

# Panorama de la modélisation de la dispersion atmosphérique

## Atmospheric dispersion models: An overview

Nicolas MICHELOT,<sup>1</sup> Pierre CARREGA,<sup>2</sup> Laurence ROUÏL<sup>3</sup>

### Résumé

Cet article présente l'éventail des possibilités techniques en matière de modélisation de la dispersion atmosphérique. Il en ressort qu'il n'est pas si facile de faire un choix parmi les modèles, malgré les grandes lignes directrices. Pour cause, sauf les rares cas d'école rodés et qui fonctionnent en routine, le traitement d'une problématique de modélisation sera perturbé par des biais parfois inévitables. C'est, par exemple, le cas d'une situation qui demande dès le départ de poser une hypothèse simplifiée, faute de données sur un type d'émissions, d'un champ de vent simulé perfectible, d'une rugosité homogène alors que les surfaces sont différentes, etc. Par conséquent, l'utilisation d'un type de modèle plutôt qu'un autre, qui plus est au sein de la même famille, n'aura que peu d'influence sur les simulations finales. Enfin, la modélisation montre qu'elle doit demeurer complémentaire à une information issue de la mesure *in situ* quand cela est possible, car finalement elle seule permet de rendre compte en matière de qualité de l'air réelle.

### Mots-clés :

modélisation, pollution atmosphérique, qualité de l'air

### Abstract

This article presents the possibilities in modeling of atmospheric dispersion. It shows that it is not so easy to make a choice among the models despite the guidelines. Indeed, except for rare cases of lapped school and work routine, treatment of a modeling problem will be disturbed by sometimes unavoidable elements. This is for example the case of a situation that requires from the beginning to ask a simplified hypothesis for lack of data on a type of emissions, a perfectible simulated wind field, a homogeneous roughness while surfaces are different, etc. Therefore, the use of one type of model over another will have little influence on the final simulations. Finally, the modeling shows that it must remain complementary to information from the ground measure whenever possible, because ultimately alone can account for the air quality.

### Keywords :

modelisation, atmospheric pollution, air quality

## Introduction

L'un des buts de la modélisation de la dispersion atmosphérique est d'obtenir une estimation cartographiée des concentrations de substances gazeuses ou particulaires dans l'atmosphère, suffisamment précise et représentative des conditions réelles, dans le temps et dans l'espace. Afin d'estimer ces concentrations, des données d'entrée doivent être fournies aux modèles, telles que les variables météorologiques et les émissions, ou encore les conditions aux limites du domaine d'étude. Certaines catégories de modèles de chimie-transport ne produisent pas leurs propres données météorologiques, il faut donc les leur

fournir (de même que les émissions), sur le domaine de modélisation durant la période que l'on souhaite simuler, à partir des modèles numériques météorologiques. On parle généralement de modèles off-line, la météorologie est une donnée d'entrée qui n'est pas influencée par le calcul des concentrations.

Bien que la mesure demeure indispensable, notamment pour valider, comparer et caler les simulations – et surtout puisqu'étant une observation instantanée, elle demeure l'illustration de la « réalité » – elle reste cependant insuffisante pour parvenir à la meilleure description possible de la pollution de l'air dans un domaine élargi ou

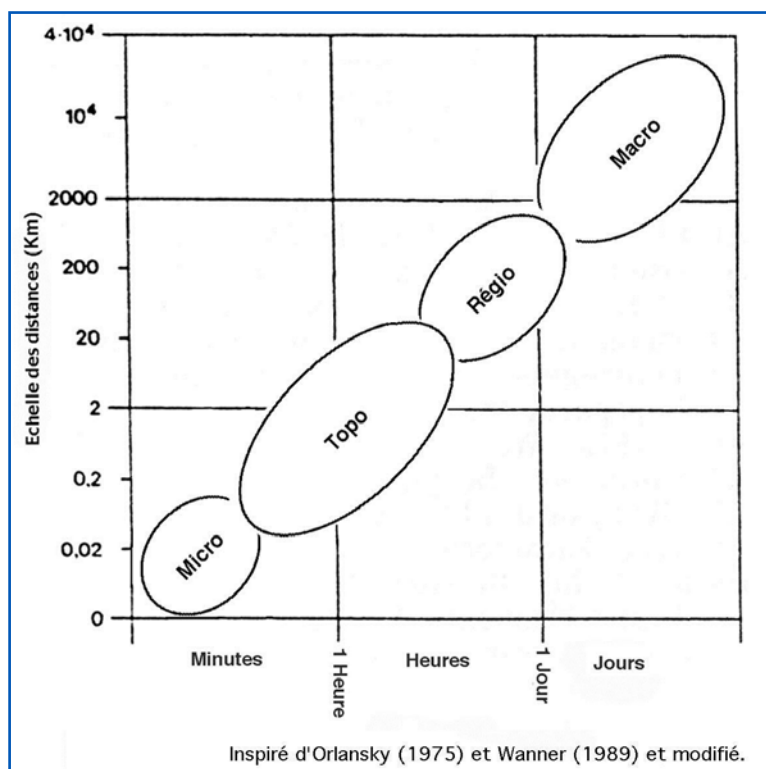


Figure 1.

