

Inventaire annuel des émissions polluantes d'origine routière

Sensibilité aux variations temporelles des données de trafic

Certu

centre d'Études sur les réseaux,
les transports, l'urbanisme
et les constructions publiques
9, rue Juliette Récamier
69456 Lyon Cedex 06
téléphone: 04 72 74 58 00
télécopie: 04 72 74 59 00
www.certu.fr

Avis aux lecteurs

La collection Rapports d'étude du Certu se compose de publications proposant des informations inédites, analysant et explorant de nouveaux champs d'investigation. Cependant l'évolution des idées est susceptible de remettre en cause le contenu de ces rapports.

Le Certu publie aussi les collections :

Dossiers: Ouvrages faisant le point sur un sujet précis assez limité, correspondant soit à une technique nouvelle, soit à un problème nouveau non traité dans la littérature courante. Le sujet de l'ouvrage s'adresse plutôt aux professionnels confirmés. Le Certu s'engage sur le contenu mais la nouveauté ou la difficulté des sujets concernés implique un certain droit à l'erreur.

Références: Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné assez vaste, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel courant doit savoir. Le Certu s'engage sur le contenu.

Débats: Publications recueillant des contributions d'experts d'origines diverses, autour d'un thème spécifique. Les contributions présentées n'engagent que leurs auteurs.

Catalogue des publications disponible sur <http://www.certu.fr>

NOTICE ANALYTIQUE

Organisme commanditaire : CERTU (Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques) 9, rue Juliette Récamier 69456 LYON – Cedex 06		
Titre : Inventaire annuel des émissions polluantes d'origine routière Sensibilité aux variations temporelles des données de trafic		
Sous-titre :	Date d'achèvement : mai 2003	Langue : français
Organisme auteur : CETE de l'EST METZ – Technopôle 1, bd de la solidarité – BP 85230 57076 METZ cedex 03	Rédacteurs ou coordonnateurs : Sylvain LAROSE Stella BECKER	Relecteur assurance qualité : (nom, prénom) Jean Pierre VINOT (CERTU)
Résumé : L'objectif de cette étude vise à évaluer la sensibilité d'un inventaire annuel des émissions d'origine routière à la variation temporelle des données de trafic servant au calcul, sur une zone géographique importante (département). Cette démarche se traduit par la recherche du pas de temps le mieux adapté à un inventaire spatialisé annuel des émissions. Le contexte de la réalisation de ce travail a été le suivant : <ul style="list-style-type: none">• Un cadastre des émissions polluantes d'origine routière sur la région Alsace (INTERREG II)• Une base de données trafic très détaillée disponible sur cette région• Des calculs d'émissions très « gourmands » en temps et en ressources machines• Des inventaires d'émissions réalisés sur d'autres régions avec des données trafic plus « légères » et des pas de temps différents		
Remarques complémentaires éventuelles (rubrique facultative) :		
Mots clés : inventaire des émissions polluantes d'origine routière ; tests de sensibilité		Diffusion : CERTU
Nombre de pages : 36 pages	Confidentialité : Non	Bibliographie : Non

Sommaire

1. Contexte	5
2. Méthodologie utilisée	5
2.1 Préambule	5
2.2 Support de l'analyse de sensibilité	5
2.3 Contenu de l'analyse de sensibilité	7
2.3.1 Hypothèses sur les données de trafic	7
2.3.2 Conséquences sur le calcul des émissions	9
3. Résultats des tests	11
3.1 Préambule sur la relation entre profils de trafic et vitesse	11
3.2 Réduction de 24 heures à 4 périodes horaires	14
3.3 Réduction de 12 mois à 1 mois moyen	16
3.4 Réduction de trois journées type à une journée moyenne	18
3.5 Réduction de 4 périodes horaires à 1 période journalière	20
3.5.1 Vitesse calculée	20
3.5.2 Vitesse COPERT	23
3.5.3 Comparaison des options de vitesses	25
3.6 Effets cumulés	26
3.6.1 Réduction de 1 mois, 3 jours et 24 heures à une journée moyenne	26
3.6.1.1 Avec la vitesse COPERT	27
3.6.1.2 Avec la vitesse calculée	29
3.6.1.3 Conclusion	31
3.6.2 Réduction de [1 mois, 3 jours et 24 heures] à [1 mois, 1 jour, 4 périodes horaires]	32
4. Conclusions	35

1. Contexte

La loi n°96-1236 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie introduit dans son titre II les Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air. Il s'agit d'un plan « qui fixe des orientations permettant, pour atteindre les objectifs de qualité de l'air, de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique, ou d'en atténuer les effets. Ce plan fixe également des objectifs de qualité de l'air spécifiques à certaines zones lorsque les nécessités de leur protection le justifient.

A ces fins, le plan régional pour la qualité de l'air s'appuie sur un inventaire des émissions et une évaluation de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé publique et son environnement. »

Entre 1998 et 2000, le CETE de l'Est a été sollicité pour réaliser les inventaires d'émissions polluantes d'origine routière sur quatre régions. Pour chacune d'entre elles, les méthodes utilisées, notamment pour constituer la base de données trafic, étaient sensiblement différentes en raison de contraintes temporelles, financières et aussi parce que les objectifs visés avec cet inventaire n'étaient pas tout à fait les mêmes.

Aussi, il nous est paru intéressant de regarder la sensibilité de l'inventaire d'émissions sur une zone géographique importante en fonction de la nature des données trafic utilisées pour ce calcul. Ces tests, méthode et résultats, sont présentés dans ce rapport.

2. Méthodologie utilisée

2.1 Préambule

Le CETE de l'Est a travaillé sur quatre régions, par ordre chronologique : Lorraine, Franche-Comté, Alsace et Champagne-Ardenne. Pour ces régions, le niveau de détail des bases de données trafic est différent. Ainsi, nous avons utilisé :

- ◆ En Lorraine et en Franche-Comté, des trafics journaliers moyens annuels (TMJA) avec une vitesse moyenne journalière.
- ◆ En Alsace, des TMJA associés à des profils de variation de trafic journalière, hebdomadaire, mensuelle et annuelle permettant de calculer des vitesses de circulation horaires et de prendre en compte des phénomènes saisonniers.
- ◆ En Champagne-Ardenne, des TMJA associés à des profils de variation de trafic journalière simplifiée permettant de calculer des vitesses par tranches horaires, et de prendre en compte différemment les périodes de pointe et les périodes creuses.

Les différences sur la prise en compte des données trafic posent la question de la comparabilité des résultats entre les régions, d'une part sur les totaux régionaux et, d'autre part, par secteur géographique lorsqu'une spatialisation des émissions est effectuée.

2.2 Support de l'analyse de sensibilité

Les tests se sont appuyés sur l'étude réalisée en région Alsace à la fois dans le cadre du projet européen INTERREG II et du PRQA, car la base de données trafic est la plus complète des quatre régions traitées, permettant ainsi de faire des calculs de plus en plus grossier avec la même source.

Dans cette étude, les sources mobiles, que sont les véhicules, ont été réparties en sources linéaires et sources surfaciques en fonction des informations disponibles (comptages). Les

sources surfaciques correspondent principalement aux déplacements réalisés sur le réseau urbain de desserte locale, sur lequel les comptages sont quasiment inexistant. Ce manque d'information nous a conduit à prendre en compte de manière plus grossière la variabilité temporelle de la circulation dans ces sources. **C'est pourquoi nous nous limiterons aux sources linéaires pour les tests de sensibilité.**

Sur la région Alsace, nous n'avons retenu que le département du Bas-Rhin pour ces tests pour plusieurs raisons :

- ✓ il possède le réseau routier le plus dense des deux départements alsaciens (environ 6 000 tronçons et 8 000 en tenant compte du dédoublement des tronçons avec une pente importante),
- ✓ l'importance des comptages routiers (permanents ou temporaires) permet d'avoir une information trafic sur quasiment la totalité du réseau interurbain,
- ✓ les temps de calcul sont proportionnels au nombre de tronçons pris en compte pour l'estimation des émissions.

Le réseau routier pris en compte pour cette analyse de sensibilité représente 3 800 kilomètres d'infrastructures (en urbain et interurbain) pour une circulation totale journalière de l'ordre de 20 millions de véhicules kilomètres par jour.

Les différents tronçons du réseau routier ont été classés en plusieurs catégories en fonction de la nature des voies et des trafics supportés. La classification est présentée dans le tableau ci-dessous :

Type	Catégorie de voie	Routes concernées	Vitesse de référence (maximale)
1	Autoroutes interurbaines	Autoroutes interurbaines (hors traversées d'agglomération)	130
3	Type autoroutier	Routes nationales et départementales à 2*2 voies. Inclus les autoroutes urbaines	110
5	Réseau structurant	Routes nationales et départementales interurbaines de niveau 1	85
7	Réseau secondaire	Autres routes départementales	75
9	Réseau urbain	Routes situées dans les agglomérations et les communes urbaines	50

Chaque tronçon du réseau est donc caractérisé par :

- ✓ une catégorie de voie (cf. précédemment),
- ✓ un poste de référence : ces postes sont issus de l'exploitation des stations de comptages permanentes du département du Bas-Rhin et permettent de définir les variations temporelles des trafics pour chaque tronçon du réseau en fonction de sa catégorie et du trafic supporté,
- ✓ un trafic journalier moyen annuel (TMJA),
- ✓ un pourcentage poids lourds,
- ✓ une longueur de tronçon,

- ✓ la déclivité du tronçon,
- ✓ et un pourcentage de véhicules circulant moteur froid.

2.3 Contenu de l'analyse de sensibilité

2.3.1 Hypothèses sur les données de trafic

L'inventaire des émissions d'origine routière réalisé dans le cadre de l'étude INTERREG II sur la région Alsace, a été calculé en considérant que la circulation automobile annuelle s'écoulait en 864 « heures » sur chaque tronçon ; chaque « heure » étant issue de la décomposition du trafic moyen journalier annuel (TMJA) sur 24 heures, 3 jours types (jour de semaine, samedi et veille de fêtes, dimanche et jours fériés) et 12 mois, à l'aide des profils temporels des postes de référence. Compte tenu du grand nombre de tronçon, le temps de calcul pour cet exercice s'est avéré très important.

L'objectif de l'analyse que nous avons menée, est d'évaluer la sensibilité d'un inventaire annuel des émissions polluantes d'origine routière à la décomposition « horaire » des données de trafic servant au calcul, de manière à déterminer la segmentation « horaire » la plus pertinente.

En conséquence, le paramètre variable retenu pour les tests est l'ensemble des profils temporels de trafic utilisés pour la décomposition du TMJA. Les effets de plusieurs modifications de ce paramètre sur les émissions ont donc été évalués. Ils sont présentés dans le tableau suivant.

Effet 1 :	Réduction du calcul sur 24 heures à 4 périodes horaires types (heure de pointe du matin, heure de pointe du soir, heure moyenne de jour et heures de nuit).
Effet 2 :	Réduction du calcul sur 12 mois à 1 mois moyen (statistiques Météo France sur 30 ans).
Effet 3 :	Réduction du calcul sur 3 jours types à une journée moyenne.
Effet 4 :	Réduction du calcul sur 4 périodes horaires moyenne à une seule période moyenne (utilisation directe du TMJA) en appliquant une vitesse moyenne calculée.
Effet 4' :	Identique à l'effet 4, mais la vitesse appliquée est celle préconisée dans la méthode COPERT pour chaque catégorie de voie.
Effet cumulé 1 :	Cumul des effets 1, 3 et 4'
Effet cumulé 2 :	Cumul des effets 1, 3 et 4
Effet cumulé 3 :	Cumul des effets 1 et 3

Remarque sur les effets 4 et 4'

La simplification évaluée avec les effets 4 et 4' pose le problème de la vitesse qui sera utilisée pour le calcul des émissions dans l'hypothèse d'une seule période journalière, puisque dans les étapes précédentes, la vitesse était déterminée sur chaque période à partir des trafics « horaires ». Or dans le calcul sur une seule période, nous ne disposons plus que d'un trafic journalier à partir duquel notre méthodologie ne nous permet pas de déterminer de vitesse (cf. §3.1).

