



Université Lille Nord de France  
Pôle de Recherche  
et d'Enseignement Supérieur

## Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



**Titre :** Simulation par approche hybride de la pollution extérieure/intérieure en milieu urbain : prédiction et contrôle des écoulements d'air

**Financement prévu :** Region + Université

**Cofinancement éventuel :** entreprise

**Directeur de thèse :** Hassane NAJI

**E-mail :** hassane.naji@univ-artois.fr

**Co-Directeur de thèse :**

**E-mail :**

**Laboratoire d'affectation :** LGCgE (Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement) ([www.lgcge.fr](http://www.lgcge.fr))

### Descriptif du sujet

Depuis quelques années, la qualité de l'air extérieur/intérieur est devenue un enjeu à la fois environnemental, économique et sanitaire. De plus, les îlots de chaleur urbains sont susceptibles d'entraîner des phénomènes de pollution, réaction entre les rayons du soleil, la chaleur et les polluants (oxydes d'azote ( $NO_x$ ), monoxyde de carbone (CO) et composés organiques volatils (COV)). De ce fait, ce projet consiste à modéliser et simuler numériquement la pollution extérieure/intérieure (urbaine) pour mieux comprendre la répartition spatio-temporelle de l'air pollué ou non et le niveau de concentrations/dépôts des polluants.

Les simulations à l'échelle d'une rue des concentrations peuvent être abordées en utilisant un modèle de chimie-transport combiné à un modèle d'écoulement turbulent incluant le bâti. Un tel modèle permet de prédire de manière dynamique les concentrations en polluants en couplant les équations de la mécanique des fluides à l'équation d'advection-diffusion-réaction (dite de dispersion réactive) d'un polluant. A ces équations, il convient d'adjoindre des conditions aux limites, donnant par exemple la contribution des dépôts et des émissions au sol.

Cependant, les équations gouvernantes n'ont pas de solution analytique connue en régime turbulent. Celles-ci seront résolues en s'appuyant sur un code basé sur une approche des volumes finis en maillage non-structuré qui avait été développé auparavant au Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE, EA 4515). La modélisation de la turbulence est fondée sur l'approche moyennée en temps des équations de Navier-Stokes (dite *URANS* pour *Reynolds Averaged-Navier-Stokes selon la terminologie anglo-saxonne*) en raison de son faible coût de calcul. La discrétisation temporelle des équations est réalisée à l'aide d'un schéma numérique "prédicteur-correcteur". Dans ce projet, nous projetons d'enrichir ce code en y implémentant une approche hybride (*plus fine qu'une approche statistique*). Celle-ci combine l'approche *URANS* et une approche par filtrage spatial dite *LES* (pour *Large Eddy Simulation*). Une telle approche (*URANS/LES*) est un compromis entre faible coût de calcul et détermination détaillée (fine) des grandeurs visées. En d'autres termes, elle consiste à modéliser la turbulence (urbaine) polluée à l'échelle d'une rue-canyon par exemple et permet une simulation tridimensionnelle et instationnaire tout en s'appuyant partiellement sur l'approche statistique *URANS* qui est communément utilisée.

La distribution spatio-temporelle des concentrations de polluants peut être évaluée par le développement de modèles numériques de prédiction et d'évaluation de la qualité de l'air dans les espaces confinés ou non. La modélisation de la pollution extérieure (urbaine) sert à comprendre l'origine des polluants, leur étendue spatiale et leur niveau de concentrations/dépôts. Les simulations à l'échelle d'une rue des concentrations en utilisant un modèle de chimie-transport combiné à un modèle d'écoulement turbulent incluant le bâti. Un tel modèle permet de prédire de manière dynamique les concentrations en polluants en couplant les équations de la mécanique des fluides à l'équation d'advection-diffusion-réaction (dite de dispersion réactive) d'un polluant (passif ou non) de concentration  $C_i$ . A ces équations, il convient d'adjoindre des conditions aux limites, donnant par exemple la contribution des dépôts et des émissions au sol.



Ces équations n'ont hélas pas de solution analytique connue en régime turbulent. De ce fait, on a besoin de codes de calcul dans lesquels le problème est discrétisé et résolu numériquement. Au *LGCgE*, un code reposant sur une approche en volumes finis en maillage non-structuré a été développé depuis fort longtemps. La modélisation de la turbulence est fondée sur l'approche moyennée en temps des équations de Navier-Stokes (dite *URANS* pour *Unsteady Reynolds Averaged-Navier-Stokes selon la terminologie anglo-saxonne*) en raison de son faible coût de calcul. La discrétisation temporelle des équations est réalisée à l'aide d'un schéma numérique "prédicteur-correcteur". Actuellement, nous projetons d'enrichir ce code en y implémentant une approche hybride (*plus fine qu'une approche statistique*). Celle-ci combine l'approche *URANS* basée sur la moyenne d'ensemble et une approche par filtrage spatial dite *LES* (*pour Large Eddy Simulation*). Dans cette dernière, il est possible de tronquer le calcul aux plus grosses structures de l'écoulement (dites structures résolues). Les plus petites (statistiquement isotropes), dont le comportement et l'interaction avec le reste de l'écoulement sont supposés universels, doivent alors être modélisées. Il est très important de prendre en compte ces petites structures qui ont un rôle primordial dans la production de la turbulence à l'intérieur de la couche limite et contrôlent les différents processus de transport au sein de l'écoulement.

Une telle approche (*URANS/LES*) est un compromis entre optimisation du coût de calcul et détermination détaillée (fine) des grandeurs visées. En d'autres termes, elle consiste à modéliser la turbulence polluée (à l'échelle d'une rue-canyon par exemple) et permet une simulation tridimensionnelle et instationnaire tout en s'appuyant partiellement sur l'approche statistique *URANS* qui est communément utilisée.

L'écoulement de l'air dans les rues urbaines est dominé par les effets dus à la géométrie des bâtiments, l'architecture et les dimensions des rues. En effet, la présence de ces obstacles modifie la dynamique et le niveau de la turbulence, et par conséquent la structure de l'écoulement à l'intérieur de la rue-canyon. De ce fait, la compréhension de ces effets est cruciale pour développer la connaissance des mécanismes qui gouvernent la dispersion des polluants dans le milieu urbain. A l'échelle urbaine, les écoulements sont turbulents, instationnaires et sont à l'origine de la présence des mouvements tourbillonnaires d'échelles spatiales variables. A l'échelle locale, une cavité est un modèle qui peut représenter une rue-canyon formée par un ensemble de bâtiments et de rues.

Il est maintenant admis que l'approche numérique est devenue d'un grand intérêt pour étudier l'influence de l'architecture de la rue sur l'écoulement de l'air et la dispersion des polluants dans une rue-canyon. En vue d'améliorer la qualité de l'air et de disperser la pollution dans un milieu urbain (rue-canyon), nous nous proposons d'utiliser un modèle hybride (*URAN/LES*) pour examiner les différentes méthodes de contrôle (passif ou actif) de la dispersion des polluants d'un tel milieu.