

Rapport de stage de Master 2

Optimisation des émissions atmosphériques liées au transport automobile :

Impact sur la modélisation de la qualité de l'air

Arnaud GOUSSEBAILE

Stage réalisé au Laboratoire de Météorologie Dynamique
sous la direction de Laurent MENUET

Table des matières

1	Introduction	1
2	Modélisation des émissions anthropiques atmosphériques d'espèces chimiques	3
2.1	Modèle de pollution atmosphérique CHIMERE	3
2.1.1	Coeur du modèle CHIMERE	3
2.1.2	Module météorologique	4
2.1.3	Module d'émissions	4
2.1.4	Module de conditions limites	4
2.2	Module d'émissions anthropiques	4
2.2.1	Données brutes d'émissions anthropiques	4
2.2.2	Flux d'émissions anthropiques	6
2.2.3	Calcul des flux d'émissions anthropiques à partir des données brutes	6
2.3	Facteurs temporels d'émissions	7
2.3.1	Facteurs mensuels et journaliers	7
2.3.2	Facteurs horaires	7
3	Optimisation des facteurs horaires d'émissions du transport automobile	11
3.1	Hypothèses de travail	11
3.2	Mesures utilisées pour calculer les facteurs horaires	11
3.2.1	Espèce chimique étudiée	11
3.2.2	Sites étudiés	12
3.2.3	Année étudiée	13
3.3	Méthodes de calcul des facteurs horaires	13
3.3.1	Moyenne des mesures horaires sur les stations pour chaque ville	13
3.3.2	Méthodologies d'identification des contributions de la pollution de fond	14
3.3.3	Moyenne des facteurs horaires sur les jours de semaine identiques de l'année	15
3.4	Choix des facteurs horaires pour les régions en Europe	15
3.4.1	Elimination des villes avec des facteurs non représentatifs	16
3.4.2	Détermination des régions et de leurs facteurs	17
3.4.3	Carte d'Europe des régions avec les villes fournissant leurs facteurs	18
4	Analyse des facteurs horaires d'émissions optimisés du transport automobile	21
4.1	Facteurs horaires d'émissions du transport automobile	21
4.1.1	Facteurs horaires de la version de base du modèle avant optimisation	21
4.1.2	Facteurs horaires optimisés, fonctions de la méthode de calcul	21
4.2	Emissions simulées selon les facteurs utilisés	22
4.3	Concentrations simulées avec le modèle CHIMERE de chimie-transport	24
5	Conclusions et perspectives	27
5.1	Conclusions	27
5.2	Perspectives	28
6	Annexe : Module d'émissions anthropiques atmosphériques d'espèces chimiques	29
6.1	Programme "source2chimere"	29
6.2	Programme "sectoremis"	31

1 | Introduction

La recherche dans le domaine de la pollution atmosphérique s'est développée depuis la 1ère révolution industrielle et plus particulièrement depuis le milieu du XXème siècle et la réelle prise de conscience de l'impact sur l'homme et son environnement de cette pollution ([*Halliday (1961)*] et [*Menut (2010)*]).

Le développement d'instruments de mesure sur le terrain et les études en laboratoire ont permis de mieux connaître les espèces chimiques, leurs origines, leurs réactions chimiques et leurs dispersions dans l'atmosphère, ainsi que leurs toxicologies pour l'homme, la faune et la flore. Les polluants peuvent être d'origine naturelle, biogénique ou anthropique. Les émissions anthropiques, qui sont à l'origine de l'augmentation de la pollution ces deux derniers siècles, sont principalement issus de l'industrie, de l'agriculture et du transport. Les polluants principaux, gazeux ou particuliers, émis par ces secteurs ou issus de réactions dans l'atmosphère, sont le monoxyde de carbone, l'ammoniac, l'ozone, les oxydes d'azote et de soufre, ainsi que les composés organiques volatils et les aérosols. Ils sont transportés dans la troposphère sur des échelles de l'ordre d'au plus quelques milliers de kilomètres selon la météorologie et sont éliminés de la troposphère par dépôt sec ou humide après quelques mois tout au plus. La pollution atmosphérique entraîne en particulier une augmentation des maladies respiratoires et cardiovasculaires chez l'homme, des problèmes environnementaux liés à la pollution des eaux induite et la dégradation des bâtiments.

L'enrichissement de la connaissance dans le domaine de la pollution atmosphérique permet de mieux cerner les risques pour l'homme et son milieu et les moyens d'atténuer ces risques. Le développement de modèles numériques grâce à l'avènement de l'informatique permet depuis quelques années de participer à cet accroissement des connaissances. Ces outils numériques permettent de modéliser les émissions, la chimie et le transport atmosphériques, ainsi que le dépôt des polluants. Ces modèles présentent l'intérêt de fournir des prévisions à court terme pour prévenir les risques et des simulations à plus long terme pour évaluer l'impact de scénarios de contrôle des émissions. Etant donné la chimie, le transport et les dépôts atmosphériques des espèces chimiques étudiées, l'échelle spatiale considérée dans ces modèles est l'échelle régionale de quelques milliers de kilomètres ou l'échelle urbaine de quelques centaines de kilomètres, et l'échelle temporelle considérée est l'échelle allant de quelques jours à quelques mois.

La qualité de la modélisation des concentrations des espèces chimiques dans l'atmosphère en un point donné à un instant donné dépend de la résolution du modèle en terme d'espèces chimiques, en terme spatial et en terme temporel, mais aussi de la précision des données d'émissions de polluants et des données météorologiques. Il est donc notamment nécessaire d'optimiser la modélisation des émissions anthropiques d'espèces chimiques pour améliorer la modélisation de la qualité de l'air. Dans l'Europe de l'ouest, les émissions anthropiques sont estimées en masses annuelles, alors que le modèle CHIMERE, développé au Laboratoire de Météorologie Dynamique, a actuellement une résolution temporelle inférieure à la minute. Le module d'émissions anthropiques doit donc calculer

des flux d'émissions à partir des masses annuelles. Pour calculer de manière réaliste les flux, il s'appuie sur des facteurs pondérateurs fonctions de différents déterminants (heure, jour et mois de l'année, localisation, espèce chimique, secteur d'activité émetteur). Les facteurs pondérateurs temporels utilisés actuellement pourraient être affinés pour projeter de manière plus réaliste les émissions, en particulier les facteurs horaires projetant les émissions d'une journée en émissions horaires qui ne dépendent pas de la localisation.

Dans la perspective d'optimisation des émissions anthropiques, les facteurs horaires, qui pondèrent les émissions sur les heures de la journée, peuvent être affinés pour les émissions de transport automobile. En effet, ils dépendent du jour de la semaine et du secteur d'activité, mais non d'un paramètre spatial. Or, ils peuvent être réévalués à partir de mesures horaires de concentrations d'espèces chimiques faites près des sources d'émission, pour le secteur du transport automobile qui offre de telles mesures. Les mesures faites dans les grandes villes européennes sur plusieurs mois permettent de calculer des facteurs horaires fonctions du jour de la semaine mais aussi d'un paramètre spatial.

Cette évaluation des facteurs horaires pour le transport automobile repose sur deux hypothèses. La 1ère hypothèse consiste à supposer que les variations de concentrations d'espèces chimiques mesurées près des sources sont représentatives des émissions des sources, ce qui est raisonnable en estimant que l'effet immédiat de chimie-transport est négligeable dans les fortes concentrations mesurées près des sources. La 2ème hypothèse consiste à supposer que les facteurs obtenus à partir des mesures d'une grande ville sont caractéristiques de toute la région alentour, ce qui est raisonnable en estimant que les variations des émissions dépendent fortement de l'activité de la région et que la dynamique socio-économique de la région considérée est relativement uniforme. Par ailleurs, les facteurs obtenus à partir des mesures sur une période sont représentatifs de la période étudiée mais par forcément d'autres périodes.

Le travail mené pendant le stage du master 2 porte sur l'optimisation des facteurs horaires pour le secteur du transport automobile. Le chapitre 2 présente le modèle de pollution atmosphérique, la modélisation des émissions anthropiques et les facteurs utilisés actuellement. Le chapitre 3 détaille la réévaluation des facteurs horaires pour le secteur du transport automobile. Le chapitre 4 étudie l'impact des nouveaux facteurs horaires sur les simulations d'émissions atmosphériques et de qualité de l'air.

2 | Modélisation des émissions anthropiques atmosphériques d'espèces chimiques

Dans le modèle de pollution atmosphérique CHIMERE, la modélisation des émissions anthropiques d'espèces chimiques permet de calculer les flux d'émissions anthropiques à partir des émissions estimées en masses annuelles. La modélisation s'appuie pour ce calcul sur des facteurs mensuels, journaliers et horaires pour pondérer les émissions de chaque mois, jour et heure. La description de la modélisation des émissions anthropiques est détaillée en annexe. La description détaillée de l'ensemble du modèle est accessible sur le site "<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere>" ([Bessagnet *et al.* (2009)]).

2.1 Modèle de pollution atmosphérique CHIMERE

L'ensemble du modèle de pollution atmosphérique se structure en plusieurs modules. Trois modules qui précèdent le coeur du modèle CHIMERE ont pour but de calculer les grandeurs météorologiques, les flux d'émissions et les conditions limites, nécessaires au modèle de chimie-transport. Le schéma Figure 2.1 présente la structure globale du modèle.

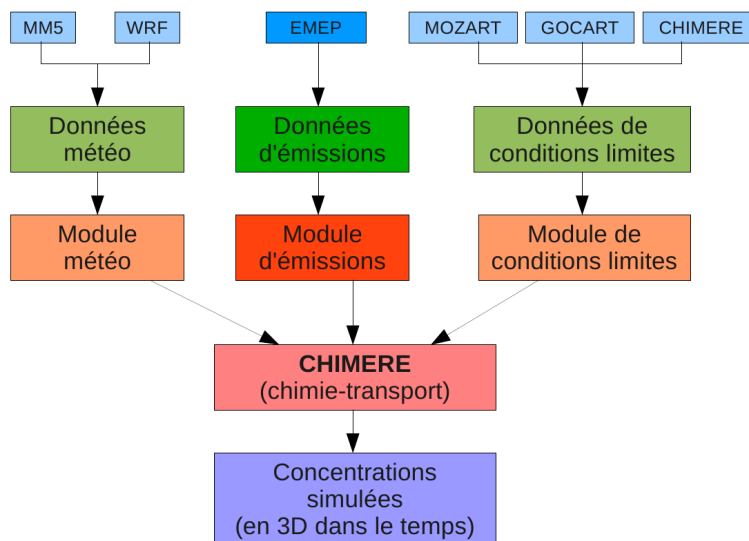


FIG. 2.1 – Schéma de la structure globale du modèle CHIMERE

2.1.1 Coeur du modèle CHIMERE

Le coeur de CHIMERE modélise la chimie et le transport d'espèces chimiques dans la troposphère. Le transport vertical, le transport horizontal et le mélange turbulent sous-maille par le vent sont modélisés. Le rôle des nuages est aussi pris en compte dans le transport. Pour la chimie des gaz, plus de 300 réactions et 80 espèces chimiques sont prises en compte. Pour la chimie des aérosols, la coagulation, l'absorption de gaz et la nucléation sont modélisées.

2.1.2 Module météorologique

Le coeur de CHIMERE ne modélise pas l'évolution de la météorologie. Les données météorologiques sur tout le domaine et toute la période de simulation doivent donc être fournies au modèle. Le module de météorologie calcule les paramètres nécessaires au modèle sur la grille CHIMERE (tels que la hauteur de la couche limite et la vitesse de rugosité), à partir de données météorologiques issues de modèles régionaux (tels que MM5 (Mesoscale Model 5), [Grell *et al.* (1994)] ou WRF (Weather Research and Forecasting)) ([W.C. *et al.* (2007); de Meij *et al.* (2009)]) ou globaux (tels que NCEP (National Centers for Environmental Prediction) ou ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasting)).