C'est pourquoi nous avons pris le parti d'utiliser deux approches différentes :

- ✓ Soit on applique à chaque tronçon une vitesse moyenne calculée à partir de la décomposition temporelle complète sur 864 heures (effet 4),

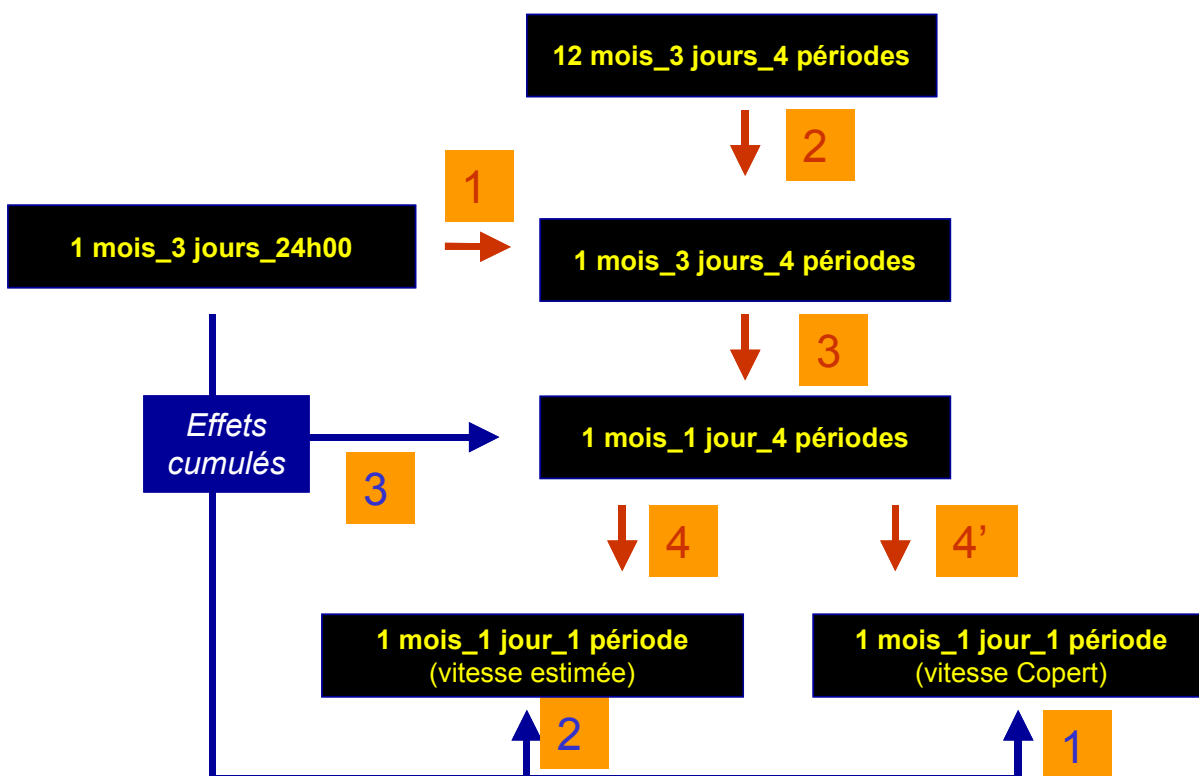
- ✓ Soit on applique la vitesse moyenne préconisée par la méthodologie COPERT pour chaque catégorie de tronçons (effet 4').

Les éléments relatifs à ces deux approches seront détaillés dans le paragraphe des résultats correspondants.

Pour évaluer ces différents effets, nous nous sommes appuyés sur plusieurs inventaires d'émissions. A partir de la base de données de trafics constituée dans le cadre du projet INTERREG II, nous avons adapté les profils de variation temporelle des trafics pour pouvoir calculer six nouveaux inventaires d'émissions nécessaires à notre analyse de sensibilité. Ces inventaires et les hypothèses de trafic associées sont décrits dans le tableau suivant :

Intitulé de l'inventaire	Niveau de décomposition temporelle du calcul
12 mois_3 jours_4 périodes	Calcul sur 12 mois, 3 jours et 4 périodes horaires
1 mois_3 jours_24 heures	Calcul sur 1 mois, 3 jours et 24 heures
1 mois_3 jours_4 périodes	Calcul sur 1 mois, 3 jours et 4 périodes horaires
1 mois_1 jour_4 périodes	Calcul sur 1 mois, 1 journée moyenne et 4 périodes horaires
1 mois_1 jour_1 période (COPERT)	Calcul sur 1 journée moyenne avec les vitesses COPERT
1 mois_1 jour_1 période (estimée)	Calcul sur 1 journée moyenne avec les vitesses moyennes calculées

Le graphique ci-après récapitule les différents inventaires qui ont été calculés pour cette étude ainsi que les effets que nous cherchons à évaluer.

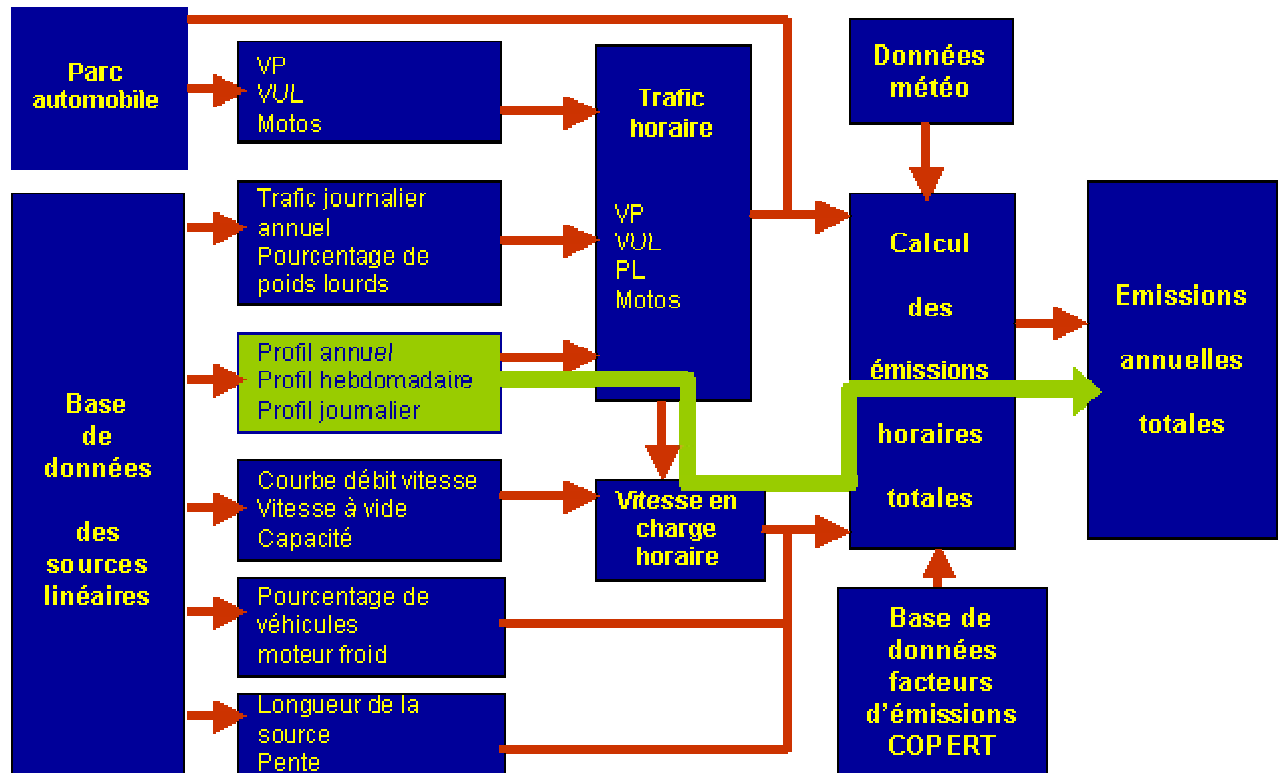


2.3.2 Conséquences sur le calcul des émissions

La méthode

Comme pour l'étude INTERREG, les inventaires d'émissions des 6 situations devant servir de base à notre analyse de sensibilité (cf. paragraphe précédent) ont été calculés pour une année entière.

Le schéma ci-après représente la procédure utilisée pour le calcul des émissions, en signalant d'une couleur verte les données et les résultats qui varieront au cours de l'analyse.



Les invariants

Resteront donc invariables, au cours des tests que nous réaliserons, les données d'entrée suivantes :

- L'année de calcul (1998)
- La méthode de calcul des émissions (COPERT II)
- La composition du parc automobile
- Les trafics moyens journaliers annuels
- Les pourcentages poids lourds
- Le pourcentage de véhicules circulant moteur froid
- La pente des tronçons
- La méthode de calcul des vitesses

Les polluants

L'étude INTERREG avait porté sur un grand nombre de polluants. En raison des fortes incertitudes pouvant exister sur certains facteurs d'émissions, nous avons préféré nous limiter aux polluants quantitativement les plus importants et pour lesquels la connaissance des facteurs d'émissions est la plus fiable. Il s'agit :

- Du monoxyde de carbone (CO)
- Des oxydes d'azote (NOx)
- Des Composés Organiques Volatiles (COV)
- Des particules (PM)
- Du gaz carbonique (CO₂)
- Des évaporations de COV en circulation (running losses)

3. Résultats des tests

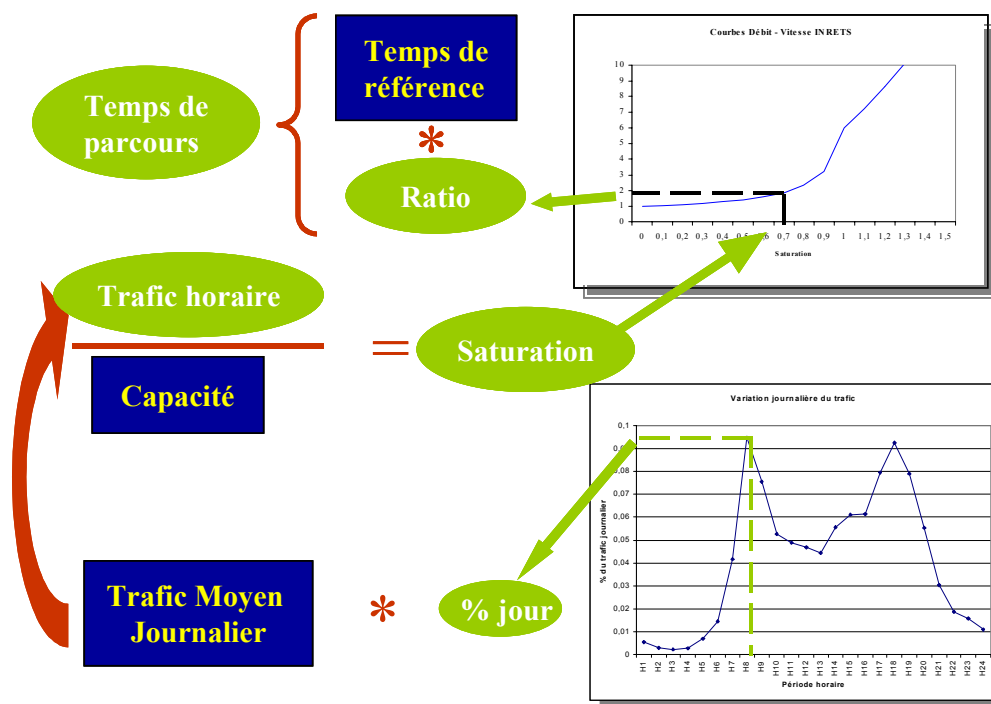
3.1 Préambule sur la relation entre profils de trafic et vitesse

La méthode utilisée pour calculer la vitesse des véhicules sur un tronçon, que ce soit dans l'étude INTERREG ou dans cette analyse de sensibilité, a été reprise de la méthodologie de détermination des temps de parcours en modélisation des trafics urbains.

L'évaluation des temps de parcours en modélisation est très importante puisqu'elle est conditionnée très fortement le choix des itinéraires lors de la phase d'affectation des trafics. Cette évaluation repose sur deux grands principes :

- ✓ Le calcul des temps de parcours ne se fait que sur des périodes d'une heure (d'où la difficulté de les calculer sur une période moyenne journalière).
- ✓ Le temps de parcours sur un tronçon dépend du niveau de trafic sur ce tronçon, et ces deux éléments sont liés par des lois débit – vitesse. Ces lois varient selon la catégorie de la voie considérée et la nature de la circulation supportée.

Le schéma ci-dessous présente la démarche complète qui conduit du trafic journalier au temps de parcours (vitesse) sur un tronçon.



Explication de la démarche

La première étape de la démarche consiste en la transformation du Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) en un trafic moyen horaire à l'aide des profils temporels de trafic.

La deuxième étape calcule le niveau de saturation du tronçon concerné à l'aide du rapport entre le trafic horaire et la capacité du tronçon. Ce rapport permet d'obtenir directement, par l'intermédiaire des lois débit – vitesse, le ratio entre le temps de parcours en charge et le temps de parcours de référence

La troisième étape détermine le temps de référence de chaque tronçon (à partir de la vitesse de référence définie au § 2.2) et calcule le temps de parcours en charge correspondant ; la vitesse étant obtenue grâce à la longueur du tronçon concerné.

En analysant cette démarche, il apparaît clairement que, pour un même TMJA, les trafics horaires obtenus, et donc les vitesses, seront sensiblement différents lorsque l'on modifie, même légèrement, les profils temporels utilisés. Cet effet aura donc un impact direct sur les émissions polluantes puisque elles dépendent à la fois des véhicules kilomètres et de la vitesse.

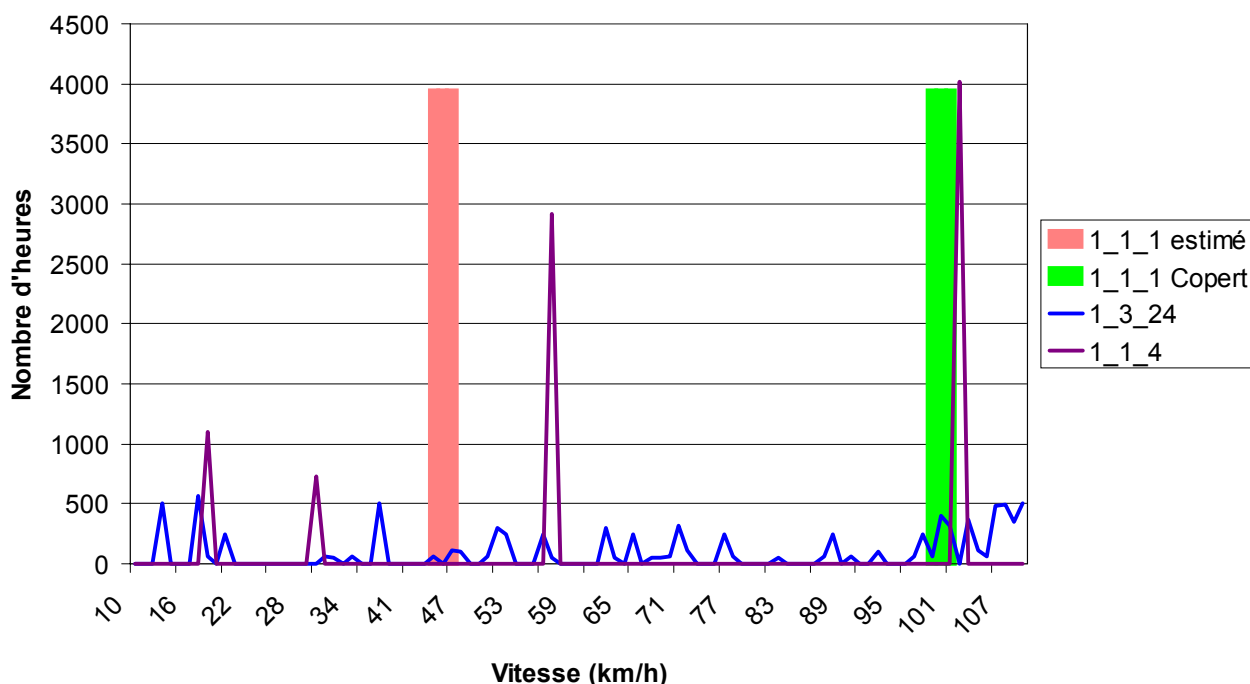
Par conséquent, la simplification de la décomposition temporelle des trafics aura obligatoirement une influence sur les émissions polluantes d'origine routière qui dépendent de la vitesse.

Pour illustrer cette influence sur la vitesse, nous avons analysé les effets de la simplification des profils de trafic sur un tronçon de type autoroutier (catégorie 3 du paragraphe 2.2). La distribution des vitesses sur toutes les heures de l'année a été observée pour 4 niveaux d'agrégation temporelle des données de trafic :

1. Une décomposition du TMJA en 24 heures sur 3 jours types (intitulée 1_3_24)
2. Une décomposition du TMJA en 4 « heures » (intitulée 1_1_4)
3. L'utilisation d'une vitesse moyenne calculée appliquée au TMJA (intitulée 1_1_1 estimé)
4. L'utilisation de la vitesse moyenne pour la catégorie de voie proposée par COPERT (intitulée 1_1_1 Copert)

Les résultats obtenus sont représentés sur le graphique suivant. En abscisse se trouve la plage des vitesses calculées (de 10 à 110 km/h) et en ordonnée est indiqué le nombre d'heures par an où cette vitesse est appliquée au cours du calcul des émissions.

Distribution des vitesses sur une voie type autoroutier



N.B. : Les occurrences affichées pour les situations 1_1_1 sont fictives et ont juste pour objectif de positionner les valeurs des vitesses correspondantes sur le graphique. En effet, pour ces situations, la vitesse étant unique pour toute l'année, elle se produit sur les 8 760 heures que compte une année.

Commentaires :

Avec la méthode que nous avons appliquée pour déterminer les vitesses, la simplification des profils de trafic conduit à une réduction plus ou moins importante du nombre de périodes horaires prises en compte et à une augmentation des occurrences annuelles des vitesses calculées. Ainsi, nous constatons sur le graphique ci-dessus, que la situation 1_3_24 conduit à une grande variété de vitesses, chacune se produisant peu au cours de l'année, alors que dans l'hypothèse 1_1_4, il ne reste plus que 4 valeurs de la vitesse, mais avec une occurrence beaucoup plus importante pour chacune d'entre elles ; ce phénomène étant à son maximum pour les situations avec une seule période journalière.

De même, nous observons un écart important entre la vitesse préconisée par la méthodologie COPERT et la vitesse moyenne calculée. Dans le cas présenté, la vitesse COPERT est située dans la partie supérieure de la plage de vitesse constatée et, de ce fait, peut sembler peu représentative des conditions de circulation moyennes rencontrées sur le tronçon étudié.

Etant donné que la relation entre la vitesse et les émissions n'est pas linéaire, il est difficile de prévoir les effets sur les inventaires d'émissions d'une réduction de la décomposition temporelle des trafics moyens journaliers annuels a priori.

3.2 Réduction de 24 heures à 4 périodes horaires

A partir des profils journaliers sur 24 heures, nous avons défini 4 périodes horaires représentant les quatre grandes phases de déplacements dans la journée :

- ✓ les heures de pointe du matin (de 7h00 à 9h00),
- ✓ les heures moyennes de la journée (de 9h00 à 16h00 et de 19h00 à 20h00),
- ✓ les heures de pointe du soir (de 16h00 à 19h00),
- ✓ les heures de nuit (de 20h00 à 7h00).

Le passage de 24 heures à 4 périodes horaires s'est fait en moyennant les coefficients des heures correspondant à chaque période. La vitesse a été calculée, selon la méthodologie exposée précédemment, en prenant le trafic horaire moyen de chaque période et en utilisant les mêmes lois débit - vitesse que pour le calcul sur 24 heures.

Les tableaux suivants présentent les effets de la réduction de 24 heures à 4 périodes horaires pour les principaux polluants, exprimés en pourcentage.

Effet 1 (%)		Effet de réduire de 24 h à 4 périodes horaires					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	0,22	0,36	0,06	0,00	0,20	0,00
	PL	-0,18	-0,13	-0,25	-0,18	-0,01	0,00
	VP	1,19	0,91	0,26	1,54	0,89	0,00
	VUL	1,92	0,86	1,18	0,76	1,17	0,00
Somme 1		1,04	0,31	0,13	0,67	0,48	0,00
3	2R	0,61	1,78	-0,36	0,00	0,38	0,00
	PL	-1,39	-1,08	-1,87	-1,41	-0,13	0,00
	VP	-0,51	1,04	-1,24	0,77	-0,08	0,00
	VUL	1,08	0,65	-1,15	0,61	0,88	0,00
Somme 3		-0,34	-0,20	-1,26	-0,17	0,03	0,00
5	2R	0,28	0,69	-0,10	0,00	0,23	0,00
	PL	-0,54	-0,40	-0,70	-0,54	-0,03	0,00
	VP	-0,27	0,32	-0,61	0,10	-0,09	0,00
	VUL	0,20	0,16	-0,92	0,16	0,21	0,00
Somme 5		-0,23	0,03	-0,60	-0,10	-0,03	0,00
7	2R	0,13	0,31	-0,04	0,00	0,12	0,00
	PL	-0,20	-0,15	-0,25	-0,20	-0,03	0,00
	VP	-0,12	0,13	-0,25	0,00	-0,06	0,00
	VUL	0,01	0,05	-0,42	0,06	0,06	0,00
Somme 7		-0,11	0,04	-0,24	-0,04	-0,03	0,00
9	2R	-0,41	1,02	-0,63	0,00	-0,60	0,00
	PL	-1,94	-1,65	-2,48	-1,97	-1,25	0,00
	VP	-2,45	-0,01	-2,20	-1,69	-1,37	0,00
	VUL	-2,52	-0,56	-2,09	-0,43	-1,00	0,00
Somme 9		-2,39	-0,73	-2,10	-1,56	-1,30	0,00
Total		-1,09	-0,10	-1,31	-0,27	-0,21	0,00

En complément de l'exploitation des totaux par type de véhicules ou par catégorie de voies, une analyse de la distribution des variations des émissions sur chaque tronçon permet d'en évaluer la dispersion pour confirmer (ou infirmer) les tendances observées sur les totaux et, dans certains cas, de déterminer si les écarts estimés sur ces totaux sont représentatifs des variations sur les tronçons. Cette distribution est construite à l'aide de classes des variations d'émissions, en pondérant chaque tronçon par les véhicules kilomètres supportés ; ce choix de pondération s'expliquant par la proportionnalité qui existe entre les véhicules kilomètres et les émissions.

