

# LCSQA

Laboratoire Central  
de Surveillance de la Qualité de l'Air



INERIS



# Evaluation et contraintes d'application des modèles de rue

*Laboratoire Central de Surveillance  
de la Qualité de l'Air*

**Convention n° 04000087**

financée par la Direction de la Prévention des Pollutions  
et des Risques (DPPR)

**novembre 2004**

Laurence ROUÏL

Ce document comporte 30 pages (hors couverture et annexes).

<b>NOM</b>	Laurence ROUÏL	Frédéric MARCEL	Martine RAMEL
<b>Qualité</b>	Ingénieur Etudes et Recherches Direction des Risques Chroniques	Directeur Adjoint Direction des Risques Chroniques	Coordination LCSQA Direction des Risques Chroniques
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

1. Résumé .....	3
2. Introduction et objectifs .....	5
2.1 Introduction générale et justification.....	5
2.2 Objectif.....	6
3. Caractérisation du problème physique et contraintes de modélisation.....	7
3.1 Généralité sur la phénoménologie.....	7
3.2 Paramètres déterminants dans la dispersion des polluants dans une rue canyon....	11
3.3 Difficultés dans la mise en œuvre des modèles mathématiques .....	13
4. Les modèles de rue .....	15
4.1 Introduction .....	15
4.2 Les modèles de rue.....	16
4.2.1 Le modèle de « base ».....	16
4.2.2 Les modèles de rue « analytiques ».....	17
4.3 Remarques et conclusions: .....	20
5. Expériences étrangères .....	21
5.1 Le système AirQUIS (Norvège).....	22
5.2 Cas du Royaume Uni.....	23
5.3 Copenhague/ danemark .....	24
5.4 Cas de la finlande .....	24
5.5 Cas des Pays-Bas.....	24
5.6 Allemagne, France, Grece .....	25
5.7 Conclusions .....	25
6. Conclusions .....	26
7. Références .....	28

## 1. RESUME

---

Le présent rapport porte sur les conditions d'application et l'analyse des performances de modèles dédiés à la simulation de la dispersion atmosphérique des polluants issus du trafic routier dans et à proximité des rues. Il s'appuie sur une synthèse bibliographique des travaux existant sur le sujet, et se rapporte plus particulièrement à une catégorie de modèles bien connue, les modèles dits « de rue », construits à partir d'une démarche semi-empirique. Ils ont l'avantage d'être très accessibles, simples à utiliser, ne requièrent que peu de temps calcul. En revanche, l'information qu'ils délivrent est relativement rudimentaire, ne rend pas compte de la variabilité inhérente au phénomène de dispersion à petite échelle, et peut donc être mal interprétée en terme d'exposition de la population.

Les modèles dédiés à l'évaluation de la pollution dans les rues ont largement été décrits dans des rapports d'étude précédents (LCSQA, 2001, 2002) et dans la littérature [voir par exemple les revues proposées dans (Soulhac, 2000) et (Vardoulakis et al, 2003)]. Aussi, dans le présent document, nous nous attacherons plus à l'analyse de l'information délivrée par ces méthodes, à leurs contraintes (notamment en terme de données d'entrée) et à leurs limites, qu'à leur description technique. Les modèles de rue font l'objet de nombreuses investigations menées actuellement en Europe, en vue d'une application à des fins réglementaires. Cet aspect sera également approfondi.

Le rapport s'articule en trois parties :

- *La caractérisation du problème physique* constitué par la dispersion d'un panache de polluant dans une rue bordée de bâtiments. L'idée est d'identifier les paramètres clés qui contribuent à définir les niveaux de pollution dans les rues et conditionnent l'apparition éventuelle de « points chauds ».
- *Les modèles de rue* sont brièvement décrits un recensement des modèles aujourd'hui disponibles est fourni. De plus, à partir des nombreuses expériences menées dans le cadre européen, un bilan des performances attendues des modèles de rues est dressé.
- *Exemples d'application des modèles de rue à des fins réglementaires* : un certain nombre de villes européennes ont mis en place, dans le cadre de projets de recherche, des systèmes de surveillance plus ou moins expérimentaux basés sur l'usage, bien sûr non exclusif, de modèles de rue. Ces expériences sont présentées et commentées.

Les polluants pour lesquels sont appliqués les modèles de rue sont ceux généralement considérés comme caractéristiques des émissions des véhicules routiers : oxydes d'azote, monoxyde de carbone, benzène et particules primaires. Les polluants photochimiques tels que l'ozone ou les aérosols secondaires, ne sont pas traités par ces méthodes qui ne comportent généralement pas de module de traitement de la chimie.

Les développements futurs relatifs aux modèles de rue semblent s'orienter dans deux directions assez contradictoires :

- d'une part on assiste à un certain scepticisme des modélisateurs devant les performances des modèles disponibles, y compris des plus complexes sensés reproduire au mieux la physique des phénomènes. Cela est démontré par les résultats mitigés des campagnes d'intercomparaison des modèles qui font état d'une grande variabilité des résultats (pour des données d'entrée similaires) et certainement donc d'une grande incertitude. Les conclusions de ces études tendent à prôner la mise en place, au niveau européen de méthodes de référence pour modéliser la pollution dans les rues, et la nécessité de développer les campagnes de mesure permettant d'évaluer les modèles dans différentes configurations. Dans cette logique, il va de soit que l'évaluation d'un modèle de rue par rapport à un ensemble conséquent de données représentatives est un préalable à son usage dans un site non encore investigué (ce qui peut s'avérer très lourd à l'usage...).
- d'autre part, on note un engouement certain pour la mise en place de système intégrés qui couplent bases de données d'émission et d'occupation du sol, modèles de dispersion (en particulier modèles de rue), système d'information géographique, et dans les programmes les plus ambitieux, modules d'évaluation de l'exposition des populations ou module d'évaluation économique... Pourtant, les incertitudes cumulées dans de tels systèmes, malgré tout présentés comme des outils d'aide à la décision, viennent lourdement s'ajouter aux réserves émises dans le point précédent, au risque de perdre la pertinence de l'information obtenue en final et communiquée au public !

De manière générale, il est recommandé de limiter, dans la mesure du possible, l'usage des modèles de rue pour estimer l'impact de telle ou telle mesure de maîtrise de la pollution, par rapport à un état d'émission de référence et pour des conditions météorologiques fixées. L'information est donc analysée en « relatif ». Ils peuvent être également appliqués pour localiser des points chauds et identifier les zones géographiques dans lesquelles des mesures spécifiques de gestion de la pollution et a fortiori des déplacements urbains sont nécessaires. Ils reposent sur un tel nombre d'hypothèses simplificatrices et la complexité des phénomènes qu'ils entendent représenter est telle, que l'information quantitative « absolue » donnée par un modèle de rue doit être objectivement analysée, critiquée et éventuellement validée, avant toute exploitation à des fins opérationnelles.

## 2. INTRODUCTION ET OBJECTIFS

---

### 2.1 INTRODUCTION GENERALE ET JUSTIFICATION

L'évaluation du comportement qualitatif et quantitatif de la pollution atmosphérique dite « de proximité » fait l'objet d'une attention croissante de la part des autorités et organismes en charge de la gestion et de la surveillance de la qualité de l'air. De manière évidente, considérer les effets de la pollution locale amène à s'interroger sur des niveaux de concentrations généralement nettement plus élevés que les niveaux de fond. Cependant les enjeux qui peuvent justifier un tel intérêt vont bien au-delà de ce constat, et sont diversifiés. Ils peuvent être de nature :

- *Informative* : suite à la forte demande émanant du public qui souhaite disposer d'une information sur les niveaux de pollution auxquels il est quotidiennement soumis,
- *Réglementaire* : suite à l'obligation d'effectuer un reporting sur la vérification du respect ou le constat du non respect de la réglementation relative à la qualité de l'air et au dépassement des valeurs seuils sur tout le territoire,
- *Sanitaire* : considérant que les zones soumises à de fortes émissions et donc à des concentrations importantes en polluants atmosphériques, même durant de courtes périodes, peuvent présenter un danger pour la santé humaine.

Cette dernière question est généralement résumée par la notion de « points chauds » (ou « hot spots ») zones généralement très peuplées, soumises à de forts niveaux de pollution atmosphérique. Le traitement spécifique des points chauds, recommandé pour certains polluants par l'OMS, est une question susceptible de faire débat dans l'élaboration ou la révision des futures directives européennes sur la qualité de l'air.

L'OMS qualifie les points chauds comme des sites où « *l'exposition à la pollution atmosphérique est significativement plus élevée que dans les sites urbains de fond, que ce soit sur du court terme ou du long terme* ». Cette définition contribue à qualifier les potentielles zones concernées : à proximité des grands émetteurs industriels ou à proximité des axes routiers comportant un nombre important de véhicules. Des bilans et études font état de dépassements des seuils notamment pour les PM10 (moyenne journalière) et le NO2 (moyenne annuelle) en plusieurs stations de mesure de type « trafic », en Europe (EEA, 2003).

L'accumulation des polluants, qui est à l'origine des « points chauds », est généralement due à la présence d'obstacles, constitué par le bâti environnant, qui favorisent le développement de zones de recirculation dans lesquelles les polluants sont piégés. La nature physique de ces phénomènes, liée à la dynamique des fluides, suffit à expliquer l'énorme variabilité, spatiale et temporelle, des concentrations en ces endroits. Cette particularité résume à elle seule toute la difficulté de disposer d'outils fiables pour y évaluer objectivement l'exposition des populations. Dans (LCSQA, 2001) ces aspects étaient déjà identifiés, à partir d'une analyse de la nature de l'information fournie par différentes méthodes d'évaluation de la pollution de proximité : stations de mesures, capteurs passifs, capteurs individuels supportés par les personnes, modèles....

Même s'il est encore très difficile de faire le lien entre les résultats qu'ils procurent et exposition individuelle, les modèles mathématiques permettant d'appréhender les niveaux de pollution à proximité des sources d'émissions restent une voie d'évaluation souvent privilégiée par les scientifiques. En effet ils permettent d'une part une représentation spatialisée, même très simplifiée des niveaux de pollution (d'où une présentation attractive et facilement interprétable pour le grand public), d'autre part, ils permettent de simuler l'impact de politiques de réduction des émissions éventuellement applicables dans le futur (ce qui permet aussi d'imaginer les efforts nécessaires pour assurer le non-dépassement des valeurs limites).

## 2.2 OBJECTIF

Le présent rapport porte sur les conditions d'application et l'analyse des performances de modèles dédiés à la simulation de la dispersion atmosphérique des polluants issus du trafic routier dans et à proximité des rues. Il s'appuie sur une synthèse bibliographique des travaux existant sur le sujet, et se rapporte plus particulièrement à une catégorie de modèles bien connue, les modèles dits « de rue », construits à partir d'une démarche semi-empirique. Ils ont l'avantage d'être très accessibles, simples à utiliser, ne requièrent que peu de temps calcul. En revanche, l'information qu'ils délivrent est relativement rudimentaire, ne rend pas compte de la variabilité inhérente au phénomène de dispersion à petite échelle, et peut donc être mal interprétée en terme d'exposition de la population.

Les modèles dédiés à l'évaluation de la pollution dans les rues ont largement été décrits dans des rapports d'étude précédents (LCSQA, 2001, 2002) et dans la littérature [voir par exemple les revues de (Soulhac, 2000) et (Vardoulakis et al, 2003)]. Aussi, dans le présent document, nous nous attacherons plus à l'analyse de l'information délivrée par ces méthodes, à leurs contraintes (notamment en terme de données d'entrée) et à leurs limites, qu'à leur description technique. Les modèles de rues font l'objet de nombreuses investigations menées actuellement en Europe, en vue d'une application à des fins réglementaires. Cet aspect sera également approfondi.

Le rapport s'articule en trois parties :

- *La caractérisation du problème physique* constitué par la dispersion d'un panache de polluant dans une rue bordée de bâtiments. L'idée est d'identifier les paramètres clefs qui contribuent à définir les niveaux de pollution dans les rues et conditionnent l'apparition éventuelle de « points chauds ».
- *Les modèles de rue* sont brièvement décrits et un recensement des modèles aujourd'hui disponibles est fourni. De plus, à partir des nombreuses expériences menées dans le cadre européen, un bilan des performances attendues des modèles de rues est dressé.
- *Exemples d'application des modèles de rue à des fins réglementaires* : un certain nombre de villes européennes ont mis en place, dans le cadre de projets de recherche, des systèmes de surveillance à vocation plus ou moins expérimentale basés sur l'usage, bien sûr non exclusif, de modèles de rue. Ces expériences sont présentées et commentées.

Les polluants pour lesquels sont appliqués les modèles de rue sont ceux généralement considérés comme caractéristiques des émissions des véhicules routiers : oxydes d'azote, monoxyde de carbone, benzène et particules primaires. Les polluants photochimiques tels que l'ozone ou les aérosols secondaires, ne sont pas traités par ces méthodes qui ne comportent généralement pas de module de traitement de la chimie.

Les indicateurs recherchés sont définis par la réglementation : moyenne annuelle, moyenne journalière et percentiles pour les oxydes d'azotes.

### 3. CARACTERISATION DU PROBLEME PHYSIQUE ET CONTRAINTES DE MODELISATION

---

#### 3.1 GENERALITE SUR LA PHENOMENOLOGIE

L'étude de l'écoulement atmosphérique et de la dispersion des polluants dans une rue a fait l'objet de multiples études depuis plusieurs années. Les phénomènes mis en jeu sont désormais bien décrits grâce à des mesures réalisées sur sites réels, des essais en souffleries, et des travaux de modélisation effectués à l'aide de modèles sophistiqués tridimensionnels. Le comportement du panache de polluant dans la rue dépend essentiellement de:

- la géométrie de la rue : hauteur des bâtiments la bordant (H) et largeur de la rue (W)
- la direction du vent synoptique et son angle par rapport à la rue
- la vitesse du vent synoptique

La direction du vent synoptique et la forme du canyon conditionnent le développement ou non d'un (ou plusieurs) vortex à l'intérieur de la rue, qui sera à l'origine de niveaux élevés de pollution en des points précis. Les mécanismes à l'origine de ces phénomènes sont rapidement détaillés et commentés ci dessous :

1) Le(s) vortex responsable(s) de niveaux élevés de pollution ne se développe(nt) que sous certaines conditions de direction et de vitesse de vent : *vitesse du vent synoptique (en « haut » des bâtiments) supérieure à 2 m/s et angle entre l'axe de la rue et le vent incident supérieur à 30°* (Xie et al, 2003 + références citées)<sup>1</sup>.

2) Si les conditions requises pour la formation du vortex ne sont pas remplies (vent quasi-parallèle à l'axe de la rue ou de très faible intensité) *les polluants sont théoriquement répartis uniformément le long de la rue*, et les niveaux de pollution attendus sont plus faibles.

3) Le transport et la dispersion en milieu urbain, des polluants émis par des véhicules dans une rue canyon dans laquelle s'est développé un vortex, résultent d'une dynamique pouvant être décomposée en plusieurs phases (figures 1 et 2):

- Les polluants émis au niveau du sol dans la rue sont entraînés en un mouvement de recirculation. Le panache est alors repoussé vers le bâtiment amont à l'écoulement synoptique, engendrant des écarts importants de concentrations dans la rue entre les zones amont et aval,
- Une partie des polluants pris dans la zone de recirculation peuvent s'échapper vers l'extérieur, entraînée par le vent synoptique,
- Ces polluants sont dispersés à l'extérieur de la rue contribuant ainsi à augmenter les niveaux de fond de la pollution urbaine.

---

<sup>1</sup> Rigoureusement, lorsque l'angle d'incidence du vent par rapport à la rue n'est pas normal, l'écoulement ne peut être considéré comme bidimensionnel, et l'on assiste à la création d'un « vortex en spirale » se propageant tout le long de la rue.



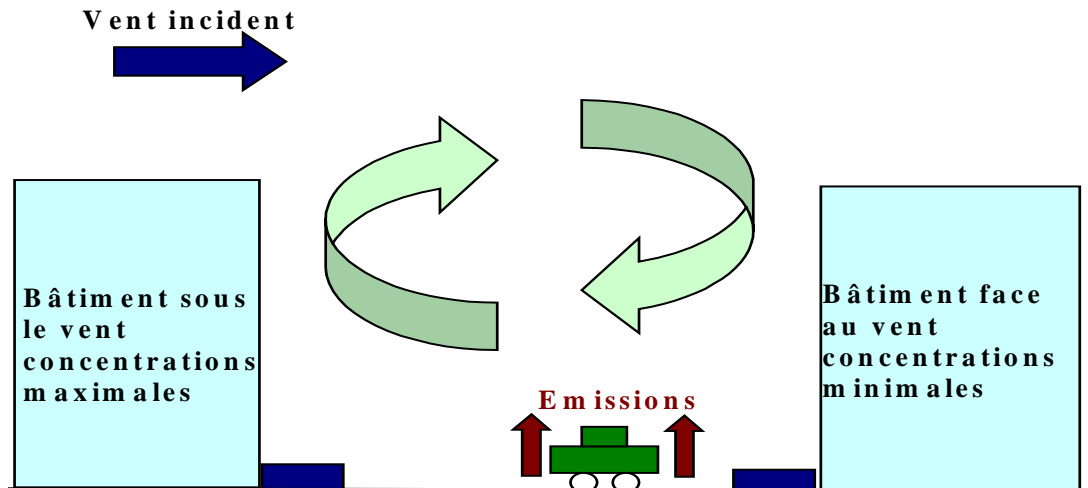


Figure 1: Représentation schématique de la dynamique de l'écoulement dans une rue canyon

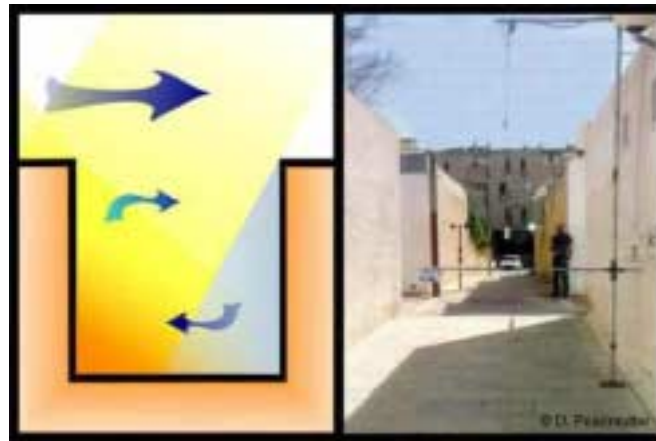


Figure 2: Représentation schématique de l'écoulement dans une rue canyon ; source : <http://ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln47/pm2.html>

4) De manière générale les scientifiques ayant effectué des mesures en soufflerie et mis en œuvre des modèles tridimensionnels reproduisant précisément la dynamique de l'écoulement, identifient plusieurs régimes d'écoulement à l'intérieur du canyon, qui dépendent de sa géométrie ( $H$  et  $W$ ) et des conditions de vent (Oke, 1988), (Sini et al, 1996), (Chan et al 2003). Les trois régimes généralement considérés sont connus sous les termes (figures 3):

- « *Isolated roughness flow* » : quand 2 vortex indépendants se développent de part et d'autre de la rue, celle-ci étant suffisamment large pour qu'il n'y ait pas d'interactions entre les structures ( $H/W < 0,2$ )
- « *Skimming flow* » : quand un seul vortex se développe dans le canyon la rue supposée très étroite ( $H/W > 0.65$ ). Dans ce cas le tourbillon agit à l'intérieur de la rue et peu d'échanges avec l'extérieur ont lieu
- « *Wake interference flow* » : état intermédiaire entre les deux précédemment décrits ( $0,2 < H/W < 0,65$ ). L'écoulement est alors très complexe puisque plusieurs structures tourbillonnaires peuvent interagir.

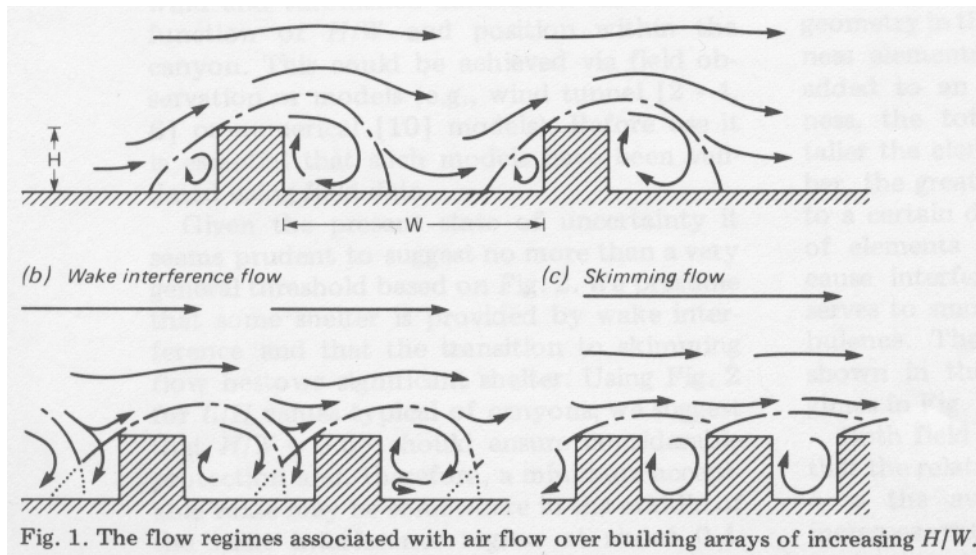


Figure 3 : Différents régimes d'écoulements dans une rue canyon ; source (Oke, 1988)

Il faut noter qu'en fonction de l'indicateur considéré (concentration maximale, concentration à « hauteur d'homme, concentration au centre de la rue... ) les plus fortes concentrations n'apparaissent pas nécessairement pour les mêmes régimes d'écoulement. Ainsi l'on ne peut affirmer que tel ou tel régime permettra de limiter globalement les niveaux de pollution (voir figure 4).

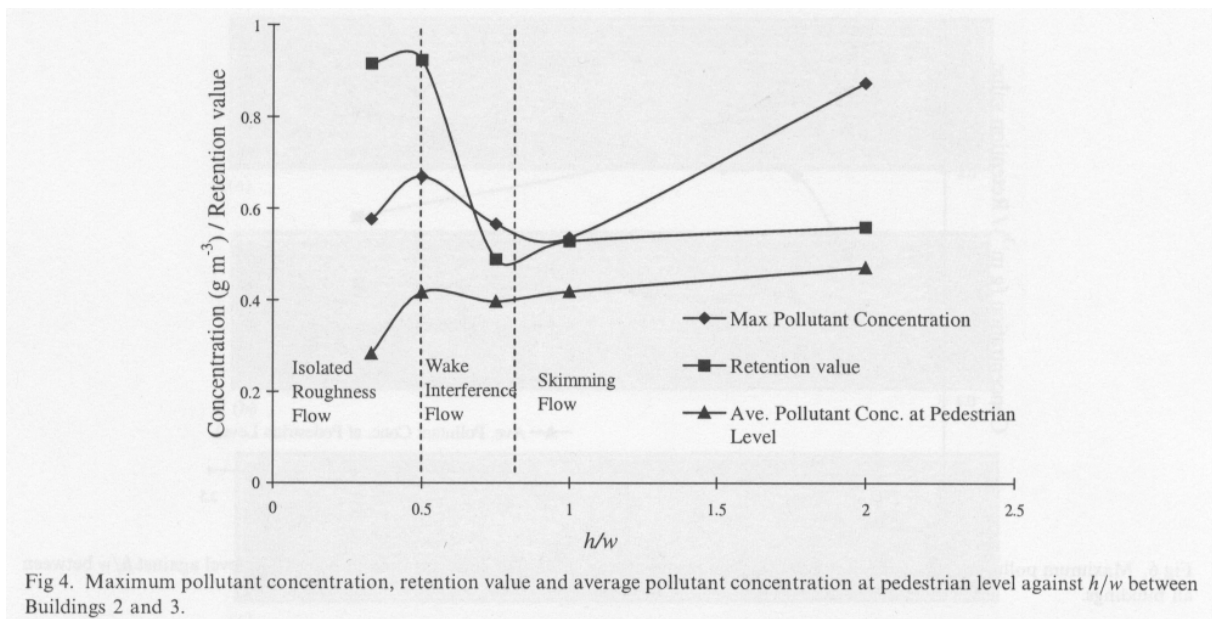
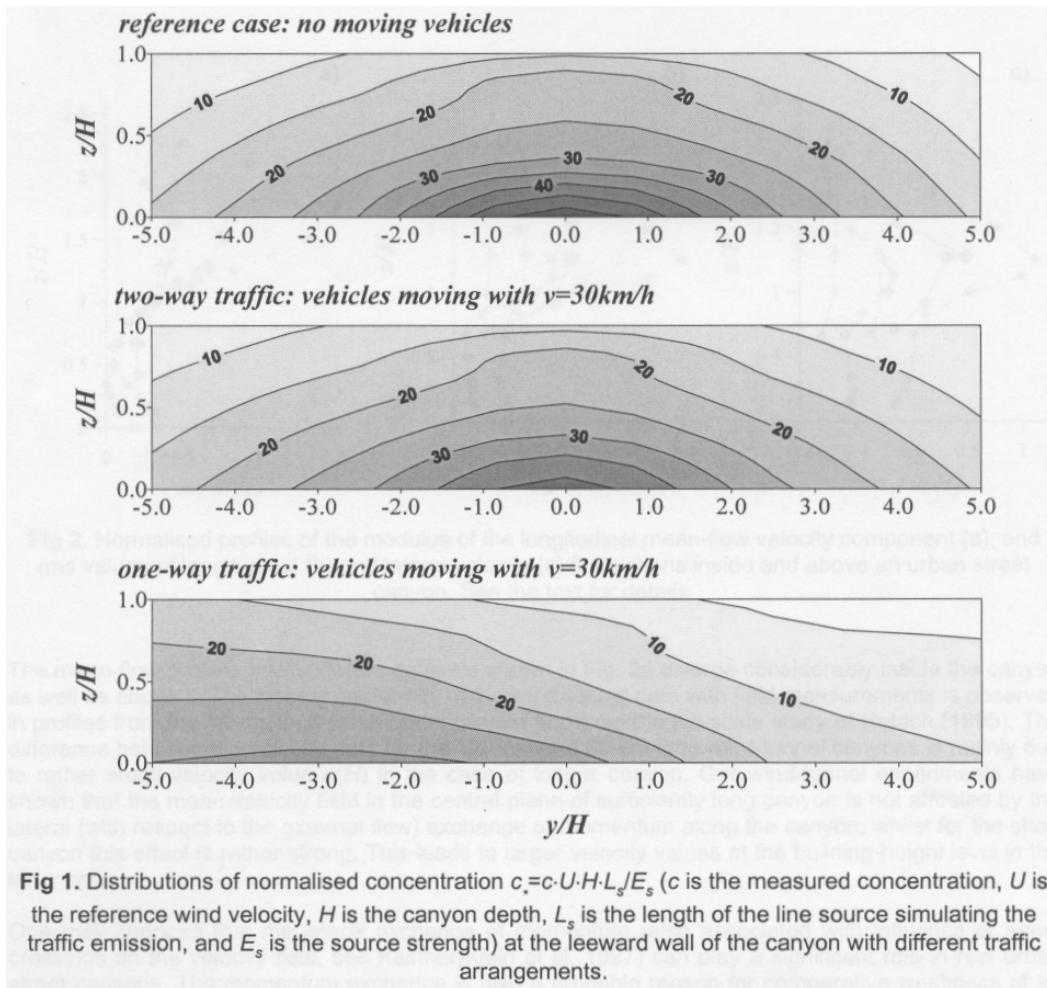


Figure 4 : Différents niveaux de concentrations en fonction des régimes d'écoulement ; source (Chan et al, 2003)

Il est également montré, (Kovar-Panskus et al, 2002 + refs) que plusieurs tourbillons co-rotatifs ou contra-rotatifs selon les valeurs du rapport H/W, peuvent se développer verticalement. Dans ce cas l'influence sur les niveaux de pollutions enregistrés à différentes hauteurs est évidente, les tourbillons « supérieurs » pouvant agir tels que des couvercles<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Et peuvent donc empêcher la pénétration de la pollution extérieure dans la structure tourbillonnaire et/ou limiter l'évacuation des polluants accumulés dans la rue

- 5) En cas de développement d'un vortex on observe, par nature, une différence importante entre les niveaux de concentrations de part et d'autre de la rue en fonction de la direction du vent (en supposant celle-ci oblique voire quasi-perpendiculaire aux bâtiments) : un facteur 2 à 3 est couramment rapporté dans la littérature. Mais généralement les concentrations mesurées au milieu de la route sont toujours très largement supérieures à celles mesurées sur les trottoirs, sans corrélation apparente avec le vent (Luria et al, 1990).
- 6) En cas de développement d'un vortex, on observe également une différence significative des niveaux de concentration en fonction de la hauteur considérée (Murena et al, 2003); cette variabilité dépend également du côté de la rue que l'on considère. L'expression  $C(z) = A \exp(B(z/H)^q)$ ,  $z$  étant la hauteur considérée, et  $H$  la hauteur du « canyon » et donc approximativement des bâtiments, toutes les autres constantes pouvant être déterminées empiriquement est un exemple de formulation couramment utilisée dans la littérature (Xie et al, 2003).
- 7) Les principes présentés ci-dessus donnent la description d'un cas « idéalisé » de dispersion d'un panache à l'intérieur d'une rue canyon. En réalité, bien d'autres facteurs viennent perturber la répartition des concentrations. Ils sont largement étudiés notamment à l'aide d'essais en soufflerie ou de modèles tridimensionnels (Kastner-Klein et al, 1997). Parmi les plus déterminants on recense :
- *La présence d'obstacles supplémentaires à l'intérieur de la rue*, les arbres, les balcons ou les portes cochères par exemple. Ils perturbent le développement des recirculations et peuvent créer de nouvelles zones d'accumulation de polluants,
  - *La présence d'intersections, ronds-points et autres carrefours*. Ils sont susceptibles de créer des sources supplémentaires de pollution (nombre important de véhicules) et influencent la répartition des polluants aux points cibles.
  - *La dissymétrie de la hauteur bâti de part et d'autre de la voie*. En effet la localisation des points où les concentrations sont maximales peut varier de manière significative selon les différences de hauteur entre les bâtiments. Suivant la direction de vent par rapport au bâtiment de nouvelles zones de recirculation peuvent se mettre en place, induisant une meilleure ventilation de la rue, ou au contraire des effets de couvercle (Assimakopoulos et al, 2003).
  - *La turbulence induite par les transferts de chaleur avec le bâti* éventuellement exposé au soleil et soumis à des températures élevées en certaines heures de la journée (Kim et al 2001), (Sini et al, 1996). Une perturbation notable de la localisation et du nombre de tourbillons se développant dans la rue peut être induite par les gradients thermiques au niveau du toit des bâtiments (Kim et al, 2001).
  - *La turbulence induite par les véhicules*. Ce point a fait l'objet de nombreuses investigations. Il est même couramment admis qu'en situation de vents faibles - vitesse inférieure à 2m/s- la dispersion des polluants dans la rue est dominée par les effets de turbulence induits par le trafic, perturbant complètement la description donnée a priori des phénomènes. Un grand nombre d'essais en soufflerie ont démontré l'importance de ce facteur et ont abouti à sa prise en compte explicite dans les modèles, par le biais de paramétrisations complémentaires, bien que toujours assez simples (Eskridge et al, 1991). La turbulence induite par le déplacement des véhicules est généralement considérée comme dépendante de leur vitesse (Kastner-Klein et al, 1999) et son effet est illustré en figure 5.



*Figure 5 : Impact de la turbulence induite par les véhicules ; source (Kastner-Klein et al, 1999)*

### 3.2 PARAMETRES DETERMINANTS DANS LA DISPERSION DES POLLUANTS DANS UNE RUE CANYON

Les paramètres clés permettant de caractériser l'écoulement atmosphérique en milieu urbain et particulièrement dans les rues canyons ont été largement décrits, et leur impact hiérarchisé, dans plusieurs articles de références. Ces paramètres influencent le développement des écoulements, et les niveaux de concentrations en polluants observés. Ils devraient donc être rigoureusement être pris en compte dans les études visant à simuler ces phénomènes.

De manière synthétique, ils peuvent être classés en différentes catégories et leur poids dans les processus de dispersion est évalué dans un tableau simple, donné ci-dessous :

Notation	Définition du paramètre	Influence	Degré d'importance de la prise en compte de ce paramètre <sup>3</sup>
<b>Paramètres géométriques</b>			
<b>H/W</b>	Rapport d'aspect avec H la hauteur du canyon et W sa largeur	Contribue à la définition des régimes d'écoulement qui s'établissent dans la rue	P1
<b>%bâti</b>	Taux de bâti le long de la rue	Influence directement la dispersion dans la mesure où l'on ne peut plus s'attendre à des phénomènes de rue canyon dans le cas d'un bâti dispersé	P2
<b>H1, H2</b>	Hauteurs des bâtiments de part et d'autre de la rue	Influence la géométrie de l'écoulement si ces quantités sont très différentes	P2
<b>Obst</b>	Recensement d'obstacles dans la rue	Influence la géométrie de l'écoulement et le positionnement des zones de fortes concentrations	P3
<b>Paramètres météorologiques</b>			
<b>DD/U</b>	Direction/vitesse de vent	DD Contribue à qualifier la nature de la dispersion du panache U conditionne également la dispersion, des conditions stagnantes très défavorables à la dispersion étant constatées par vent faible	P1
<b>HM</b>	Hauteur de mélange	Quantifie la hauteur sur laquelle les polluants peuvent se mélanger. Si elle est très basse, faible dispersion.	P2
<b>U*, L</b>	Vitesse de friction, longueur de Monin Obukhov	Facteurs d'échelle permettant de qualifier la turbulence atmosphérique ; dépendent également de la rugosité. Ces quantités ne sont généralement pas directement estimées ou utilisées dans les modèles de rue	P3
<b>T</b>	Température ambiante	Contribue à qualifier les conditions de dispersion	P3
<b>T<sub>bat</sub></b>	Température des bâtiments	Influence les conditions de développement des zones tourbillonnaires	P3

<sup>3</sup> P1= indispensable ; P2 = recommandé ; P3 = paramètre influant mais généralement « oublié » car difficile à évaluer

<b>Paramètres d'émission</b>			
<b>N<sub>v</sub></b>	Nombre de véhicules moyen journalier circulant dans la rue	Nécessaire pour évaluer les émissions	P1
<b>V<sub>v</sub></b>	Vitesse moyenne des véhicules	Nécessaire pour évaluer les émissions	P1
<b>%PL</b>	Pourcentage de poids lourds dans la flotte	Détermine les émissions totales	P2
<b>Circ</b>	Paramètres de circulation (% de « bouchons »)	Détermine les émissions totales	P2
<b>P</b>	Pente de la rue	Détermine les émissions totales ; généralement pris en compte dans les logiciels de calcul des émissions	P2
<b>Paramètres de « background » de la pollution</b>			
<b>C<sub>b</sub></b>	Concentration de fond du polluant considéré	Indispensable à l'évaluation des concentrations	P1
<b>Eint</b>	Fortes Emissions du trafic au voisinage de la rue, dues à une intersection par exemple	Peut contribuer à ajuster C <sub>b</sub>	P3
<b>d<sub>pop</sub></b>	Densité de population	Peut contribuer à ajuster C <sub>b</sub>	P3
<b>%ind</b>	Détection de la présence éventuelle d'industries au voisinage de la rue	Peut contribuer à ajuster C <sub>b</sub>	P3

### 3.3 DIFFICULTES DANS LA MISE EN ŒUVRE DES MODELES MATHEMATQUES

Les quelques exemples traités en 3.1 permettent d'apprécier toute la difficulté de représenter les phénomènes de dispersion se produisant à l'intérieur d'une rue. Le nombre de facteurs susceptibles de modifier la description donnée a priori de la répartition spatiale des concentrations est grand et leur impact est encore mal connu et difficilement quantifiable. Et le problème de la variabilité temporelle des niveaux de concentrations n'est même pas évoqué à ce stade !

#### *De l'alternative offerte par les modèles 3D....*

Ainsi la mise au point et la validation de modèles destinés à simuler la dispersion dans les rues canyons se heurtent à ces limites et fait encore l'objet de nombreuses études. Il est d'ailleurs intéressant de noter que de plus en plus de travaux récents sont menés sur les modèles les plus sophistiqués, basés sur la résolution tridimensionnelle d'équations physiques et mécaniques, et difficilement utilisables en conditions opérationnelles (Klunj et al, 2004), (Kim et al, 2004). Ils constituent cependant la seule alternative permettant de prendre en compte des obstacles, des effets de dissymétrie de la rue, des effets dus à des gradients thermiques.

Il faut cependant rappeler que leur exploitation est particulièrement délicate (génération des maillages de résolution, choix des schémas numériques, paramétrisation physique, convergence des processus vers la solution correcte....) et requiert des compétences spécifiques. Des exercices d'intercomparaison menés récemment (projet TRAPOS issu du programme européen EUROTRAC : [www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/trapos/](http://www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/trapos/) ) ont d'ailleurs montré que des différences importantes (de l'ordre d'un facteur 7 !) pouvaient être constatées entre les résultats de concentrations donnés par différents modèles eulériens tridimensionnels sur le même jeu de données (Ketznel et al, 2002).

Les conclusions de ces équipes tiennent dans la nécessité de poursuivre les investigations, en établissant des guides de bonnes pratiques, inexistants jusqu'à présent, de ce type de modèle, et en multipliant les campagnes de mesures pour disposer de données de référence. Ils mentionnent aussi l'inadéquation de ces méthodes appliquées à des objectifs d'évaluation de la qualité de l'air réglementaires.

***A la recherche de méthode opérationnelles :***

Cependant l'intérêt suscité par la modélisation de la pollution de proximité amène à rechercher des compromis réalistes permettant de disposer d'une information moyenne, dans l'espace et dans le temps, qui soit « assez représentative » de la situation de pollution dans une rue. Ces méthodes alternatives doivent aussi permettre d'accéder à des temps de calcul raisonnables. Ce constat explique le développement, depuis une trentaine d'années, des modèles dits « de rue », qui font l'objet du paragraphe 4.

***Cependant il faut bien se garder de considérer que l'application de ces modèles permettra d'appréhender l'exposition des citoyens aux polluants émis par le trafic urbain. La complexité des phénomènes décrits au paragraphe précédent suffit à écarter cette idée. L'information donnée par les modèles de rue ne pourra être qu'indicative et devra être validée et même complétée par des mesures en stations fixes, des campagnes de tubes passifs et tout autre moyen d'évaluation (capteurs individuels par exemple).***

## 4. LES MODELES DE RUE

---

### 4.1 INTRODUCTION

Excluant les modèles tridimensionnels, eulériens ou lagrangiens, qui ne peuvent être mis en oeuvre dans un contexte simple et opérationnel de calcul de niveaux moyens de concentrations dans la rue, le modélisateur se trouve grossièrement devant deux possibilités:

- *Les modèles analytiques, dits « de rue »* reposent sur une formulation mathématique représentant les concentrations attendues dans la rue canyon. Ils sont développés à partir d'une large part d'analyse empirique des observations. Ils sont généralement simples à mettre en œuvre, requièrent de faibles coûts de calcul, et sont peu onéreux à l'achat. L'information obtenue correspond à une évaluation des niveaux moyens de concentration attendus en différents partis de la rue (au moins de part et d'autre de la voie) pour une typologie de rue, un niveau d'émission et une condition météorologique (qui se résume le plus souvent au vent) donnés.
- *Les modèles paramétriques* (ou modèles de screening) reposent sur une base de données de résultats issus d'un nombre considérable d'expériences de modélisations et/ou de simulations sur maquette ou sur site, choisies de façon à disposer d'un ensemble représentatif de situations. L'idée est ensuite pour un cas d'étude donné, de rechercher la situation consignée dans la base de donnée dont les caractéristiques s'en rapprochent le plus et d'en déduire des concentrations correspondantes. La précision de ces techniques est par nature limitée par le nombre de situations disponibles dans la base. Les outils les plus connus dans cette gamme sont les logiciels STREET commercialisé par la société targeting, et AEOLIUS développé par le Centre météorologique anglais (<http://www.metoffice.com/environment/aeolius1.html>). Les caractéristiques de ces modèles sont détaillées de manière précise dans les précédents rapports LCSQA et ne sont pas plus longuement évoquées dans ce document. Nous nous limiterons à rappeler la prudence dont il faut faire preuve dans l'interprétation des résultats qu'ils fournissent. Leur usage est mieux approprié à l'évaluation de niveaux de concentrations engendrés par différentes hypothèses d'émissions sur une même configuration de rue (analyse « en relatif ») qu'à l'évaluation des niveaux de concentrations absolus. Une fiche technique relative au modèle STREET et extraite de (LCSQA, 2002) est donnée en annexe.



- **Les modèles semi-paramétriques**, sont basés sur une formulation analytique simple de la concentration dans la rue canyon, dont les paramètres clefs sont définis à partir de valeurs connues pour des cas de référence. Le modèle le plus connu dans cette gamme, est le modèle néerlandais CAR (Eerens et al 1993). Dans ce modèle, la contribution dans la rue induite par le trafic routier,  $\Delta C$ , s'exprime sous la forme :

$$\Delta C = Q\Phi_S F_t F_0$$

où Q est le débit d'émission lié au trafic routier,  
 $\Phi_S$  (s.m-2) est un polynôme défini empiriquement en fonction de la distance du récepteur à l'axe de la route, et de la configuration de la rue,  
 $F_t$  est un facteur représentatif de la vitesse du vent,  
 $F_0$  paramétrise les perturbations sur le vent imputables à l'éventuelle présence d'arbres en bordure de route. Il est défini en fonction d'expériences en soufflerie.

CAR a été initialement mis au point pour les besoins réglementaires des villes allemandes (modèle de référence), mais il a été également adapté à la problématique néerlandaise. Les relations qui constituent les facteurs multiplicatifs ont été établies à partir de mesures dans des conditions précises, et la généralisation de cette approche à tout type de rue et de ville pose toujours problème. De manière générale son utilisation systématique à des fins réglementaires n'est pas recommandée.

## 4.2 LES MODELES DE RUE

### 4.2.1 Le modèle de « base »

Le principe de base des modèles de rue exprime la concentration dans la rue comme la somme d'une contribution provenant de sources situées à l'extérieur de la rue, qui est transportée par le vent synoptique (concentration de fond  $C_b$ ), et d'une contribution provenant des émissions de la rue elle-même ( $\Delta C$ ).

$C_b$  dépend de la concentration en polluant au niveau urbain ou régional. Elle peut être mesurée sur un site dit " de fond " ou calculée par un modèle adapté.

Dans une approche empirique, le calcul de  $\Delta C$  se déduit des observations disponibles grâce aux campagnes de mesures, aux données de sites de proximité et parfois même aux résultats de simulations tridimensionnelles.

Le précurseur des modèles de rue est le modèle de Jonhson (Jonhson, 1973) qui calcule les concentrations de part et d'autre de la rue, pour un écoulement synoptique « presque » perpendiculaire à son axe, selon les formulations suivantes :

En amont de l'écoulement :

$$\Delta C_L = \frac{Q}{U_S Y} = \frac{Q}{k_1 k_2 (U + 0.5) [(x^2 + z^2)^{1/2} + 2]}$$

où  $Q$  est le débit des émissions dans la rue,

$U_S = k_1(U + 0.5)$  est la vitesse moyenne du vent dans la rue :  $U$  est la vitesse de vent incident, et la valeur arbitraire de  $0.5 \text{ m/s}$  retranscrit l'influence de la circulation des véhicules.

$Y = k_2[(x^2 + z^2)^{1/2} + 2]$  est la hauteur du volume de mélange.  $x$  et  $z$  sont les positions relatives du récepteur par rapport à la source. La valeur arbitraire de  $2 \text{ m}$  est choisie pour représenter la hauteur initiale, à l'émission.

Empiriquement, il est recommandé, d'après les expériences réalisées lors de la mise au point

du modèle, d'imposer  $K = \frac{1}{k_1 k_2} = 7$ .

La concentration en aval est donnée par :

$$\Delta C_W = \frac{KQ}{W(U + 0.5)}$$

où  $W$  est la largeur de la rue.

Bien que très approximatif, du fait des constantes empiriques qui les définissent, ces modèles sont encore aujourd'hui largement utilisés en raison de leur simplicité. Le modèle de Jonhson est par exemple implémenté dans le système d'évaluation de la qualité de l'air AIRVIRO du SMHI . Des variantes sont encore proposées dans des études récentes (Gualtieri et al, 1998), (Dirks et al, 2003).

Les limites sont évidentes :

- ils ne reposent que sur des relations empiriques établies pour certains cas d'étude, et ne reflètent certainement pas les cas généraux,
- ils ne permettent pas d'évaluer les gradients verticaux de concentrations,
- ils ne permettent pas de modéliser la situation en tout point d'une rue : la même valeur moyenne est supposée valide tout le long de la rue, de part et d'autre des murs la bordant.

#### 4.2.2 Les modèles de rue « analytiques »

Les modèles de rue les plus récents et les plus performants dans cette gamme, sont développés sur des considérations physiques simples, caractérisant l'écoulement dans une rue canyon et transcrites dans le modèle au moyen de relations analytiques.

Pour les modèles les plus anciens, la concentration dans la rue est calculée à l'aide d'un modèle boîte. Un premier exemple est décrit par (Nicholson 1975). Il s'appuie sur des formulations théoriques représentant le profil de vent intégré de manière à disposer d'une vitesse moyenne dans la rue. Celle-ci est ensuite utilisée en entrée du modèle boîte pour le calcul des concentrations.

Les modèles analytiques les plus récents reposent sur une approche plus sophistiquée. Le modèle précurseur dans cette gamme, est celui proposé par (Yamartino et Wiegand 1986), et connu sous le nom de CPBM (Canyon Plume Box model). OSPM (NERI – Danemark) et SIRANE (Ecole Centrale de Lyon) sont deux autres outils de cette catégorie, galement présentés ci-dessous.

Dans cette approche, le calcul du champ de vent et celui des concentrations font toujours l’objet de deux étapes distinctes.

## LE MODELE CPBM

### *Calcul des champs de vent*

Pour des écoulements perpendiculaires ou parallèles à l’axe de la rue, des formulations analytiques simples sont adoptées pour décrire le champ de vent. Elles nécessitent la connaissance des caractéristiques de la rue, et des composantes des vitesses de vent synoptique.

Le champ de turbulence est établi à partir de relations empiriques qui tiennent compte des effets de turbulence mécanique, mais aussi des effets thermiques dus à l’insolation. Ces grandeurs, ainsi que les composantes de la vitesse sont ensuite intégrées, de façon à définir des valeurs moyennes le long de la rue, sur chaque côté, ainsi que le long des parois verticales.

### *Calcul des concentrations*

Lorsque le régime de vent établi est propice à la formation d’une zone tourbillonnaire, la concentration en polluants dans la rue est décomposée en deux contributions : l’une, “ directe ” ( $C_d$ ) est issue du panache émis par la rue, l’autre dite de “ recirculation ” ( $C_r$ ) est due au transport et à la dispersion des polluants entraînés et accumulés par le mouvement de rotation de l’écoulement, et représente la contribution du niveau de fond.

La variabilité spatiale de la répartition des polluants dans la rue, est décrite par la contribution directe issue du trafic routier. Elle est calculée à l’aide d’un modèle gaussien linéique. L’usage de ce modèle suppose une intégration numérique des contributions des brins émetteurs traitée par une méthode simplifiée.

La concentration de recirculation  $C_r$  est calculée à l’aide d’un modèle boîte, reposant sur l’hypothèse de conservation de la masse. Néanmoins la formulation standard est modifiée afin de rendre compte du fait qu’à chaque nouveau tour, seule une fraction de polluant circule encore :

$$C_r = \frac{Q}{u_b(W/2)} \frac{F}{1-F}$$

où  $F = \exp(-t_s / \tau) \in [0,1]$ ,  $\tau$  exprimant le temps de rétention des polluants dans la rue, et  $t_s \approx 2H / u_b$  est le temps caractéristique de recirculation.

Cette équation reproduit donc l’accumulation de polluant émis dans la rue avec un débit  $Q$ , dilué avec une vitesse  $u_b$ , et atténué à chaque tour d’un facteur  $F$ . En fait,

$$\frac{F}{1-F} = \sum_1^{\infty} F^i$$

## LE MODELE OSPM

Une variante du modèle précédent est celle proposée par [Berkowicz 1997], et appelée OSPM (Operational Street Pollution Model).

Dans cette approche, la définition du chemin d'intégration des contributions directes calculées par le modèle gaussien linéique, s'appuie sur une description plus rigoureuse du comportement du vent dans le canyon, notamment dans le cas d'une direction incidente quelconque par rapport à l'axe de la rue.

De plus le coefficient de dispersion verticale du panache gaussien est paramétré pour tenir compte de la turbulence induite par le mouvement des véhicules :

$$\sigma_z(x) = \sigma_w \frac{x}{u_b} + h_0$$

$$\sigma_w = \left( (\alpha u_b)^2 + \sigma_{w0}^2 \right)^{1/2}$$

$h_0 \approx 2m$  est la hauteur à laquelle les polluants sont initialement dispersés,  $\alpha$  est une constante dont la valeur proposée par défaut est 0.1, et  $\sigma_{w0}$  représente la turbulence induite par les véhicules. Elle s'exprime de la manière suivante :

$$\sigma_{w0}^2 = b^2 V^2 D$$

où  $V$  est la vitesse moyenne des véhicules,  $D$  est la densité de trafic :  $D = \frac{NS^2}{VW}$ , avec  $N$  le nombre de véhicules par unité de temps,  $S^2$ , l'aire moyenne occupée par une voiture.  $b$  est un coefficient représentatif de l'aérodynamique des véhicules, une valeur de 0.3 est recommandée.

La concentration de recirculation est également calculée à l'aide d'un modèle boîte appliqué à une zone trapézoïdale, sur laquelle s'étend le tourbillon.

## LE MODELE SIRANE

Dans sa thèse réalisée au laboratoire de Mécanique des fluides de l'Ecole centrale de Lyon, [Soulhac 2000] a proposé un nouveau modèle de rue s'appuyant globalement sur des principes similaires.

Un modèle boîte permet de calculer la contribution de recirculation. Un travail important a été fourni au niveau de la description théorique de l'interface turbulente entre la rue et l'atmosphère extérieure (échanges au sommet de la rue). Celle-ci est représentée par une couche de mélange, régie par les équations de la mécanique des fluides turbulente. Il en résulte la formulation suivante :

$$C_r = \frac{Q}{U_H WL} \sqrt{\frac{\Pi}{\Lambda}}$$

où  $\Pi$  est un coefficient dépendant des caractéristiques turbulentes de l'écoulement, et  $L$  est la longueur de la rue.

Pour calculer la contribution directe, les caractéristiques de l'écoulement dans la rue sont précisément prises en compte. Aussi, trois situations sont clairement distinguées dans l'étude : 1) le cas où le vent est perpendiculaire à l'axe de la rue, 2) le cas où il est parallèle, 3) le cas où sa direction est quelconque.

Dans la première situation, le modèle repose sur la résolution analytique de l'équation de convection-diffusion, avec des conditions aux limites appropriées. Cette démarche a été validée par des études d'intercomparaison avec des modèles tridimensionnels, et des résultats issus de campagnes de mesures expérimentales en soufflerie.

Lorsque le vent est parallèle à l'axe de la rue, un modèle analytique permet de déterminer le profil de vitesses de l'écoulement canalisé, qui est utilisé dans un modèle gaussien pour décrire le champ de concentrations.

Le cas d'un vent d'une incidence quelconque est traité comme une superposition des deux états précédents.

Ce travail de recherche a débouché sur l'élaboration d'un code de calcul qui a le mérite d'étendre le champ d'application traditionnel des modèles de rue : prise en compte des vents non perpendiculaires à l'axe de la rue, traitement des intersections, traitement d'un réseau de rues (quartier). Il est utilisé en routine sur la ville de Lyon par Coparly.

#### 4.3 REMARQUES ET CONCLUSIONS:

Par leur extrême simplicité les modèles de rue « basiques » ou « semi-empiriques » (présentés en 4.2.1 et 4.2.2) ne paraissent pas pertinents pour évaluer la qualité de l'air dans les rues de façon générique. Ils sont cependant encore largement appliqués dans des études de première approche, ou lorsque à l'échelle d'une ville, des similitudes flagrantes entre les typologie de rue sont constatées.

Rigoureusement les paramètres qui les constituent devraient rigoureusement être ajustés à chaque cas différent de ceux sur lesquels ils ont été calés, ce qui constitue un travail inaccessible à l'échelle d'une ville.

Les modèles de rue analytiques de type OSPM et SIRANE font aujourd'hui l'objet de très nombreuses investigations. Le deuxième, développé par l'ECL à Lyon est même utilisé par quelques AASQA françaises (AIRPARIF, COPARLY par exemple).

Ces modèles demeurent simples d'usage, et intègrent de plus en plus de modules spécifiques permettant de rendre compte, de manière toujours très simplifiée, des phénomènes tels que la turbulence induite par les véhicules, la turbulence induite par les échanges avec l'écoulement synoptique en haut des bâtiments, les effets d'intersections.

Ils permettent de décrire la répartition spatiale des polluants dans la rue.

Par nature, ils sont relativement simples à utiliser, et peu coûteux en temps de calcul.

Ils ont fait l'objet de nombreuses évaluations par rapport à des données disponibles sur sites ou des essais en souffleries. Ils se comportent moins bien que les modèles tridimensionnels mais proposent des résultats corrects, notamment pour le calcul de grandeurs moyennées en temps et en espace.

Plusieurs études récentes montrent la sensibilité des modèles de rue aux données d'entrée telles que les champs de vents synoptiques et les concentrations de fond.

Dans (Kukkonen et al, 2003) le couplage entre OSPM et un modèle appliqué au niveau de l'agglomération et calculant les concentrations de fond de polluants et le champ de vent aboutit à une amélioration sensible des résultats fournis au final par OSPM.

La prise en compte de la turbulence induite par les véhicules est un champ d'investigation qui demeure, les résultats du modèle étant également très sensibles à cette grandeur.

***Enfin le modèle de rue « analytique » paraît être le mieux approprié à des évaluations opérationnelles de la qualité de l'air à l'échelle de la rue.***

En revanche, les exercices d'intercomparaison menés sur différents modèles prouvent toujours la grande variabilité des résultats obtenus à partir de données d'entrée similaires. Ce problème a été mis en évidence lors de l'exercice d'intercomparaison européen TRAPOS, dans lequel 24 modèles ont été testés sur différentes configurations de rue, dont bon nombre de modèles dits « de rue ». De grosses différences ont été constatées (Lohmeyer et al, 2002) amenant les scientifiques à recommander :

- ***des travaux complémentaires sur l'incertitude des résultats issus des modèles de rue,***
- ***le développement des jeux de données d'évaluation,***
- ***l'élaboration de procédures standardisées, voire de normes, de bon usage des modèles de rue.***

Ainsi l'application de ces modèles à des fins opérationnelles, en vue d'une meilleure gestion de la qualité de l'air urbain reste limitée à des travaux de première approche. Les phénomènes mis en jeu sont beaucoup trop complexes et variables dans le temps et l'espace pour être simplement représentés par des moyennes. Les conclusions issues d'exercices tels que ceux menés à l'échelle européenne sont prometteuses, puisque l'on constate que les peuvent donner des résultats cohérents avec la mesure en quelques points, mais soulèvent aussi la question de leur calage. Dans une même ville, pour un calage donné, certaines rues pourront être très bien représentées et d'autres très mal. Cela pose des difficultés pour établir des conclusions pertinentes, compréhensibles par le public et interprétables par les évaluateurs de risques, sur la pollution de proximité. Il est donc recommandé de multiplier les évaluations par rapport à des données d'observations lors de la mise en œuvre d'un modèle de rue à l'échelle d'une agglomération et de toujours faire preuve de la plus grande prudence dans l'interprétation des résultats obtenus.

En fait ***l'intérêt principal des modèles de rue réside certainement dans l'identification et le recensement des « points chauds »***, des zones de plus fortes concentrations, ce qui permet éventuellement d'orienter les priorités dans les réflexions menées sur les plans de déplacement urbain, et ne nécessite pas une précision extrême des résultats obtenus. Si l'on souhaite mener des travaux plus approfondis qui requièrent une meilleure précision sur ces zones, notamment en terme de variabilité spatiale, l'usage de modèles tridimensionnel reste le plus pertinent.

## **5. EXPERIENCES ETRANGERES**

---

L'utilisation des outils de modélisation à l'échelle de la rue afin de disposer de données d'entrée nécessaires à l'évaluation de l'exposition du citoyen, est relativement répandue parmi nos voisins européens. En revanche, les modèles de rue ne sont généralement pas utilisés « seuls », ils sont plutôt intégrés dans un système de surveillance qui mêle sorties de modèles, observations et système d'information géographique facilitant ainsi les actions de traitement de bases de données et de communication.

Ce concept se développe de plus en plus à travers la notion de « Modèles Urbains Intégrés » (IUM). Cette notion définit les bases d'un système reposant sur la compilation de données (émissions du trafic routier, occupation des sols, mesures), de modèles de dispersion atmosphérique à petite échelle et de systèmes d'information géographique et de cartographie afin d'exploiter les interactions existant entre le trafic routier et l'occupation des sols pour obtenir une meilleure information sur la nature de la pollution en ville. Cette démarche se développe essentiellement dans le domaine de la gestion des transports routiers.

Des projets de recherche sont menés à bien depuis plusieurs années afin d'élaborer des outils d'évaluation à vocation opérationnelle. Par exemple :

- le projet SATURN (1998-2002) sous-projet du programme européen EUROTRAC et dédié à l'évaluation de la qualité de l'air en ville comprend une thématique spécifique à la mise en œuvre opérationnelle de modèles intégrés à l'échelle urbaine (SATURN, 2003). Le projet a contribué au développement du package TEMMS (Traffic Emission Modelling and Mapping Suite) par l'université de Leeds (Namdeo et al, 2002) qui propose un ensemble de modèles, bases de données et outils cartographiques permettant de traiter la pollution urbaine de proximité. Plusieurs modèles de rue sont incorporés dans TEMMS.
- le projet IMULATE (Potoglou et al, 2004) au Canada dédié à la cartographie du monoxyde de carbone,
- le projet européen HEAVEN (Healthier Environment through Abatement of vehicle Emission and Noise –2000/2003) ; <http://heaven.rec.org> , auquel ont participé les organismes représentant plusieurs villes européennes (Berlin, Leicester, Paris, Prague, Rome, Rotterdam). Ce projet avait pour objet de développer et d'exploiter des systèmes opérationnels de gestion de la pollution atmosphérique et du bruit, via des techniques d'acquisition et de traitement de données en temps réel<sup>4</sup> ou presque.

Les exemples de mise en œuvre opérationnelle de modèles de rue à des fins de surveillance ne sont pas si courants, peut-être à cause des nombreuses incertitudes inhérentes à la démarche. Deux systèmes sont utilisés en routine : le système ADMS\_Urban développé par le CERC et utilisé dans plusieurs villes européennes ([www.cerc.co.uk](http://www.cerc.co.uk)) et AIRQUIS appliqué en Norvège.

D'autres exemples de développement, plus ou moins aboutis sont recensés en Europe, au Danemark, en Finlande, en Allemagne, aux Pays-bas, et au Royaume-Uni. Des équipes de recherche travaillent également sur ces sujets en Grèce et en France (Ecole Centrale de Nantes et Ecole Centrale de Lyon). Une description rapide de ces initiatives est donnée ci-dessous.

## 5.1 LE SYSTEME AIRQUIS (NORVEGE)

Il s'agit avant tout d'un système logiciel destiné à la surveillance automatique de la qualité de l'air dans l'agglomération. Développé par le NILU (norwegian Institute for Air research [www.nilu.no](http://www.nilu.no) ), il a été installé à Oslo en 1996, et se pose comme système de référence d'évaluation de la qualité de l'air urbain sur l'ensemble du pays. Son originalité réside dans le fait qu'outre l'exploitation de résultats de modélisation, il incorpore également un système d'acquisition des données issues des différentes stations de mesure réparties sur l'agglomération. Un système d'information géographique assure la représentation de l'information et l'interface avec les utilisateurs.

L'une des finalités de ce système réside clairement dans l'évaluation de l'exposition des citoyens, par la mise en œuvre de modèles numériques appropriés. Pour la partie dispersion, le modèle utilisé est EPISODE, un modèle gaussien également développé par le NILU et couplé à un modèle de rue

---

<sup>4</sup> Voir l'exemple d'AIRPARIF qui a pu mettre en place via ce projet un système de recensement des émissions du trafic en temps réel sur l'agglomération parisienne (<http://www.airparif.asso.fr/page.php?rubrique=projets&article=heaven> )

La structure de ce système est schématisée dans la figure 2 ci-dessous :

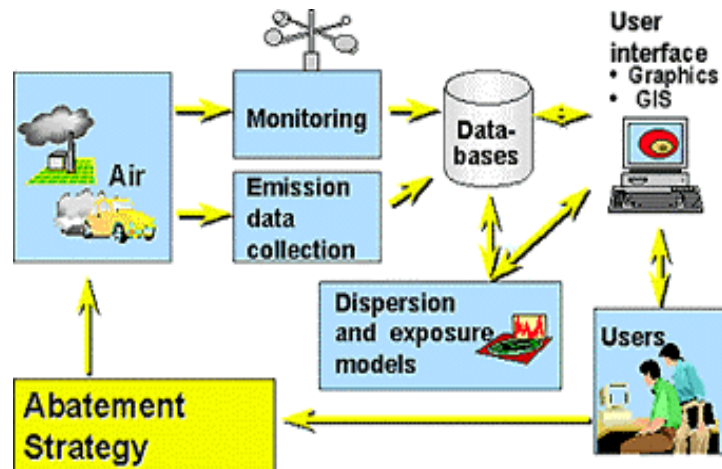


Figure 2 : Système AirQUIS – Source : [www.nilu.no](http://www.nilu.no)

## 5.2 CAS DU ROYAUME UNI

L'utilisation conjointe de modèles de dispersion et de systèmes d'information géographique pour l'évaluation de l'exposition est également explorée par les scientifiques anglais.

Pour la partie dispersion, le logiciel gaussien ADMS développé par le CERC (Cambridge Environmental Research Consultants [www.cerc.co.uk](http://www.cerc.co.uk)) est considéré comme un outil de référence, de même que sa version « impact urbain », appelée ADMS-Urban dont le modèle de rue incorporé de façon à affiner ses prédictions à petite échelle, n'est autre que OSPM.

A titre d'exemple dans [Crabbe et al, 2000] est décrit un programme de recherche visant à mettre en place un système logiciel intégré d'évaluation de l'exposition à la pollution urbaine, ainsi que les attentes qu'il semble raisonnable de formuler vis à vis d'un tel outil. Une crainte légitime est d'ailleurs formulée à l'égard du calcul de l'exposition sur une courte période avec des fluctuations météorologiques inférieures à l'heure, qui ne peuvent aisément être traitées par les modèles numériques.

ADMS-Urban fournit de manière opérationnelle des prévisions et analyses de la pollution atmosphérique dans les villes de Londres et de York<sup>5</sup> (système *Your Air*).

<sup>5</sup> A noter que le système est également implanté dans la ville de Budapest



### 5.3 COPENHAGUE/ DANEMARK

Le modèle de rue OSPM a été développé au NERI à Copenhague. De ce fait des travaux d'évaluation du modèle ont été effectués dans cette ville dans le cadre de programmes européens, dont le projet TRAPOS (<http://www2.dmu.dk/atmosphericenvironment/Trapos/datadoc.htm> ). Aujourd'hui le NERI poursuit le développement de OSPM, et le commercialise.

OSPM a été intégré dans un système expérimental, AirGIS, dédié à l'évaluation de l'exposition en milieu urbain. Il a ainsi été inclus dans une chaîne de calcul, qui à partir des émissions dues au trafic estime la dose d'exposition à laquelle est soumise le citoyen. Il est intéressant de noter que ce projet reste un programme de recherche et n'a pas abouti, pour l'instant, à un système opérationnel.

Le couplage du modèle de rue OSPM et d'un modèle d'exposition a ainsi fait l'objet de bon nombre d'études spécifiques menées au Danemark, portant notamment sur la mise en évidence de liens entre le trafic urbain et les cancers chez les enfants, ou sur l'étude de l'exposition des chauffeurs de bus (Hertel et al, 2001 + références de l'article). La démarche est le plus souvent basée sur l'exploitation conjointe des résultats de modélisation et de résultats d'enquêtes réalisées sur le terrain portant sur les habitudes de vie des citoyens, et reste inscrite dans le cadre de projets de recherche.

### 5.4 CAS DE LA FINLANDE

Des travaux de recherche sont menés depuis plusieurs années par le centre météorologique finlandais (Kukkonen et al, 2003 + ref citées) – [www.fmi.fi](http://www.fmi.fi) - afin de mettre en place un système opérationnel d'évaluation de l'exposition des populations à la pollution urbaine. Dans la logique d'ADMS-Urban, le système repose sur une approche couplant un modèle gaussien d'évaluation de la pollution à l'échelle de la ville, UDM-FMI, ([www.fmi.fi/research\\_air/air\\_13.html](http://www.fmi.fi/research_air/air_13.html) ) couplé à un modèle de rue, OSPM.

Des campagnes de mesures dimensionnées à des fins d'évaluation des modèles ont été menées dans les rues d'Helsinki et de Elimaki.

### 5.5 CAS DES PAYS-BAS

Les Pays Bas ont choisi de définir un modèle de référence destiné à l'évaluation de la qualité de l'air dans les villes. Il s'agit d'un modèle paramétrique, CAR (ou CAR International pour sa version commerciale), développé sur la base de résultats de nombreuses expériences et campagnes de mesure sur sites réels ou en soufflerie.

Le passage au calcul de l'exposition n'a pas encore été clairement formalisé, CAR étant pour l'instant seulement utilisé pour vérifier que les seuils réglementaires pour les polluants ciblés ne sont pas dépassés au niveau des agglomérations.

Enfin il est important de noter l'existence du système URBIS, développé par le TNO ([http://www.inro.tno.nl/en/og/publichealth/urbis\\_en.html](http://www.inro.tno.nl/en/og/publichealth/urbis_en.html) ) qui a pour vocation l'évaluation intégrée des nuisances urbaines qu'elles soient dues à la pollution atmosphérique ou au bruit. Ce projet n'a pas encore débouché sur de l'opérationnel.

## 5.6 ALLEMAGNE, FRANCE, GRECE ...

Des équipes de recherche particulièrement dynamiques travaillent ou développent des modèles de rue dans ces pays. En France on citera notamment les équipes de l'Ecole Centrale de Lyon et de l'Ecole Centrale de Nantes. En Grèce, l'Université de Tessalonique a une compétence particulièrement reconnue dans le domaine. En Allemagne, on citera notamment le bureau d'étude Lohmeyer Consulting Engineers, qui associé avec des agences locales de l'environnement, a conduit l'exercice d'intercomparaison des modèles de rue au niveau allemand dans le cadre du projet TRAPOS. Des campagnes de mesures de pollution dans les rues ont également été menées à Hannovre et à Berlin, et font désormais office de références.

## 5.7 CONCLUSIONS

La mise en œuvre opérationnelle de modèles de rue, généralement couplés avec des modèles de plus grande échelle, des systèmes d'information géographique et des bases de données fait toujours l'objet d'études et de recherche dans la communauté scientifique. Comme dit en introduction, les systèmes deviennent de plus en plus intégrés et se complexifient, mais les modèles demeurent incertains.

En conclusion, les références de quelques projets en cours sont données à titre d'exemple. Elles prouvent le dynamisme des équipes dans le domaine et montrent l'étendue des travaux à parcourir avant de promouvoir ces systèmes intégrés de gestion de la pollution auprès des autorités locales.

### Projets européens en cours ou récemment aboutis :

- **APPETISE** (Air Pollution Episodes : Modelling tools for improved smog management) : 2000/2003 ; mise au point d'une bibliothèque d'outils statistiques de prévision de la pollution dans les rues (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM) ; [www.uea.ac.uk/env/appetise](http://www.uea.ac.uk/env/appetise)
- **FUMAPEX** ( Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure) : 2002-2004 ; prévisions de la pollution dans les villes et anticipation des épisodes majeurs ; <http://fumapex.dmi.dk>
- **OSCAR** (Optimized expert system for conducting environmental assessment of urban road traffic ) ; évaluation des émissions et des immisions de la pollution liée au trafic routier (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>) ; 2002-2004 ; [www.eu-oscar.org](http://www.eu-oscar.org)
- **SEC** (Street Emission Ceilings) ; projet mené par l'Agence Européenne de l'Environnement pour le compte du programme CAFE (Clean Air For Europe) pour le développement d'une méthode d'évaluation de la qualité de l'air dans les rues européennes (basée sur l'utilisation de modèles de rue, de données de mesures, de caractéristiques géographiques, et de données d'émission) ; recherche d'une méthodologie permettant aux décideurs de définir des plafonds d'émission permettant le respect de la réglementation ; 2003-2005 ; [http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafepdf/working\\_groups/030912\\_vanaalst\\_street.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafepdf/working_groups/030912_vanaalst_street.pdf)

## 6. CONCLUSIONS

---

Le présent rapport présente un état des lieux des développements réalisés en France et en Europe en matière de modèles de rue, et des performances et indicateurs que l'on peut en attendre.

Il s'articule en trois parties principales :

- une présentation rapide de la phénoménologie associée aux processus de dispersion et de transport des polluants dans les rues. Cette partie met en évidence la difficulté de l'exercice et le nombre de paramètres, aussi importants qu'incertains qui le conditionne.
- Une présentation des principes techniques de base sur lesquels reposent les modèles de rue. Une description succincte des approches possible est donnée, l'accent étant plutôt mis sur les contraintes et limites des méthodes.
- Un bilan des expériences et projets recensés en Europe sur le sujet, démontrant par leur nombre qu'il s'agit bien d'un thème d'actualité, contraint par la réglementation. Ce bilan montre également, par la « jeunesse » des projets présentés, que l'outil intégré qui donnera l'information pertinente en appui des décideurs, n'est pas encore disponible.

Les développements futurs semblent s'orienter dans deux directions contraires :

- d'une part on assiste à un certain septicisme des modélisateurs devant les performances des modèles accessibles, y compris des plus complexes sensés reproduire au mieux la physique des phénomènes. Cela est montré par les résultats mitigés des campagnes d'intercomparaison des modèles qui font état d'une grande variabilité des résultats et certainement donc d'une grande incertitude. Les conclusions de ces études tendent à prôner la mise en place, au niveau européen de méthodes de référence pour modéliser la pollution dans les rues, et la nécessité de développer les campagnes de mesures permettant d'évaluer les modèles dans différentes configurations. Dans cette logique, il va de soit que l'évaluation d'un modèle de rue par rapport à un ensemble conséquent de données représentatives est un préalable à son usage dans un site non encore investigué (ce qui peut s'avérer très lourd à l'usage...).
- d'autre part, on note un engouement certain pour la mise en place de système intégrés qui couplent bases de données d'émission et d'occupation du sol, modèle de dispersion (en particulier modèles de rue), système d'information géographique, et dans les programmes les plus ambitieux, modules d'évaluation de l'exposition des populations ou module d'évaluation économique... Les incertitudes cumulées dans de tels systèmes, malgré tout présentés comme des outils d'aide à la décision, viennent lourdement s'ajouter aux réserves émises dans le point précédent, au risque de perdre la pertinence de l'information obtenue en final et communiquée au public !

Cet état des lieux incite donc à la plus grande prudence vis à vis de l'application des modèles de rue à des fins opérationnelles. Les niveaux de pollution absolus calculés par ces outils ne sont représentatifs que d'un état moyen, aussi bien en temps qu'en espace, et ne reflètent certainement pas la situation que l'on cherche à évaluer ponctuellement.

Dans cette optique, le modèle de rue est une approche qui ne peut se suffire à elle-même. Elle doit être alimentée par des données d'entrée de qualité (émissions, description de la rue, météorologie et pollution de fond). Le couplage de ces modèles avec des modèles de plus grande échelle, s'ils sont performants, peut contribuer à améliorer sensiblement la qualité des

résultats (niveaux de fond notamment), mais la modélisation globale du phénomène s'en trouve alors complexifiée.

En toute rigueur, les mesures sont indispensables pour le calage des modèles et pour garder un oeil critique sur leur résultats. Cela concerne les stations fixes, mais, leur couverture doit généralement être complétée par des campagnes de mesures ponctuelles d'envergure. Cet aspect rend l'approche singulièrement plus coûteuse que la simple acquisition des modèles de rue, souvent accessibles pour un prix modique et aisés à utilisés.

Il n'empêche que leur usage a vocation à se développer, pour répondre aux attentes du public, et des autorités en charge de la gestion de la qualité de l'air. D'une part, il est important de préciser que des résultats prometteurs sont rapportés dans la littérature. D'autre part, il paraît raisonnable de les utiliser pour estimer l'impact de telle ou telle mesure de contrôle de la pollution, par rapport à un état d'émission de référence et pour des conditions météorologiques données. L'information est donc analysée en «relatif». Ils peuvent être également appliqués pour localiser des points chauds et identifier les zones géographiques dans lesquelles des mesures spécifiques de maîtrise de la pollution sont nécessaires. La connaissance des limites de ces outils, et les travaux des scientifiques actuellement menés pour les amoindrir, ne peuvent qu'enrichir les analyses qui en découlent et contribuer à une sensibilisation plus objective des gestionnaires de la qualité de l'air sur la pollution de proximité.

## 7. RÉFÉRENCES

---

V.D. Assimakopoulos, H.M. ApSimon, N. Moussiopoulos, A numerical study of atmospheric pollutant dispersion in different two-dimensional street canyon configurations, *Atm.Env.* Vol 37, pp 4037-4049, 2003

R.Berkowicz , O. Hertel, N.N. Sorensen, J.A. Michelsen, *Modelling Air Pollution from Traffic in urban areas*, Flow and dispersion through groups of obstacles édité par R.J. Perkins, S.E Belcher, Clarendon Press-Oxford, 1997

T. Chan, W.T.W. Au, E.S.P. Su, Strategic guidelines or street canyon geometry to achieve sustainable street air quality – part II : multiple canopies and canyons, *Atm. Env.* n°37, pp 2761-2772, 2003

K.N. Dirks, M.D. Jhon, J.E. Hay, A.P. Sturman, A semi-empirical model for predicting the effect of changes in traffic flow patterns on carbon monoxide concentrations, *Atm.Env.* Vol 37, pp 2719-2724, 2003

EEA, Air pollution in Europe 1990-2000, EEA Topic Report n°4, 2003

H.C Eerens., C.J. Sliggers, K.D. Van Den Hout, *The car model : the dutch method to determine city street air quality*, *Atm.Env.* Vol.27B, n°4, pp 389-399,1993

R.E. Eskridge, S.T. Rao, turbulent Diffusion behind vehicles : effect of traffic speed on pollutant concentrations, *J. Air Waste Mang. Assoc.* Vol 41, pp 312-317, 1991

G. Gualtieri, M. tartaglia, predicting urban traffic air pollution : A GIS framework, *Transport Research –D*, Vol3, pp 329-336, 1998

W.B. Johnson, F.L. Ludwig, W.F. Dabbert, R. Allen, An urban diffusion simulation model for carbon monoxide, *J. of the air Pollution Control Assoc.*, 1973, n°23, pp 490-498

P. Kastner-Klein, E. Plate, Gaseous pollutant dispersion around urban-canopy elements : wind tunnel case studies, *Int. J. Environment and Pollution*, Vol 8, pp 727-737, 1997

P. Kastner-Klein, E. Fedorovitch, M.W Rotach, organised and turbulent air motions in a wind tunnel model of a street canyon with and without moving vehicles, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on harmonisation within Atmospheric, Dispersion Modelling*, Rouen, 1999

M. Ketzler, P. Louka, P. Sahm, E. Guilloteau, J.F. Sini, N. Moussiopoulos , intercomparison of Numerical urban dispersion models – part2 : street canyon in Hannover, Germany, *Water, Air and soil Pollution, Focus2*, pp 603-613, 2002

J.J Kim, J.J. Baik, A numerical study of the effects of ambient wind direction on flow and dispersion in urban street canyons using RNG k-e turbulence model, *Atm.Env.* Vol 38, pp 3039-3048

- N. Klunj, P. Kastner-Klein, E. Fedorovitch, M.W. Rotach, Evaluation of Lagrangian footprint model using data from wind tunnel convective boundary layer, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 127, pp 189-201, 2004
- J. Kukkonen, L. Partanen, A. Karppinen, J. Walden, R. Kartastenpää, P. Aarnio, T. Koskentalo, R. Berkowicz, Evaluation of the OSPM model combined with an urban background model against the data measured in 1997 in Runeberg street, Helsinki, *Atm. Env.* Vol 37, pp 1101-1112, 2003
- A. Kovar-Panskus, P. Louka, J.F. Sini, E. Savory, M. Czech, A. Abdelqari, P.G. Mestayer, N. Toy, influence of geometry on the mean flow within urban street canyons – a comparison of wind tunnel experiments and numerical simulations, *Water, Air and Soil Pollution*, Vol 2, pp 365-380, 2002
- A. Lohmeyer, W.J. Mueller, W. Baechlin, A comparison of street canyon concentration predictions by different modellers : final results now available from the Podbi-exercise, *Atm. Env.* N°36, pp 157-158, 2002
- LCSQA, C. Boudet, L. Rouil, Modélisation de l'exposition à l'échelle de la rue, rapport LCSQA, Convention 42/2000, 2001
- LCSQA, L. Rouil, A. Wroblewski, Guide méthodologique en modélisation déterministe, rapport LCSQA, Convention 42/2000, 2002
- F. Murena, F. Vorraro, Vertical gradients of benzene concentrations in a deep street canyon in urban area of Naples, *Atm. Env.* n°37, pp 4853-4859, 2003
- A. Namdeo, G. Mitchell, R. Dixon, TEMMS : an integrated package for modelling and mapping urban traffic emissions and air quality, *Env. Modelling and Software*, Vol 17, pp 179-190, 2002
- S.E. Nicholson, A pollution model for street-level air, *Atm. Env.*, n° 9, pp 19-31, 1975
- T.R. Oke, Street design and urban canopy layer climate, *Energy and Buildings*, n° 11, pp 103-113, 1988
- D. Potoglou, P.S. Kanaroglou, Carbon monoxide emissions from passenger vehicles : predictive mapping with an application to Hamilton, Canada, Center for Spatial Analysis report, October 2004, <http://sciwebservice.science.mcmaster.ca/cspa/papers/index.html> .
- J.F. Sini, S. Anquetin, P.G. Mestayer, Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons, *Atm. Env.* N° 30, pp 2659-2677, 1996
- L. Soulhac, Modélisation de la dispersion atmosphérique à l'intérieur de la canopée urbaine, rapport de thèse de l'Ecole Centrale de Lyon, 2002
- S. Vardoulakis, B.E.A. Fisher, K. Pericleous, N. Gonzalez-Flesca, Modelling air quality in street canyon : a review, *Atm. Env.* Vol 37, pp 155-182, 2003

S. Xie, Y. Zhang, L. Qi, X. Tang, Spatial distribution of traffic related pollutant concentrations in street canyons, *Atm. Env.* n° 37, pp 3213-3224, 2003

R.J Yamartino., G. Wiegand *Development and evaluation of simples models for the flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon*, *Atm. Env* Vol 20 pp 2137-2156, 1986

**Liste des annexes**

<b>Repère</b>	<b>Désignation précise</b>	<b>Nb/N° pages</b>
1	Fiche technique OSPM	3
2	Fiche technique STREET	2



## OSPM : MODELE DE REFERENCE AU DANEMARK

Ce logiciel connaît un essor important dans la communauté internationale car bien que reposant sur une approche simplifiée de la modélisation de la rue canyon, et donc relativement simple à mettre en œuvre, il a fait l'objet de campagnes d'évaluation très satisfaisantes sur bon nombre de configurations de rue. Il s'agit de l'un des modèles phares du programme EUROTRAC/TRAPOS.

- *Polluants calculés* : NO<sub>2</sub>, benzène, CO et éventuellement ozone (photodissociation de NO<sub>2</sub>), tests en cours sur les particules
- *Représentation de la rue* : coupe bidimensionnelle
- *Indicateurs calculés* : moyennes horaires et/ou annuelles<sup>6</sup> et percentiles au niveau du sol de chaque côté de la rue (face au vent et face sous le vent). Possibilité également d'accéder à une répartition verticale des polluants le long des bâtiments
- *Paramètres d'entrée* :
  - Débit d'émission supposé uniforme sur toute la largeur et la longueur de la rue,
  - Vitesse et direction de vent,
  - Fluctuation du vent (turbulence atmosphérique)
  - Hauteur des bâtiments bordant la rue et largeur de la rue
  - Concentrations de fond des différents polluants
- *Principes de résolution* :
  - La concentration dans la rue s'exprime comme la somme d'une contribution « directe » issue du panache de pollution émis par les voiture circulant dans la rue, et d'une contribution de « recirculation » due à l'entraînement et au transport des polluants (y compris ceux véhiculés par le vent incident) accumulés par le mouvement de rotation de l'écoulement ;
  - La contribution directe est calculée par un modèle gaussien adapté pour traiter des sources linéiques. Elle dépend donc principalement du débit, de la vitesse de vent , et d'un coefficient de dispersion dépendant de l'état de stabilité de l'atmosphère dans la rue.
  - La contribution de recirculation est calculée par un modèle boîte basé sur une équation d'équilibre entre les flux entrant et les flux sortant.
  - La longueur du vortex à l'intérieur de la rue est calculée en fonction de la hauteur des bâtiment et d'un facteur d'échelle,  $r$ , dépendant de la vitesse de vent ( $L_r = 2rH_b$ )
  - La turbulence considérée dans la rue canyon provient des perturbations atmosphériques (turbulence thermique) mais aussi du mouvement des véhicules circulant dans la rue. Plusieurs expériences en soufflerie ont montré que les déplacements d'air imputables à ces trajets avaient un effet non négligeable sur la répartition des concentrations. La turbulence induite par les véhicules dépend de la vitesse moyenne des véhicules, de la densité du trafic, et d'un coefficient moyen représentatif des qualités aérodynamiques des véhicules.
  - Une chimie simplifiée est incorporée de façon à tenir compte du processus de transformation de l'ozone et des oxydes d'azote :  $NO + O_3 \Leftrightarrow NO_2 + O_2$ . Elle repose sur une solution analytique de la cinétique de la réaction.

---

<sup>6</sup> suivant les données d'émission et de météorologie disponibles et les objectifs de l'analyse

- *Performances* : OSPM a fait l'objet d'évaluation par rapport aux résultats d'un très grand nombre de campagnes de mesures essentiellement au Danemark et en Allemagne, qui ont montré les qualités scientifiques de ce modèle (figure 3). Dans le cadre du programme TRAPOS, il a aussi fait l'objet de comparaisons avec des modèles tridimensionnels, notamment le modèle allemand MISKAM, qui ont montré sa compétitivité.
- *Avantages* :
  - Possibilité de calculer des concentrations heure par heure de manière à en déduire des moyennes horaires, journalières voire annuelles,
  - Temps de calcul très courts,
  - Bonnes performances y compris dans des configurations de rues non symétriques,
  - Peut aisément être branché sur un SIG ou/et un modèle d'exposition,
  - Prise en compte de la turbulence induite par les véhicules.
- *Inconvénients* :
  - Modèles de recherche donc assez peu convivial : pas d'interface, gestion manuelle des fichiers,
  - Pas de gestion organisée des différentes versions et mises à jour, l'utilisateur doit se tenir régulièrement informé auprès des concepteurs,
  - Pas de prise en compte des intersections,
  - Inadapté à la recherche des concentrations au voisinage de la rue considérée,
  - Pas de cartographie de la répartition des concentrations à l'intérieur de la rue.
- *Autres modèles du même type* : il n'en existe pas sur le marché commercial, ce sont toujours des modèles de recherche. A titre d'exemple il est possible de citer CPBM (Canyon plume Box model) développé par Yamartino et Wiegand en 1986 et qui est le précurseur de ces approches, et le modèle français proposé par Soulhac (Ecole Centrale de Lyon) [2000]. Ce dernier repose sur des concepts similaires, mais a été étendu à des domaines plus vastes que la rue (quartier).

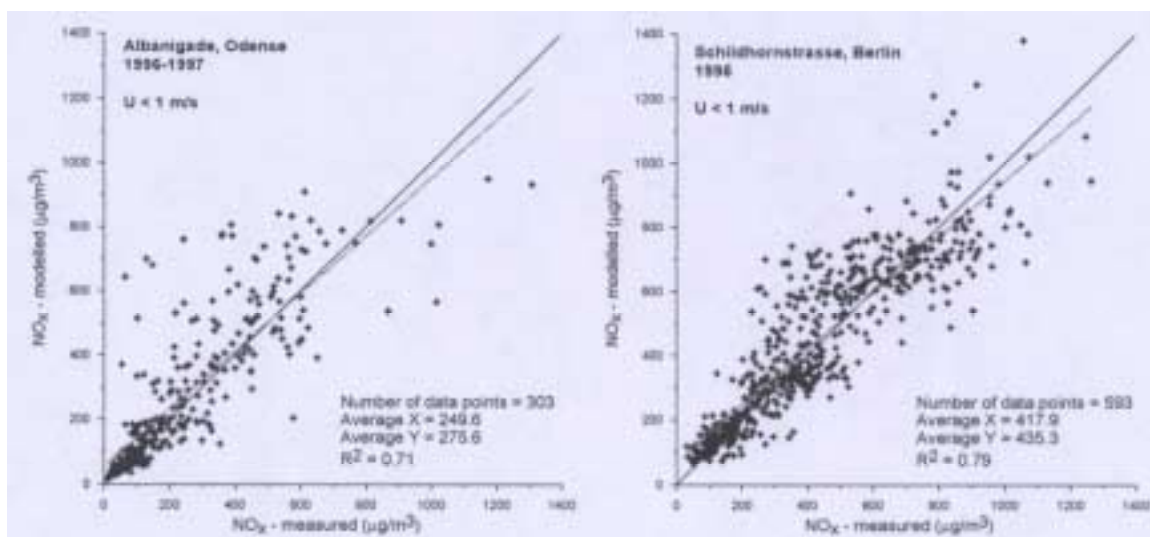


Figure 2 (a) : Corrélation entre mesures et calcul effectués avec OSPM (source [berkowicz, 1999])

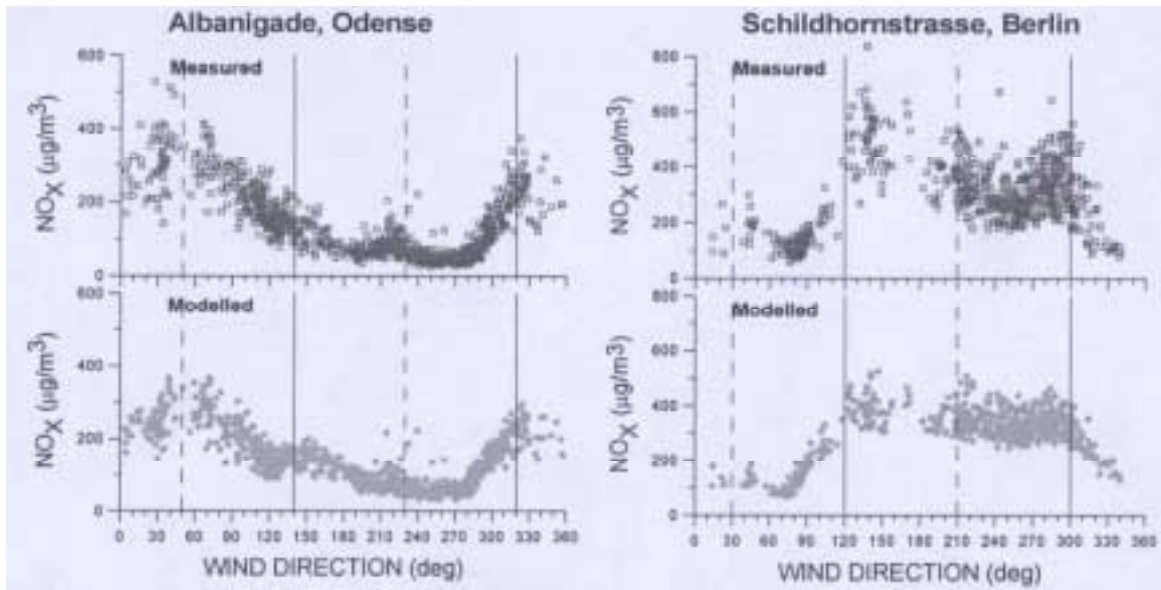


Figure 2 (a) : Comparaisons entre mesures et calcul effectués avec OSPM pour différentes directions de vent (source [Berkowicz, 1999])

## STREET (TARGETING [WWW.TARGETING.FR](http://WWW.TARGETING.FR) )

- *Polluants calculés* : SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, benzène, CO et particules
- *Représentation de la rue* : recherche de la concentration maximale dans la rue. Pas de représentation spatiale,
- *Indicateurs calculés* :
  - Moyennes temporelles et percentiles au niveau du sol. Ce calcul est effectué à partir d'une condition météorologique. La moyenne est dite « annuelle » lorsque l'on estime que la situation de vent simulée est représentative de la moyenne annuelle. Les percentiles sont déduits d'une corrélation linéaire (à ajuster suivant le site) avec les moyennes annuelles.
  - L'information est donnée sous forme de diagrammes qui permettent de situer rapidement le niveau de concentration obtenu par rapport aux valeurs de références et aux seuils réglementaires (figure 3).
  - Dans la dernière version du logiciel il est possible d'intégrer une carte d'agglomération qui présente les principaux axes routiers et ceux que l'on choisit de surveiller (plusieurs milliers sont possibles) et de représenter les concentrations maximales calculées pour chacune d'elles.
- *Paramètres d'entrée* :
  - Nature et nombre des véhicules, vitesse moyenne, le débit d'émission est calculé avec le logiciel IMPACT de l'ADEME. Un pourcentage de bouchons peut également être affecté
  - Vitesse et direction de vent,
  - Hauteur des bâtiments bordant la rue et largeur et configuration de la rue (discontinuité dans le bâti par exemple)
  - Concentration de fond
- *Principes de résolution* :
  - Il s'agit d'un modèle paramétrique, qui repose sur une base de donnée importante de résultats de calculs issus d'un modèle eulérien tridimensionnel, MISKAM. Plus de 100 000 concentrations maximales sont ainsi stockées, représentatives de 98 configurations de rues et de carrefours et intersections, et 30 situations météorologiques.
  - L'utilisateur définit en entrée sa configuration de rue, et le rapport hauteur de bâtiments sur largeur de rue. Certaines possibilités ne sont pas disponibles (parce que non calculées par MISKAM et non stockées dans la base)
  - De la même façon le nombre de directions de vent est limité à 5 et le nombre de vitesse à 6.
  - Ceci étant fixé, le système recherche dans sa base la concentration normalisée appropriée à la situation étudiée, et l'ajuste linéairement (tous les polluants étant considérés comme passifs) au débit d'émission.
- *Performances* : STREET est très répandu au sein des AASQA. Son faible coût et sa grande convivialité expliquent ce succès. Par comparaison avec les mesures obtenues aux stations de proximité, il a été évalué avec succès par plusieurs d'entre elles, notamment AIRPARIF et ASPA qui établissent des cartographies d'exposition à l'échelle de l'agglomération. Il n'en demeure pas moins un outil extrêmement simplifié qui n'a pour objectif que de fournir une première approximation de la situation moyenne sur une rue, et d'apporter un diagnostic préliminaire de l'impact du trafic urbain en un site donné.

- *Avantages :*
  - Outil très convivial, aisé d'utilisation,
  - Temps de calcul très courts,
  - La dernière version du logiciel inclut la possibilité d'enregistrer une carte géographique sur laquelle les concentrations peuvent être représentées ,
  - Pour les configurations très proches de celles stockées en base de données les performances peuvent s'avérer intéressantes, puisque les résultats sont issus d'un modèle tridimensionnel correctement calé,
  - Prise en compte des situations d'intersection,
  - Module de gestion des émissions soigné et convivial,
  - La dernière version du logiciel permet d'incorporer une notion d'intervalle de confiance dans les résultats proposés.
- *Inconvénients :*
  - Outil très simplifié et d'usage limité à l'établissement de premiers diagnostics
  - Le nombre de situations météorologiques accessibles dans la base de donnée est relativement restreint
  - De ce fait la notion d'exposition calculée à partir de ces résultats doit être manipulée avec prudence (quelle représentativité du résultat dans la rue)
  - La notion de "moyenne annuelle" ne correspond qu'à la moyenne annuelle des vents, et se trouve donc faussée
  - Inadapté à la recherche des concentrations au voisinage de la rue considérée,
  - Pas de cartographie de la répartition des concentrations à l'intérieur de la rue,
- *Autres modèles du même type :* les allemands et les néerlandais privilégient largement ce type de démarche basé sur une sorte de tabulation des résultats établie à partir d'un nombre restreint d'informations. Le modèle de rue de référence aux Pays Bas est le modèle CAR, qui est également un modèle paramétrique, mais établi à partir de données obtenues en soufflerie ou lors de campagnes de mesures in situ. La Météorologie anglaise a développé le code AEOLIUS, disponible sur internet (<http://www.metoffice.com/environment/aeolius1.html>), qui est également un modèle paramétrique dont la base de données est issue de simulations effectuées avec OSPM.