2.1.3 Module d'émissions

Le coeur de CHIMERE s'appuie sur un module d'émissions d'espèces chimiques pour modéliser certains flux entrants dans l'atmosphère. Ce module calcule les flux d'émissions anthropiques des "espèces modèle" CHIMERE sur la grille CHIMERE, à partir des données d'émissions en masses annuelles issues de la base européenne EMEP (European Monitoring and Evaluation Program, accessible sur le site <http://www.emep.int>). Les émissions biogéniques et naturelles, ainsi que les resuspensions, sont calculées automatiquement par le coeur du modèle, à l'aide de paramètres décrivant les sols et les surfaces. Notons pour les flux sortants de l'atmosphère que les dépôts secs ou humides d'espèces chimiques sont aussi calculés automatiquement par le coeur du modèle en fonction des conditions météorologiques.

2.1.4 Module de conditions limites

Le coeur de CHIMERE s'appuie sur un module fournissant les conditions limites pour les espèces chimiques. Les concentrations chimiques de début de simulation sont issues d'une simulation du modèle CHIMERE des jours précédents si une telle simulation est disponible, sinon elles sont interpolées à partir de modèles climatiques globaux (MOZART pour les gaz et GOCART pour les aérosols).

2.2 Module d'émissions anthropiques

Le module d'émissions anthropiques d'espèces chimiques calcule, pour l'Europe de l'ouest, les flux d'émissions anthropiques des "espèces modèle" CHIMERE sur la grille CHIMERE, à partir des données brutes d'émissions en masses annuelles issues de la base EMEP.

2.2.1 Données brutes d'émissions anthropiques

Les données brutes d'émissions anthropiques d'espèces chimiques de la base EMEP sont en masses annuelles par espèces chimiques agrégées et par secteurs d'activité, sur la grille EMEP.

Les espèces chimiques agrégées de la base EMEP sont : le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniac (NH_3), les composés organiques volatils hors méthane (NMVOC), les oxydes d'azote (NO_x , avec principalement le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO_2), les oxydes de soufre (SO_x , avec notamment le dioxyde de soufre SO_2), les aérosols ou particules, séparées en particules fines (PM2.5, de diamètre inférieur à $2,5\mu\text{m}$) et en particules épaisses (PMcoarse, de diamètre supérieur à $2,5\mu\text{m}$). La base LA (Laboratoire d'Aérodologie, accessible sur le site <http://www.aero.obs-mip.fr>) permet d'affiner les données des particules fines en les désagrégant en matières carbonées organiques (OCAR) et matières carbonées noires (BCAR). La base POPs (Polluants Organiques Persistants, accessible sur le site <http://www.msceast.org>) permet de compléter les données avec les émissions de benzo(a)pyrene (Bap), de benzo(k)fluoranthene (BkF) et de benzo(b)fluoranthene (BbF).

Les secteurs d'activité sur lesquels sont fournies les données brutes d'émissions anthropiques sont principalement les secteurs d'usines industrielles ou non, d'extraction de matières premières, d'agriculture, de transport automobile, d'utilisation de produits chimiques et de traitement des déchets.

La carte [Figure 2.2](#) représente la grille EMEP qui couvre la zone de l'Europe de l'ouest étudiée. Les émissions anthropiques sont données en masses annuelles pour chaque espèce chimique agrégée et chaque secteur d'activité, sur chaque maille de 50km de côté de la grille EMEP.

2.2.2 Flux d'émissions anthropiques

Les flux d'émissions anthropiques d'espèces chimiques sont introduits dans le modèle de chimie-transport par espèces chimiques agrégées plus finement, sur la grille CHIMERE.

Les espèces chimiques agrégées de CHIMERE sont : CO, NH_3 , NO, NO_2 , l'acide nitrique HONO, SO_2 , l'acide sulfurique H_2SO_4 , BCAR, OCAR, BaP, BkF, BbF, les particules fines et les particules épaisses, et une quinzaine de composés organiques volatils (comme le méthane, le toluène ou l'acétaldehyde).

La grille CHIMERE peut être définie en fonction du domaine que l'on souhaite étudier en Europe (région de l'Europe ou toute l'Europe). Elle divise la troposphère en mailles en trois dimensions. La carte [Figure 2.3](#) représente les limites de la grille GEMS la plus grande possible sur l'Europe avec les données météorologiques utilisées et les limites de la grille CONT5 sur l'Europe de l'ouest qui sera utilisé pour CHIMERE dans cette étude. La maille CONT5 est divisée en 3713 mailles horizontalement de 30km de côté (79 de l'ouest vers l'est fois 47 du sud vers le nord). Pour chaque maille horizontale, la troposphère est divisée en 15 couches verticalement, les premières étant plus fines pour mieux modéliser la basse troposphère, notamment la couche limite atmosphérique.

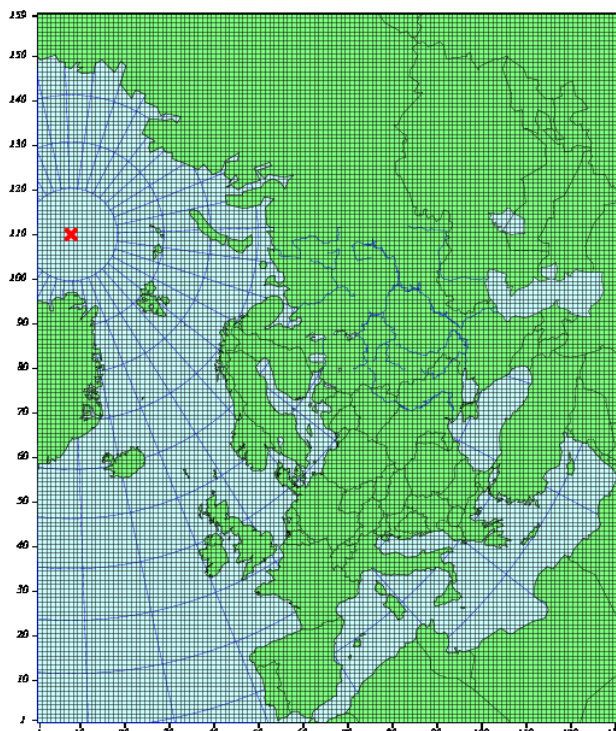


FIG. 2.2 – Grille EMEP sur la région européenne et alentours (source : <http://www.emep.int/>)

2.2.3 Calcul des flux d'émissions anthropiques à partir des données brutes

Le module dénommé "emi-surf" est un pré-processeur informatique développé pour CHIMERE. Il calcule les flux d'émissions anthropiques, à partir des données brutes de la base EMEP. Le schéma Figure 2.4 illustre le calcul du module "emi-surf" qui est détaillé en annexe.

Le module calcule des flux d'émissions des espèces CHIMERE en molécules par seconde par centimètre carré sur la grille CHIMERE, à partir des données d'émissions des espèces EMEP en tonnes par an sur la grille EMEP. Pour calculer des flux réalistes du point de vue des espèces chimiques, du point de vue spatial et du point de vue temporel, le module s'appuie sur un apport d'informations sous forme de facteurs pondérateurs pour distribuer les émissions par espèces, dans le temps et sur l'espace. Il désagrège et agrège les espèces EMEP en espèces CHIMERE en s'appuyant sur des facteurs d'agrégation, de désagrégation et de masses molaires, fonctions des secteurs. Il distribue les masses annuelles en flux par seconde en s'appuyant sur des facteurs mensuels, journaliers et horaires, pondérant les émissions respectivement sur chaque mois, jour et heure. Il projette les émissions de la grille EMEP en émissions de la grille CHIMERE en s'appuyant sur des facteurs spatiaux fonctions de paramètres décrivant les sols.

2.3 Facteurs temporels d'émissions

Les facteurs temporels ont pour but de distribuer de manière réaliste les émissions annuelles en flux d'émissions. Nous présentons ici les facteurs temporels qui sont actuellement utilisés dans le

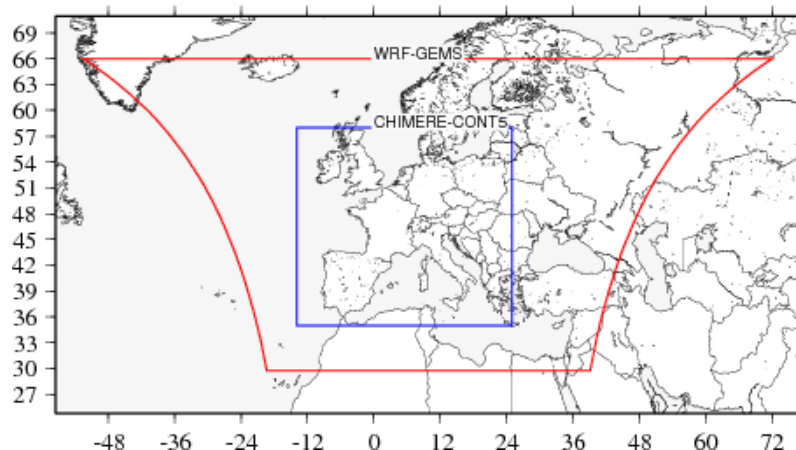


FIG. 2.3 – Limites de grilles CHIMERE sur l'Europe

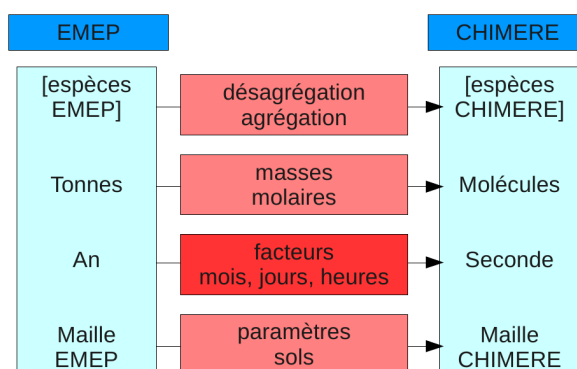


FIG. 2.4 – Schéma du calcul des flux d'émissions anthropiques pour CHIMERE à partir des données EMEP

modèle.

2.3.1 Facteurs mensuels et journaliers

Dans la version actuelle du modèle, les facteurs mensuels et journaliers sont fonctions de l'espèce chimique EMEP, du secteur d'activité et du pays. Les figures [Figure 2.5](#) et [Figure 2.6](#) représentent, pour le polluant NO₂ et pour le secteur du transport automobile, respectivement les facteurs mensuels et les facteurs journaliers, en fonction du pays considéré. Les courbes correspondent à la liste de pays suivante : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse. La somme des facteurs mensuels est égale à 12 et la somme des facteurs journaliers est égale à 7, chaque facteur représentant le pourcentage par rapport à la moyenne sur les 12 mois de l'année et à la moyenne sur les 7 jours de la semaine, respectivement pour chacun des cas.

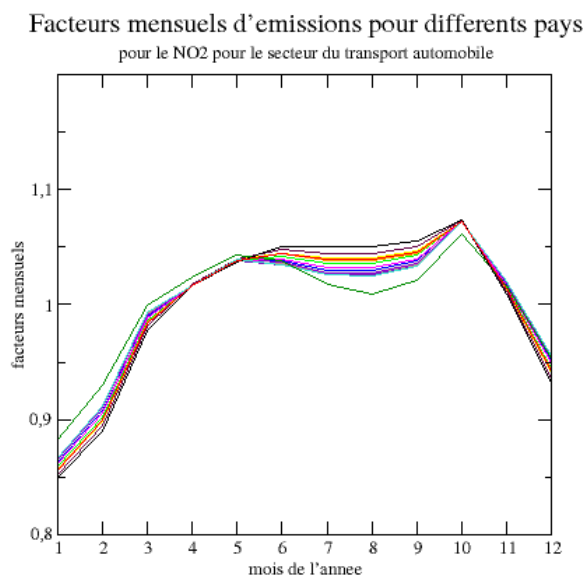


FIG. 2.5 – Facteurs mensuels d'émission du NO₂ pour le transport automobile

2.3.2 Facteurs horaires

Dans la version de base du modèle, les facteurs horaires sont fonctions du secteur d'activité et du jour de la semaine. Ils ne dépendent pas en particulier du pays et sont les mêmes pour toute l'Europe. La figure [Figure 2.7](#) représente les facteurs horaires (en temps local comme le nécessite le module d'émissions) en fonction du secteur d'activité, pour un des cinq premiers jours de la semaine (les deux jours du week-end ont un profil différent). Ces facteurs horaires ont des profils estimés différents selon le secteur d'activité : profil plat si l'on estime que les émissions sont les mêmes à toute heure de la journée (pour les secteurs des énergies fossiles et des déchets), profil à pic diurne si l'on estime que les émissions sont plus importantes pendant les heures de jour (pour les secteurs des industries de manufacture, des solvants et de l'agriculture) et profil à double pic diurne si l'on estime que les émissions sont plus importantes aux heures de pointe du matin et du soir (pour les secteurs des usines non industrielles et du transport automobile).

Les facteurs horaires d'émissions ne dépendent pas dans la version de base d'un paramètre spatial à la différence des facteurs mensuels et journaliers. Or on peut supposer que les variations horaires d'émissions dépendent de l'activité de la région considérée. Les facteurs horaires peuvent être réévalués à partir de mesures horaires de concentrations d'espèces chimiques faites près des sources d'émission. Le seul secteur d'activité qui offre de telles mesures est le transport automobile avec de nombreuses mesures faites dans les grandes villes européennes depuis de nombreuses années. Ces mesures permettent donc de calculer, pour ce secteur, des facteurs horaires fonctions du jour de la semaine mais aussi d'un paramètre spatial. Les facteurs horaires de la version de base du modèle pour le secteur du transport automobile ont d'ailleurs été calculés à partir de mesures effectuées sur quelques mois mais près d'une seule source de transport automobile en région parisienne.

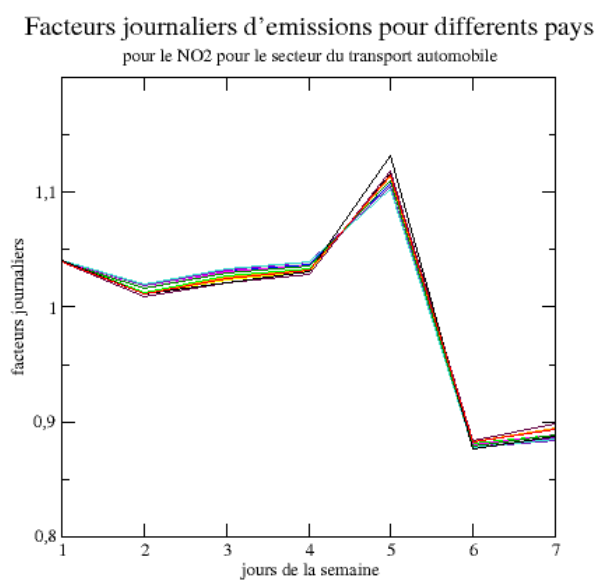


FIG. 2.6 – Facteurs journaliers d'émission du NO₂ pour le transport automobile

Facteurs horaires d'émissions pour différents secteurs
pour un des 5 premiers jours de la semaine

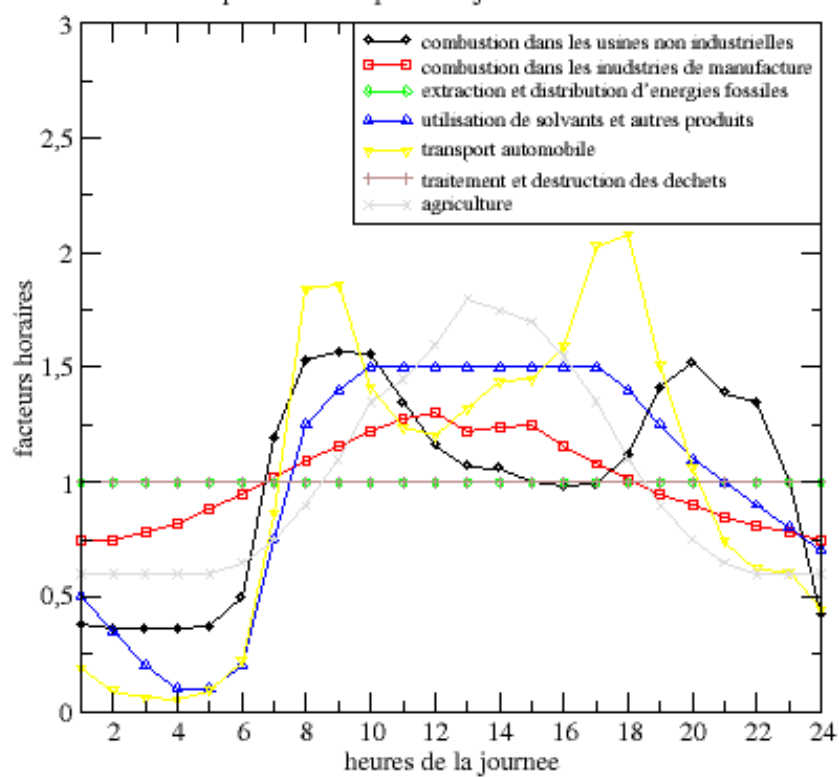


FIG. 2.7 – Facteurs horaires d'émission pour différents secteurs

3 | Optimisation des facteurs horaires d'émissions du transport automobile

Dans la modélisation des émissions, les facteurs horaires, fonctions actuellement du jour de la semaine et du secteur d'activité, permettent de distribuer les émissions d'une journée sur chaque heure de la journée. Ces facteurs peuvent être réévalués pour le transport automobile à partir de mesures de concentrations faites sur plusieurs mois près des sources d'émissions dans les grandes villes d'Europe. Trois méthodes de calcul de ces facteurs sont définies. Les nouveaux facteurs calculés pour le transport automobile dépendront du jour de la semaine et de la région considérée en Europe.

3.1 Hypothèses de travail

L'évaluation des facteurs horaires repose sur deux hypothèses. La 1ère hypothèse est que les variations de concentrations mesurées près d'une source d'émission est représentative des émissions de cette source. Cette hypothèse est raisonnable en estimant que l'effet immédiat de chimie-transport est négligeable dans les concentrations mesurées près des sources. La 2ème hypothèse est que les facteurs calculés à partir des mesures d'une ville sont caractéristiques de toute la région alentour. Cette hypothèse est raisonnable en estimant que les variations des émissions dépendent fortement de l'activité de la région et que la dynamique socio-économique de la région considérée est relativement uniforme. Par ailleurs, les facteurs obtenus à partir des mesures sur une période sont représentatifs de la période étudiée mais par forcément d'autres périodes.

3.2 Mesures utilisées pour calculer les facteurs horaires

Les facteurs horaires d'émissions pour le secteur du transport automobile sont réévalués à partir de mesures de concentrations faites sur une année près des sources d'émissions dans les grandes villes européennes qui offrent de telles mesures. Les mesures utilisées pour l'évaluation des facteurs sont issues de la base AIRBASE (base de données regroupant les mesures de concentrations atmosphériques d'espèces chimiques, issues de stations en Europe ; [[AIRBASE \(2010\)](#)]).

3.2.1 Espèce chimique étudiée

Le dioxyde d'azote NO_2 est une espèce chimique fortement émise par le secteur du transport automobile. De nombreuses stations de mesures installées près des sources d'émissions du trafic mesurent les concentrations de cette espèce chimique. Dans la base Airbase, les données disponibles pour le dioxyde d'azote sont beaucoup plus importantes que celles pour les espèces telles que le dioxyde de soufre SO_2 , les particules fines PM_{25} ou épaisses PM_{10} aussi émises par le trafic. Les données utilisées seront donc des mesures de concentration de NO_2 .

3.2.2 Sites étudiés

Les grandes villes européennes choisies à priori pour les mesures de concentrations près des sources de trafic sont au nombre de 26 et sont placées sur la carte [Figure 3.1](#) en fonction de leur latitude et de leur longitude : Lisbonne, Madrid, Barcelone, Londres, Manchester, Dublin, Paris, Lyon, Genève, Rome, Milan, Naples, Berlin, Munich, Cologne, Bruxelles, Amsterdam, Athènes, Istanbul, Vienne, Budapest, Varsovie, Copenhague, Oslo, Stockholm, Helsinki.

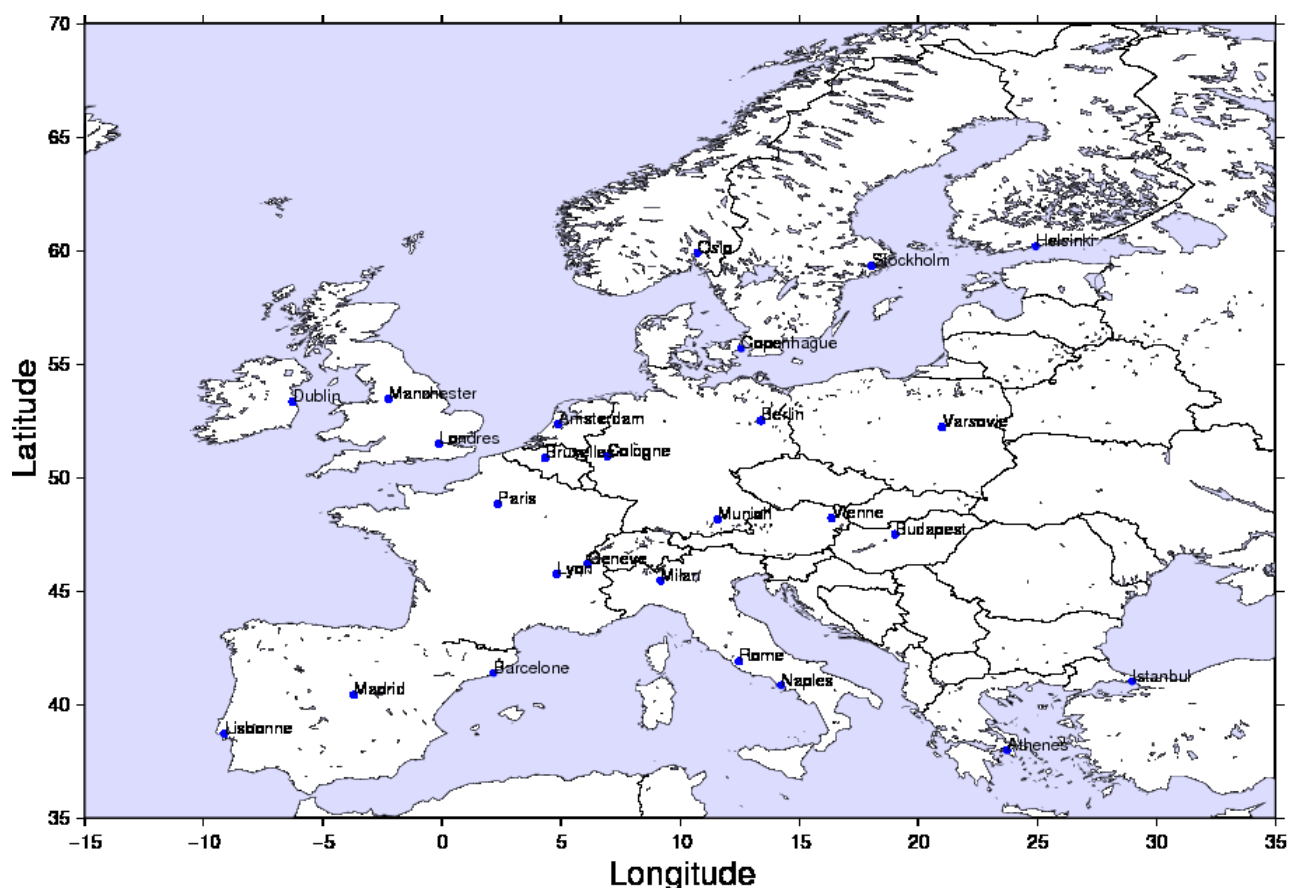


FIG. 3.1 – *Villes d'Europe étudiées*

Dans la base AirBase, les stations trafic sont sélectionnées parmi les stations trafic, fond et industrie dans un domaine de 0,60 degré de latitude et de 0,80 degré de longitude autour du centre des villes. Le nombre de stations disponibles pour la période étudiée est indiqué pour chaque ville sur le graphe [Figure 3.2](#). Le nombre de stations ne dépasse pas la quinzaine par ville et peut être assez faible en particulier pour les pays de l'est ou du nord de l'Europe. Pour les villes ayant très peu de stations de mesures (voir aucune station pour Istanbul), le risque est d'avoir des stations de mesures placées près de sources de trafic non représentatives du trafic de la ville.

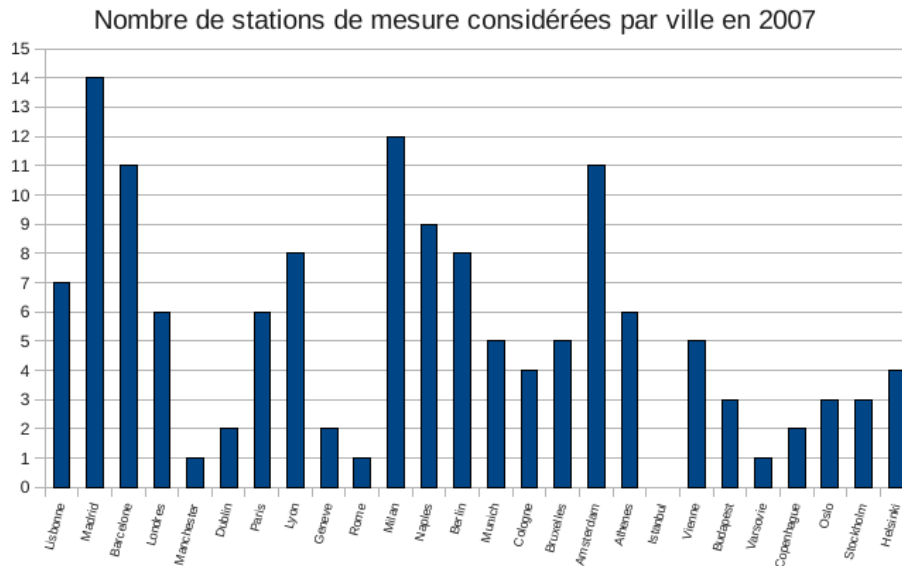


FIG. 3.2 – Nombre de stations de mesures considérées pour le NO₂ près des sources de trafic

3.2.3 Année étudiée

Pour les stations sélectionnées, les mesures sur toute l'année 2007 sont choisies pour le calcul des facteurs, pour obtenir des facteurs représentatifs de cette année sur laquelle on effectuera des simulations avec CHIMERE. Les mesures sur une journée d'une station ne peuvent être utilisées que si toutes les mesures de la journée sont "valides", c'est-à-dire ayant un coefficient 1 (et non 0) dans la base Airbase validant la mesure. Le nombre moyen de jours valides sur l'année pour une station est indiqué pour chaque ville sur le graphe Figure 3.3. Le nombre moyen de jours valides est relativement proche du nombre de jours dans l'année pour la plupart des villes, mais peut descendre à moins de cent jours pour quelques villes. Pour les villes ayant un nombre moyen de jours valides par station bien inférieur à 365, le risque est d'avoir des séries de mesures non représentatives de l'ensemble des jours d'une année.

3.3 Méthodes de calcul des facteurs horaires

Les méthodes décrites ici consistent à calculer des facteurs horaires d'émissions du trafic (en fonction du jour de la semaine et de la ville considérée), à partir de concentrations près des sources de trafic. Ces méthodes d'évaluation supposent de s'appuyer sur la 1ère hypothèse qui consiste à supposer que les variations diurnes de concentrations d'espèces chimiques mesurées près des sources sont représentatives des émissions des sources.

3.3.1 Moyenne des mesures horaires sur les stations pour chaque ville

Pour chaque jour de l'année 2007 et chaque ville, on moyenne les mesures valides (données en temps universel en principe) sur toutes les stations de la ville, de manière à avoir un profil moyen dans l'agglomération des concentrations horaires de NO₂ près des sources de trafic. De plus, les

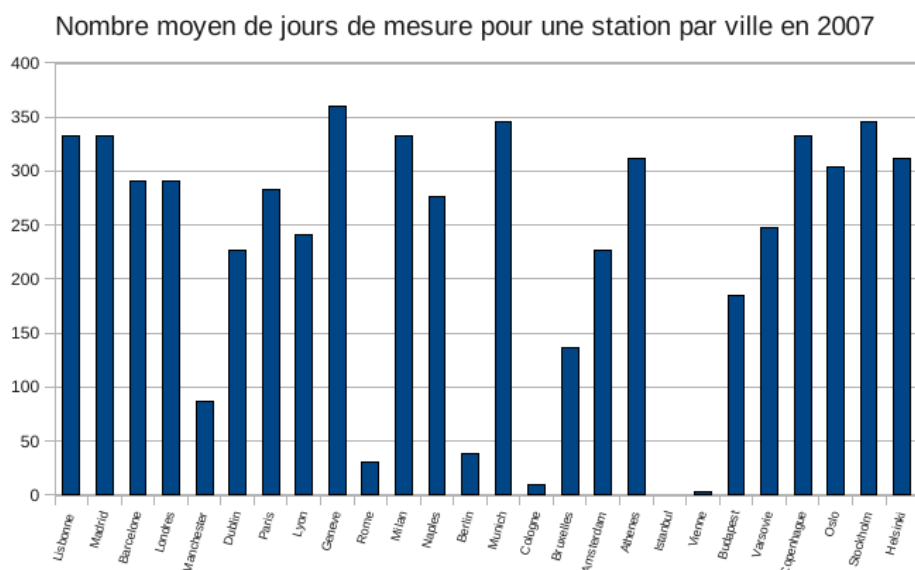


FIG. 3.3 – Nombre moyen de jours de mesures valides pour une station pour le NO_2 près des sources de trafic

mesures de chaque jour de l'année données en heure universelle sont passées en heure locale car les facteurs horaires doivent être estimés en heure locale dans le module d'émissions.

3.3.2 Méthodologies d'identification des contributions de la pollution de fond

Les mesures utilisées, qui sont des concentrations de NO_2 près des sources d'émissions du trafic, ne distinguent pas la pollution liée aux émissions du trafic de la pollution de fond qui n'est pas liée au trafic. La concentration de NO_2 près des sources d'émissions du trafic sur une journée est tracée en rouge sur le schéma Figure 3.4. Pour le calcul des facteurs horaires, il faudrait retirer en toute rigueur la pollution de fond pour bien estimer le poids de chaque heure dans les émissions du trafic. Cependant il est difficile d'estimer la part de la pollution de fond qui n'est pas liée au trafic. On peut assimiler cette part à trois concentrations différentes, "min", "zéro" et "fond" tracées sur le graphe Figure 3.4. La concentration "min" correspond au minimum de la concentration près des sources de trafic pendant la journée. La concentration "zéro" correspond à une concentration nulle. La concentration "fond" correspond à la concentration mesurée dans les stations de fond de la ville.

Les trois concentrations permettent de calculer les facteurs horaires par trois méthodes différentes "min", "zéro" et "fond", en soustrayant à la concentration près des sources de trafic respectivement les concentrations "min", "zéro" et "fond". La méthode "fond" est la plus ambitieuse. En effet, la concentration "fond" cherche à estimer précisément la part qui n'est pas due au trafic, alors que la concentration "min" englobe la pollution liée au trafic minimal et la concentration "zéro" néglige la pollution de fond non liée au trafic. Cela étant dit, les mesures issues des stations de fond ne sont pas forcément complètement représentatives de la pollution de fond non liée au trafic. De plus de telles mesures n'étant pas forcément disponibles en quantité importante, elles peuvent réduire la représentativité des facteurs horaires. Par conséquent, il n'est pas du tout sûr que les résultats

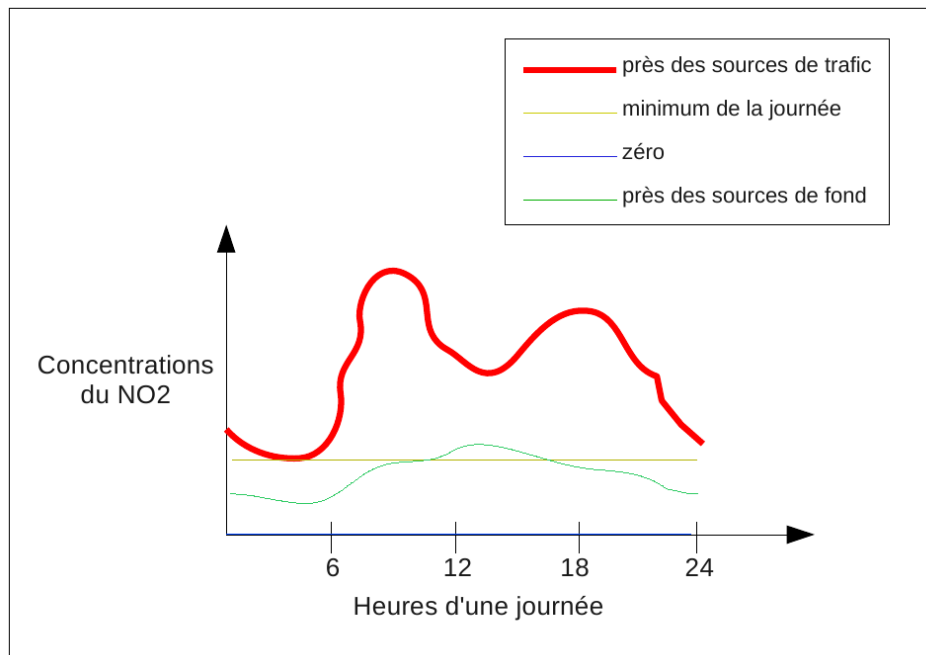


FIG. 3.4 – Concentrations de NO₂ utilisées pour estimer la part de pollution qui est liée aux émissions du trafic

soient meilleurs avec la méthode "fond".

3.3.3 Moyenne des facteurs horaires sur les jours de semaine identiques de l'année

Pour chaque jour de l'année et chaque ville, des facteurs horaires adimensionnés et de moyenne égale à 1 sur la journée sont calculés à partir des concentrations obtenues par l'une des trois méthodes. Cette normalisation permet notamment d'enlever les différences de poids des jours de l'année déjà pris en compte par les facteurs mensuels et journaliers. Les facteurs horaires sont ensuite moyennés sur les jours de semaine identiques de l'année, pour chaque ville. Les facteurs calculés pour le transport automobile sont ainsi fonctions du jour de la semaine et de la ville considérée (en temps local comme le nécessite le module d'émissions).

3.4 Choix des facteurs horaires pour les régions en Europe

Après avoir calculé les facteurs horaires pour chaque ville, il est nécessaire de déterminer les régions sur lesquelles les facteurs de chaque ville seront appliqués de manière à avoir des facteurs horaires pour chaque région en Europe qui peut être étudiée avec le modèle.

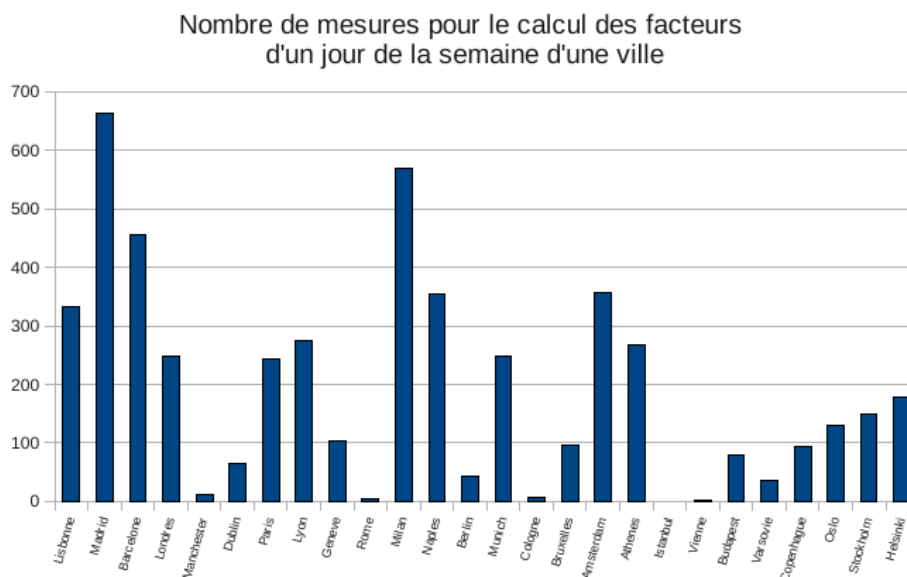


FIG. 3.5 – Nombre de séries de mesures pour le calcul des facteurs d'un jour de la semaine pour chaque ville

3.4.1 Elimination des villes avec des facteurs non représentatifs

Pour conserver les facteurs d'une ville, il faut qu'ils soient statistiquement représentatifs d'un jour quelconque de l'année pour la ville considérée et donc qu'ils soient calculés à partir de suffisamment de jours et de stations de mesures. Le graphe [Figure 3.5](#) représente le nombre de séries de mesures (nombre de jours fois nombre de stations) utilisés pour calculer les facteurs d'une ville pour un jour de la semaine. Il donne une idée des villes qui risquent de ne pas avoir des facteurs statistiquement représentatifs (Manchester, Rome, Cologne, Istanbul, Vienne... ; Istanbul n'ayant aucune série de mesures est forcément éliminée), même s'il ne donne pas la limite.

Pour fixer la limite des villes à éliminer, on regarde les facteurs horaires pour un jour de la semaine pour les villes ayant plutôt peu de mesures (Manchester, Dublin, Rome, Berlin, Cologne, Bruxelles, Vienne, Budapest, Varsovie, Copenhague). Un critère pour éliminer les villes n'ayant pas suffisamment de mesures est l'aspect plus ou moins lissé des profils des facteurs horaires. En effet, plus de mesures seront utilisées pour calculer les facteurs d'une ville, plus le profil des facteurs sera lissé. Avec ce critère, on peut sélectionner les villes avec suffisamment de séries de mesures (plus de 30-40) [Figure 3.6](#) et éliminer les villes avec trop peu de séries mesures (moins de 30-40) [Figure 3.7](#). Les facteurs qu'on élimine d'ores et déjà sont ceux issus des villes de Manchester, Rome, Cologne, Berlin, Vienne et Istanbul.

Notons que la restriction des villes devrait être plus forte si on considère les facteurs calculés avec la méthode "fond". En effet le nombre de mesures valides est plus faible pour cette méthode car il faut que les mesures près des sources de trafic soient valides ainsi que les mesures de fond de la ville.

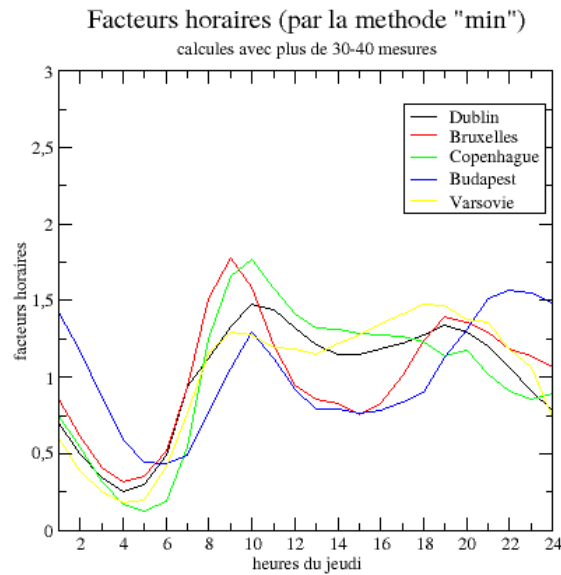


FIG. 3.6 – Quelques villes ayant suffisamment de séries de mesures (plus de 30-40)

3.4.2 Détermination des régions et de leurs facteurs

Pour déterminer les facteurs horaires d'émissions du trafic en chaque point en Europe, il faut définir les régions sur lesquelles les facteurs des villes retenues vont s'appliquer. Cette détermination des régions suppose de s'appuyer sur la 2ème hypothèse de travail qui consiste à supposer que les facteurs obtenus à partir des mesures d'une grande ville sont caractéristiques de toute la région alentour.

Pour définir ces régions, il est légitime de supposer que l'activité en particulier en terme de trafic est plus semblable entre deux régions d'un même pays que deux régions de pays différents. On dispose de zéro, une ou deux villes par pays qui fournissent des facteurs statistiquement représentatifs de la ville considérée. La [Figure 3.8](#) montre que les facteurs pour les villes d'un même pays sont proches relativement aux autres pays : les facteurs de Madrid et de Barcelone, de Paris et de Lyon, de Milan et de Naples sont à deux à deux plus semblables. Ce graphe appuie par ailleurs notre 2ème hypothèse de travail.

Pour les pays qui ont plusieurs villes ayant fourni des facteurs intéressants, on ne conserve alors que les facteurs d'une ville pour tout le pays, à priori la plus représentative de l'activité du pays, car il est difficile d'estimer quels facteurs sont plus représentatifs pour quelles régions du pays. Pour les trois pays concernés, on choisit Madrid, Paris, Milan. Pour les pays qui ont une seule ville ayant fourni des facteurs intéressants, on considère ces facteurs pour tout le pays. Pour les pays qui n'ont aucune ville ayant fourni des facteurs intéressants, il est légitime de considérer que les facteurs les plus représentatifs sont ceux de la ville étrangère la plus proche fournissant des facteurs tout en considérant la proximité politique et économique des pays qui a un impact sur l'activité et donc le trafic.

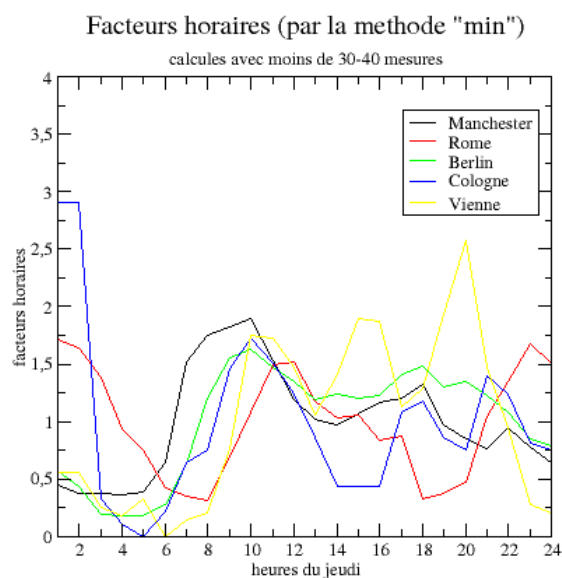


FIG. 3.7 – Les villes ayant trop peu de séries de mesures (moins de 30-40)

3.4.3 Carte d'Europe des régions avec les villes fournissant leurs facteurs

La carte de l'Europe [Figure 3.9](#) représente les 17 régions déterminées avec les 17 villes qui fournissent leurs facteurs horaires aux régions. Il est à noter que pour les régions couvrant les eaux et donc les émissions des bateaux, des facteurs horaires égaux à 1 sur toute la journée sont attribués.

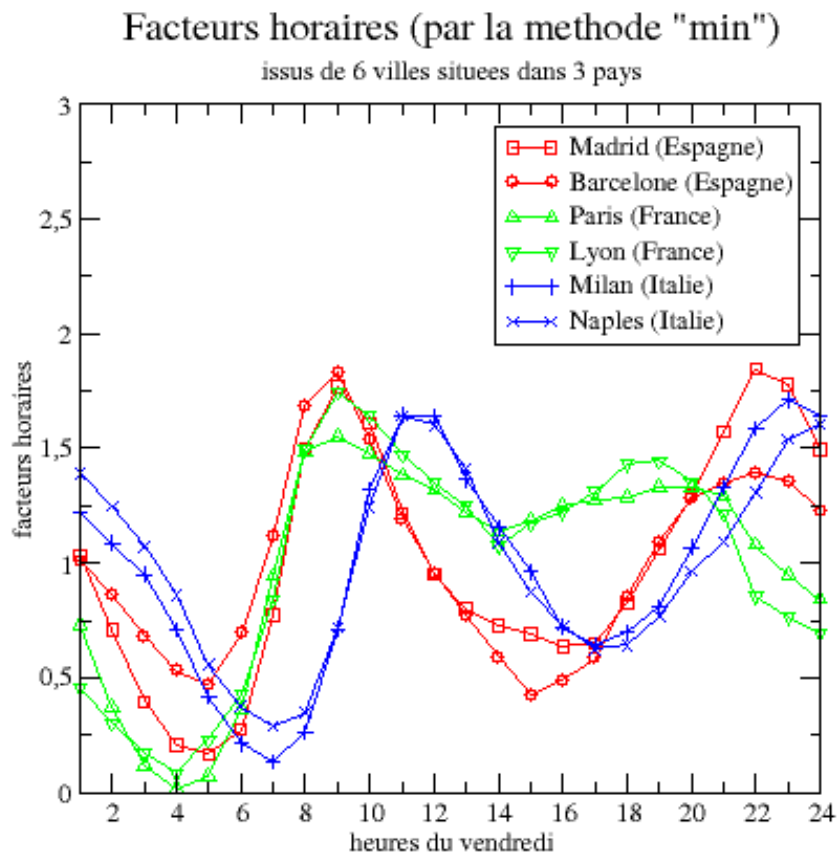


FIG. 3.8 – Facteurs horaires pour 6 villes dans 3 pays

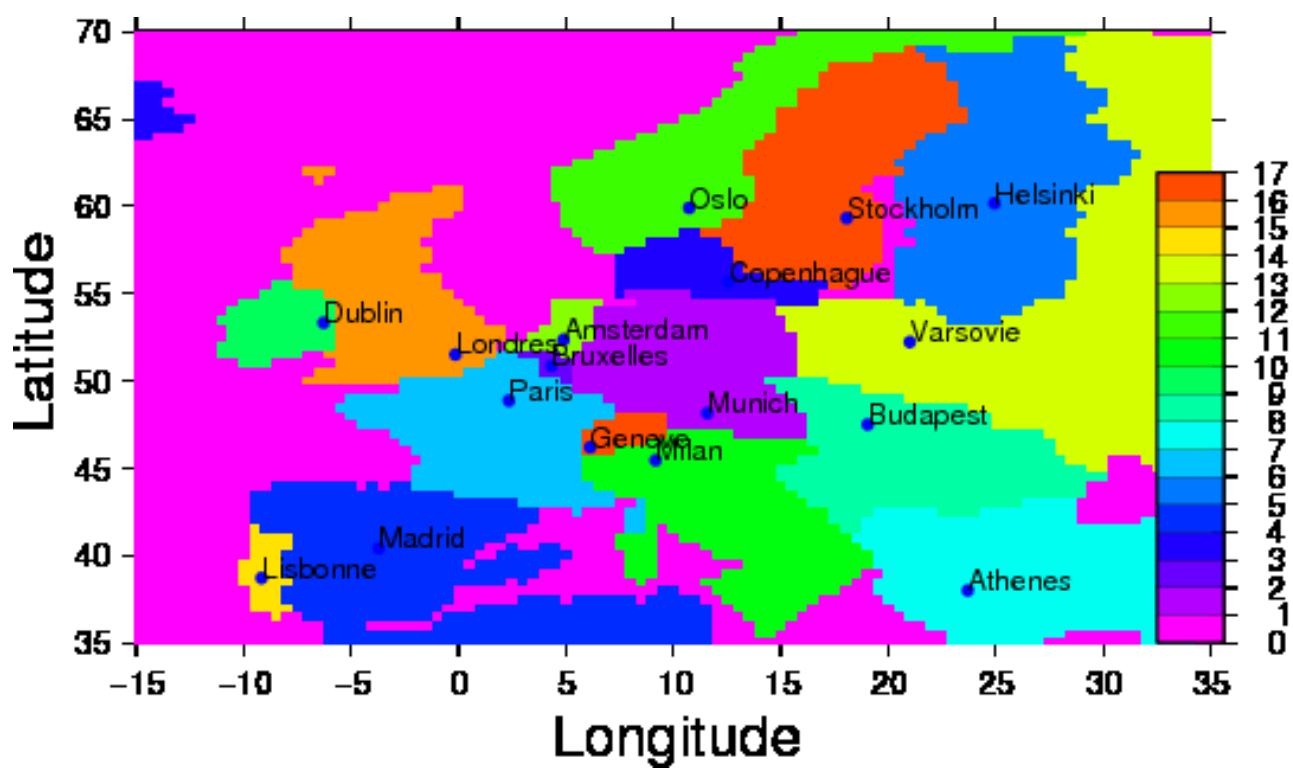


FIG. 3.9 – Dépendance spatiale des facteurs horaires

4 | Analyse des facteurs horaires d'émissions optimisés du transport automobile

Les facteurs horaires d'émissions du transport automobile réévalués en fonction d'un paramètre spatial peuvent être analysés en comparaison des facteurs de la version de base du modèle avant optimisation. Les émissions simulées par le module d'émissions anthropiques dépendent alors des facteurs utilisés. Cette différence d'émissions a un impact sur les concentrations simulées par le modèle de chimie-transport, qui peuvent être analysées en comparaison avec les concentrations mesurées dans les stations de fond des régions urbaines étudiées.

4.1 Facteurs horaires d'émissions du transport automobile

4.1.1 Facteurs horaires de la version de base du modèle avant optimisation

Les facteurs horaires de la version de base du modèle pour le transport automobile présentés sur le graphe [Figure 4.1\(a\)](#) sont fonctions du jour de la semaine et sont les mêmes pour toute l'Europe. Les facteurs des cinq premiers jours de la semaine ont un profil à double pic diurne avec des pics aux heures de pointe atteignant un poids supérieur à 2 et des décroissances nocturne à presque 0 et diurne à 1,2. Les facteurs des jours de week-end ont un profil à un seul pic diurne atteignant presque 1,5, avec une décroissance nocturne à 0,5 ; le pic est plus tôt le samedi que le dimanche probablement en raison des départs et retours de week-end.

4.1.2 Facteurs horaires optimisés, fonctions de la méthode de calcul

Les facteurs horaires ont été réévalués pour le transport automobile en fonction d'un paramètre spatial en plus du paramètre jour de la semaine selon trois méthodes différentes. Ils sont présentés pour les trois méthodes "min", "zéro" et "fond" respectivement sur les graphes [Figure 4.1\(b\)](#), [Figure 4.2\(a\)](#) et [Figure 4.2\(b\)](#) pour un jour de la semaine (en l'occurrence le mardi). Sur chacun des graphes, les 17 courbes représentent les facteurs horaires des 17 régions définies précédemment à partir des 17 villes suivantes : Lisbonne, Madrid, Londres, Dublin, Paris, Genève, Milan, Munich, Bruxelles, Amsterdam, Athènes, Budapest, Varsovie, Copenhague, Oslo, Stockholm, Helsinki.

De manière générale, le profil à double pic diurne caractéristique du trafic journalier apparaît plus ou moins clairement sur les trois graphes. Par la méthode "min", le profil à double pic apparaît clairement car la concentration minimale de la journée a été retirée et les variations des facteurs sont donc particulièrement importantes au cours de la journée (proches de 0 vers 5H00 du matin et proches de 2 vers 10H00). La dispersion entre les régions se fait au niveau de la décroissance des facteurs la nuit (dispersion de 5 heures) et de la croissance des facteurs le matin (dispersion de 3 heures), ainsi qu'au niveau des valeurs minimale (entre 0,1 et 0,4), maximale (entre 1,3 et 1,9) et du creux de la mi-journée (entre 0,5 et 1,5). Le profil des facteurs obtenus par cette méthode est le plus proche du profil des facteurs de la version de base du modèle. Par la méthode "zéro", les variations sont moins marquées (de 0,5 à 1,5) car les concentrations mesurées ont été utilisées telles quelles pour le calcul des facteurs. La dispersion entre les régions est du même type. Par contre,

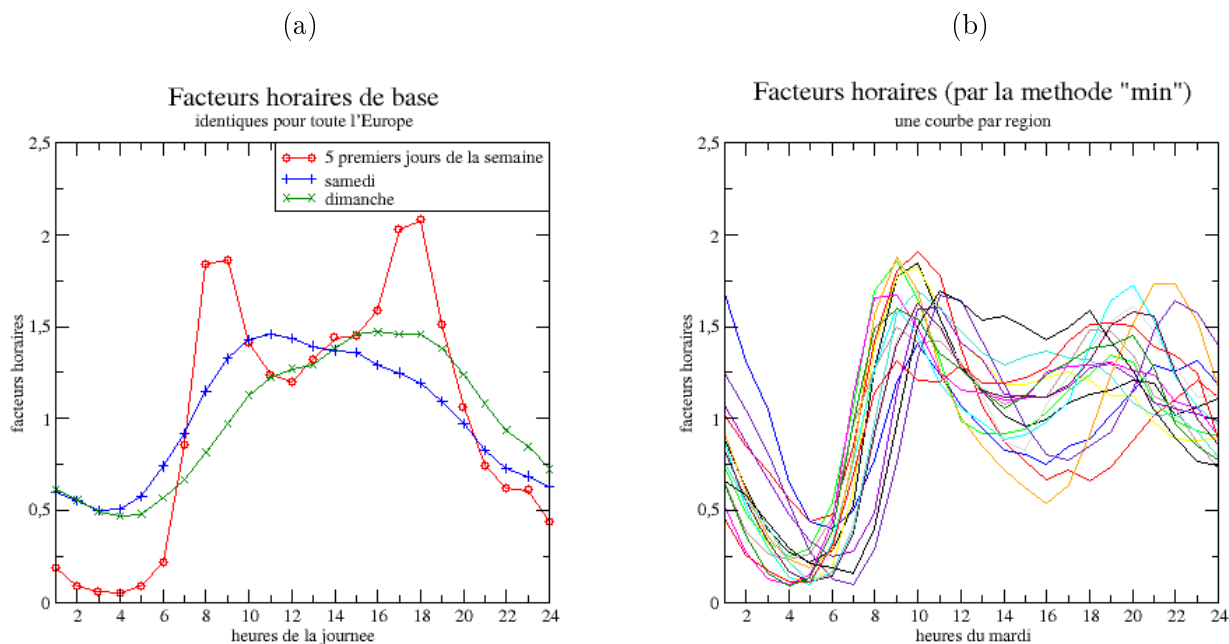


FIG. 4.1 – (a) Facteurs horaires d'émission du transport automobile ; (b) Facteurs horaires du mardi pour les régions/villes considérées, par la méthode "min"

par la méthode "fond", la dispersion est beaucoup plus forte avec certains facteurs obtenus qui ne sont pas lissés comme ceux issus de Budapest (en bleu), Stockholm (en noir) et Dublin (en marron). Ceci est dû au fait que la quantité de mesures utilisées pour cette méthode est moins grande car les mesures de trafic ainsi que les mesures de fond doivent être valides ; il aurait donc fallu éliminer ces quelques villes supplémentaires pour cette méthode.

4.2 Emissions simulées selon les facteurs utilisés

Le module d'émissions anthropiques permet de simuler des émissions qui dépendront notamment du choix des facteurs pour le transport automobile. C'est particulièrement le cas pour le dioxyde d'azote qui est fortement émis par le trafic. Les émissions sont simulées en Europe sur l'année 2007 (sur laquelle les facteurs optimisés ont été calculés) respectivement avec les facteurs "base", "fond", "min" et "zéro". Les résultats sont illustrés par les émissions obtenues un lundi d'août de l'année pour chacune des trois villes Paris, Madrid et Munich, sur la [Figure 4.3](#). Les quatre courbes sur chaque graphe représentent les émissions de NO_2 simulées avec chacun des quatre facteurs "base", "fond", "min", "zéro". De manière générale, les émissions de NO_2 simulées avec les facteurs optimisés "fond", "min" et "zéro" sont beaucoup plus proches les unes des autres que des émissions simulées avec les facteurs de base.

On note en particulier que, quelque soit la ville et le jour de l'année considérés, les pics d'émissions du matin et du soir liés aux heures de pointe du trafic sont systématiquement plus tôt avec les facteurs de base qu'avec les facteurs optimisés. Les pics d'émissions des 3 villes simulées

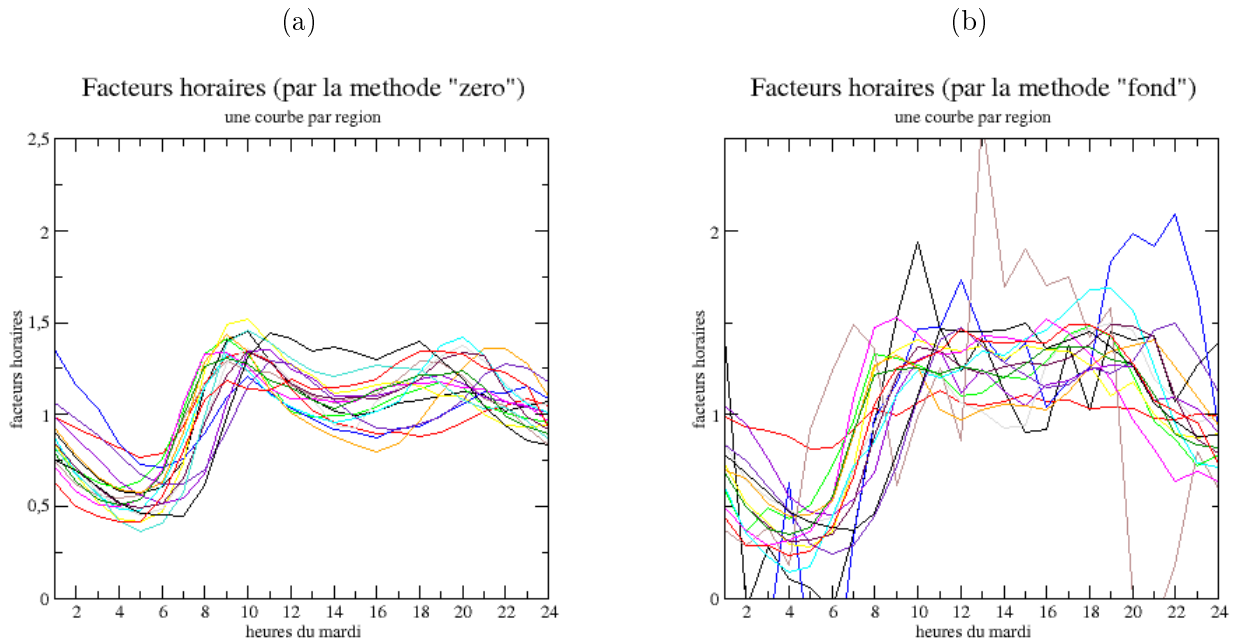


FIG. 4.2 – (a) Facteurs horaires du mardi pour les régions/villes considérées, par la méthode "zero"; (b) Facteurs horaires du mardi pour les régions/villes considérées, par la méthode "fond"

avec les facteurs de base sont décalés de deux heures plus tôt pour les trois villes considérées ce lundi d'août 2007 car les émissions sont calculés en temps universel à partir des facteurs en temps local. Ce passage des émissions en temps universel à partir des facteurs en temps local n'a pas été fait dans la modification du modèle de base, ce qui explique ce décalage important des pics de zéro à trois heures selon la ville en Europe et la période de l'année considérées. Cette rectification n'est pas compliquée à faire mais les simulations prennent du temps, ce qui explique que les résultats corrigés ne puissent pas être présentés ici. Cela dit, il restera une dispersion des villes européennes pour les heures de pics des émissions calculées avec les facteurs optimisés et le modèle corrigé.

Malgré cette erreur, d'autres remarques peuvent être faites qui resteront valables après correction. Le pic du soir est plus élevé que le matin pour les facteurs de base, ce qui n'est pas le cas avec les facteurs optimisés avec lesquels les pics du soir sont plus faibles (Madrid), voire beaucoup plus faibles (Paris), voire inexistants (Munich). De plus, les variations des émissions au cours de la journée sont plus importantes avec les facteurs de base qu'avec les facteurs optimisés, même avec les facteurs "min" qui donnent des variations plus importantes que les facteurs "zéro" et "fond". Avec les facteurs optimisés, les émissions sont mieux réparties au cours de la journée et en particulier les émissions en fin de soirée et la nuit sont plus importantes avec les facteurs optimisés qu'avec les facteurs de base.

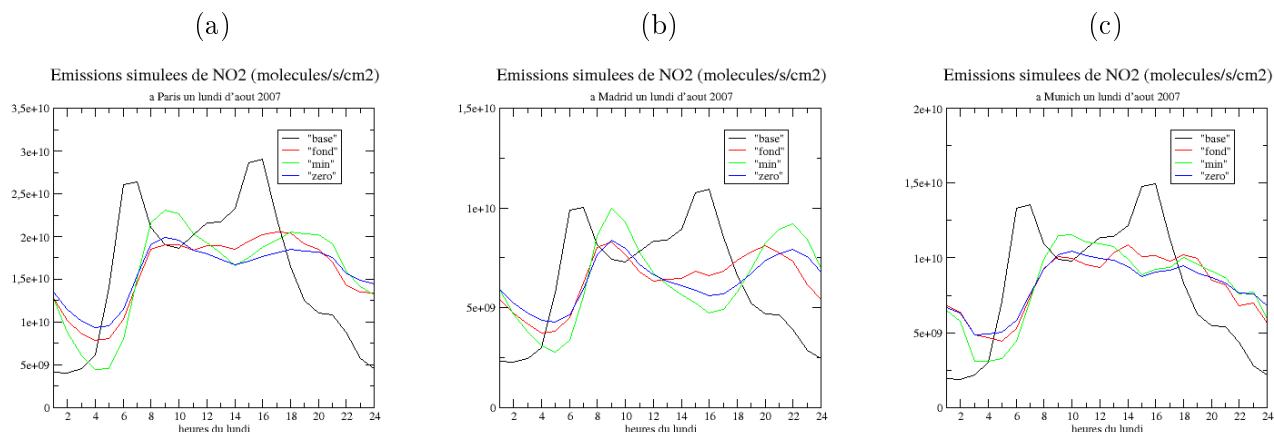


FIG. 4.3 – *Emissions simulées un lundi d'août 2007 à Paris (a), Madrid (b) et Munich (c), fonctions des facteurs choisis*

4.3 Concentrations simulées avec le modèle CHIMERE de chimie-transport

Le modèle CHIMERE de chimie-transport permet de simuler les évolutions au cours du temps des concentrations des espèces chimiques dans la troposphère en Europe. Les évolutions des concentrations sont simulées quatre fois sur une période couvrant les mois de juillet et août 2007 sur toute l'Europe, en s'appuyant sur les émissions d'espèces chimiques simulées avec les quatre facteurs différents "base", "min", "zéro" et "fond" (avec un oubli de passage en temps universel pour les émissions calculées avec les facteurs optimisés "min", "zéro" et "fond"). Dans ces quatre cas, les émissions du transport automobile sont différentes et donc en particulier les émissions d'oxydes d'azote. Comme les émissions d'oxydes d'azote ont un impact important sur les concentrations d'ozone O_3 via l'équilibre photochimique [Figure 4.4](#), les différences de concentrations simulées [Figure 4.5](#) un jour de l'été dans la région parisienne où se trouve le panache illustrent l'impact des différences principales notées entre les émissions. Les concentrations mesurées d'ozone dans les stations de fond de la région parisienne ce jour là sont présentées sur le graphe [Figure 4.6](#).

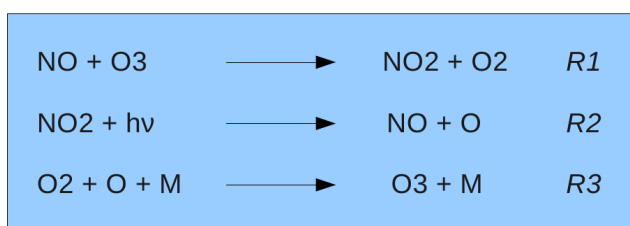


FIG. 4.4 – *Equilibre photochimique entre les oxydes d'azote et l'ozone*

Avec les réactions 2 et 3 de l'équilibre photochimique, on a une formation d'ozone en présence de rayonnement lumineux intense à partir des émissions de dioxyde d'azote du transport automobile.

Avec la réaction 1 de l'équilibre photochimique, on a une consommation de l'ozone en l'absence d'un rayonnement lumineux intense à partir des émissions d'oxyde d'azote du transport automobile.

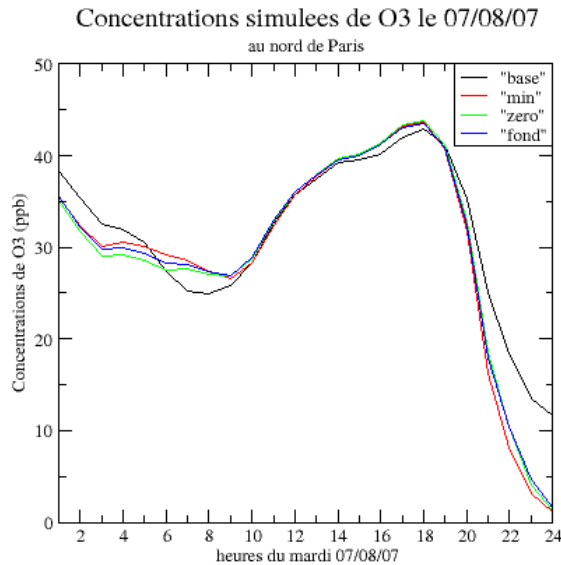


FIG. 4.5 – Concentrations simulées d'ozone au nord de Paris le mardi 07/08/07

L'oubli fait sur le passage du temps local au temps universel pour les émissions simulées avec les facteurs optimisés a pour conséquence de fournir des émissions en temps local et donc décalées de zéro à trois heures trop tard (selon la ville considérée en Europe et la période de l'année) dans le modèle de chimie-transport qui considère ces émissions comme étant données en temps universel. Le décalage important, qui en résulte le matin entre la croissance des émissions simulées avec les facteurs de base et la croissance des émissions simulées avec les facteurs optimisés, a pour conséquence de simuler des concentrations d'ozone plus fortes avec les facteurs optimisés qu'avec les facteurs de base le matin (sur le graphe entre 6H00 et 8H00). Cette différence factice est due à la plus faible consommation d'ozone à ces heures (réaction 1), due au retard des émissions d'oxyde d'azote du trafic des simulations faites avec les facteurs optimisés.

Malgré cette erreur, d'autres remarques peuvent être faites qui resteront valables après correction. Les émissions du trafic sont plus importantes la nuit avec les facteurs optimisés qu'avec les facteurs de base, la consommation d'ozone par l'oxyde d'azote (réaction 1) implique que les concentrations d'ozone sont plus faibles la nuit avec les facteurs optimisés qu'avec les facteurs de base. De plus, les émissions sont plus importantes aux heures de pointe de l'après-midi avec les facteurs de base, les concentrations d'ozone simulées avec ces facteurs peuvent être alors supérieures ou inférieures selon les cas aux concentrations simulées avec les facteurs optimisés. Les concentrations d'ozone doivent être plus importantes avec les facteurs de base au cours des journées fortement ensoleillées favorisant la formation d'ozone (réactions 2 et 3). Par ailleurs, les concentrations simulées avec les facteurs "zéro" sont en général les plus éloignées des concentrations simulées avec les facteurs de

base et les concentrations simulées avec les facteurs "min" sont en général les moins éloignées des concentrations simulées avec les facteurs de base, en raison de la distribution des émissions avec ces différents facteurs.

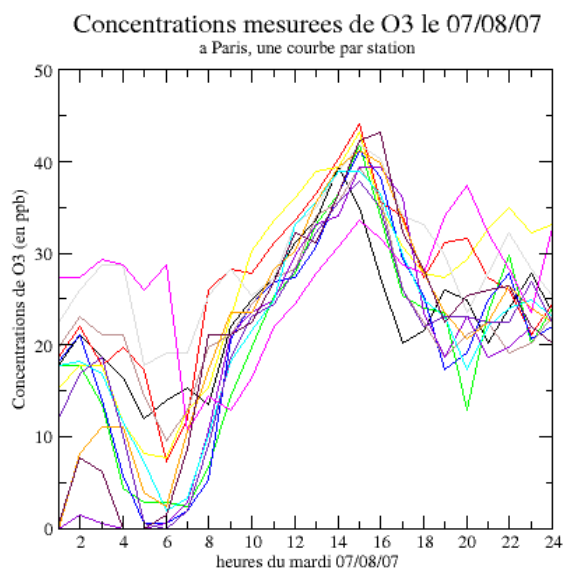


FIG. 4.6 – Concentrations mesurées d'ozone dans les stations de fond de région parisienne le mardi 07/08/07

Les concentrations mesurées dans les stations de fond des régions urbaines ont une dispersion qui rend difficile la comparaison avec les concentrations issues des simulations. Les simulations faites avec les différents facteurs horaires optimisés doivent être refaites avec l'erreur corrigée et les concentrations simulées avec les facteurs optimisés et de base doivent être étudiées de manière plus systématique en Europe et comparées statistiquement aux mesures de concentrations issues des stations de fond, de manière à estimer plus précisément la validité des facteurs optimisés.

5 | Conclusions et perspectives

5.1 Conclusions

L'étude portant sur l'optimisation des émissions liées au transport automobile a été centrée sur une redéfinition des facteurs horaires du trafic permettant de projeter les émissions journalières en émissions horaires. Ces facteurs horaires, qui ont pour rôle de pondérer les émissions du trafic sur chaque heure de la journée, ont été réévalués à partir des concentrations mesurées près des sources de trafic sur l'année 2007 dans 17 grandes villes en Europe, pour aboutir à des facteurs sur toute l'Europe dépendant du jour de la semaine et d'un paramètre spatial. Cette évaluation des facteurs horaires du transport automobile repose sur deux hypothèses de départ : les variations des concentrations mesurées près des sources d'émissions sont représentatives des émissions de ces sources (la chimie-transport étant supposée négligeable à proximité des sources) et les facteurs des 17 villes retenus sont respectivement représentatifs de 17 régions qui recouvrent l'Europe. Pour chacune de ces deux hypothèses, le début de l'étude a pu prouver leur validité

Les facteurs horaires du trafic ont été réévalués pour 26 villes sélectionnées en Europe. Trois méthodes d'évaluation ont été définies pour ce calcul en raison des incertitudes concernant la concentration de la pollution de fond non liée au trafic et de la volonté de la retirer à la concentration mesurée près des sources pour le calcul des facteurs d'émissions. Les facteurs calculés à partir des données de six villes ont dû être éliminés en raison de la non représentativité de ces facteurs pour la ville sur l'année étudiée. La comparaison des facteurs des villes situées dans un même pays a illustré la similitude de leurs facteurs. Ce résultat a orienté le choix du pourtour des 17 régions en Europe à partir des 17 villes retenues pour définir les facteurs en chaque point d'Europe. De plus il a justifié l'hypothèse faite sur la représentativité des villes par rapport aux régions.

Les facteurs optimisés montrent une importante variabilité spatiale sur les 17 régions pour chaque méthode de calcul. De plus, on notera une variabilité encore plus grande d'une méthode à l'autre. Cette différence de facteurs horaires pour le trafic donne, lorsque l'on réalise des simulations avec le modèle CHIMERE, des résultats différents pour les émissions et les concentrations selon les facteurs choisis, la différence étant particulièrement marquée entre facteurs optimisés et facteurs de base. Avec les facteurs optimisés, pour toutes les agglomérations, les variations entre le jour et la nuit des émissions de dioxyde d'azote (fortement émis par le trafic) sont moins marquées et les pics dus aux heures de pointe du trafic sont moins marqués. Les conséquences pour les concentrations d'ozone (fortement dépendants des oxydes d'azote à travers un équilibre photochimique) sont moins marquées que pour les émissions, mais remarquables : les concentrations d'ozone sont systématiquement moins fortes la nuit avec les facteurs optimisés.

5.2 Perspectives

Une première validation des facteurs horaires du trafic a été réalisé sur un cas d'étude (le mois d'août 2007) montrant le bon comportement des nouvelles émissions et concentrations (malgré une erreur à corriger). Une validation plus statistique pourra être réalisée en augmentant le nombre de simulations sur l'été complet et en comparant les résultats aux mesures de stations de fond des villes (travail en cours). Ce travail sur les données prenant en compte les effets de chimie-transport peut permettre de justifier l'hypothèse faite sur l'effet négligeable de la chimie et du transport pour les concentrations mesurées à proximité des sources d'émissions. De plus, les facteurs pourraient être réévalués de la même façon pour d'autres années et les simulations sur ces années étudiées, de manière à déduire une tendance de l'évolution des facteurs au cours du temps. Cette étude de tendance sur les facteurs horaires du trafic permettrait de mieux estimer les facteurs horaires pour l'utilisation prévisionnelle du modèle CHIMERE. Ces travaux de réévaluation des facteurs du trafic pourraient aussi être faits pour les facteurs journaliers et mensuels. Par contre des travaux identiques de réévaluation des facteurs temporels pour d'autres secteurs ne sont pas possibles, étant donné l'absence de mesures équivalentes près des sources de ces secteurs. Cependant des études plus socio-économiques portant sur la dynamique temporelle de ces secteurs pourraient être envisagées pour optimiser leurs facteurs temporels.

6 | Annexe : Module d'émissions anthropiques atmosphériques d'espèces chimiques

Le module d'émissions anthropiques d'espèces chimiques "emi-surf" calcule, pour l'Europe de l'ouest, les flux d'émissions anthropiques des "espèces modèle" CHIMERE sur la grille CHIMERE, à partir des données brutes d'émissions en masses annuelles issues de la base EMEP. Le module se divise en 2 programmes principaux "source2chimere" et "sectoremis" permettant de projeter les masses annuelles d'espèces EMEP sur la grille EMEP en flux d'espèces EMEP sur la grille CHIMERE puis en flux d'espèces CHIMERE sur la grille CHIMERE.

6.1 Programme "source2chimere"

Le programme "source2chimere" permet de projeter, pour les espèces EMEP, les données d'émissions des grilles EMEP en Mg/an/maille sur des grilles CHIMERE en g/h/km².

Le programme "source2chimere" s'organise de la façon suivante :

- lecture de la liste des espèces EMEP à traiter
- lecture de la forme des grilles EMEP et CHIMERE
- lecture des émissions brutes annuelles des espèces EMEP
- lecture des facteurs temporels mensuels et journaliers
- 1ère modification des données d'émissions avec les facteurs temporels
- lecture des facteurs spatiaux d'utilisation des sols
- 2ème modification des données d'émissions avec les facteurs spatiaux
- écriture des fichiers de données d'émissions obtenues

Espèces EMEP

Les espèces de la base EMEP sont : le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniac (NH₃), les composés organiques volatils hors méthane (NMVOC), les oxydes d'azote (NO_x, avec principalement le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO₂), les oxydes de soufre (SO_x, avec notamment le dioxyde de soufre SO₂), les aérosols ou particules, séparées en particules fines (PM_{2.5}, de diamètre inférieur à 2,5µm) et en particules épaisses (PM_{coarse}, de diamètre supérieur à 2,5µm). La base LA permet d'affiner les particules fines en les séparant en matières carbonées organiques (OCAR) et matières carbonées noires (BCAR). La base POPs permet de compléter les espèces émises avec des données sur le benzo(a)pyrene (Bap), le benzo(k)fluoranthene (BkF) et le benzo(b)fluoranthene (BbF).

Grilles EMEP et CHIMERE

La lecture des grilles EMEP et CHIMERE permet de connaître pour chaque maille, caractérisée par deux numéros (abscisse et ordonnée), la position géographique des quatre coins de la maille et

la surface de la maille. Un facteur de changement d'unité peut notamment être calculé pour chaque maille EMEP pour passer par la suite des données en Mg/an/maille à des données en g/h/km².

Données d'émissions EMEP

Les données d'émissions EMEP sont regroupées dans des fichiers par espèce EMEP et par an. Dans chaque fichier, les émissions sont données par maille de la grille EMEP et pour chaque secteur d'activité. Les secteurs d'activité sont au nombre de 11 : la combustion dans les industries de production d'énergie ou de transformation de matière, la combustion dans les usines non-industrielles, la combustion dans les industries de manufacture, les procédés de production, l'extraction et la distribution d'énergies fossiles et d'énergie géothermal, l'utilisation de solvants et autres produits, le transport automobile, les autres sources et appareils mobiles, le traitement et la destruction des déchets, l'agriculture, les autres sources. Notons les données d'émissions EMEP $EmI(nxi,nyi,secteur,espècei)$ car elles dépendent de la maille (nxi,nyi) considérée de la grille EMEP, du secteur d'activité et de l'espèce EMEP.

Facteurs temporels mensuels et journaliers

Les facteurs temporels mensuels et journaliers sont fonctions de l'espèce EMEP, du pays et du secteur d'activité. Notons les donc $FacM(pays,secteur,espècei)$ et $FacJ(pays,secteur,espècei)$.

1ère modification des données

Les émissions d'espèces EMEP connues en masses annuelles sont exprimées en g/h/km² grâce aux facteurs de changement d'unité. La distribution des émissions se fait sur chaque mois en pondérant avec les facteurs mensuels et sur chaque jour en pondérant avec les facteurs journaliers, la pondération horaire se faisant plus tard. Notons les données d'émissions obtenues $Em1(nxi,nyi,jour,mois,secteur,espècei)$ car elles sont fonction de la maille (nxi,nyi) , du jour de la semaine, du mois de l'année, du secteur d'activité et de l'espèce EMEP.

Facteurs spatiaux d'utilisation des sols

Les facteurs d'utilisation des sols (urbain, agricole, forestier, eau, autre) sont lues sur une grille fine par rapport aux grilles EMEP et CHIMERE. Les coordonnées des mailles de cette grille fine sont comparées aux coordonnées des coins de mailles de la grille EMEP et aux coordonnées des coins de mailles de la grille CHIMERE. Ceci permet par ailleurs de trouver, pour chaque maille de la grille fine, la maille de la grille EMEP et la maille de la grille CHIMERE qui la contiennent.

2ème modification des données

Les émissions d'espèces EMEP sur chaque maille EMEP sont projetées sur les mailles de la grille fine en pondérant par les facteurs d'utilisation des sols. Les émissions sur les mailles de la grille fine incluses dans une même maille CHIMERE sont agglomérées de manière à obtenir les émissions d'espèces EMEP sur la grille CHIMERE. Les émissions sont principalement attribuées au premier niveau de la maille CHIMERE qui est en fait en trois dimensions (seules quelques émissions émises particulièrement en altitude dans la troposphère sont attribuées au deuxième niveau). Notons ces données d'émissions $Em2(nxo,nyo,jour,mois,secteur,espècei)$ car elles sont fonction de la maille

(nxo,nyo) considérée de la grille CHIMERE, du jour de la semaine, du mois de l'année, du secteur d'activité et de l'espèce EMEP. Les données sont toujours en g/h/km².

Données d'émissions à la sortie du programme "source2chimere"

On crée en sortie du programme des fichiers, par espèce EMEP et par mois, avec des données d'émissions en g/h/km², fonction de la maille de la grille CHIMERE, du jour de la semaine et du secteur d'activité.

6.2 Programme "sectoremis"

Le programme "sectoremis" permet de passer des données d'émissions pour des espèces EMEP à des données d'émissions pour des espèces CHIMERE sur des grilles CHIMERE en mol/s/cm². Le programme "sectoremis" s'organise de la façon suivante :

- lecture de la liste des espèces EMEP à traiter
- lecture de la grille CHIMERE
- lecture des facteurs désagrégation et agrégation des espèces chimiques
- lecture des facteurs horaires
- lecture des données d'émissions sorties du programme "source2chimere"
- 3ème modification des données d'émissions
- écriture des fichiers de données d'émissions CHIMERE

Facteurs désagrégation et agrégation des espèces chimiques

Les facteurs désagrégation donnent, pour chaque secteur d'activité, le pourcentage massique de l'espèce chimique vraie dans l'espèce EMEP qui l'englobe. Les facteurs agrégation sont simplement des facteurs binaires pour agréger les espèces chimiques en espèces CHIMERE. La masse molaire de chaque espèce chimique et de chaque espèce CHIMERE est aussi lue.

Facteurs horaires

Les facteurs horaires sont fonctions du secteur d'activité et du jour de la semaine. Notons les donc FacH(secteur,jour).

Données d'émissions sorties du programme "source2chimere"

Les données d'émissions sorties du programme "source2chimere" sont fonctions de la maille (nxo,nyo), du jour de la semaine, du mois de l'année, du secteur d'activité et de l'espèce EMEP. Elles sont en g/h/km² et on les a notées Em2(nxo,nyo,jour,mois,secteur,espècei).

3ème modification des données d'émissions

Les émissions horaires des espèces EMEP sont pondérées avec les facteurs horaires. Les émissions d'espèces EMEP sont désagrégées en émissions d'espèces chimiques puis agrégées en émissions d'espèces CHIMERE avec les facteurs désagrégation et agrégation. Les masses molaires permettent de calculer des facteurs de changement d'unité qui font passer les données en g/h/km² à des données en

molécules/s/cm². Notons les données d'émissions obtenues $Em3(nxo,nyo,heure,jour,mois,espèce)$ car elles sont fonction de la maille (nxo,nyo) , de l'heure de la journée, du jour de la semaine, du mois de l'année et de l'espèce CHIMERE.

Données finales d'émissions obtenues pour CHIMERE

On obtient en sortie du programme des fichiers, par espèce CHIMERE et par mois, avec des données d'émissions en molécules/s/cm², fonction de la maille de la grille CHIMERE, de l'heure de la journée et du jour de la semaine.

Bibliographie

- AIRBASE (2010), <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-2>.
- Bessagnet, B., et al. (2009), Regional modeling of carbonaceous aerosols over Europe - Focus on Secondary Organic Aerosols, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 61, 175–202.
- de Meij, A., A. Gzella, C. Cuvelier, P. Thunis, B. Bessagnet, J. Vinuesa, L. Menut, and K. H. (2009), The impact of MM5 and WRF meteorology over complex terrain on CHIMERE model calculations, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 6611–6632.
- Grell, G., J. Dudhia, and D. Stauffer (1994), A description of the fifth-generation penn state/ncar mesoscale model (mm5), *NCAR Tech. Note*, pp. TN-398+STR.
- Halliday, E. C. (1961), Historique de la pollution atmosphérique, Ph.D. thesis.
- Menut, L. (2010), Transport et transformation de polluants dans la couche limite atmosphérique, HDR.
- W.C., S., J. Klemp, J. Dudhia, D. Gill, D. Barker, W. Wang, and J. Powers (2007), A description of the advanced research wrf version 2, *NCAR Technical Note*, pp. NCAR/TN-468+STR.