et scénarios d'utilisation*. Rapport final de l'action de recherche, CSTB/TIDS

[3] LECLERCQ L., BECARIE C., SOULA J., Avril 2010, *Maquette Numérique Urbaine : modèles, réseaux et simulation de trafic*. Rapport final de l'action de recherche « Maquette Numérique Urbaine », CSTB/TIDS

[4] SOULA J., LECLERCQ L., MAILLARD J., VAN-MAERCKE D., ZIBOUCHE K., Février 2011, *Couplage de simulations environnementales au sein d'une maquette numérique urbaine*. Colloque « La modélisation de la ville : du modèle au projet urbain », Ecole des Ponts Paris Tech, Marne La Vallée, 23-24 février 2011

[5] AUGISEAU V., BELZITI D., BONETTO R., Novembre 2011, *Plateforme d'intégration logicielle*. Rapport final de la tâche 4 du projet de recherche « Evaluation des projets Urbains », CSTB/TIDS

[6] BELZITI D. & al., Janvier 2013, *Boîte à outils R&D CSTB pour l'évaluation intégrée des opérations d'aménagement urbain durable*. Rapport final de la tache 4 du projet de recherche « Evaluation des projets Urbains », CSTB/TIDS

[7] BAILLY E., DURET H., TUAL M., Mai 2013, *Quels apports des maquettes numériques urbaines dans les projets urbains durables ?* Tâche 1 du projet de recherche « Ville Numérique », CSTB/DESH

[8] SOULA J., Mai 2013, *Maquette Numérique Urbaine : Etat des lieux et perspectives face au marché*. Projet de recherche « Ville Numérique », CSTB/TIDS, rapport MOD-EVE-12-187-RE

[9] SOULA J., Mai 2013, Maquette Numérique Urbaine : Spécifications fonctionnelles pour eveCity 3.0. Projet de recherche « Ville Numérique », CSTB/TIDS, rapport MOD-EVE-13-048-RE

[10] TOURNAIRE O., Octobre 2013, *Données et couplages moteurs externes - CityGML*. Projet de recherche « Ville Numérique », CSTB/TIDS

[11] BAILLY E., DURET H., Septembre 2012, *Cahier des charges ville Développement Durable. Plateforme interactive 3D pour la co-conception d'un projet de renouvellement urbain durable*. Projet de recherche « Ville Numérique », CSTB/DESH

[12] JAGLA, J., MAILLARD, J., 2012, *Method of analyzing and synthesizing engine noise, its use and associated system*, *Patent WO 2012/143659*

[13] JAGLA J., MAILLARD J., MARTIN N., 2012, *Sample-based engine noise synthesis using a harmonic synchronous overlap-and-add method,* Proc. of IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, 373-376

[14] MAILLARD J., JAGLA J., 2012, *Auralization of non-stationary traffic noise using sample based synthesis - Comparison with pass-by recordings,* Proc. of Internoise 2012, New York City, New York

[15] MAILLARD J., JAGLA J., 2012, *Auralisation du bruit des transports terrestres en milieu urbain,* Acoustique et Technique

[16] MAILLARD J.; JAGLA J. DEFRANCE J., 2012, *Evaluation de l'environnement sonore des espaces urbains par une méthode d'auralisation temps réel du bruit des transports terrestres*, EchoBruit, 136, 15-18

[17] JAGLA J., MAILLARD J., MARTIN N., 2012, *Sample-based engine noise synthesis using an enhanced pitch-synchronous overlap-and-add method*, Journal of the Acoustical Society of America, 132, 3098-3108

[18] MAILLARD J., JAGLA J., 2013, *Real Time Auralization of Non-Stationary Traffic Noise - Quantitative and Perceptual Validation in an Urban Street*, Proc. of AIA-DAGA 2013, Merano

[19] MAILLARD J., VAN MAERCKE D., 2013, "Auralization of combined solutions", FP7 HOSANNA Deliverable 6.4.

[20] MAILLARD J., LEISSING T., VAN MAERCKE D., 2013, "Evaluation of innovative and combined mitigations", FP7 HOSANNA Deliverable 6.2

SIÈGE SOCIAL
84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS