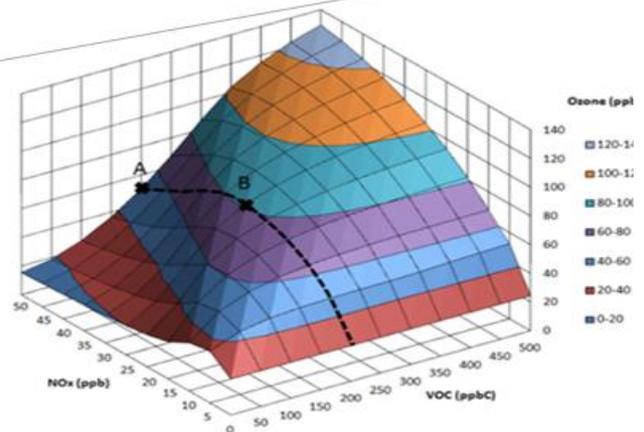
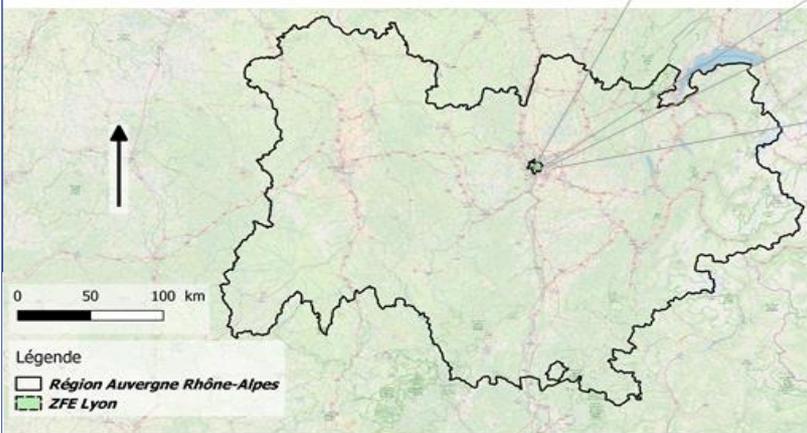
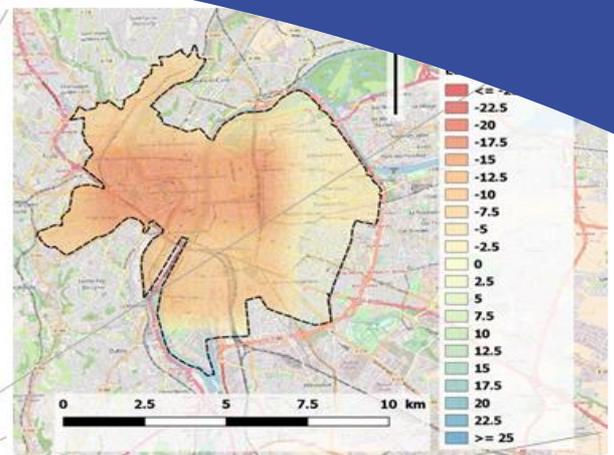
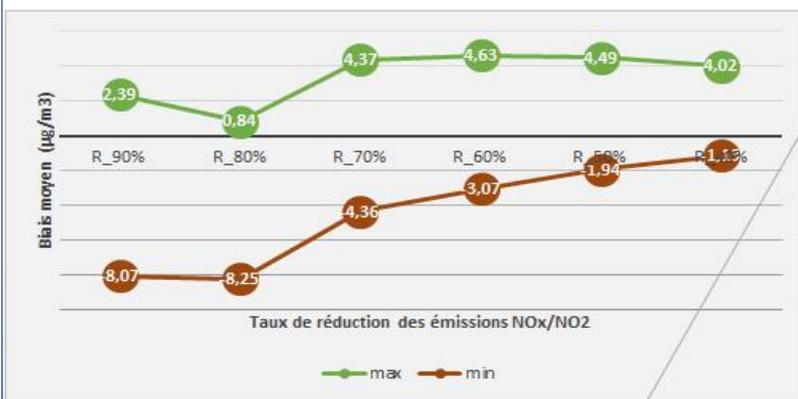


Impact de la circulation différenciée sur la pollution en ozone

Etude de cas : épisode de pollution du 24 juin au 2 juillet 2019

Année 2019



Auteur : Unité Prévision et Vigilance

Diffusion : Septembre 2019

Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr

Conditions de diffusion

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (décret 98-361 du 6 mai 1998) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'État français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur les sites www.air-rhonealpes.fr et <http://www.atmoauvergne.asso.fr/>

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2019) **Impact de la circulation différenciée sur la pollution en ozone.**

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

- depuis le [formulaire de contact](#)
- par mail : contact@atmo-aura.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Résumé

Des actions de réduction des émissions de polluants sont mises en place par les autorités préfectorales lors des épisodes de pollution. L'efficacité de ces actions pour des polluants primaires tels que les oxydes d'azote ou les particules est théoriquement importante, notamment pour les oxydes d'azote. Elle a pu être vérifiée près des voiries, mais pas de façon généralisée, compte tenu notamment du faible respect des mesures. Pour l'ozone, compte tenu des mécanismes photochimiques complexes en jeu, l'évaluation est plus difficile. Le travail présenté dans le cadre de cette note est une première approche d'une telle évaluation. Elle est basée sur la mise en place de la circulation différenciée dans la zone à faible émissions (ZCD) de l'agglomération lyonnaise pendant un épisode de pollution photochimique représentatif des conditions estivales caniculaires de l'été 2019.

Dans un premier temps, la baisse des émissions de polluants précurseurs de l'ozone (O_3), oxydes d'azote (NO_x et NO_2) et composés organiques volatils (COV) a été quantifiée, à la fois théoriquement (taux de respect de la mesure à 100%) et plus réalistement en s'appuyant sur le pourcentage de baisse du trafic routier constaté par les services du Grand Lyon. Théoriquement, l'application de la circulation différenciée permettrait de réduire les émissions de NO_x jusqu'à 37% sur la ZCD de la métropole lyonnaise. Dans la réalité, compte tenu du taux de respect de la mesure, la réduction des NO_x était de l'ordre de 10%.

Dans un deuxième temps, des simulations numériques ont été réalisées en utilisant le modèle CHIMERE, afin d'évaluer l'impact sur les concentrations d'ozone. Ces simulations ont montré une légère augmentation des concentrations d'ozone sur la zone ZCD en raison du régime chimique (réduction des émissions de NO_x dans une zone limitée de COV).

Enfin, d'autres scénarii ont été modélisés (coupure des émissions sur la ZCD, réduction régulière et progressive des émissions de NO_x ,...) afin d'identifier les leviers d'actions potentiellement les plus efficaces sur ce territoire.

Il s'agit d'une première étude, plusieurs autres simulations sont encore nécessaires pour étudier l'impact de ces mesures, notamment sur d'autres territoires, mais aussi mieux prendre en compte les conditions réelles. De plus, d'autres variables que la réduction des émissions NO_x/NO_2 restent à étudier d'une manière plus approfondie, comme l'impact engendré par la variation des émissions de COV issues des activités industrielles, résidentielles et biogéniques.



Sommaire

1. Introduction	5
2. Impact de la circulation différenciée sur les émissions de polluants	6
2.1. Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier	6
2.2. Impact de la circulation différenciée sur les émissions des oxydes d'azote et de composés organiques volatils	6
2.2.1. L'évolution du trafic routier	7
2.2.2. L'évolution des émissions de polluants précurseurs de l'ozone	7
3. Impact de la circulation différenciée sur les concentrations en ozone	7
3.1. Système de modélisation d'Atmo Auvergne Rhône-Alpes	7
3.2. Scénarii modélisés et polluants considérés	8
3.2.1. Zone d'étude.....	8
3.2.2. Description des différents scénarii.....	9
3.3. Résultats de modélisation	9
3.3.1. Scénario de référence – S0	9
3.3.2. Scénario théorique ZCD – S1	10
3.3.3. Scénario théorique AuRA – S2.....	10
3.3.4. Scénarii de sensibilité – S3.....	11
3.3.5. Scénario du bilan massique – S4.....	12
4. Conclusion	16

1. Introduction

Ces 5 dernières années, les épisodes estivaux de pollution photochimique sont en recrudescence, entraînant des dépassements du seuil d'information et de recommandations ($180\mu\text{g.m}^{-3}$) dans de nombreuses régions françaises.

L'amélioration de la qualité de l'air dans les zones urbaines les plus concernées par cette pollution constitue aujourd'hui une préoccupation majeure. Pour cette raison, l'Etat a mis en place des actions destinées à réduire les émissions de polluants, notamment celles dues au trafic routier, en limitant l'accès aux véhicules selon leur vignette Crit'Air. Cette stratégie a permis de limiter les émissions de polluants, notamment des précurseurs d'ozone en milieu urbain pendant ces périodes critiques.

Théoriquement, l'application de ces mesures (dont la circulation différenciée) est toujours bénéfique à la qualité de l'air. Néanmoins, l'efficacité de ces actions sur la réduction des concentrations d'ozone dans l'air n'est pas systématique. En effet, la photochimie de l'ozone n'est pas reliée linéairement avec les émissions du trafic routier.

Pour cette raison, l'impact des mesures de gestion des épisodes estivaux sur les concentrations d'ozone doit être évalué sur plusieurs territoires, notamment les cœurs d'agglomérations les plus densément peuplés, et pour différents épisodes de pollution. Ces études d'impact qualitatives des différentes actions nécessitent la mise en œuvre des modèles de qualité de l'air. Elles consistent à étudier le gain en émissions et à simuler par la suite le résultat en concentration (exposition des personnes) via des modèles numériques. Dans cette étude, nous utilisons le modèle Eulérien CHIMERE pour analyser les effets théoriques d'application de la circulation différenciée sur la zone à faible émissions de la métropole lyonnaise pendant l'épisode de pollution d'ozone de fin juin et début juillet 2019. Idéalement, il faut disposer de données sur l'évolution réelle de l'activité pendant l'épisode, autrement dit pouvoir mesurer le taux de respect des mesures. Des données ponctuelles de déviation du trafic routier ont été fournies par les services du Grand Lyon et utilisées pour l'évaluation dont il est fait mention ici.

Cette note est organisée en deux parties. La première partie est consacrée à évaluer les émissions théoriques résultant de la mise en place de la circulation différenciée en les comparant à la situation initiale et réelle. Au cours de la deuxième partie, nous abordons l'impact et l'efficacité de ces actions sur la concentration d'ozone dans l'air. Dans ce cadre, nous avons réalisé plusieurs simulations pour étudier les limites et l'efficacité théoriques de ces actions.

2. Impact de la circulation différenciée sur les émissions de polluants

Ce paragraphe est consacré à déterminer les gains d'émissions obtenus à la suite de l'application de la circulation différenciée pendant l'épisode de fin juin et début juillet 2019. Ces mesures ne concernent que la zone à faible émissions (ZCD) de la métropole lyonnaise.

2.1. Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier

Les inventaires d'émissions obéissent à des référentiels méthodologiques stricts afin d'assurer la plus grande cohérence possible des travaux réalisés dans les différents pays :

- ✓ Au niveau européen, le guide EMEP/EEA¹ précise l'ensemble des sources d'activité susceptibles d'émettre des polluants dans l'atmosphère (nomenclatures SNAP ou CRF²), ainsi que la façon de calculer ces émissions (données d'entrée et facteurs d'émissions appropriés),
- ✓ Au niveau national, le guide OMINEA du CITEPA³, révisé chaque année, vient préciser la méthode européenne, grâce à des études nationales,
- ✓ Au niveau régional, le guide PCIT⁴, corédigé par ATMO France⁵, le CITEPA et l'INERIS⁶, apporte des précisions supplémentaires, notamment pour la production de données d'entrée à l'échelle communale. En effet, tout inventaire des émissions obéit à certains critères : exhaustivité des sources significatives, comparabilité entre territoires, cohérence temporelle, traçabilité, validation/bouclage avec des statistiques régionales ou consommations réelles locales, respect des règles de diffusion relatives aux données confidentielles.

Le calcul des émissions liées au trafic routier est effectué sur l'ensemble de la région Auvergne Rhône-Alpes, à l'aide de la méthodologie européenne COPERT v5.0 dont les facteurs d'émissions, obtenus selon des cycles de conduite réelle, sont déclinés pour environ 250 types de véhicules, généralement selon la vitesse des véhicules et selon la pente de la route/charge pour les véhicules lourds. Les émissions routières sont obtenues en affectant à chaque type de véhicules, un facteur d'émission (selon le polluant considéré).

2.2. Impact de la circulation différenciée sur les émissions des oxydes d'azote et de composés organiques volatils

Les actions peuvent différer d'un département à un autre, voire entre zones, mais d'une manière générale, les mesures de restriction des émissions polluantes s'appliquent aux transports routiers, aux secteurs industriel, résidentiel et agricole, et peuvent aussi toucher l'organisation de manifestations ponctuelles (feux d'artifices ou de la St-Jean, compétitions ou rassemblements automobiles...).

Nous nous intéressons dans cette note à la restriction de circulation selon les certificats de qualité de l'air qui a été appliquée sur le territoire de Lyon/Villeurbanne (Zone à faible émission). Pendant l'épisode de fin juin et début juillet, les véhicules non dotés de certificat, ou dotés de certificats 3 ou 4 ou 5 étaient interdits de circulation. Ces hypothèses ont été utilisées pour produire un nouveau jeu de données d'entrée pour réaliser nos simulations avec le modèle de dispersion atmosphérique.

1 Air Pollutant Emission Inventory guidebook de l'Agence Européenne de l'environnement (<http://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>).

2 Selected Nomenclature for Air Pollution : il s'agit de la nomenclature européenne relative aux activités émettrices de polluants.

3 Guide méthodologique des inventaires des émissions atmosphériques et de gaz à effet de serre, rédigé par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique (<http://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/ominea>).

4 <http://www.atmo-france.org/fr/index.php?voir-details/351-ges/1168-guide-methodologique-pcit.html>

5 Fédération des Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air en France, dont Air Rhône-Alpes est membre. (<http://www.atmo-france.org/>)

6 Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (<http://www.ineris.fr/>)

2.2.1. L'évolution du trafic routier

Les données d'évolution de trafic routier fournis à Atmo Auvergne-Rhône-Alpes par le Grand Lyon montrent une réduction de 7 à 8 % de kilomètres parcourus, pour environ 46% de réduction attendue si la mesure avait été intégralement suivie par les automobilistes.

2.2.2. L'évolution des émissions de polluants précurseurs de l'ozone

Sur la base de cette évolution de trafic, les baisses d'émissions théoriques estimées sont très nettement inférieures à l'attendu, mais toutefois significatives pour les oxydes d'azote (Tableau 1).

	Théorique	Réel
Oxydes d'azote NO_x	64% d'émissions <u>trafic</u> en moins 34% d'émissions <u>totales</u> en moins	10% d'émissions <u>trafic</u> en moins 6% d'émissions <u>totales</u> en moins
Composés organiques volatils COV	5 % d'émissions <u>trafic</u> en moins 0,5% d'émissions <u>totales</u> en moins	1% d'émissions <u>trafic</u> en moins 0,1% d'émissions <u>totales</u> en moins

Sources de données trafic : Métropole de Lyon

Tableau 1 : Evolution des émissions des oxydes d'azote et des composés organique volatils.

3. Impact de la circulation différenciée sur les concentrations en ozone

La formation de l'ozone obéit à des mécanismes physicochimiques complexes. Une baisse des émissions de précurseurs d'ozone ne signifie pas forcément une baisse des concentrations, et dans tous les cas pas une baisse proportionnelle. Dans ce paragraphe, nous étudierons l'impact et l'efficacité de la circulation différenciée sur la concentration de l'ozone dans l'air en utilisant notre plateforme de modélisation.

3.1. Système de modélisation d'Atmo Auvergne Rhône-Alpes

La chaîne de modélisation est un enchaînement de modèles imbriqués permettant d'obtenir des cartes de champs de concentrations à des échelles temporelle et spatiale définies sur un domaine d'étude régional (Figure 1). Ce dernier englobe l'ensemble de la région Auvergne Rhône-Alpes, dont l'emprise spatiale est de 149x114km² et la résolution horizontale de 3x3 km². Cette chaîne est composée principalement en deux maillons : la météorologie et la chimie/transport ... Le calcul de l'évolution des champs météorologiques régionaux est effectué par le modèle numérique WRF (National Center for Atmospheric Research). Les principales données d'entrée de ce modèle sont les prévisions à l'échelle globale (GFS), la topographie et l'occupation du sol. Le calcul des grandeurs météorologiques (vent, température, humidité...) par le modèle WRF à l'échelle régionale prend en compte d'une manière implicite les effets induits par le relief. La dispersion et les transformations chimiques des polluants sont réalisées avec le modèle CHIMERE. Il s'agit d'un modèle Eulerien 3D de dispersion atmosphérique à méso-échelle, développé par l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace) en collaboration avec l'INERIS. CHIMERE calcule de manière déterministe les concentrations des espèces gazeuses et particulaires. Il permet de prévoir la pollution atmosphérique en prenant en compte l'évolution de nombreux processus physico-chimiques dans l'atmosphère.

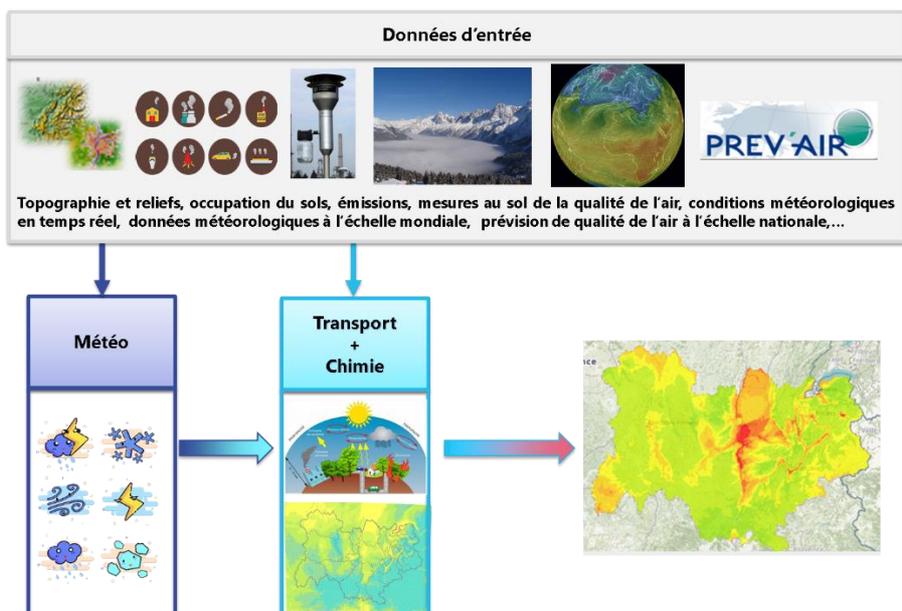


Figure 1 : Chaîne de prévision régionale d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

3.2. Scenarii modélisés et polluants considérés

3.2.1. Zone d'étude

Les simulations ont été réalisées sur la zone d'application de la circulation différenciée ZCD (la plus grande partie de la ZFE). Le domaine d'étude ne couvre pas Bron, Vénissieux et Caluire

Figure 2). Quelques scénarii théoriques de réduction des émissions ont été appliqués sur l'ensemble de la région pour affiner notre étude.

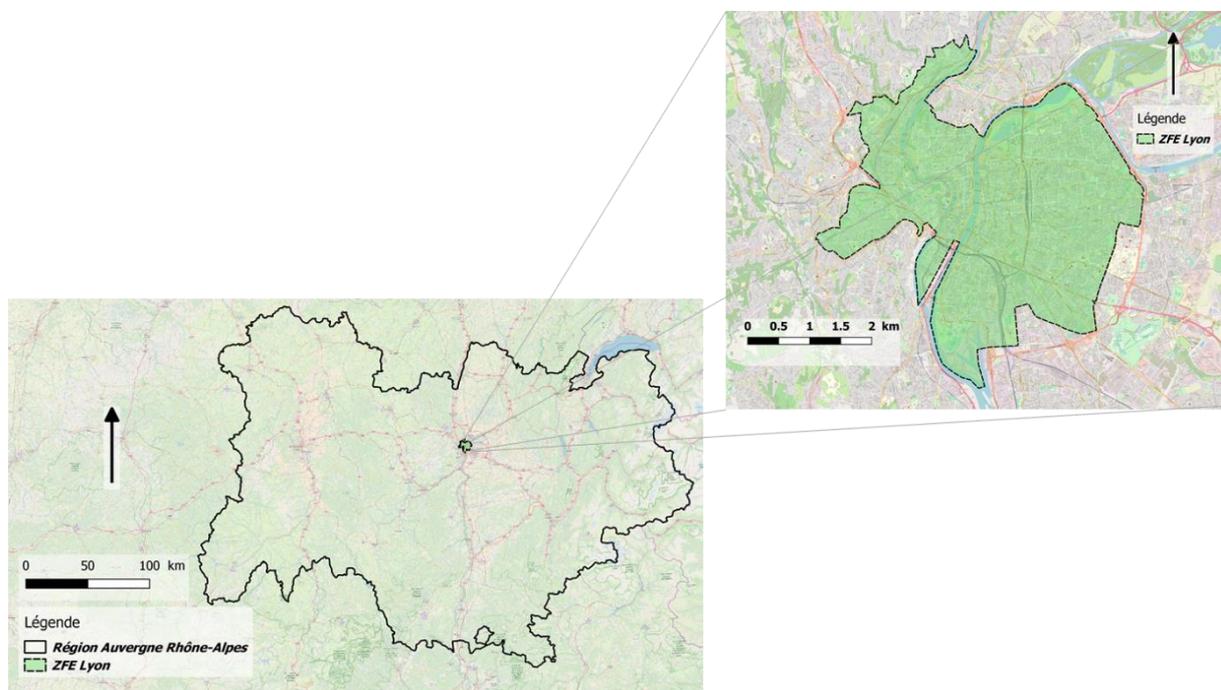


Figure 2: Focus sur la zone d'application de la circulation différenciée

3.2.2. Description des différents scénarii

Pour étudier l'efficacité des mesures mises en place pendant l'épisode de pollution de fin juin et début juillet 2019, plusieurs simulations numériques ont été réalisées par le modèle régional d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Le Tableau 2 présente brièvement les différentes simulations effectuées dans le cadre de cette étude. Nous utilisons pour chaque calcul le même jeu de données météorologiques et les mêmes paramètres physico-chimiques dans le modèle atmosphérique.

Nom de scénario	Id_Scénario	Description
Référence	S0	Scénario de base avec aucune réduction des émissions. Il s'agit de l'état initial.
Théorique ZCD	S1	Réduction des émissions NO _x /NO ₂ uniquement dans la ZCD de Lyon : scénario correspond à la baisse théorique des émissions à la suite de l'application de la circulation différenciée pendant l'épisode de pollution : (-37% de NO _x et -34% de NO ₂).
Théorique AuRA	S2	Réduction théorique des émissions sur toute la région Auvergne-Rhône-Alpes (-37% de NO _x et -34% de NO ₂).
Sensibilité	S3	Etude de sensibilité des concentrations d'ozone dans l'air en fonction des taux de réduction des émissions NO _x /NO ₂ .
Bilan de massique COV/NO _x	S4	Application de la même réduction théorique des émissions NO _x /NO ₂ (associée à l'application de la circulation différenciée) après avoir modifier le ratio COV/NO _x du cadastre initial.

Tableau 2 : Description des différents scénarii réalisés

3.3. Résultats de modélisation

3.3.1. Scénario de référence – S0

Ce scénario de base permet de créer un jeu de données de référence, utilisé pour interpréter les résultats des autres scénarii étudiés. Pour cette raison, il est fortement recommandé de valider les résultats de base avant son utilisation. Une comparaison entre les observations disponibles dans la zone d'étude et la modélisation a été effectuée pour le scénario de référence afin d'évaluer les résultats de la chaîne de modélisation. La comparaison entre les résultats de la modélisation avec CHIMERE et les concentrations observées aux 2 stations d'Atmo AuRA (Gerland et Lyon centre) a été réalisée pour la période d'étude (épisode fin juin et début juillet 2019). Le biais moyen sur cette période est (-12) et (-20) µg.m⁻³ respectivement pour Gerland et Lyon centre. Le coefficient de corrélation est le même pour les deux stations, de 0.78. La chaîne de modélisation reproduit donc de façon satisfaisante les concentrations en ozone sur la période donnée car le biais moyen ne dépasse pas le 10% des concentrations maximales enregistrées sur cette période (5% pour Gerland et 10 % pour Lyon centre). Toutefois, le modèle a tendance à sous-estimer les concentrations maximales d'ozone avec des écarts relatifs relativement élevés, dépassant 30% certains jours (Figure 3). Il est important de noter que les résultats de modélisation de cette étude ne prennent pas en compte la correction et l'adaptation géostatistique des cartes, ainsi que les ajustements parfois effectués par les prévisionnistes avant diffusion des cartes. **Il s'agit des résultats bruts du modèle CHIMERE.**

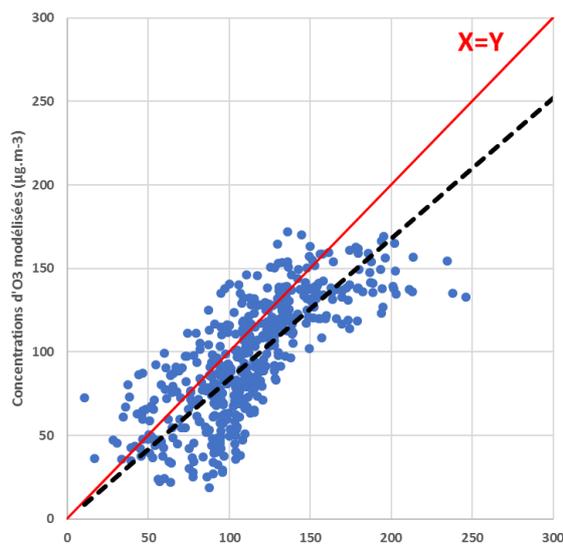


Figure 3 : Comparaison modèle-mesures des concentrations d'ozone sur les stations de la zone d'étude (Gerland et Lyon centre)

3.3.2. Scénario théorique ZCD – S1

Ce scénario consiste à réduire les émissions NO_x/NO_2 uniquement dans la zone d'application de la circulation différenciée de Lyon. Il correspond à une baisse théorique des émissions de l'ordre de 37% pour les NO_x et de 34% pour les NO_2 . La Figure 4 illustre la carte des écarts relatifs moyens entre les concentrations d' O_3 du scénario théorique par rapport la situation de référence. **Cette figure montre que cette réduction des émissions de NO_x peut engendrer une légère augmentation des concentrations d' O_3 dans la zone d'application de la circulation différenciée de Lyon** (augmentation de l'ordre de 2.5% ; vert pâle sur la carte).

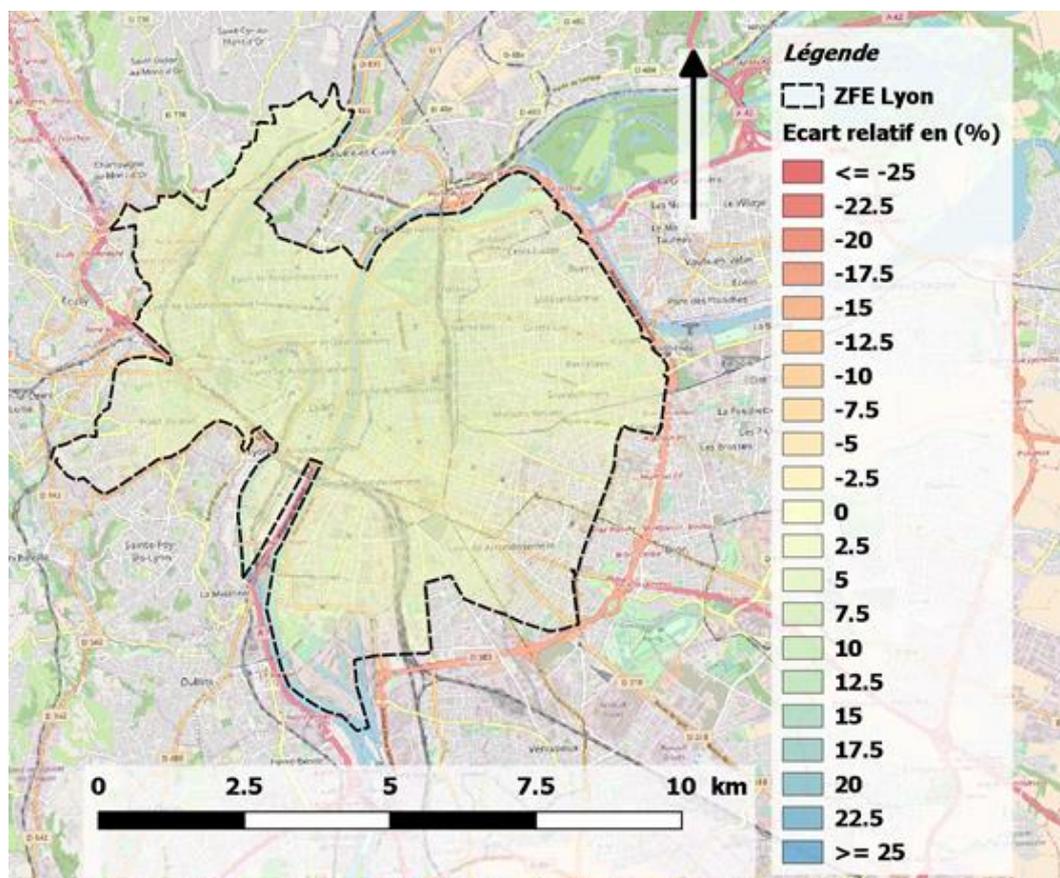


Figure 4 : Carte de l'écart relatif des concentrations d' O_3 du scénario S1 par rapport la situation de référence.

3.3.3. Scénario théorique AuRA – S2

Pour compléter l'analyse précédente, nous avons appliqué la même réduction des émissions mais cette fois sur toute la région Auvergne-Rhône-Alpes. Les résultats du scénario théorique (S1) ont montré que l'application de la circulation différenciée n'a pas d'impact positif sur les concentrations d' O_3 ce qui nous amène à poser la question de la contribution des émissions extérieures sur les niveaux d' O_3 dans notre domaine (le transport de l' O_3 produit par les émissions du reste du domaine régional). En effet, il est possible que l' O_3 produit par les émissions dans le domaine d'étude sur cette période ne soit pas représentatif par rapport à l' O_3 provenant de l'extérieur. Donc l'évaluation de l'efficacité de la mesure peut être biaisée par l'apport extérieur d' O_3 . Pour répondre à cette question nous avons donc fait le choix d'appliquer la même baisse théorique sur tout le territoire régional.

A noter que ce scénario ne correspond pas à une application de la restriction à l'échelle régionale car cela nécessite un calcul spécifique des émissions à la même échelle. En effet, l'impact de la même mesure ne serait probablement pas uniforme sur tout le territoire de la région, et il faudrait donc faire une analyse assez fine, que nous n'avons pas eu le temps de réaliser.

La Figure 5 illustre la carte des écarts relatifs entre les concentrations d' O_3 de ce scénario par rapport la situation de référence. **Les résultats de cette simulation sont assez similaires à ceux du cas précédent avec une réduction limitée à la ZCD. La réduction des émissions à l'échelle régionale a impacté légèrement les concentrations d'ozone. On observe toutefois une légère amélioration (baisse des concentrations**

d'ozone) loin de la partie centrale de la ZCD. Il convient de rappeler que la réduction des émissions appliquées sur l'échelle régionale ne concerne que les émissions anthropiques dans ce scénario.

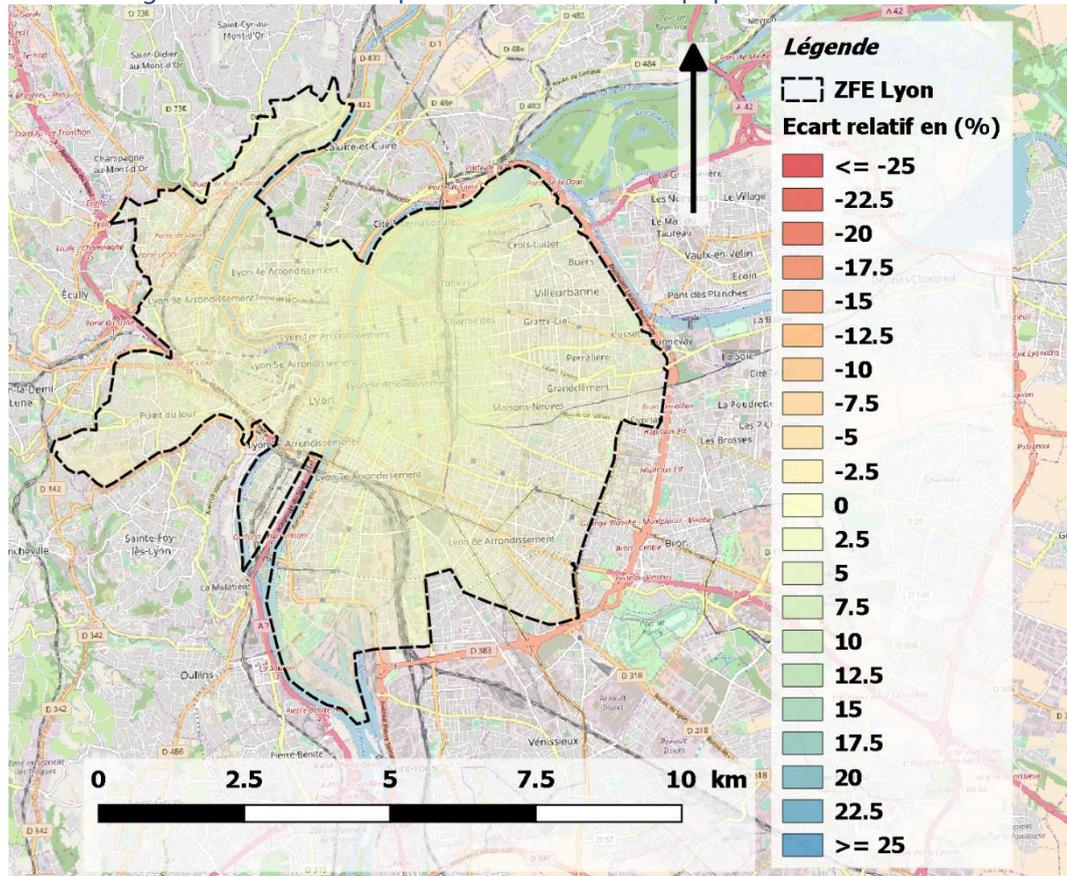


Figure 5: Écart relatif moyen des concentrations en O_3 du scénario S2 par rapport la situation de référence.

3.3.4. Scénarii de sensibilité – S3

L'effet de la mise en place de la circulation différenciée étant faible sur la concentration d' O_3 dans la ZCD de Lyon, nous avons approfondi notre analyse avec une étude de sensibilité théorique. L'objectif est de déterminer le levier d'action le plus efficace pour réduire les concentrations d'ozone dans la zone ZCD. Cette étude consiste à appliquer une réduction régulière et progressive des émissions NO_x/NO_2 sur la ZCD en augmentant la baisse des émissions (de 40% --> 90%). Nous avons appliqué des réductions supérieures à 40% car les résultats précédents ont montré que la baisse théorique des émissions (37%) n'est pas bénéfique pour une amélioration de la qualité de l'air. Dans la même optique, nous avons fait le choix de ne pas lancer le scénario réel où la réduction des émissions ne dépasse pas le 10%. La Figure 6 illustre l'évolution du bais moyen global des concentrations d' O_3 dans la ZCD en fonction de taux des réductions de NO_x/NO_2 . Il s'agit de la somme des écarts (de gain ou de la perte) de concentrations de toutes les mailles du domaine d'étude. Cette figure montre que l'évolution des biais n'est pas proportionnelle aux taux de réduction des émissions. Les résultats des scénarii efficaces sont illustrés en vert et à l'inverse, les résultats en rouges correspondent à une augmentation globale des concentrations en ozone. **Cette figure montre que la réduction des émissions NO_x/NO_2 n'est efficace et bénéfique qu'à partir d'une baisse de 80% des émissions totales (de NO_x/NO_2) de notre domaine d'étude.** La Figure 7 illustre les baisses et les augmentations maximales des concentrations d' O_3 dans la ZCD en fonction de taux des réductions des émissions NO_x/NO_2 . **Ce résultat montre que l'effet de la mise en place de ces mesures n'est pas uniforme et homogène sur l'ensemble du domaine.**

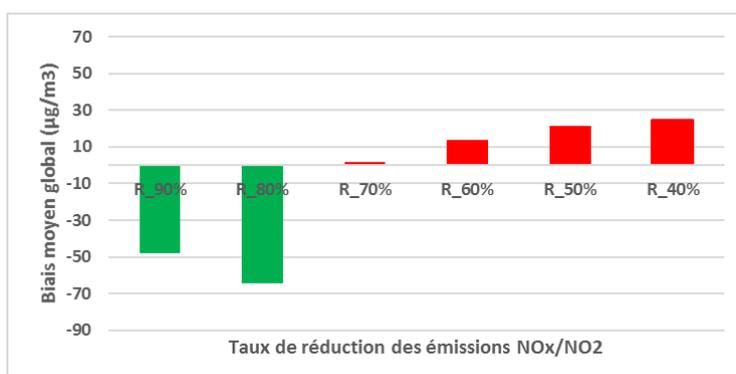


Figure 6 : Evolution de biais moyen global des concentrations d'O₃ dans la ZCD en fonction de taux des réductions des émissions NO_x/NO₂. Les scénarii efficaces sont en vert.

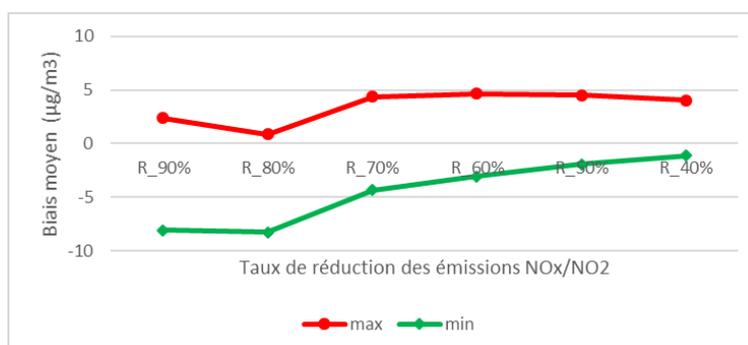


Figure 7 : Baisse (en vert) et augmentations (en rouge) maximales des concentrations d'O₃ dans la ZCD en fonction de taux des réductions des émissions NO_x/NO₂.

3.3.5. Scénario du bilan massique – S4

Afin de clore cette étude de sensibilité, nous avons étudié dans cette partie l'effet des émissions de composés organiques volatils sur l'efficacité de la mesure appliquée dans la ZCD de Lyon. Ce scénario consiste à créer un nouveau cadastre fictif en modifiant le bilan massique COV/NO_x, via une augmentation des émissions des COV dans notre cadastre de référence. Les émissions de composés organiques volatils en période estivale sont principalement liées aux secteurs industriel et résidentiel (stockage, utilisation d'hydrocarbures ou solvants, fabrication de produits dérivés). Une fois les émissions des COV modifiées, nous appliquons de nouveau la même réduction théorique des émissions NO_x/NO₂ sur la zone d'application de la circulation différenciée de Lyon. Il est important de rappeler que ce scénario ne correspond pas à la réalité mais il permet d'étudier la sensibilité du module chimique de notre modèle. En effet, la production et la consommation de l'ozone sont conditionnées par le ratio massique NO_x/COV. Selon l'abondance relative des composés COV, NO_x et radicaux, certaines réactions chimiques sont privilégiées par rapport aux autres dans le mécanisme de formation d'ozone (Figure 8). Lorsque les COV sont en abondance par rapport aux NO_x les radicaux OH réagissent préférentiellement avec les COV, la production d'O₃ est favorisée. A l'inverse, lorsque les NO_x sont en abondance par rapport aux COV, les radicaux OH réagissent préférentiellement avec le NO₂ et la production d'O₃ est inhibée.

La Figure 9 illustre l'écart relatif des concentrations en O₃ entre ce nouveau cadastre fictif et la situation de référence (le cadastre réel). Cette figure montre que les concentrations d'O₃ sont largement plus élevées que dans le cas de référence. Ce résultat était attendu car l'augmentation des émissions des COV engendre forcément une dégradation de la qualité de l'air. La Figure 10 illustre l'écart relatif des concentrations en O₃ sans et avec circulation différenciée appliquée à ce nouveau cadastre fictif. **Cette figure montre que l'application de la même mesure peut cette fois réduire significativement les concentrations d'O₃ sur la zone d'étude. Ce travail montre que l'efficacité de la même mesure n'est pas identique sur les différents territoires, mais qu'il y a bien efficacité potentielle.**

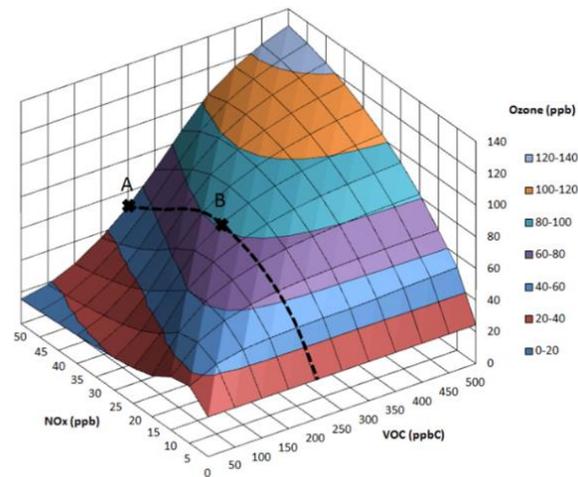


Figure 8: Evolution théorique de la concentration d'ozone en fonction des émissions COV, NO_x. (Source : Yarwood et al., 2013)⁷

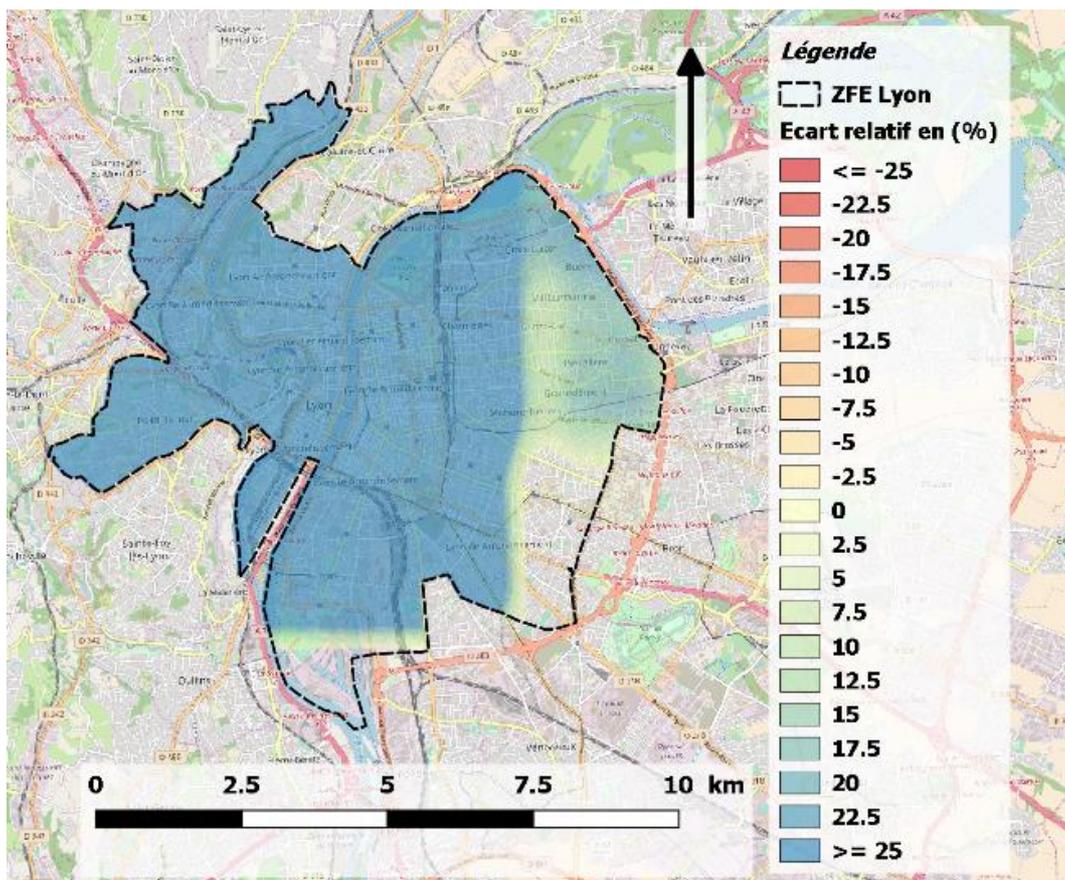


Figure 9: Carte de l'écart relatif des concentrations en O₃ avec le nouveau cadastre fictif par rapport à la situation de référence (cadastre réel)

⁷ Yarwood G., Emery C., Jung J., Nopmongcol U. et Sakulyanontvittaya T. 2013. A method to represent ozone response to large changes in precursor emissions using high-order sensitivity analysis in photochemical models. Geosci. Model Dev., 6, 1601-1608

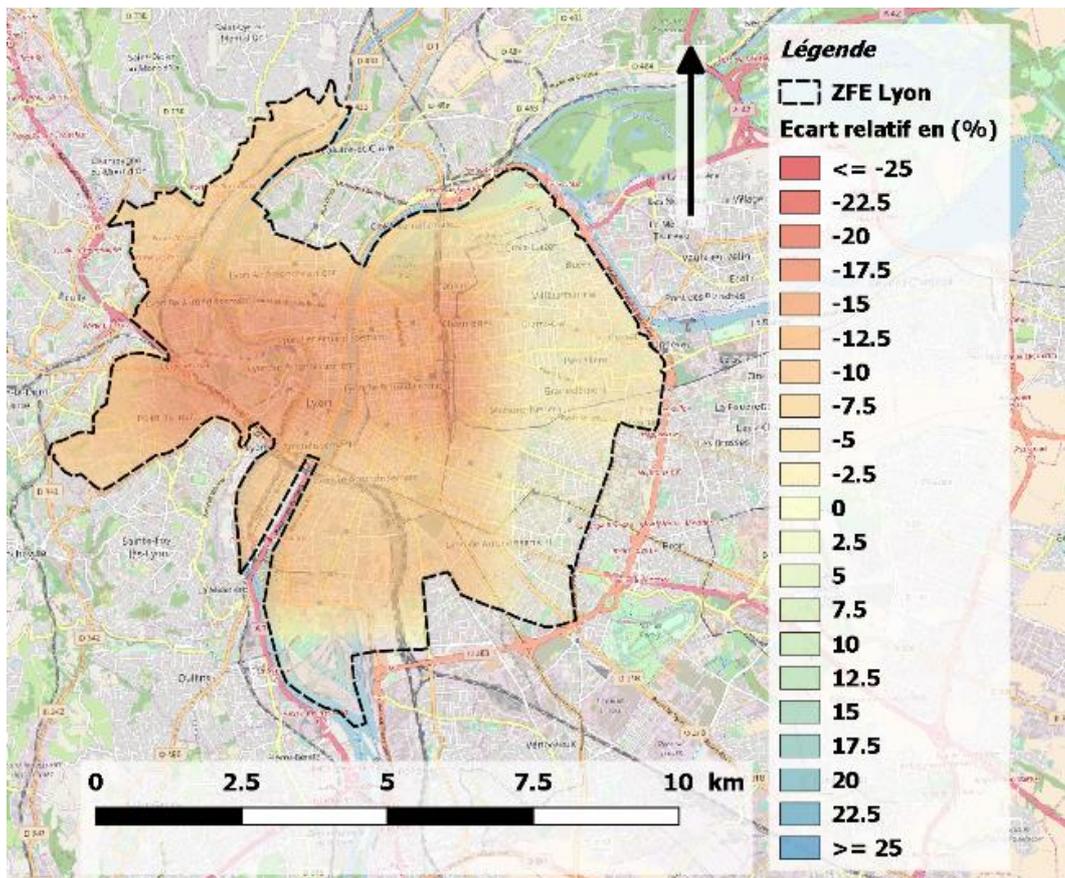


Figure 10 : Carte de l'écart relatif des concentrations en O_3 sans et avec circulation différenciée appliquée au nouveau cadastre fictif – Orange à rouge = baisse des concentrations en ozone.

Démarche adoptée pour cette étude :

La Figure 11 aide à expliquer la démarche scientifique de cette étude (sans tenir compte des valeurs sur les axes) :

- On considère que la situation de référence se caractérise initialement par une abondance des NO_x/NO_2 par rapport aux COV (donc point A : régime saturé en NO_x/COV limité). En réduisant les NO_x , dans un premier temps les concentrations d' O_3 augmentent (de A vers B), comme dans le scénario S1 (cf. 3.3.2). Si on continue à réduire les NO_x mais d'une manière plus significative, on pourrait avoir un effet bénéfique (de B vers C), comme le cas pour la baisse de 80% (étude de sensibilité, scénario S2 (cf. 3.3.3)).
- La première étape du scénario S4 consiste à augmenter les émissions des COV dans le domaine (de A vers D). Comme l'illustre la Figure 11, cela provoque une augmentation des concentrations d' O_3 car nous avons créé de la « masse » (Figure 9). Dans la deuxième étape de ce scénario, on applique la même réduction théorique mais en partant de la nouvelle position de référence (D). Cette fois la mesure d'abaissement des NO_x est devenue bénéfique (de D vers E) car on constate une baisse des concentrations d' O_3 par rapport au nouveau cadastre fictif (D). C'est bien le rapport NO_x/COV qui est déterminant, et des actions uniquement sur les NO_x , sauf à être très drastiques, auront un impact nul voire contreproductif. S'il existe des leviers d'actions sur les COV anthropiques, la baisse conjointe NO_x et COV pourrait être efficace, mais cela reste à évaluer finement.

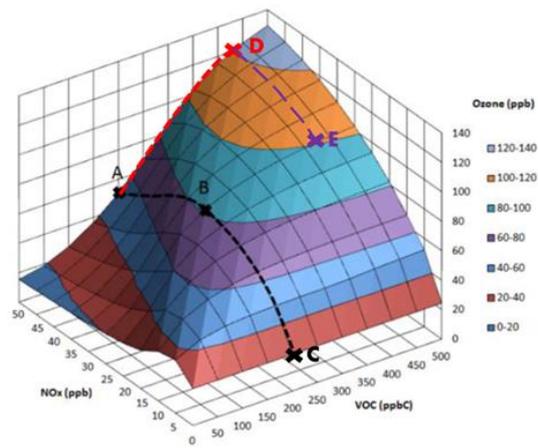


Figure 11 : Projection des scénarii étudiés sur la courbe d'évolution théorique de la concentration d'ozone en fonction des émissions COV, NO_x.

4. Conclusion

Dans ce travail, nous avons étudié l'impact de la mise en place de la circulation différenciée sur la qualité de l'air dans la zone d'application de la circulation différenciée de la région lyonnaise. Dans un premier temps, l'impact de cette action a été évaluée sur les émissions de polluants. Dans un deuxième temps, ces émissions ont été utilisées pour alimenter le modèle régional de la qualité de l'air d'Atmo afin de déterminer l'efficacité sur les concentrations d'ozone.

La mise en place de la circulation différenciée pendant l'épisode de pollution de fin juin et début juillet 2019 a permis de réduire le trafic et donc des émissions de polluants primaires dans la ZCD de Lyon, notamment pour les oxydes d'azote. Les données d'évolution de trafic routier fournis à Atmo Auvergne-Rhône-Alpes par le Grand Lyon montrent une réduction de 7 à 8 % de kilomètres parcourus, pour environ 46% de réduction attendue si la mesure avait été intégralement suivie. **Sur la base de cette évolution de trafic, les baisses d'émissions théoriques estimées sont très nettement inférieures à l'attendu (34% de moins des émissions totales), mais toutefois significatives pour les oxydes d'azote (10% de moins des émissions totales). Cette baisse des émissions des oxydes d'azote permet de limiter l'exposition des populations riveraines des grands axes routiers à ce polluant mais pour l'ozone aucun impact n'est décelable.** L'efficacité des actions est difficile à mettre en évidence pour ce polluant (O₃) compte tenu de la complexité des phénomènes de création/destruction. En effet, la formation de l'ozone obéit à des mécanismes physico-chimiques assez complexes. Toutefois, des simulations ont été réalisées par un modèle numérique. Elles ont montré que la baisse des émissions de précurseurs d'ozone ne signifie pas forcément une baisse des concentrations pour ce polluant, et dans tous les cas pas une baisse proportionnelle. **En effet, selon cette modélisation, la réduction théorique des émissions NO_x/NO₂ associée à la mise en place de la circulation différenciée pendant l'épisode de fin juin et début juillet 2019 n'a pas permis de réduire les concentrations d'O₃ dans la ZCD de Lyon.**

Des simulations complémentaires ont été réalisées et ont mis en évidence les points suivants :

- **la réduction des seules émissions de NO_x/NO₂ n'est efficace et bénéfique qu'à partir d'une baisse de 80% des émissions totales pour notre domaine d'étude (ZCD Grand Lyon).**
- **l'effet de la mise en place des actions de réduction des émissions n'est pas uniforme et homogène sur l'ensemble du territoire.** Comme pour les émissions, la réduction et l'augmentation des concentrations n'est pas homogène dans l'espace et le temps.
- **l'efficacité des actions est sensible aux bilans massique et chimique des polluants.** Cela confirme que l'efficacité de la même mesure n'est pas identique sur les différents territoires car chaque agglomération se caractérise par ses propres émissions et ses propres bilans massiques, selon l'intensité et le type des activités polluantes.

Plusieurs autres simulations sont encore nécessaires pour étudier l'impact de ces mesures. Ainsi, d'autres variables que la réduction des émissions NO_x/NO₂ restent à étudier d'une manière plus approfondie, comme l'impact engendré par la variation des émissions de COV issues des activités industrielles, résidentielles et biogéniques.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a pour objectif de continuer à investiguer cette problématique de l'efficacité des actions de réductions des activités émettrices de polluants sur l'ozone, notamment en utilisant un outil de modélisation à haute résolution (modélisation à fine échelle). Cela suppose toutefois de pouvoir mobiliser d'importantes ressources humaines et informatiques.

Il est à noter par ailleurs que des travaux similaires sont également menés au niveau national par l'INERIS.