HAL
open science

Couplage d'un modèle numérique météorologique avec le modèle numérique de propagation acoustique TLM

Pierre Aumond, Gwenael Guillaume, Benoit Gauvreau, Judicaël Picaut, Guillaume Dutilleux, Christine Lac, Valéry Masson, Michel Bérengier

To cite this version:

Pierre Aumond, Gwenael Guillaume, Benoit Gauvreau, Judicaël Picaut, Guillaume Dutilleux, et al.. Couplage d'un modèle numérique météorologique avec le modèle numérique de propagation acoustique TLM. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00542606

HAL Id: hal-00542606

https://hal.science/hal-00542606v1

Submitted on 3 Dec 2010

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.

10ème Congrès Français d'Acoustique
Lyon, 12-16 Avril 2010

Couplage d'un modèle numérique météorologique avec le modèle numérique de propagation acoustique TLM

Pierre Aumond[1,3], Gwenaël Guillaume[1], Benoit Gauvreau[1], Judicael Picaut[1], Guillaume Dutilleux[2], Christine Lac[3], Valéry Masson[3], Michel Bérengier[1]

[1]Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Route de Bouaye, 44341 Bouguenais Cedex, France
{pierre.aumond,gwenael.guillaume,benoit.gauvreau,judicael.picaut,michel.berengier}@lcpc.fr

[2]ERA 32 « Acoustique » LCPC, CETE de l'est - LRPC de Strasbourg , 11, rue Jean Mentelin, BP 9, 67035 Strasbourg CEDEX 2, France
guillaume.dutilleux@developpement-durable.gouv.fr

[3]Météo France – CNRM/GAME, 42 av Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 01, France
{pierre.aumond,christine.lac,valery.masson}@meteo.fr

Il est connu que l'influence des conditions météorologiques sur la propagation acoustique en milieu extérieur est très importante à partir de 50 m de la source. La modélisation des phénomènes météorologiques de petites échelles a donc toute son importance, surtout dans un objectif de couplage avec des modèles de propagation acoustique. Dans ce but, le modèle de simulation numérique Méso-NH (Météo-France/CNRS) est utilisé à très haute résolution (Large Eddy Simulation, LES). Dans un premier temps, nous avons testé ce modèle sur un cas d'étude (Lannemezan2005) pour lequel des données expérimentales, à la fois météorologiques et acoustiques, sont disponibles. En particulier, des simulations LES avec une résolution verticale très fine (~1m) ont été réalisées et ont montré la nécessité d'introduire l'effet de traînée des arbres sur les variables dynamiques du modèle atmosphérique. Dans un second temps, le modèle Méso-NH a été couplé avec un modèle de propagation acoustique, basé sur une approche TLM (Transmission Line Matrix). A ce stade, seuls les résultats préliminaires de ce couplage sont présentés.

1 Introduction

On estime à 300 000 le nombre de logements riverains de voies de transports terrestres exposés à un niveau de bruit préoccupant et, d'après l'INSEE, plus de la moitié des français (54%) se déclarent gênés par le bruit extérieur. La diminution des incertitudes liées à la mesure ou au calcul de ces niveaux sonores est donc un enjeu important.

En ce qui concerne la prévision numérique du bruit, des développements sont encore nécessaires pour caractériser une situation acoustique, notamment dans le domaine temporel afin de permettre l'utilisation d'indicateurs avancés. En outre, ces modèles acoustiques doivent pouvoir disposer de données d'entrée précises et robustes relatives aux observables influentes, en particulier pour les paramètres micrométéorologiques. En effet, ces derniers présentent *in situ* une variabilité spatiale et temporelle importante, ainsi que des incertitudes dès lors qu'il s'agit de les modéliser numériquement et/ou de les caractériser expérimentalement.

Dans le domaine de l'acoustique environnementale, *i.e.* pour le bruit des transports terrestres ou le bruit industriel, l'influence des conditions météorologiques sur la propagation en milieu extérieur peut être significative à partir de 50 m de distance à la source [1]. Il apparaît donc nécessaire de modéliser correctement les phénomènes météorologiques de petites échelles, *i.e.* d'échelles de l'ordre métrique. Le modèle météorologique de recherche Méso-NH ([2][3]) permet d'étudier la météorologie sur une large gamme d'échelles. Il s'agit ensuite d'utiliser les données météorologiques simulées par Méso-NH dans le domaine temporel en entrée d'un modèle acoustique – également temporel – basé sur la méthode TLM (Transmission Line Matrix). Un modèle complet de référence peut ainsi être construit (MNH/TLM), permettant d'améliorer la prévision de niveaux sonores en milieu extérieur hétérogène.

Les modèles météorologique (MNH) et acoustique (TLM) sont présentés dans la partie 2, puis validés dans la partie 3. Une première application du couplage entre les deux modèles est donnée en partie 4.

2 Description des modèles

2.1 Modèle météorologique (Méso-nH)

Méso-NH est un modèle de recherche non hydrostatique anélastique développé conjointement par Météo France et le Laboratoire d'Aérologie [2][3], largement validé sur un grand nombre de campagnes de mesures météorologiques Ce code est parallélisé et vectorisé, et compte actuellement une cinquantaine de laboratoires utilisateurs, dans des domaines très variés en plus de la météorologie, comme l'électricité atmosphérique, la dispersion de pollens, la propagation des feux de forêts, les conduits de propagation électromagnétiques, *etc*. Il peut être utilisé jusqu'à des résolutions de l'ordre du mètre (Large Eddy Simulation) grâce à un schéma de turbulence 3D [4] pronostiquant l'énergie cinétique turbulente, permettant d'appréhender des couches limites variées (stable, neutre ou convective). La technique de modèles emboîtés (« grid-nesting ») offre le possibilité de descendre en résolution en prenant en compte les interactions d'échelles. Méso-NH est couplé au modèle de surface externalisé SURFEX [5] intégrant des schémas de surface détaillés pour la végétation, la ville, les mers et les lacs. A chaque pas de temps du modèle atmosphérique, chaque point de grille de la surface reçoit du premier niveau atmosphérique température, humidité, vent, pression, précipitation et flux radiatifs courtes et grandes longueurs d'onde. Le modèle de surface restitue des flux moyens de quantité de mouvement, de chaleur sensible et latente, ainsi que des paramètres radiatifs utilisés au premier niveau de Méso-NH. Méso-NH permet ainsi d'appréhender la variabilité spatio-temporelle des paramètres nécessaires aux modèles acoustiques.

Méso-NH peut être initialisé par des modèles atmosphériques de plus grande échelle, ou bien dans un contexte plus idéalisé par des profils verticaux observés. Dans cette étude, l'initialisation du modèle se fait à l'aide de données de grande échelle Météo-France extrapolées à basse altitude à l'aide des mesures *in-situ* des mâts météorologiques de 10 et 60 m de la campagne "Lannemezan 2005" [1]. Pour descendre aux plus fines résolutions en conservant des tailles de grille raisonnables, des modèles emboîtés à 50m, 10m et 2m de résolution sont utilisés. La résolution verticale est métrique pour l'ensemble des modèles imbriqués.

2.2 Modèle acoustique (TLM)

La simulation de la propagation d'une onde sonore dans le domaine est effectuée par un modèle temporel basé sur la méthode TLM [8]. Cette méthode, dont le concept est issu du principe de Huygens, consiste à interpréter la propagation acoustique comme un processus itératif de diffusion d'impulsions sonores par des volumes élémentaires, représentés par des nœuds, interconnectés par l'intermédiaire de lignes de transmission qui forment ainsi un réseau de lignes de transmission. Au cours d'une itération temporelle, deux types d'impulsions sonores sont distinguées : les impulsions diffusées par chaque nœud du domaine discrétisé, puis les impulsions incidentes à chaque nœud.

Le modèle TLM permet de simuler à la fois l'absorption atmosphérique [9], les effets micrométéorologiques, en introduisant la célérité effective du son [10][11], et les effets de sol décrits par une condition d'impédance [12]. Une condition de Sommerfeld est modélisée aux limites du domaine de calcul en introduisant des couches absorbantes anisotropes atténuant progressivement le champ incident aux limites. La méthode TLM permet en outre de considérer des topographies complexes et le bâti urbain [13].

La TLM est une méthode dont la parallélisation est relativement aisée [14], ce qui permettrait de réduire les temps de calculs qui demeurent importants sur un seul processeur : ils sont du même ordre de grandeur que ceux observés pour la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD), *i.e.* de l'ordre de l'heure sur une station de travail standard pour un calcul correspondant à une propagation sur une durée de 1 seconde pour un domaine de 50m*50m. Ce temps CPU peut toutefois être divisé par deux sur un supercalculateur sans parallélisation, et beaucoup plus avec parallélisation. En outre, les informations temporelles qui en sont extraites permettent de caractériser une situation sonore à l'aide d'indicateurs temporels (*e.g.* L_{10}), en complément des indicateurs énergétiques « moyens » (*e.g.* L_{den}).

3 Validation des modèles

3.1 Méso-NH

La validation expérimentale du modèle Méso-NH a été effectuée à l'aide de la campagne expérimentale de Lannemezan 2005 [1]. Des enregistrements acoustiques et météorologiques y ont été faits sur une période de 3 mois. Le site de mesure présente une topographie relativement simple et les conditions quasi-idéales de ce site constituent une référence pour la validation de Méso-NH à fine échelle (~1 m). A cette échelle, il s'est avéré nécessaire d'introduire l'effet de traînée des arbres sur les variables dynamiques du modèle atmosphérique (« Drag Force Approach »), de manière analogue à ce qui avait été développé dans le modèle de surface pour des résolutions atmosphériques verticales plus grossière [6] ou dans d'autres modèles de méso-échelle comme ARPS [7]. Ce récent développement a permis une nette amélioration des résultats (*Cf* Figure 1).

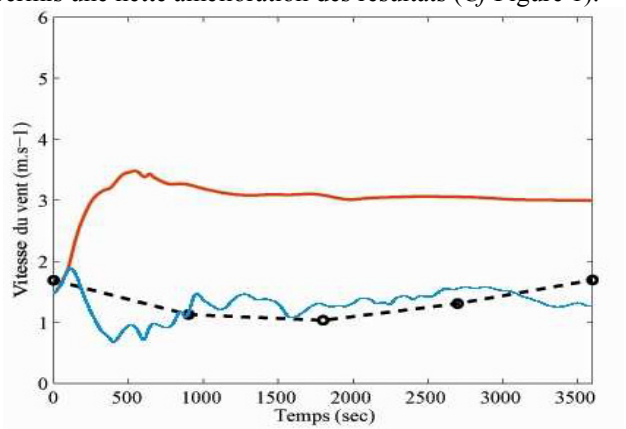

Figure 1 : Evolution temporelle de la vitesse de vent mesurée (en noir pointillé, moyennée sur 15 min) et simulée à l'aide du modèle Méso-NH avec et sans l'effet de traînée des arbres (respectivement en bleu et en rouge) à 10 m du sol sur le site de Lannemezan 2005.

La Figure 1 met en effet en évidence la capacité du modèle Méso-NH à reproduire correctement le champ de vent à 10 m du sol sur le site expérimental de Lannemezan. D'autres validations ont également été effectuées à différentes hauteurs sur les champs de température, de vent, ainsi que sur l'énergie cinétique turbulente (TKE), et ont montré un bon comportement du modèle. A ce stade, il semble tout à fait pertinent de coupler le modèle Méso-NH avec un modèle acoustique de propagation acoustique en milieu extérieur.

3.2 TLM

A titre d'illustration des possibilités de la TLM, les figures suivantes présentent des résultats qualitatifs pour différentes conditions de propagation. Pour une validation plus rigoureuse de ce modèle, le lecteur pourra se reporter en particulier à la référence [8] où une validation quantitative est proposée.

Les simulations TLM ont été réalisées en deux dimensions sur un domaine de 80m*20m, avec un maillage spatial de 0.02m et un pas de temps de l'ordre de 0.001s, pour une fréquence de 1000 Hz. Afin de minimiser les effets des limites du domaine, des couches absorbantes ont été considérées, mais ne sont pas représentées sur les figures ci-dessous.

La Figure 2 présente un cas « simple » de propagation, où la source est localisée très près d'un sol réfléchissant, conduisant à la formation de fronts d'ondes plans à grande distance de la source (sauf à sa verticale, où les phénomènes interférentiels peuvent déjà être observés). A géométrie et fréquence identiques, la Figure 3 confirme que les effets du sol (ici fixé arbitrairement homogène et très absorbant) sont bien pris en compte dans le code TLM (zone interférentielle modifiée au droit de la source associée à une zone d'ombre au voisinage du sol). L'introduction des hétérogénéités du milieu de propagation (météo) est présentée dans la Section 4.

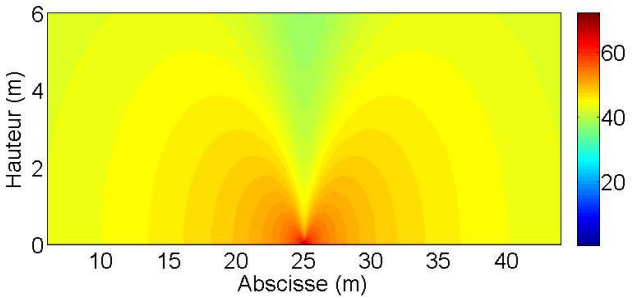

Figure 2 : Coupe verticale du champ sonore (en dB) pour un signal purement sinusoïdal de 1000 Hz issu d'une source placée à 10 cm au dessus d'un sol plan homogène réfléchissant et dans une atmosphère homogène (vent nul, température à 20°C).

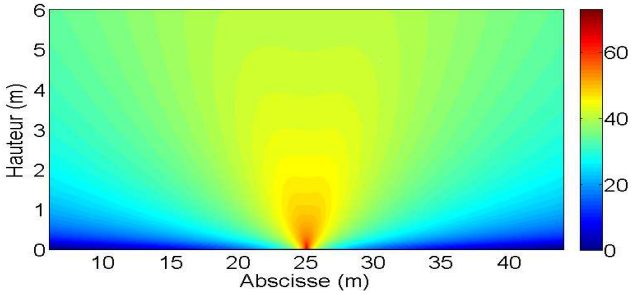

Figure 3 : Coupe verticale du champ sonore (en dB) pour un signal purement sinusoïdal de 1000 Hz issu d'une source placée à 10 cm au dessus d'un sol plan homogène très absorbant (10 cgs) et dans une atmosphère homogène (vent nul, température à 20°C).

4 Couplage des modèles MNH-TLM

Des simulations préliminaires ont été effectuées afin de montrer la possibilité de couplage du modèle TLM avec le modèle Méso-NH. Ainsi, la Figure 4 présente la simulation de la propagation d'une onde sonore dans une atmosphère hétérogène. Le champ de vent est initialisé à partir de données arbitraires, volontairement exagérées afin de bien rendre compte de la sensibilité du modèle aux différentes conditions météorologiques : conditions *favorables* à la propagation à droite (vent portant), *défavorables* à gauche (vent contraire).

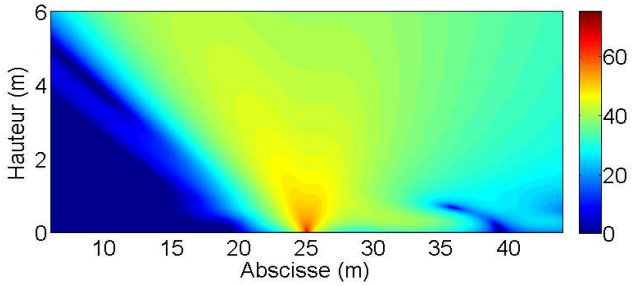

Figure 4 : Coupe verticale du champ sonore (en dB) pour un signal purement sinusoïdal de 1000 Hz issu d'une source placée à 10 cm au dessus d'un sol plan homogène absorbant (10 cgs) et dans une atmosphère hétérogène (vent horizontal orienté est-ouest), en présence d'un fort gradient vertical de vent du type $V(z)=a \log (1+z/z0)$, avec a=+/- 10 m/s et $z0$=0.01 m

La Figure 4 montre bien les effets de réfraction des ondes sonores vers le sol lorsque le vent est portant, *i.e.* dans le sens de propagation de l'onde, donnant naissance à de nouvelles figures interférentielles. Dans le sens contraire, la zone d'ombre (déjà présente au voisinage du sol, *Cf.* Figure 3) est significativement accentuée.