Croisement des échelles climato-météorologiques spatio-temporelles (d'après Carrega). Importance de l'échelle topoclimatique. [Junction of spatio-temporal and climate-weather scales. Importance of the topoclimatic scale \(from Carrega\).](#)

pour estimer l'exposition d'une population à large échelle. En effet, d'une part, il n'est pas possible de faire des mesures partout et tout le temps, et d'autre part, la mesure ne vaut que pour l'endroit où elle est faite. C'est pourquoi la modélisation présente un intérêt particulier, les équations de chimie et de dispersion atmosphérique de substances polluantes étant résolues en tous points du domaine avec une résolution spatiale laissée au choix de l'utilisateur.

La modélisation permet par exemple :

- d'établir des scénarios à différentes échelles ;
- d'évaluer l'exposition des populations ;
- de définir une stratégie pour des plans de réductions des émissions, et leur évaluation ;
- de suivre une masse d'air polluée par un rejet accidentel ;
- ou bien encore prévoir les pics de pollution dans le cadre de la surveillance réglementaire.

De plus, la modélisation de la qualité de l'air occupe une place importante dans les processus de décisions en matière de pollution atmosphérique et de mise en œuvre de politiques publiques.

Les aspects positifs des modèles sont nombreux et indiscutables. Pour autant, leur usage à des fins très opérationnelles telles que la décision politique ou l'information du public appelle plusieurs questions : quel degré de confiance accorder aux familles de modèles utilisés ? Quel modèle choisir en fonction de la problématique et de l'échelle de travail ? Quelles sont leurs limites ?

Pour répondre à ces questions, cet article de vulgarisation vise à dresser un panorama non exhaustif de la modélisation de la qualité de l'air et de la dispersion atmosphérique de polluants. Les éléments présentés reprennent pour partie ceux développés entre autres dans la thèse de Michelot (2014), et s'appuient sur l'expérience de terrain et de développement des auteurs (Michelot *et al.*, 2013 ; Rouil, 2012 ; Carrega *et al.*, 2010 ; Rouil *et al.*, 2009). Il offre également un regard sans indulgence quant aux écueils que doit éviter l'utilisateur de ces outils.

## Classification des modèles selon les échelles

La modélisation de l'environnement atmosphérique se fait à différentes échelles spatiales et temporelles (figure 1) en fonction de la substance polluante et de la thématique étudiée, l'ensemble étant lié.

Par exemple, un pic journalier de pollution urbaine aux particules nécessitera l'utilisation d'un modèle de qualité de l'air urbain, ou bien encore plus finement, l'étude d'une pollution au dioxyde d'azote en rue canyon demandera un modèle « de rue ». À l'inverse, les processus de l'ozone troposphérique seront cernés à l'aide d'un modèle d'échelle globale ou régionale. De la même manière, lorsque l'on travaille à cette échelle, il convient de raisonner sur un temps long, de l'ordre de la semaine à l'année ; tandis qu'à fine échelle, c'est le temps court qui est ciblé, c'est-à-dire de l'heure à quelques jours. D'après Moussiopoulos *et al.* (1996), le tableau 1 résume

Type de pollution	Échelles			
	Globale	Continentale à régionale	Régionale à locale	Locale
Changement climatique	•			
Ozone global	•	•		
Acidification		•		
Brume polluée		•	•	
Qualité de l'air urbain			•	
Polluants industriels			•	•
Accidents chimiques et nucléaires		•	•	•

Tableau 1.  
Types de pollution en fonction des échelles spatiales.  
*Types of pollution depending on spatial scales.*

les types de pollution en fonction des échelles spatiales.

Les outils de modélisation à différentes échelles sont nécessaires afin, par exemple, de mieux comprendre les processus physico-chimiques à l'origine de la pollution atmosphérique d'ordre globale, mais aussi pour prévoir les pics de pollution, comme le fait le système PREV'AIR<sup>4</sup> depuis 2003 (Rouil *et al.*, 2009). Celui-ci permet la simulation de polluants gazeux et particulaires à l'échelle du continent européen (50 km de résolution) et de la France (jusqu'à une résolution de 5 km). Localement, ces données sont utilisées par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) comme conditions aux limites et intégrées aux modèles locaux de qualité de l'air urbain (figure 2).

## Les différents types de modèles de dispersion atmosphérique

Pour modéliser un phénomène, il est possible de différencier deux types d'approches : la modélisation statistique (empirique) et la modélisation déterministe (physique). La première approche emploie un panel de données décrivant les

variables déterminantes du système (mesures des concentrations, estimation des émissions, observations météorologiques...) dans une équation de type régression linéaire (ou délinéarisée), sans faire intervenir les équations chimiques et physiques d'évolution du milieu.

La seconde approche, abordée ci-après, repose sur la formulation des mécanismes physiques, chimiques et sur la résolution numérique des équations, basées sur les lois physiques (lois de la thermodynamique, mécanique des fluides, etc.). Elles régissent les mécanismes commandant le phénomène en question. Le développement de ces modèles nécessite donc une compréhension la plus détaillée possible des processus impliqués. Dans le cas d'un polluant tel que les particules, qui plus est dans un environnement topographique marqué et aussi à proximité immédiate des sources, les processus physiques impliqués sont à la fois d'une grande complexité et non complètement connus.

Par exemple, la littérature fait largement état des limites des modèles actuels d'aérosols pour simuler la formation de composés organiques secondaires, sujet qui fait en conséquence l'objet de nombreuses recherches actuelles. Il n'en demeure pas moins qu'à l'heure actuelle, les modèles purement déterministes offrent des résultats pertinents pour les décideurs, à condi-

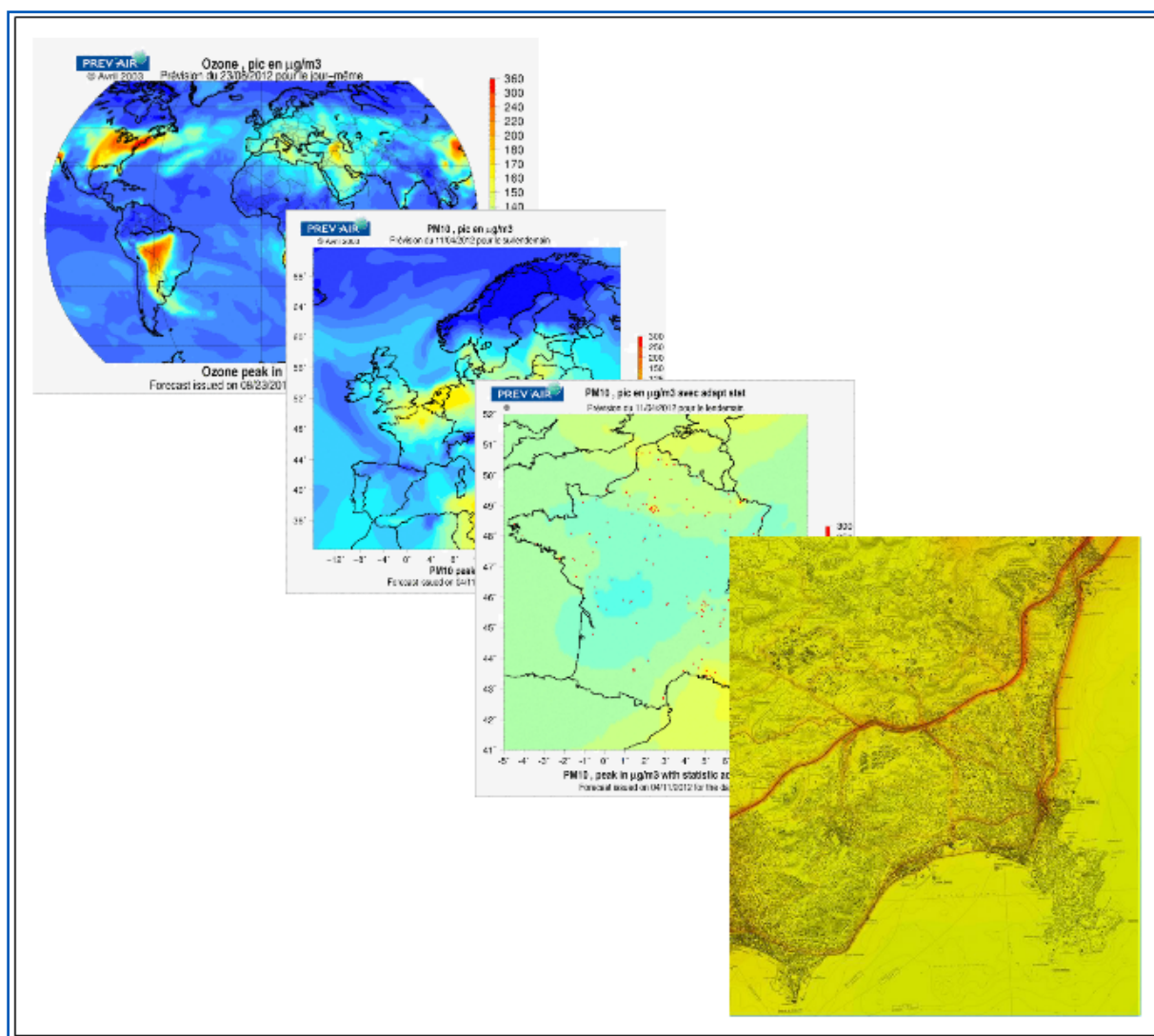


Figure 2.

Les différentes échelles de modélisation de la qualité de l'air. Du global au local (source : d'après Rouil, 2012).

Different air quality modeling scales. From global to local.

tion de bien cerner les limites et de procéder à des évaluations régulières de leurs performances. Les deux approches « déterministes » et « statistiques » se résument dans le tableau 2.

Les modèles déterministes se classent eux aussi en trois catégories selon leur approche de calcul : il s'agit des modèles eulériens, lagrangiens, et gaussiens. De manière simplifiée, ces modèles demandent différents jeux de données en entrée (sources de pollution, géographie, météorologie, etc.). Ils résolvent les équations gouvernant les phénomènes atmosphériques, restituent une cartographie des champs de polluants et établissent des prévisions. Ils produisent également des données séquentielles

des concentrations de polluants.

### L'approche eulérienne et lagrangienne

L'approche eulérienne décrit la distribution d'une substance ou d'une molécule, dans un système fixe, en fonction des caractéristiques de celui-ci (le fluide « air » en l'occurrence)<sup>5</sup>. Le principe de l'approche lagrangienne consiste à suivre une substance émise à la source<sup>6</sup>. Autrement dit, cela revient à étudier le système en mouvement.

Les modèles eulériens discrétisent en 3D l'atmosphère par mailles (c'est-à-dire un référentiel fixe). Ils sont aussi appelés modèles de

Modèles déterministes	Modèles statistiques
<p><i>Principe :</i></p> <p>On suppose que l'on connaît les lois, et on suit l'évolution des variables dans le temps.</p>	<p><i>Principe :</i></p> <p>Recherche de relations statistiques entre variables prédictives (ou explicatives) d'inspiration physique, et la variable à prédire.</p>
<p><i>Avantages :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Par nature extrapolables.</li> <li>- Spatialisation de la prévision.</li> <li>- Universalité de la démarche.</li> </ul>	<p><i>Avantages :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévision rapide et généralement satisfaisante.</li> <li>- Mise en œuvre plus « simple », sans intégration des lois physiques et chimiques régissant le phénomène.</li> </ul>
<p><i>Inconvénients :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantité, qualité et diversité des données à fournir au modèle (émissions, champs de vents, conditions aux limites, topographie...).</li> <li>- À l'heure actuelle, difficulté de descendre à des échelles très fines (locales) et dans des environnements topographiques marqués (fortes pentes).</li> <li>- Lois régissant les phénomènes différentes à ces échelles, aujourd'hui encore mal connues.</li> </ul>	<p><i>Inconvénients :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessitent une base de données bien documentée.</li> <li>- Apportent peu d'informations explicatives (boîte noire).</li> <li>- plus difficilement extrapolables pour des analyses prospectives (utilisation dans le domaine déjà observé).</li> </ul>

Tableau 2.

Les différents types de modèles.

[Several air quality models.](#)

grille. Préalablement, ces modèles calculent les paramètres atmosphériques (modèles de mécanique des fluides, dits CFD pour *Computational Fluid Dynamics*, comme : FLUENT, MERCURE, etc.) et météorologiques (modèles : WRF, RAMS, MM5, etc.). Puis ils calculent « les concentrations de polluants inertes et réactifs en simulant les différents processus physico-chimiques intervenant dans l'atmosphère » (Schadkowski, 2002), et ce pour chaque cellule de la grille (modèles : CHIMERE, CALGRID, ROME, etc.).

Les modèles lagrangiens sont également appelés modèles de trajectoire (ou de panache) car ils résolvent un système d'équations dans un repère lié au déplacement d'une colonne d'air dans la trajectoire d'un panache. La colonne d'air se déplace en fonction des conditions météorologiques (généralement pré-calculées ou mesurées, à la différence des modèles eulériens) en prenant en compte des processus de transfor-

mation simples, comme des réactions chimiques linéaires et de dépôt.

Ces deux types de modèles présentent les avantages d'une résolution complète des équations, d'une modélisation précise de la turbulence et d'une prise en compte de phénomènes complexes (modélisation de proximité, relief accentué, météorologie particulière ou complexe, etc.). Si les mailles d'étude sont fines, alors ces modèles offrent une meilleure représentation de la physique, pour peu qu'elle soit compatible avec le choix des équations paramétrées dans le modèle. Ainsi, les principaux inconvénients résident essentiellement dans le fait que les échelles spatiales sont souvent limitées. Par exemple, les modèles lagrangiens ne représentent qu'une surface bornée puisqu'ils considèrent un couloir, ou bien, les modèles eulériens utilisent un CFD en atmosphère libre pour une maille. Les temps de calculs dépendent de la complexité du modèle

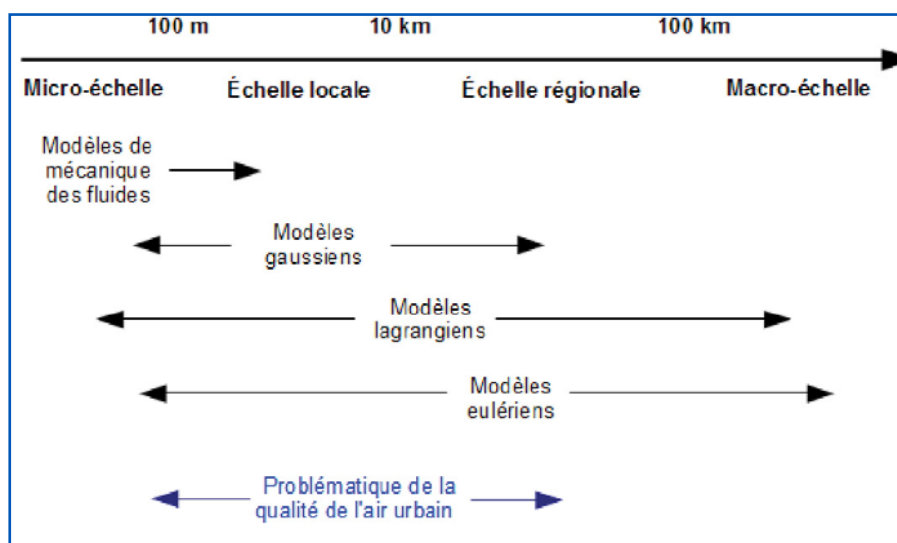


Figure 3.

Application de différents modèles en fonction de l'échelle spatiale (source : d'après Numtech).

[Application of different models depending on the spatial scale.](#)

utilisé, de la résolution spatio-temporelle choisie par l'utilisateur, et des moyens de calculs mis en œuvre. Généralement, les modèles 3D requièrent des super-calculateurs et du calcul parallèle sur plusieurs processeurs, ce qui ne les rendent pas aisément accessibles. Aussi, ces modèles associent généralement plusieurs modèles (modèle météorologique associé à un modèle de dispersion) qu'il faut maîtriser. En outre, ces modèles sont très sensibles aux diverses paramétrisations et données fournies en entrée.

Finalement, les modèles eulériens et lagrangiens demandent des connaissances d'utilisation et de conception très précises. C'est pourquoi ils sont réservés aux experts et plutôt utilisés pour l'étude de scénarios que pour les risques chroniques de pollution atmosphérique urbaine à l'échelle locale.

### L'approche gaussienne

Les modèles gaussiens (ADMS, AERMOD, ARIA Impact, etc.) sont les plus utilisés pour modéliser la qualité de l'air près des zones proches des sources de pollution. Le principe standard de la dispersion atmosphérique gaussienne repose sur une description mathématique simplifiée des équations de dispersion d'une substance dans l'air. À la base, la substance se disperse par la seule action du fluide qui la porte, l'air. Puis le transport et la diffusion vont intervenir par l'action du vent et de la turbulence mécanique et thermique. En d'autres termes, ce type de

modèle considère qu'une émission ponctuelle (un panache) se disperse en largeur, d'autant plus que la direction du vent varie (fort écart type), et en hauteur, d'autant plus que l'air est instable. La finalité de ces équations consiste à déterminer les concentrations de ladite substance en fonction de paramètres déterminant comme les émissions, les conditions météorologiques, ou encore d'autres paramètres liés à la surface terrestre (rugosité et occupation du sol, par exemple).

Généralement, un processeur météorologique est intégré aux modèles gaussiens, ce qui en fait un seul logiciel, relativement plus facile à exploiter.

« Cette approche gaussienne, très peu coûteuse en temps de calcul, permet de multiplier le nombre de simulations réalisées et de disposer de moyennes et de statistiques établies sur des bases météorologiques annuelles ou pluri-annuelles. En contrepartie, les paramétrages des équations sont simples, ce qui conduit à des approximations parfois rudimentaires de cas particuliers, tels que l'effet du relief ou des bâtiments, qui peuvent avoir une influence non négligeable sur la dispersion, surtout à petite échelle. Cependant, des progrès considérables ont été faits pour adjoindre des modules supplémentaires aux modèles actuellement développés, afin de prendre en compte le plus possible ces situations particulières, même si cela est fait de façon paramétrique » (Daniau *et al.*, 2010).

L'approche gaussienne de panache est dite « basique » car elle lisse la réalité et considère qu'il y a une situation météorologique pour chaque heure (stationnarité). La majorité des modèles gaussiens gèrent aujourd'hui une approche plus complexe où la réflexion d'un panache est traitée au sommet de la couche limite atmosphérique, et en cas d'instabilité de la masse d'air, la distribution des concentrations n'est plus gaussienne sur l'axe z (altitude).

Les modèles gaussiens récents peuvent aussi intégrer des données météorologiques complexes (profils verticaux, sorties de modèles météorologiques ou CFD, mesures de terrain), prendre en compte des situations particulières comme les reliefs ou les rues canyons grâce à des modules spécifiques.

- l'échelle temporelle (figure 4) ;

- la complexité du site : a-t-on affaire à un paysage plus ou moins hétérogène ? Le relief est-il marqué (cuvette, vallée, gorges, fortes pentes) ? L'occupation des sols varie-t-elle (forêt, prairie, surface goudronnée) ? Y a-t-il présence de nombreux bâtiments alignés (rue canyon) ou d'un obstacle particulier (remblai d'une voie ferrée) ? ;

- les types de polluants : est-il question de gaz ou particules, de polluants primaires ou secondaires qui résultent de réactions chimiques plus ou moins complexes ? ;

- la nature des sources : sont-elles ponctuelles (four d'une cimenterie), routières ou diffuses (habitat) ? ou – généralement – multiples ?

## Comment choisir le bon modèle ?

Pour choisir le modèle qui sera adapté à sa problématique et à l'application voulue (recherche, risque industriel, qualité de l'air urbain, transport de pollution longue distance), il convient de combiner plusieurs critères de sélection. Les principaux sont les suivants :

- l'échelle spatiale (figure 3) ;

## Les limites de la modélisation de la dispersion atmosphérique

Malgré les importantes avancées en matière de modélisation de la dispersion atmosphérique, certains schémas réactionnels et aspects physiques ne sont pas encore tous bien connus. Concernant les schémas réactionnels chimiques, il faut pouvoir les exploiter de manière mathéma-

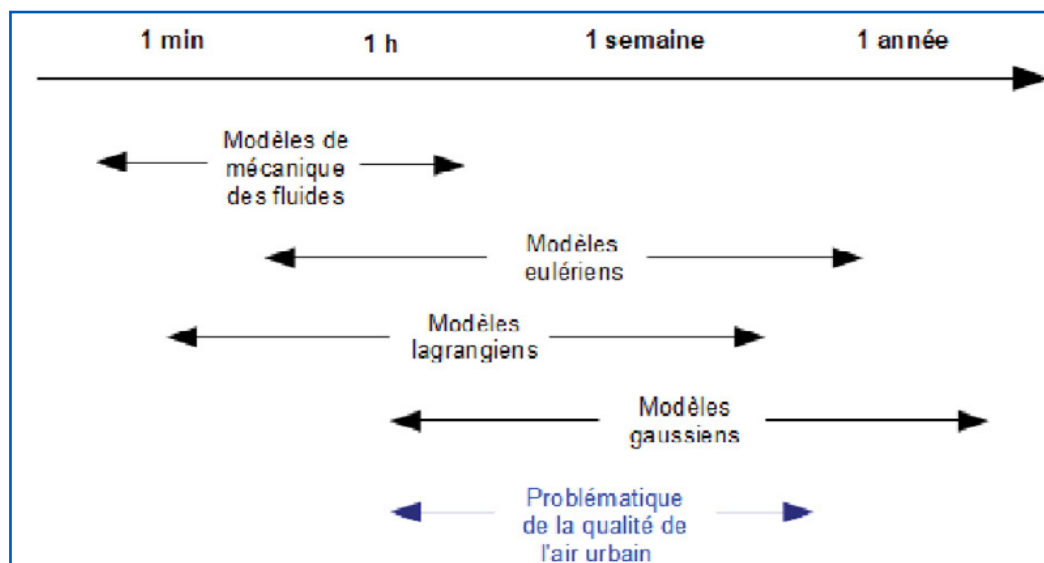


Figure 4.

Application de différents modèles en fonction de l'échelle temporelle (source : adapté d'après Numtech).

Application of different models depending on the temporal scale.

tique quand ils sont connus, ou donner les conditions initiales des sources (émissions biotiques difficiles à déterminer, par exemple). La remise en suspension des particules est un aspect physique de la modélisation de la dispersion atmosphérique compliqué à traiter. Il est aujourd'hui difficile de savoir comment cela fonctionne exactement : quelle quantité concernée, et jusqu'où vont-elles une fois soulevées ? D'autres sources, comme les brûlages de déchets verts, ne sont pas connues. Cela explique que des inventaires ne les intègrent pas. Par conséquent, la modélisation ne peut les estimer.

Les incertitudes des résultats modélisés peuvent être significatives. Elles dépendent à la fois :

- des données d'entrée (*cf.* ci-dessus pour les inventaires, mais aussi les données météorologiques, etc.) – plus que du modèle en lui-même à vrai dire – : selon l'échelle spatiale, les données observées en un point (vent, humidité, température, etc.) ne sont pas forcément représentatives des environs, et celles issues d'une modélisation peuvent l'être encore moins... Or plus l'état initial dans la chaîne des calculs est erroné, plus les erreurs vont devenir rédhibitoires du fait de la non-linéarité des processus ;

- des résolutions spatiales et temporelles : un modèle numérique de terrain adapté à l'échelle de travail est obligatoire, or plus il est fin, plus le temps de calcul s'accroît pour une même surface, et plus il est grossier (topographie trop « filtrée »), plus la simplification du relief engendrera des erreurs ;

- du recours parfois obligé à des hypothèses simplificatrices par manque de données, en particulier sur l'épaisseur de la couche-limite, et sur la plus ou moins grande stabilité verticale de l'air ;

- et aussi, voire surtout, du savoir-faire de l'utilisateur.

À propos de l'utilisateur, il ne doit pas sous-estimer la technicité du paramétrage. En clair, il devra faire des choix dans les modules que propose son modèle le cas échéant. Ces choix, qui interagissent, doivent être compris, ce qui est loin d'être une formalité, d'autant que l'environnement de certains logiciels « package/reste à cliquer » est à la fois « rassurant et dangereux », et en même temps ne prédispose pas l'utilisateur à faire cette démarche de réflexion. C'est un écueil

des logiciels « clés en main » que l'utilisateur se doit d'éviter. Au bout du compte, l'utilisateur ira vers la meilleure hypothèse en fonction de la problématique et de l'échelle du domaine. Il convient de rajouter que de bons codes mal utilisés fourniront de mauvais résultats. Inversement, des codes simples mais bien paramétrés donneront des résultats relativement satisfaisants.

Quant à l'échelle spatiale, elle doit être représentative de la phénoménologie étudiée, et il est parfois compliqué de simuler simultanément des phénomènes de grande échelle (transport des polluants à longue distance ou certaines réactions chimiques) et des phénomènes très locaux qui créent des gradients de concentrations importants (proximité des sources ou influence locale forte de la topographie ou du bâti). Il convient donc de choisir la résolution appropriée et de s'appuyer sur des données d'observations (pour le calage des modèles, par exemple) également représentatives de ce que l'on souhaite simuler. Ainsi, il serait absurde d'utiliser des données issues de stations « trafic » pour évaluer ou caler un modèle utilisé à l'échelle régionale. Mais cela signifie que dans certains cas la cartographie simulée des champs de pollution aux particules offre pour une part conséquente du territoire étudié une information globale et teintée d'incertitudes. Il n'empêche qu'elle a le mérite indéniable d'exister et d'être en constante amélioration.