L'indicateur de dispersion retenu correspond à la proportion de la classe [-5 % ; +5 %] par rapport à l'ensemble de la distribution. Plus l'indicateur sera proche de 100 %, plus les écarts calculés sur chaque tronçon seront faibles et regroupés, et plus l'influence de l'effet étudié sera faible sur l'inventaire des émissions.

Effet 1	Indicateur de dispersion (+/- 5%)					
Cat. Voie	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3	100%	100%	97%	100%	100%	100%
5	100%	100%	99%	100%	100%	100%
7	100%	100%	100%	100%	100%	100%
9	94%	100%	96%	99%	100%	100%
Total	98%	100%	98%	100%	100%	100%

Commentaires :

Les variations entre les deux situations sont très faibles (de l'ordre de 1% en valeur absolue au maximum). La légère fluctuation constatée est due aux variations de vitesses entre les deux situations suite aux modifications des profils de trafic.

L'effet le plus important (de l'ordre de 2% en valeur absolue) est constaté sur le réseau urbain pour le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils (COV). Cela peut s'expliquer par une pente forte des courbes d'émissions de ces deux polluants pour les faibles vitesses (une faible variation de vitesse entraîne une forte variation d'émissions) et par une part des véhicules circulant moteur froid plus importante sur ce réseau.

Les valeurs de l'indicateur de dispersion sont quasiment toutes égales à 100 %, ce qui montre que les émissions calculées pour chaque tronçon sont peu influencées par la réduction du pas de temps à 4 périodes. Les valeurs, légèrement plus faibles, obtenues pour le CO et les COV en site urbain peuvent s'expliquer par une plus grande sensibilité des émissions de ces polluants aux variations de la vitesse lorsque cette dernière est faible (inférieure à 50 km/h).

Par conséquent, les écarts constatés entre des calculs sur 24 heures et des calculs sur 4 périodes horaires, que ce soit globalement, par type de véhicules ou par catégorie de voies, sont suffisamment faibles et suffisamment regroupés pour que l'approximation puisse être faite sans nuire à la qualité de l'inventaire.

3.3 Réduction de 12 mois à 1 mois moyen

A partir de l'exploitation des postes de comptages permanents, des profils de variation des trafics de mois en mois ont été établis, avec des profils journaliers différenciés pour les mois d'été afin de prendre en compte des phénomènes saisonniers.

Pour ce test, nous avons agrégé les profils de trafic mensuels pour obtenir des profils sur un mois moyen en tenant compte du nombre de jour de chaque mois et de leur importance respective en terme de flux de trafic. De plus, au moment du calcul des émissions, les données météorologiques mensuelles ont été remplacées par des moyennes annuelles issues des statistiques de Météo France sur 30 ans.

Les écarts obtenus par catégorie de voies et par type de véhicules sont présentés dans le tableau suivant.

Effet 2 (%)		Effet de réduire de 12 mois à 1 mois moyen					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	0,12	0,19	0,03	0,00	0,11	-25,28
	PL	-0,16	-0,12	-0,24	-0,17	0,01	0,00
	VP	0,02	0,16	-0,16	0,20	0,07	-25,28
	VUL	0,24	0,13	0,00	0,13	0,17	-25,28
Somme 1		0,04	0,00	-0,14	0,04	0,05	-25,28
3	2R	-0,01	0,18	-0,21	0,00	-0,06	-24,38
	PL	-0,64	-0,46	-0,99	-0,65	-0,26	0,00
	VP	-1,03	0,03	-0,84	-0,15	-0,33	-24,38
	VUL	-0,35	-0,03	-0,45	0,11	-0,09	-24,38
Somme 3		-0,87	-0,25	-0,77	-0,30	-0,27	-24,38
5	2R	0,05	0,18	-0,05	0,00	0,04	-25,92
	PL	-0,20	-0,14	-0,27	-0,20	-0,06	0,00
	VP	0,18	0,10	0,06	0,42	-0,03	-25,92
	VUL	0,15	0,08	0,11	0,51	0,04	-25,92
Somme 5		0,16	0,00	0,01	0,24	-0,03	-25,92
7	2R	0,02	0,05	-0,01	0,00	0,02	-26,17
	PL	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,01	0,00
	VP	0,39	0,07	0,31	0,54	0,04	-26,17
	VUL	0,28	0,09	0,42	0,56	0,06	-26,17
Somme 7		0,35	0,04	0,26	0,40	0,03	-26,17
9	2R	-0,07	0,03	-0,08	0,00	-0,09	-24,03
	PL	-0,60	-0,48	-0,88	-0,61	-0,33	0,00
	VP	-0,69	-0,01	-0,52	-0,12	-0,27	-24,03
	VUL	-0,30	-0,06	-0,18	0,07	-0,13	-24,03
Somme 9		-0,66	-0,21	-0,50	-0,27	-0,26	-24,03
Total		-0,38	-0,09	-0,36	-0,04	-0,11	-25,06

Le tableau suivant présente les résultats de l'indicateur de dispersion pour cet effet.

Effet 2	Indicateur de dispersion (+/- 5%)					
Cat. Voie	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	100%	100%	100%	100%	100%	0%
3	100%	100%	100%	100%	100%	0%
5	100%	100%	100%	100%	100%	0%
7	100%	100%	100%	100%	100%	0%
9	99%	100%	99%	100%	100%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	0%

Commentaires :

Les variations entre les deux calculs sont encore plus faibles que dans le test précédent (toujours inférieures à 1 % en valeur absolue) pour la totalité des émissions, à l'exception des évaporations de carburant en circulation.

En effet, pour ces dernières, le fait de les calculer sur un mois moyen induit une réduction de l'ordre de 25 %. Cet écart très important trouve son origine dans la formulation mathématique utilisée pour les évaporations. En effet, les formules prennent en compte une exponentielle de paramètres météorologiques (les températures et les pressions). Et l'exponentielle de la moyenne n'est pas égale à la moyenne des exponentielles.

Pour les autres émissions, les données météorologiques sont également utilisées dans le calcul des surémissions à froid et pourtant, elles ne semblent pas être influencées par la modification de ces paramètres. L'insensibilité de ce facteur vient également de leur formulation mathématique. Dans ce cas, les paramètres météorologiques sont pris en compte de façon linéaire, donc la moyenne des surémissions à froid est égale à la surémission dans des conditions moyennes. En fait, la légère fluctuation que l'on peut constater sur les émissions provient des variations de vitesse sur les différentes périodes horaires dues à la modification des profils de trafics.

Concernant l'indicateur de dispersion, les résultats sont encore meilleurs que ceux obtenus avec la réduction à 4 périodes « horaires », confirmant ainsi la faible influence du passage de 12 mois à un mois moyen sur les émissions d'origine routière, à l'exception des évaporations. En fait, pour ces dernières, cet effet induit une réduction relativement homogène de l'ordre de 25 % sur tous les tronçons ; ceci expliquant la valeur nulle de l'indicateur de dispersion.

Par conséquent, l'utilisation des données météorologiques moyennes annuelles pour calculer les émissions est tout à fait raisonnable, sauf pour les évaporations pour lesquelles il est indispensable de faire le calcul sur chaque mois.

3.4 Réduction de trois journées type à une journée moyenne

Dans l'étude initiale, nous avons différencié trois types de journées qui présentent des variations journalières de trafics assez contrastées. En fait, les différences se situent surtout dans les heures d'apparition des périodes de pointe et dans leur amplitude.

Pour ce test, nous avons calculé un seul profil journalier moyen en tenant compte de la représentativité de ces trois types de journées dans l'année et de la répartition des trafics sur chacun d'entre elles. Les résultats correspondants sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Effet 3 (%)		Effet de réduire de 3 jours types à 1 journée moyenne					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	0,21	0,96	-0,74	0,00	-0,01	0,00
	PL	-1,22	-0,87	-1,76	-1,23	0,01	0,00
	VP	-1,75	0,48	-2,94	-0,07	-0,26	0,00
	VUL	-0,23	0,25	-2,31	0,23	0,27	0,00
Somme 1		-1,28	-0,30	-2,20	-0,49	-0,06	0,00
3	2R	-0,67	1,44	-2,62	0,00	-1,32	0,00
	PL	-4,79	-3,55	-6,82	-4,83	-1,97	0,00
	VP	-7,36	-0,18	-6,88	-3,06	-2,75	0,00
	VUL	-4,41	-0,80	-5,66	-0,57	-1,38	0,00
Somme 3		-6,42	-2,13	-6,29	-3,25	-2,25	0,00
5	2R	0,18	0,52	-0,08	0,00	0,16	0,00
	PL	-0,45	-0,33	-0,58	-0,45	-0,12	0,00
	VP	-0,39	0,18	-0,61	-0,16	-0,17	0,00
	VUL	-0,23	0,04	-0,96	0,05	0,02	0,00
Somme 5		-0,36	-0,03	-0,59	-0,20	-0,13	0,00
7	2R	0,08	0,19	-0,02	0,00	0,07	0,00
	PL	-0,13	-0,10	-0,16	-0,13	-0,03	0,00
	VP	-0,11	0,07	-0,19	-0,03	-0,04	0,00
	VUL	-0,05	0,02	-0,29	0,03	0,02	0,00
Somme 7		-0,10	0,02	-0,18	-0,04	-0,03	0,00
9	2R	-0,48	0,27	-0,58	0,00	-0,64	0,00
	PL	-3,02	-2,46	-4,24	-3,08	-1,74	0,00
	VP	-4,06	-0,17	-3,20	-1,58	-1,74	0,00
	VUL	-2,40	-0,57	-1,79	-0,45	-0,99	0,00
Somme 9		-3,87	-1,14	-3,02	-1,93	-1,65	0,00
Total		-2,99	-0,76	-2,82	-1,34	-0,89	0,00

Le tableau suivant présente les résultats de l'indicateur de dispersion pour cet effet, ainsi que les écarts minimaux et maximaux constatés pour chaque catégorie de voies, exprimés en pourcentage.

Effet 3		CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	Indicateur	90%	100%	90%	90%	90%	100%
	Min	-10%	-5%	-12%	-7%	-6%	0%
	Max	2%	1%	1%	2%	1%	0%
3	Indicateur	58%	87%	54%	74%	85%	100%
	Min	-16%	-8%	-18%	-12%	-10%	0%
	Max	2%	0%	0%	1%	1%	0%
5	Indicateur	99,7%	100,0%	99,7%	99,8%	100,0%	100,0%
	Min	-13%	-5%	-12%	-9%	-7%	0%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7	Indicateur	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Min	-2%	0%	-3%	-2%	-2%	0%
	Max	0%	0%	1%	0%	0%	0%
9	Indicateur	83%	96%	86%	92%	93%	100%
	Min	-21%	-9%	-16%	-10%	-9%	0%
	Max	10%	4%	8%	5%	5%	0%
Total		86%	97%	86%	92%	94%	100%

Commentaires :

Comme pour les tests précédents, les effets de cette simplification restent globalement peu importants et sont, dans la plupart des cas, inférieurs à 1% (en valeur absolue). Toutefois, des écarts plus importants sont observés pour les émissions de CO et de COV, principalement sur les voies des catégories 3 (type autoroutier) et 9 (réseau urbain).

Ces deux catégories de voie, en raison des forts niveaux de trafic supportés, connaissent des périodes de forte congestion aux heures de pointe. Or, l'utilisation d'un profil moyen a tendance à niveler les variations journalières, et donc à réduire les trafics de pointe au profit des périodes plus creuses. Se faisant, on réduit les variations de la vitesse d'une heure à l'autre en écrétant les valeurs extrêmes.

La sensibilité particulière des polluants CO et COV peut s'expliquer par la forme des courbes d'émissions des véhicules qui, pour la composition du parc utilisée, présentent des pentes importantes pour les faibles vitesses rencontrées en période de congestion.

Les résultats de l'indicateur de dispersion viennent confirmer les tendances observées sur les totaux par catégorie de voies. Les écarts extrêmes (de l'ordre de 15 à 20 %) et les situations de forte dispersion sont observés pour les voies de catégories 3 et 9.

Le passage de 3 journées type à une journée moyenne induit globalement une sous-estimation modérée des émissions polluantes d'origine routière. Cette tendance est surtout significative sur les voies des catégories 3 (type autoroutier) et 9 (urbain). Toutefois, cette simplification reste acceptable pour la réalisation d'un inventaire.

3.5 Réduction de 4 périodes horaires à 1 période journalière

La donnée trafic élémentaire est le trafic moyen journalier annuel (TMJA). Il est par conséquent bien tentant de vouloir calculer les émissions directement à partir de cette donnée plutôt que de s'évertuer à la désagréger selon un découpage temporel plus fin. Cette hypothèse est l'objet de ce dernier test.

Cependant, il reste une inconnue, directement liée à notre hypothèse : *quelle vitesse utiliser pour le calcul ?*

Nous avons choisi de faire le test en deux temps avec deux options différentes :

- ✓ en calculant une vitesse moyenne propre à chaque tronçon sur la base de la décomposition complète (en 864 heures) de l'étude initiale,
- ✓ en prenant les vitesses moyennes proposées par la méthodologie COPERT.

Ces deux options sont présentés dans les paragraphes suivants.

3.5.1 Vitesse calculée

Comme cela a été présenté au paragraphe 3.1, la méthode de calcul des vitesses que nous avons appliqué est empruntée à la modélisation des trafics urbains. Dans ce contexte, la grandeur couramment utilisée est le temps de parcours sur un tronçon, plutôt que la vitesse en elle-même.

Aussi, la vitesse moyenne, qui a servi à faire les calculs d'émissions, est construite à partir de la moyenne arithmétique des temps de parcours aux différentes « heures », pondérés par la représentativité de chaque « heure » dans l'année. Ce qui revient également à faire une moyenne harmonique pondérée des vitesses horaires.

Ainsi, chaque tronçon se verra appliquer une vitesse moyenne qui lui est propre et qui tiendra compte de la congestion éventuelle à certaines périodes. Les valeurs extrêmes et moyennes obtenues pour chaque catégorie de voies sont indiquées dans le tableau suivant.

Type	Catégorie de voie	Vitesse moyenne	Vitesse minimale	Vitesse maximale
1	Autoroutes interurbaines	110	60	130
3	Type autoroutier	64	20	110
5	Réseau structurant	78	40	85
7	Réseau secondaire	72	50	75
9	Réseau urbain	31	5	50

Les vitesses moyennes obtenues, ainsi que leur amplitude, sont un révélateur de la congestion de certaines infrastructures dans le département du Bas-Rhin (les catégories 3 et 9 notamment), confirmant les constatations déjà faites précédemment.

Les résultats obtenus sur les émissions avec ces vitesses sont présentés dans le tableau suivant.

Effet 4 (%)		Effet de réduire de 4 périodes horaires à 1 période journalière moyenne, avec vitesse calculée					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	0,36	1,45	-0,74	0,00	0,01	0,00
	PL	-1,54	-1,11	-2,21	-1,56	0,20	0,00
	VP	-2,73	1,19	-4,26	0,84	0,41	0,00
	VUL	0,43	0,99	-2,07	0,70	1,22	0,00
Somme 1		-1,86	-0,13	-2,94	-0,17	0,41	0,00
3	2R	-3,86	-3,11	-6,01	0,00	-5,00	0,00
	PL	-6,98	-5,01	-10,47	-7,05	-3,12	0,00
	VP	-13,75	-2,99	-10,37	-7,92	-5,30	0,00
	VUL	-11,93	-3,04	-7,69	-2,73	-4,72	0,00
Somme 3		-12,32	-4,13	-9,69	-6,42	-4,35	0,00
5	2R	1,27	3,03	-0,27	0,00	1,15	0,00
	PL	-2,28	-1,68	-2,83	-2,25	-0,26	0,00
	VP	-1,27	1,30	-2,78	0,10	-0,47	0,00
	VUL	0,36	0,57	-4,38	0,59	0,71	0,00
Somme 5		-1,10	0,10	-2,69	-0,55	-0,24	0,00
7	2R	0,67	1,59	-0,18	0,00	0,61	0,00
	PL	-1,05	-0,79	-1,29	-1,04	-0,19	0,00
	VP	-0,70	0,65	-1,34	-0,06	-0,30	0,00
	VUL	-0,01	0,26	-2,21	0,28	0,31	0,00
Somme 7		-0,60	0,19	-1,30	-0,20	-0,18	0,00
9	2R	-0,54	0,84	-0,75	0,00	-0,76	0,00
	PL	-2,69	-2,16	-3,74	-2,72	-1,57	0,00
	VP	-3,17	-0,09	-2,86	-1,98	-1,60	0,00
	VUL	-2,95	-0,69	-2,35	-0,52	-1,22	0,00
Somme 9		-3,08	-0,97	-2,74	-1,98	-1,55	0,00
Total		-3,71	-1,02	-3,74	-2,00	-1,17	0,00

Le tableau suivant présente les résultats de l'indicateur de dispersion pour cet effet, ainsi que les écarts minimaux et maximaux constatés pour chaque catégorie de voies, exprimés en pourcentage.

Effet 4							
Cat. Voie		CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	Indicateur	74%	90%	84%	90%	90%	100%
	Min	-30%	-12%	-21%	-20%	-17%	0%
	Max	6%	3%	2%	5%	4%	0%
3	Indicateur	45%	60%	38%	58%	58%	100%
	Min	-23%	-15%	-18%	-15%	-14%	0%
	Max	4%	2%	1%	3%	4%	0%
5	Indicateur	91%	100%	85%	99%	99%	100%
	Min	-11%	-4%	-12%	-8%	-7%	0%
	Max	1%	2%	0%	1%	1%	0%
7	Indicateur	99%	100%	97%	100%	100%	100%
	Min	-8%	-1%	-10%	-5%	-5%	0%
	Max	0%	1%	0%	0%	0%	0%
9	Indicateur	63%	97%	67%	82%	92%	100%
	Min	-12%	-6%	-10%	-8%	-6%	0%
	Max	19%	11%	17%	14%	12%	0%
Total		74%	90%	73%	86%	89%	100%

Commentaires :

Globalement, la tendance de la réduction de 4 périodes horaires à une seule période journalière est de sous-estimer les émissions de polluants. En regardant plus finement, nous constatons que les écarts sur les émissions sont d'importance variable selon le type de véhicules. Ce phénomène est surtout sensible sur les voies des catégories 3 et 9, avec des variations pouvant dépasser les 10 % en valeur absolue.

L'analyse de la distribution confirme cette tendance ; la part des tronçons subissant des variations supérieures à 5 % (en valeur absolue) est forte sur les catégories 3 et 9. Nous constatons également que, pour les voies de catégorie 3, tous les polluants sont touchés par cette dispersion des écarts, alors que, pour les voies de catégorie 9, se sont surtout le CO et les COV qui sont affectés. Par ailleurs, des variations fortes et ponctuelles sont visibles pour la plupart des polluants sur les voies de catégorie 1.

Le passage de 4 périodes horaires à 1 période journalière, avec une vitesse moyenne calculée, conduit à une sous-estimation sensible des émissions polluantes d'origine routière. Cette tendance est surtout importante pour les voies de catégories 3 et 9 en raison principalement de la disparition des périodes de pointe aux profit de périodes « moyenne » où les vitesses appliquées sont plus élevées.

3.5.2 Vitesse COPERT

La méthodologie européenne de calcul des émissions polluantes d'origine routière propose des conditions de circulation moyennes (vitesses) à appliquer par catégorie de voie. Ces préconisations sont reprises dans le tableau suivant.

Type	Catégorie de voie	Vitesse COPERT
1	Autoroutes interurbaines	100
3	Type autoroutier	100
5	Réseau structurant	70
7	Réseau secondaire	70
9	Réseau urbain	30

A la différence de l'approche précédente, chaque tronçon d'une même catégorie se verra appliquer la même vitesse moyenne. Les résultats obtenus avec cette hypothèse sont présentés dans le tableau suivant.

Effet 4' (%)		Effet de réduire de 4 périodes horaires à 1 période journalière moyenne, avec vitesse COPERT					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	-2,95	-2,98	-3,83	0,00	-2,54	0,00
	PL	-3,01	-2,19	-4,14	-3,03	0,85	0,00
	VP	-23,13	-14,39	-14,36	-27,68	-19,03	0,00
	VUL	-33,10	-15,01	-32,24	-12,28	-20,41	0,00
Somme 1		-20,11	-7,46	-10,73	-14,54	-9,34	0,00
3	2R	11,37	36,47	-9,31	0,00	6,99	0,00
	PL	-26,81	-20,57	-34,57	-26,95	2,14	0,00
	VP	-16,21	17,18	-34,77	5,27	-5,49	0,00
	VUL	7,95	8,75	-38,08	9,19	11,19	0,00
Somme 3		-12,43	-4,48	-31,81	-6,89	-0,12	0,00
5	2R	-4,46	-9,08	0,78	0,00	-3,96	0,00
	PL	4,98	3,92	6,14	5,09	-1,21	0,00
	VP	-1,15	-5,38	3,87	-5,14	-0,75	0,00
	VUL	-9,11	-3,47	8,07	-3,18	-4,94	0,00
Somme 5		-1,51	-1,65	4,17	-1,21	-1,46	0,00
7	2R	-0,93	-2,02	0,27	0,00	-0,83	0,00
	PL	1,33	1,03	1,56	1,34	-0,02	0,00
	VP	0,04	-1,07	0,88	-0,75	0,04	0,00
	VUL	-1,41	-0,62	1,92	-0,57	-0,87	0,00
Somme 7		-0,05	-0,41	0,95	-0,17	-0,11	0,00
9	2R	1,83	-9,72	3,68	0,00	3,02	0,00
	PL	-0,64	-0,09	-4,13	-0,93	1,00	0,00
	VP	3,64	-0,84	5,69	10,14	6,40	0,00
	VUL	15,05	3,05	13,47	2,19	5,74	0,00
Somme 9		4,04	-0,31	5,05	4,52	5,23	0,00
Total		-2,82	-3,39	-3,03	-4,44	-1,57	0,00

Le tableau suivant présente les résultats de l'indicateur de dispersion pour cet effet, ainsi que les écarts minimaux et maximaux constatés pour chaque catégorie de voies, exprimés en pourcentage.

Effet 4'							
Cat. Voie		CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	Indicateur	16%	36%	23%	16%	26%	100%
	Min	-34%	-19%	-32%	-29%	-26%	0%
	Max	0%	0%	0%	0%	3%	0%
3	Indicateur	18%	55%	30%	48%	16%	100%
	Min	-56%	-41%	-70%	-50%	-40%	0%
	Max	19%	9%	0%	12%	13%	0%
5	Indicateur	92%	95%	22%	94%	97%	100%
	Min	-30%	-9%	-35%	-18%	-15%	0%
	Max	2%	4%	13%	5%	0%	0%
7	Indicateur	96%	100%	92%	100%	100%	100%
	Min	-21%	-2%	-28%	-11%	-9%	0%
	Max	2%	1%	5%	2%	1%	0%
9	Indicateur	10%	39%	12%	16%	19%	100%
	Min	-69%	-49%	-63%	-56%	-45%	0%
	Max	56%	30%	51%	50%	35%	0%
Total		44%	63%	29%	52%	50%	100%

Commentaires :

Globalement, la tendance de cette réduction de la décomposition temporelle est de sous-estimer les émissions de polluants. En regardant plus finement, nous constatons que des diminutions fortes des émissions sur les voies des catégories 1 et 3 (de 10 à 30 % selon les polluants et les types de véhicules). Pour les voies de catégorie 9, on observe l'effet contraire, à savoir une légère augmentation des émissions, de l'ordre de 5 % au total. Comme pour les autres effets testés, les polluants subissant les plus fortes variations sont le CO et les COV, auxquels vient s'ajouter les PM dans certains cas.

L'analyse de la distribution vient apporter deux informations complémentaires : d'une part, l'amplitude des extrêmes des variations sur tronçons est globalement forte et, d'autre part, les catégories de voies 1, 3 et 9 présentent des proportions très importantes de tronçons dont les écarts sont supérieurs à 5 % en valeur absolue. Ce dernier phénomène touche tous les polluants étudiés.

Le passage de 4 périodes horaires à 1 période journalière, avec une vitesse moyenne COPERT, conduit à une sous-estimation sensible des émissions polluantes d'origine routière. Cette tendance est surtout importante pour les voies de catégories 1 et 3 en raison de l'homogénéité des vitesses de leurs valeurs relativement élevées compte tenu du contexte local de la circulation automobile.

3.5.3 Comparaison des options de vitesses

Les deux options de vitesses retenues conduisent à une sous-estimation globale des émissions polluantes d'origine routière, avec des ordres de grandeurs tout à fait similaires, même si la dispersion des écarts est plus importante avec les vitesses COPERT.

Cette concordance des résultats au niveau global se retrouve pleinement dans ceux des catégories de voies 5 et 7, à la fois dans les variations globales par type de véhicules et dans la dispersion des écarts par tronçons, même si les valeurs extrêmes observées avec la vitesse COPERT sont plus élevées en valeur absolue.

Par contre, les comportements des deux hypothèses de vitesses sur les autres catégories de voies, à savoir 1,3 et 9, sont nettement différents :

- ◆ Pour les voies de catégorie 1 (autoroutes), la vitesse COPERT sous-estime très fortement les émissions (de 10 à 20 % selon le polluant), et ce, pour tous les polluants étudiés. Même si les extrêmes observés avec les deux vitesses sont équivalents, la plus forte dispersion des variations avec COPERT explique la sous-estimation constatée avec cette option. L'effet de la vitesse moyenne calculée est beaucoup moins sensible (baisse de moins de 3 %) sur les émissions de ce type de voies.
- ◆ Pour les voies de catégories 3 (type autoroutier), les effets des deux options de vitesse conduisent au même résultat, à savoir une sous-estimation de l'ordre de 5 à 10 % des émissions pour tous les polluants. Les résultats avec la vitesse COPERT conduisent à une dispersion des écarts plus importante que dans l'autre cas, avec des valeurs extrêmes de variation plus élevées en valeur absolue.
- ◆ Pour les voies de catégorie 9 (urbain), nous obtenons des effets contraires dans la mesure où la vitesse COPERT conduit à une légère surestimation des émissions, alors que la vitesse calculée induit une légère sous-estimation. De plus, la dispersion des variations sur les tronçons est plus importante pour la première option (COPERT).

En conclusion, nous constatons que le passage de 4 périodes horaires à 1 période journalière conduit globalement à une sous-estimation sensible des émissions polluantes d'origine routière. Cette tendance est surtout importante pour les voies de catégories 3 en raison principalement de la disparition des périodes de pointe au profit de périodes « moyenne », réduisant ainsi l'effet sur les émissions des faibles vitesses.

De plus, nous pouvons considérer que, même si les deux options de vitesses conduisent à des résultats globalement cohérents, l'approche qui utilise la vitesse préconisée par COPERT est moins satisfaisante en raison de la forte sous-estimation des émissions sur le réseau autoroutier (catégorie 1) et de la grande disparité des variations des émissions sur les tronçons. Au regard de ces tests, l'approche qui utilise une vitesse moyenne calculée pour chaque tronçon paraît plus satisfaisante.

3.6 Effets cumulés

Après avoir regardé séparément les différentes étapes conduisant d'une situation où les données de trafic sont finement décomposées en 864 « heures » à une situation où le TMJA est utilisé directement, nous allons maintenant nous intéresser aux conséquences du cumul de plusieurs de ces étapes sur les émissions.

Comme les tests précédents ont montré que les émissions (à l'exception des évaporations) ne sont pas influencées par les phénomènes météorologiques saisonniers, nous avons retenu comme point de départ pour ces effets cumulés la situation où la décomposition se fait sur 1 mois, 3 jours type et 24 heures. Les différents effets cumulés ont été analysés en reprenant les bases d'émissions calculées pour les effets « individuels » et en comparant directement les résultats des situations correspondantes.

3.6.1 Réduction de 1 mois, 3 jours et 24 heures à une journée moyenne

Pour cette première analyse des effets cumulés, nous avons regardé les conséquences de la simplification maximale, à savoir la réduction de 3 jours et 24 heures (soit 72 périodes horaires) à une seule période moyenne. Ce cumul regroupe en fait trois étapes de simplification :

- ✓ Passage de 3 jours type à 1 journée moyenne,
- ✓ Passage de 24 heures à 4 périodes horaires,
- ✓ Passage de 4 périodes horaires à 1 période journalière moyenne.

Comme précédemment, le passage à une journée moyenne pose le problème du choix de la vitesse des véhicules que l'on applique au calcul des émissions. Nous avons donc repris les mêmes hypothèses que pour les effets « individuels », à savoir les vitesses proposées par COPERT et celles calculées à partir de la moyenne des 864 heures.

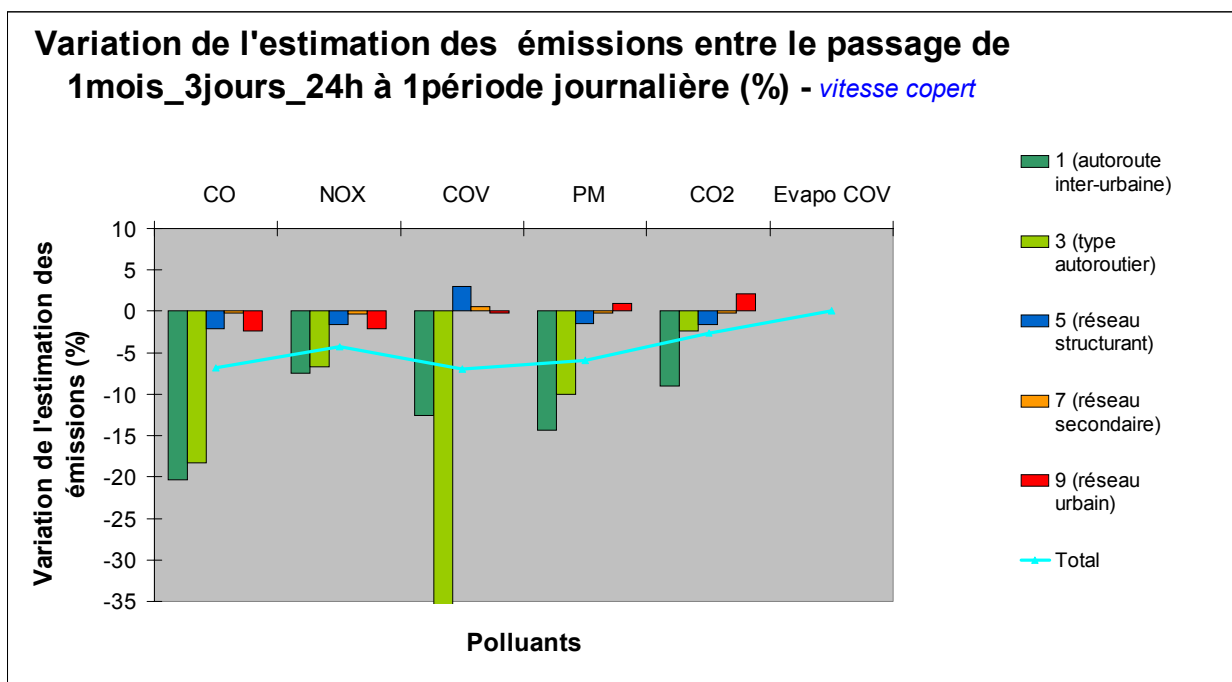
Les résultats correspondants sont présentés dans les paragraphes suivants.

3.6.1.1 Avec la vitesse COPERT

Les variations des émissions selon les catégories de voies et les types de véhicules sont présentées dans le tableau suivant et sont exprimées en pourcentage.

Effet cumulé 1 (%)		Comparaison entre 1_3_24 et 1_1_1_copert					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	-2,54	-1,70	-4,49	0,00	-2,36	0,00
	PL	-4,37	-3,16	-6,07	-4,39	0,84	0,00
	VP	-23,57	-13,19	-16,66	-26,61	-18,52	0,00
	VUL	-31,97	-14,07	-33,03	-11,41	-19,26	0,00
Somme 1		-20,32	-7,46	-12,59	-14,38	-8,96	0,00
3	2R	11,30	40,91	-12,00	0,00	5,99	0,00
	PL	-31,28	-24,22	-40,18	-31,45	0,00	0,00
	VP	-22,76	18,19	-40,01	2,84	-8,17	0,00
	VUL	4,31	8,58	-42,26	9,23	10,63	0,00
Somme 3		-18,33	-6,70	-36,90	-10,07	-2,34	0,00
5	2R	-4,02	-7,98	0,60	0,00	-3,58	0,00
	PL	3,94	3,17	4,78	4,06	-1,36	0,00
	VP	-1,81	-4,90	2,60	-5,20	-1,01	0,00
	VUL	-9,14	-3,28	6,06	-2,98	-4,72	0,00
Somme 5		-2,09	-1,65	2,93	-1,51	-1,62	0,00
7	2R	-0,73	-1,53	0,21	0,00	-0,64	0,00
	PL	1,00	0,78	1,15	1,01	-0,08	0,00
	VP	-0,20	-0,88	0,44	-0,79	-0,06	0,00
	VUL	-1,44	-0,55	1,20	-0,49	-0,78	0,00
Somme 7		-0,25	-0,35	0,53	-0,24	-0,17	0,00
9	2R	0,93	-8,56	2,43	0,00	1,75	0,00
	PL	-5,51	-4,15	-10,48	-5,87	-2,00	0,00
	VP	-3,00	-1,03	0,05	6,56	3,12	0,00
	VUL	9,45	1,89	9,11	1,29	3,64	0,00
Somme 9		-2,37	-2,17	-0,26	0,90	2,15	0,00
Total		-6,76	-4,23	-6,99	-5,98	-2,65	0,00

Les résultats par catégorie de voies et par polluants sont repris sur le graphique ci-après.



Le tableau suivant présente les résultats de l'indicateur de dispersion pour cet effet, ainsi que les écarts minimaux et maximaux constatés pour chaque catégorie de voies, exprimés en pourcentage.

Effet cumulé 1		CO	NOX	COV	PM	CO2	Evapo COV
1	Indicateur	16%	32%	16%	16%	29%	100%
	Min	-34%	-19%	-40%	-29%	-26%	0%
	Max	0%	0%	0%	0%	5%	0%
3	Indicateur	15%	59%	29%	48%	23%	100%
	Min	-58%	-42%	-72%	-51%	-41%	0%
	Max	16%	8%	0%	10%	13%	0%
5	Indicateur	88%	95%	22%	94%	96%	100%
	Min	-44%	-13%	-46%	-28%	-23%	0%
	Max	2%	4%	13%	5%	0%	0%
7	Indicateur	96%	100%	92%	99%	99%	100%
	Min	-23%	-2%	-30%	-12%	-10%	0%
	Max	2%	1%	5%	2%	1%	0%
9	Indicateur	10%	39%	11%	15%	17%	100%
	Min	-70%	-50%	-64%	-57%	-46%	0%
	Max	56%	29%	51%	50%	35%	0%
Total		42%	63%	26%	51%	51%	100%

Commentaires :

Les différentes analyses menées sur les effets globaux de passage de 1 mois, 3 jours et 24 heures à une seule période journalière moyenne (vitesse COPERT) indiquent que les tendances sont similaires à celles observées dans le cas du passage d'une situation 1mois, 1 jour et 4 périodes horaires à une période journalière moyenne, avec la même vitesse (effet 4'). L'intensité de ces effets, quant à elle, est amplifiée du fait du cumul de 3 étapes de simplification de la décomposition temporelle.

Ainsi, les émissions sur les voies de catégorie 1 et 3 sont fortement sous-estimées. Et nous constatons également une augmentation sensible de la dispersion et des valeurs extrêmes des écarts par tronçon par rapport aux résultats de l'effet 4'.

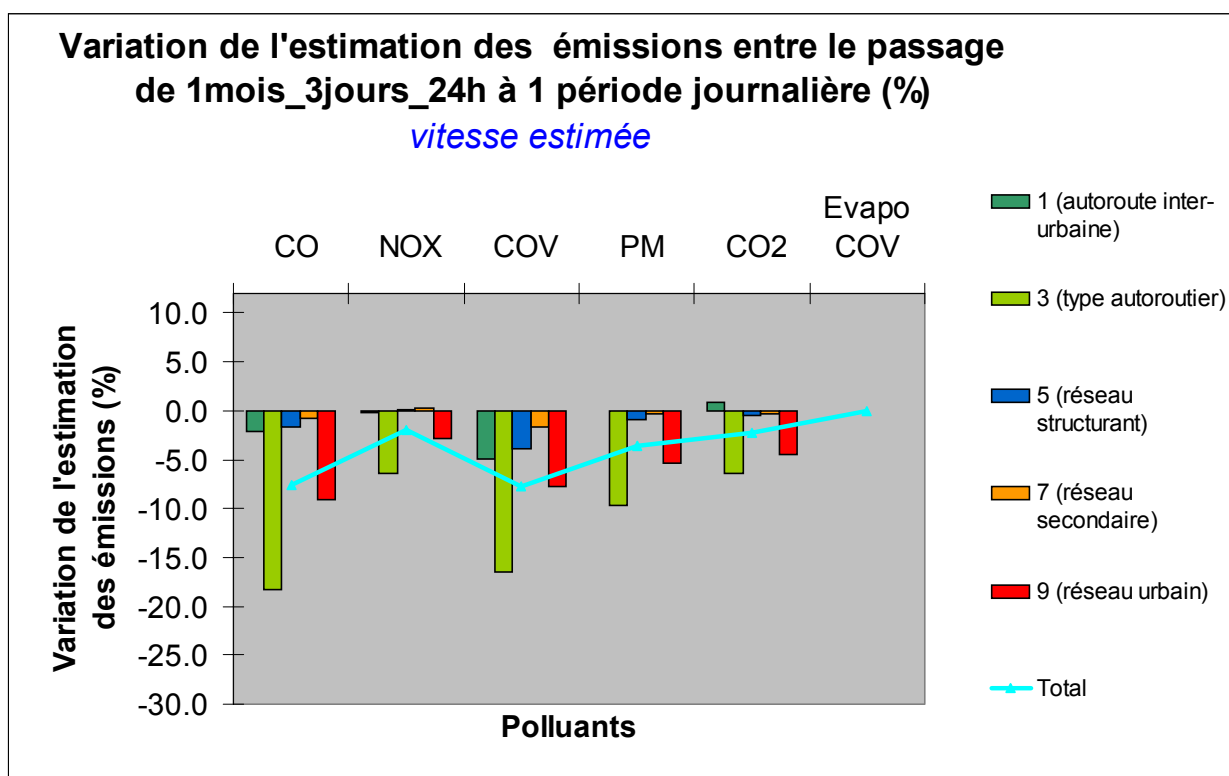
A noter le cas particulier des voies de catégories 9 (urbain), où nous constatons des surémissions avec l'effet 4' alors qu'avec les effets cumulés, nous obtenons des légères sous-émissions.

3.6.1.2 Avec la vitesse calculée

Les variations des émissions selon les catégories de voies et les types de véhicules sont présentées dans le tableau suivant et sont exprimées en pourcentage.

Effet cumulé 2 (%)		Comparaison entre 1_3_24 et 1_1_1_estim					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	0,79	2,79	-1,42	0,00	0,20	0,00
	PL	-2,92	-2,09	-4,18	-2,94	0,20	0,00
	VP	-3,29	2,61	-6,84	2,33	1,04	0,00
	VUL	2,13	2,11	-3,21	1,69	2,68	0,00
Somme 1		-2,11	-0,12	-4,96	0,01	0,83	0,00
3	2R	-3,92	0,04	-8,80	0,00	-5,90	0,00
	PL	-12,67	-9,37	-18,14	-12,79	-5,15	0,00
	VP	-20,50	-2,15	-17,57	-10,05	-7,98	0,00
	VUL	-14,90	-3,19	-13,92	-2,69	-5,20	0,00
Somme 3		-18,23	-6,36	-16,43	-9,62	-6,47	0,00
5	2R	1,74	4,28	-0,45	0,00	1,54	0,00
	PL	-3,25	-2,39	-4,07	-3,22	-0,42	0,00
	VP	-1,93	1,81	-3,96	0,04	-0,73	0,00
	VUL	0,33	0,77	-6,16	0,81	0,94	0,00
Somme 5		-1,68	0,10	-3,84	-0,84	-0,40	0,00
7	2R	0,87	2,10	-0,24	0,00	0,80	0,00
	PL	-1,38	-1,04	-1,69	-1,36	-0,26	0,00
	VP	-0,93	0,85	-1,77	-0,09	-0,40	0,00
	VUL	-0,05	0,33	-2,89	0,36	0,40	0,00
Somme 7		-0,81	0,24	-1,71	-0,28	-0,25	0,00
9	2R	-1,42	2,15	-1,94	0,00	-1,99	0,00
	PL	-7,46	-6,14	-10,11	-7,57	-4,48	0,00
	VP	-9,38	-0,27	-8,04	-5,17	-4,64	0,00
	VUL	-7,67	-1,80	-6,11	-1,39	-3,18	0,00
Somme 9		-9,06	-2,82	-7,67	-5,37	-4,44	0,00
Total		-7,61	-1,88	-7,67	-3,58	-2,25	0,00

Les résultats par catégorie de voies et par polluants sont repris sur le graphique ci-après.



Le tableau suivant présente les résultats de l'indicateur de dispersion pour cet effet, ainsi que les écarts minimaux et maximaux constatés pour chaque catégorie de voies, exprimés en pourcentage.

Effet cumulé 2		Comparaison entre 1_3_24 et 1_1_1 estimé					
Cat. Voie		CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	Indicateur	64%	90%	81%	76%	75%	100%
	Min	-36%	-15%	-30%	-25%	-21%	0%
	Max	8%	5%	3%	7%	7%	0%
3	Indicateur	36%	52%	27%	38%	53%	100%
	Min	-29%	-19%	-24%	-23%	-21%	0%
	Max	6%	3%	2%	4%	5%	0%
5	Indicateur	86%	100%	75%	94%	97%	100%
	Min	-26%	-10%	-22%	-17%	-14%	0%
	Max	1%	2%	0%	1%	1%	0%
7	Indicateur	97%	100%	94%	100%	100%	100%
	Min	-12%	-2%	-14%	-7%	-7%	0%
	Max	0%	1%	0%	0%	0%	0%
9	Indicateur	23%	80%	27%	40%	55%	100%
	Min	-21%	-10%	-16%	-13%	-11%	0%
	Max	18%	10%	16%	12%	11%	0%
Total		58%	85%	58%	68%	75%	100%

Commentaires :

Les différentes analyses menées sur les effets globaux de passage de 1 mois, 3 jours et 24 heures à une seule période journalière moyenne (vitesse calculée) indiquent que les tendances sont similaires à celles observées dans le cas du passage d'une situation 1mois, 1 jour et 4 périodes horaires à une période journalière moyenne, avec la même vitesse (effet 4). L'intensité de ces effets, quant à elle, est amplifiée du fait du cumul de 3 étapes de simplification de la décomposition temporelle.

Ainsi, les émissions sur les voies de catégorie 3 et 9 sont fortement sous-estimées. Et nous constatons également une augmentation sensible de la dispersion et des valeurs extrêmes des écarts par tronçon, particulièrement pour ces deux catégories de voies, par rapport aux résultats de l'effet 4.

3.6.1.3 Conclusion

La simplification maximale de la décomposition horaire des calculs que nous avons évalué conduit à des résultats peu satisfaisants. En effet, même si les écarts constatés sur les émissions totales sont relativement peu importants (de l'ordre de 7 % en valeur absolue), elle sous-estime très fortement (de 10 à 40 % selon le polluant considéré) certaines catégories de voies en fonction de l'option retenue pour le choix de la vitesse moyenne (catégorie 1 et 3 pour la vitesse COPERT, 3 et 9 pour la vitesse calculée). De plus, les effets locaux au niveau des tronçons présentent des disparités très importantes.

3.6.2 Réduction de [1 mois, 3 jours et 24 heures] à [1mois, 1 jour, 4 périodes horaires]

Pour cette analyse d'effets cumulés, nous avons regardé les conséquences d'une simplification moins importante que précédemment, à savoir la réduction d'une situation sur 1 mois, 3 jours et 24 heures (soit 72 périodes horaires) à une situation sur 1mois, 1 jour et 4 périodes horaires.

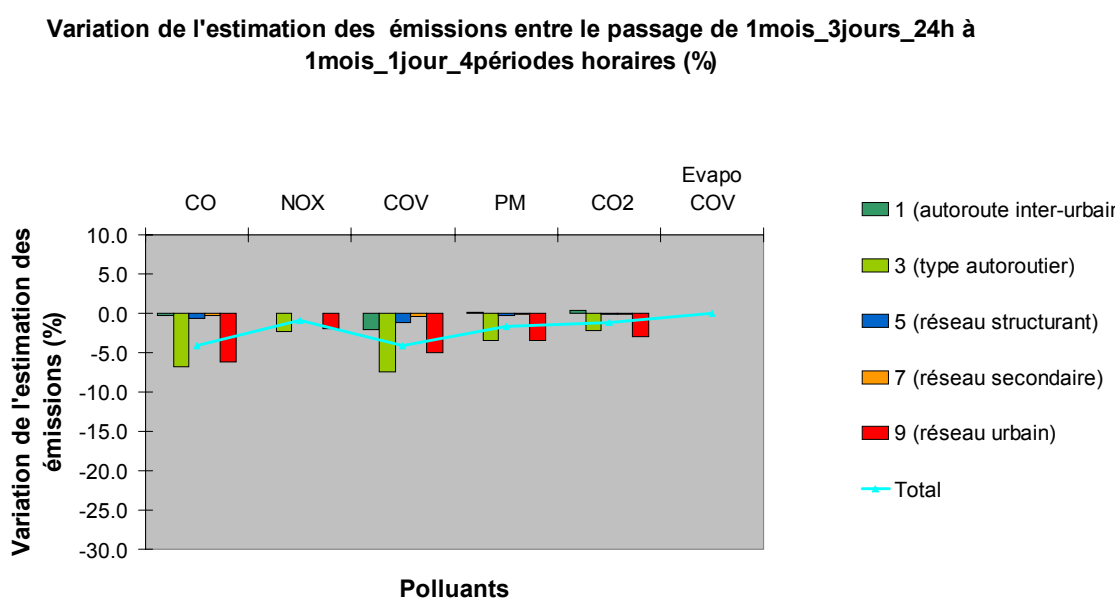
La simplification étudiée dans ce cas regroupe en fait deux agrégations temporelles :

- ✓ le passage de 3 journées type à 1 journée moyenne,
- ✓ le passage de 24 heures à 4 périodes horaires.

Les variations des émissions selon les catégories de voies et les types de véhicules sont présentées dans le tableau suivant et sont exprimées en pourcentage.

Effet cumulé 3 (%)		Comparaison entre 1_3_24 et 1_1_4					
Cat. Voie	Véhicule	CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	2R	0,42	1,32	-0,69	0,00	0,19	0,00
	PL	-1,40	-1,00	-2,01	-1,40	0,00	0,00
	VP	-0,58	1,40	-2,69	1,47	0,63	0,00
	VUL	1,69	1,11	-1,16	0,99	1,44	0,00
Somme 1		-0,25	0,01	-2,08	0,18	0,42	0,00
3	2R	-0,07	3,25	-2,97	0,00	-0,94	0,00
	PL	-6,11	-4,59	-8,57	-6,17	-2,10	0,00
	VP	-7,83	0,86	-8,03	-2,31	-2,83	0,00
	VUL	-3,37	-0,16	-6,75	0,04	-0,51	0,00
Somme 3		-6,74	-2,32	-7,47	-3,42	-2,22	0,00
5	2R	0,46	1,21	-0,18	0,00	0,39	0,00
	PL	-0,99	-0,73	-1,28	-0,99	-0,16	0,00
	VP	-0,66	0,50	-1,22	-0,06	-0,26	0,00
	VUL	-0,03	0,20	-1,86	0,21	0,23	0,00
Somme 5		-0,59	0,00	-1,19	-0,30	-0,16	0,00
7	2R	0,20	0,50	-0,05	0,00	0,19	0,00
	PL	-0,33	-0,25	-0,40	-0,32	-0,06	0,00
	VP	-0,24	0,20	-0,43	-0,04	-0,10	0,00
	VUL	-0,04	0,07	-0,70	0,08	0,09	0,00
Somme 7		-0,21	0,05	-0,42	-0,07	-0,06	0,00
9	2R	-0,89	1,29	-1,20	0,00	-1,23	0,00
	PL	-4,90	-4,07	-6,62	-4,98	-2,97	0,00
	VP	-6,41	-0,18	-5,33	-3,25	-3,08	0,00
	VUL	-4,86	-1,12	-3,84	-0,88	-1,98	0,00
Somme 9		-6,16	-1,87	-5,06	-3,46	-2,93	0,00
Total		-4,05	-0,87	-4,09	-1,61	-1,10	0,00

Les résultats par catégorie de voies et par polluants sont repris sur le graphique ci-après.



Le tableau suivant présente les résultats de l'indicateur de dispersion pour cet effet, ainsi que les écarts minimaux et maximaux constatés pour chaque catégorie de voies, exprimés en pourcentage.

Effet cumulé 3							
Cat. Voie		CO	NOX	COV	PM	CO ₂	Evapo COV
1	Indicateur	90%	100%	90%	90%	100%	100%
	Min	-9%	-4%	-12%	-6%	-5%	0%
	Max	3%	1%	1%	2%	2%	0%
3	Indicateur	57%	95%	40%	67%	69%	100%
	Min	-13%	-10%	-15%	-11%	-8%	0%
	Max	3%	1%	1%	2%	2%	0%
5	Indicateur	99%	100%	98%	100%	100%	100%
	Min	-21%	-8%	-19%	-14%	-11%	0%
	Max	0%	1%	0%	1%	0%	0%
7	Indicateur	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Min	-4%	-1%	-5%	-3%	-2%	0%
	Max	0%	0%	1%	0%	0%	0%
9	Indicateur	70%	91%	72%	82%	86%	100%
	Min	-24%	-12%	-20%	-14%	-12%	0%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total		83%	97%	80%	88%	91%	100%

Commentaires :

Globalement, l'effet de la réduction cumulée de la décomposition horaire des données de trafic conduit à une légère sous-estimation des émissions (inférieure à 5 % en valeur absolue). La sous-estimation est plus importante pour les voies des catégories 3 et 9, et notamment pour le CO et les COV.

L'analyse de la distribution des écarts vient conforter la tendance observée sur les totaux. Les résultats obtenus sur les tronçons sont peu dispersés et les valeurs extrêmes sont peu élevées en valeur absolue, à l'exception des voies des catégories 3 et 9 pour lesquelles la sensibilité est plus forte sur le CO et les COV.

D'une manière générale, ce scénario de simplification des calculs sous-estime les émissions polluantes d'origine routière. L'ordre de grandeurs de ces sous-estimations reste compatibles avec le niveau de précision que l'on peut attendre d'un inventaire annuel des émissions à l'échelle régionale ou départementale.

Par conséquent, cette simplification semble être celle qui présente le meilleur compromis pour le calcul des émissions, entre la précision des résultats et la complexité des calculs à réaliser (nombre de périodes horaires à prendre en compte).

4. Conclusions

Cette étude a été réalisée en se basant sur l'inventaire annuel des émissions polluantes d'origine routière sur la région Alsace. Cet inventaire a bénéficié de conditions favorables dans la mesure où la connaissance de la circulation routière dans cette région est très bonne (nombreux points de comptages du trafic routier). Par conséquent, l'application des éléments méthodologiques présentés dans ce document, peut s'avérer délicate dans une région (ou un département) où la connaissance de la circulation est plus limitée.

D'une manière générale, les opérations de simplification du calcul des émissions conduisent de manière quasi-systématique à une sous-estimation des émissions polluantes à l'échelle départementale. Les effets observés peuvent être plus ou moins importants selon l'ampleur de la simplification de la décomposition horaire des trafics, la catégorie de voies ou le type de véhicules.

Les évaporations de COV en circulation et les autres émissions ne réagissent pas de la même façon aux modifications de la décomposition horaire des données de trafic. Cela s'explique par une prise en compte différente des éléments météorologiques et de trafic dans les formules de calcul des émissions. Concernant les évaporations, elles sont uniquement et fortement sensibles à la modification des paramètres climatiques. Ainsi, l'écart entre un calcul sur 12 mois et sur 1 mois moyen est de l'ordre de 25 %.

Il est, par conséquent, indispensable de calculer les évaporations en circulation sur les 12 mois de l'année.

Les autres émissions présentent une très faible sensibilité à la modification des paramètres climatiques (passage de 12 mois à 1 mois moyen). Elles sont également très peu influencées par la réduction de 24 heures à 4 périodes horaires.

Par contre, l'influence de la décomposition temporelle est plus marquée lorsque l'on modifie le poids relatif des heures de pointe et des heures creuses sur la journée, surtout sur les tronçons où les phénomènes de congestion sont fréquents en raison des charges de trafic supportées. Cette influence se fait sentir modestement lorsque l'on réduit les 3 jours types en 1 journée moyenne et de façon plus marquée lorsque l'on passe de 4 périodes horaires à 1 période journalière moyenne.

Dans notre cas, ce sont les voies de type autoroutières et les voies urbaines qui subissent les plus fortes sous-estimations des émissions. Tous les polluants sont affectés par ce phénomène, mais le CO et les COV sont touchés de manière systématique et plus significativement dans tous les effets testés. Cette sensibilité particulière de ces deux polluants peut s'expliquer par une dépendance à la vitesse plus grande de leur fonctions d'émissions que celles des autres polluants.

Cette étude d'analyse de la sensibilité d'un inventaire d'émissions au niveau d'agrégation temporelle des données de trafic aura permis de mettre en évidence toute l'importance de la vitesse dans le calcul des émissions et toute la difficulté à choisir celle qui sera prise en compte. En effet, nous avons pu constater que, compte tenu du mode de calcul des émissions, la vitesse la plus représentative des conditions moyennes de circulation sur une période n'est pas forcément celle qui conduit aux émissions moyennes sur cette même période. Par conséquent, la réalisation d'un inventaire spatialisé des émissions reste un compromis à trouver entre la qualité des données de trafic disponibles (densité des comptages, informations sur les variations

temporelles) et la précision souhaité pour l'inventaire, qui ne sera pas sans conséquences sur les données nécessaires, les délais et les coûts de réalisation.

Compte tenu de ces différents éléments, le principe de décomposition horaire qui présente le meilleur compromis entre la précision de l'inventaire d'émissions et la complexité du calcul est de travailler sur 4 périodes horaires pour une journée moyenne et le mois moyen. De plus, cette option a l'avantage d'être facilement mise en œuvre dans la mesure où des profils de trafic adaptés sont relativement aisés à obtenir par catégorie de voies.

Toutefois, dans le cas d'un réseau que l'on sait fortement chargé, et donc avec des périodes de congestion fréquentes, il est préférable d'utiliser une décomposition sur 4 périodes horaires et 3 jours types (semaine, samedi, dimanche et fêtes) qui permet une meilleure prise en compte des périodes de pointe et des faibles vitesses associées.

© ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer
centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Certu est illicite (loi du 11 mars 1957).
Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Reprographie: CETE de Lyon ☎ (+33) (0) 4 72 14 30 30 (septembre 2003)
Dépôt légal: 3^e trimestre 2003
ISSN: 1263-2570
ISRN: Certu/RE -- 03-16 -- FR

Certu
9, rue Juliette-Récamier
69456 Lyon cedex 06
☎ (+33) (0) 4 72 74 59 59
Internet <http://www.certu.fr>