La méthode TLM permet donc de prendre en compte des hétérogénéités des frontières (impédance de sol) et du milieu (météo) de propagation. Le couplage avec le modèle micrométéorologique Méso-NH permet ensuite de considérer des données d'entrée réalistes (champs de vent et de température), caractéristiques des conditions locales (« effet de site », représentativité *spatiale*) et de la période d'observation (représentativité temporelle).

5 Conclusions et perspectives

Après quelques développements nécessaires pour adapter le code aux échelles métriques et phénomènes physiques associés, la comparaison des résultats issus de Méso-NH avec les données mesurées lors de la campagne de Lannemezan 2005 a permis de valider la configuration du code pour de très fines échelles spatiales en cas réel, puis d'envisager de le coupler à un modèle acoustique. Le modèle acoustique TLM a lui aussi été validé dans de nombreux cas académiques (*e.g.* sol absorbant homogène et hétérogène). Des premiers résultats de simulation démontrent la faisabilité du couplage de ces deux modèles.

Dans un deuxième temps, il sera nécessaire de réaliser des simulations numériques sur des cas réels, afin de valider *quantitativement* le modèle couplé MNH-TLM, afin d'une part à l'aide des données expérimentales acoustiques *et* micro-météorologiques sur un simple « simple » (Lannemezan 2005), et d'autre part sur un site plus complexe (site expérimental permanent du LCPC : la Station de Long Terme [15]).

Références

[1] F. Junker, B. Gauvreau, D. Ecotière, C. Cremezi-Charlet, Ph. Blanc-Benon, (2007), "Meteorological classification for environmental acoustics – Practical implications due to experimental accuracy and uncertainty", International Congress on Acoustics (ICA) 2007, Madrid (S), 2-7 sept. 2007

[2] http://mesonh.aero.obs-mip.fr/mesonh/

[3] Lafore J. P. et coll. "The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: adiabatic formulation and control simulations", *Annales Geophysicae,* 16(1), 90-109 (1997)

[4] Cuxart, J., P. Bougeault, and J.-L. Redelsperger, A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 126, 1-30, 2000a.

[5] http://www.cnrm.meteo.fr/surfex/

[6] Masson V. et Seity Y. "Including atmospheric layers in vegetation and urban offline surface schemes", *Journal of Applied Meteorology,* 48(7), (2009)

[7] Dupont S. et Brunet Y. "Edge flow and canopy structure : a large-eddy simulation study", *Boundary Layer Meteorology,* 126(1), 51-71 (2008)

[8] G. Guillaume, « Application de la méthode TLM à la modélisation de la propagation acoustique en milieu urbain », Thèse de doctorat, Université du Maine, Le Mans (2009)

[9] J. Hofmann et K. Heutschi, "Simulation of outdoor sound propagation with a transmission line matrix method", *Applied Acoustics,* 68(2), 158-172 (2007)

[10] G. Dutilleux, "Applicability of TLM to wind turbine noise prediction", Wind Turbine Noise 2007, 9p

[11] G. Guillaume, J. Picaut, G. Dutilleux, B. Gauvreau, (2008), "Use of the transmission line matrix method for the sound propagation modelling in open-spaces", Proc. 12th LRSP Symp., Lyon (F), October 2008

[12] G. Guillaume, J. Picaut, B. Gauvreau, G. Dutilleux, "Implementation of complex impedance conditions and absorbing layers into a transmission line matrix model for urban acoustics applications", Proc. Euronoise 2009, Edinburgh (Sc), October 2009

[13] U. Kristiansen, H. Solvik,N. Brachet et K. Jezzine, "Use of the TLM method in acoustics", Proc. 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Nice (F), August 2000

[14] G. Dutilleux et J. Waechter, "The TLM method for acoustics : local and distributed implementations in Scilab", Scilab 2004, 11p

[15] http://www.lcpc.fr/fr/presentation/moyens/slt/index.dml