## Conclusion

Malgré l'apport riche et incontestable des modèles de qualité de l'air, quelques mises en garde s'imposent. La modélisation de la dispersion atmosphérique reste une approximation spatio-temporelle des champs de polluants. Autrement dit, les concentrations moyennes estimées ne valent que pour un mélange parfait dans chaque maille, ce qui n'est jamais le cas dans la réalité. En outre, il n'existe évidemment pas de modèle unique adapté à toutes les situations. Même si des catégories de modèles se démarquent pour certaines applications, il reste difficile de recommander un type de modèle plutôt qu'un autre. En effet, chacun trouvera le modèle qu'il lui convient en fonction de ses objectifs, des problématiques à traiter, des échelles de travail, du temps et des moyens financiers et techniques disponibles, et surtout de son expertise en la matière.

Du reste, un logiciel de dispersion est habituellement composé de plusieurs modèles ou



modules, plus ou moins performants, parfois optionnels, dont les performances peuvent dépendre de celles des autres modules (calculs météorologiques en amont, par exemple). Ainsi, les performances dépendent sensiblement de la qualité des données d'entrée et de la configuration réalisée par l'utilisateur.

Finalement, la somme de ces éléments montre que la modélisation doit être considérée comme un outil complémentaire à la mesure (qu'elle soit

pour les substances polluantes ou pour la météorologie) et non comme une alternative. Toutefois, force est de reconnaître son indispensable recours pour travailler sur des exercices tendancielles, établir des champs de concentrations en routine, faire des prévisions en termes de gestion des pics de pollution ; mais aussi tout simplement parce qu'il est impossible techniquement et financièrement de mesurer la qualité de l'air en tout point du territoire. D'ailleurs cela n'a pas de sens non plus.

1. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Direction générale de l'énergie et du climat. Bureau de la qualité de l'air. Tour Séquoia, 92055 La Défense cedex – France. nicolas.michelot@developpement-durable.gouv.fr
2. Université de Nice Sophia-Antipolis, équipe Gestion et Valorisation de l'Environnement (GVE). UMR 7300 ESPACE CNRS. 98 Bd Herriot, 06204 Nice Cedex 3 – France. pierre.carrega@unice.fr
3. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS). Parc Technologique ALATA, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte – France. laurence.rouil@ineris.fr
4. <http://www2.prevoir.org/>
5. Par exemple : le déplacement d'un usager du métro dans la rame, en mouvement.
6. Par exemple : le déplacement d'une rame de métro par rapport à sa station de départ.

## Références

- Carrega P, Martin N, Yohia Ch. (2010). Ozone et flux d'air dans l'arrière-pays niçois : mesures et modélisation à fine échelle spatiale durant un épisode estival (le 10 août 2006). *Pollution atmosphérique*, n° 207, p. 297-313.
- Carrega P, Yohia C. (2010). Influence des effets d'échelle de la prise en compte du relief sur les écoulements de l'air et les précipitations. Exemples dans les modèles météorologiques GFS, MM5 et RAMS. Actes des Journées de Climatologie de Besançon, mars 2009. [En ligne] : [http://umrespace.unice.fr/public\\_html/umr/spip/IMG/pdf/2009\\_4\\_PC\\_cd.pdf](http://umrespace.unice.fr/public_html/umr/spip/IMG/pdf/2009_4_PC_cd.pdf)
- Daniau C, Thébaud A, Malherbe L *et al.* (2010). Comparaison de deux modèles gaussiens de dispersion atmosphérique – ADMS et ARIA Impact. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, 76 p. [En ligne] : [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)
- Michelot N, (2014). L'influence des topoclimats sur la pollution de l'air aux particules dans le Sud-Ouest des Alpes-Maritimes. Thèse de Doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis, 416 p.
- Michelot N, Pesin C, Carrega P. (2013). Modélisation de la dispersion atmosphérique des PM10 dans une vallée de l'arrière-pays cannois. *Pollution atmosphérique*, n° 220. [En ligne] : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=2528>.
- Moussiopoulos N, Berge E, Bøhler T *et al.* (1996). Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Report of the European Topic Centre on Air quality to the European Environment Agency, 94 p.
- Rouil L. (2012). Les modèles régionaux et les modèles urbains : nouveaux outils d'aide à la décision. *Pollution atmosphérique*, n° spécial, p. 119-121.
- Rouil L, Honoré C, Vautard R *et al.* (2009). PREV'AIR. An operational forecasting and mapping system for air quality in Europe. *Bulletin of American Meteorological Society*, vol. 90, n° 1, p. 73-83.
- Schadkowski C. (2002). Introduction à la modélisation de la qualité de l'air. *Air Pur*, n° 62, p. 5-8