

AtmoSud

Inspirer un air meilleur



Ozone et COV en région Sud

Emissions et enjeu

Juin 2021

RÉSUMÉ :

OZONE ET COV EN REGION SUD

Emissions et enjeu

► Les concentrations d’ozone sont élevées et stables depuis plus de 20 ans

L’ozone est le seul polluant dont les concentrations ne baissent pas en région Sud, malgré la baisse des émissions de polluants précurseurs. La valeur cible pour la protection de la santé est dépassée pour 75% des habitants de la région. Cette stabilité est liée aux apports transfrontaliers croissants et à l’augmentation mondiale du niveau de fond en ozone, qui compensent la baisse de production locale.

► Les actions de réduction des émissions ont fait baisser l’exposition globale de la population à la pollution

Si les actions de réduction des émissions polluantes n’ont pas permis de faire baisser l’exposition de la population à l’ozone, l’exposition aux autres polluants a baissé ces 20 dernières années. Cette baisse est visible notamment sur les particules et le dioxyde d’azote (NO₂), qui sont les principaux polluants ayant un impact sur la santé des populations en France. Les grandes zones urbanisées, industrialisées ou proches des grands axes routiers, malgré tout, dépassent encore les lignes directrices pour la protection de la santé.

► Des actions à poursuivre et à adapter pour éviter que l’exposition des populations se dégrade à nouveau

Les oxydes d’azote (NOx) et les Composés organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM) sont des précurseurs de la pollution photochimique. Une part majoritaire des émissions de COVNM à l’échelle de la région est liée à l’activité naturelle. Le levier le plus efficace pour limiter l’exposition de la population à la pollution oxydante est donc de réduire les émissions de NOx, y compris sur les zones qui sont limitées en COV aujourd’hui. En effet, la pollution oxydante n’est pas composée que d’ozone, mais comprend aussi d’autres espèces comme le dioxyde d’azote, l’acide nitrique, les peroxydes, des particules secondaires... La baisse des émissions de NOx permettrait de diminuer les concentrations de plusieurs de ces polluants.

Des actions complémentaires sur les COVNM sont cependant nécessaires pour que cette baisse des NOx ne se traduisent pas par une augmentation temporaire des concentrations d’ozone sur les grandes villes. Lorsque c’est possible, ces actions pourraient être ciblées spécifiquement sur les activités émettant les espèces participant le plus à la formation d’ozone en région.

Contact

Chargée d’action territoriale : Laetitia Mary laetitia.mary@atmosud.org
Pilote de projet : Yann Channac yann.channac@atmosud.org

Date de parution

09/07/2021

Références

24PPPA11_PPA / version-01 / YC - LM/RBO - ER

AUTEURS DU DOCUMENT

Auteur principal :

- Yann Channac, AtmoSud

Contributeurs :

- Sonia Oppo, AtmoSud
- Damien Bouchard, AtmoSud

SOMMAIRE

1. La région Sud, plus touchée de France par l’ozone	5
1.1 Des populations exposées à l’ozone dans toute la région	5
1.2 Rappel des principes de production de l’ozone	7
1.3 Objectifs de ce rapport	8
2. Une pollution à l’ozone qui perdure	9
2.1 Niveaux moyens en légère hausse	9
2.2 Des pics d’ozone moins fréquents.....	10
2.3 Valeurs Cibles : des progrès pour la végétation, pas pour la santé.....	11
2.4 Un comportement saisonnier qui évolue.....	12
3. Des émissions de précurseurs en baisse depuis 2007	13
3.1 Une baisse significative des émissions d’oxydes d’azote sur la région, notamment dans le secteur des transports routiers	13
3.2 Après la nature, le secteur résidentiel est la principale source d’émissions de COVNM	15
3.3 Rapport COV/NOX : les NOx comme principal levier d’action	17
3.4 Spéciation des COV anthropiques : cibler les précurseurs majeurs	19
3.5 Impact de la baisse d’émissions des précurseurs.....	21
4. Comment réduire l’exposition des populations : conclusion et perspectives	22
4.1 Baisse de la production locale et hausse du niveau de fond.....	22
4.2 Exposition des populations à l’ozone ou à la pollution oxydante ?.....	22
4.3 Leviers d’actions : prioriser la baisse des NOx et d’une sélection de COV	23
4.4 Améliorer la connaissance sur les déterminants de l’ozone	23
ANNEXE 1 Méthodologie de pondération des émissions de COV par le potentiel d’oxydation photochimique	24

1. La région Sud, plus touchée de France par l'ozone

1.1 Des populations exposées à l'ozone dans toute la région

La région Sud est la région en France où s'observent le plus de pics d'ozone et les concentrations moyennes les plus élevées. C'est également l'une des plus touchées d'Europe par cette pollution. Les concentrations d'ozone sont relativement homogènes sur la région avec des niveaux proches – au-dessus ou juste en-dessous – de la Valeur Cible pour la protection de la santé¹. 97% du territoire et 74% de la population de la région étaient concernés par un dépassement ce seuil en 2019.

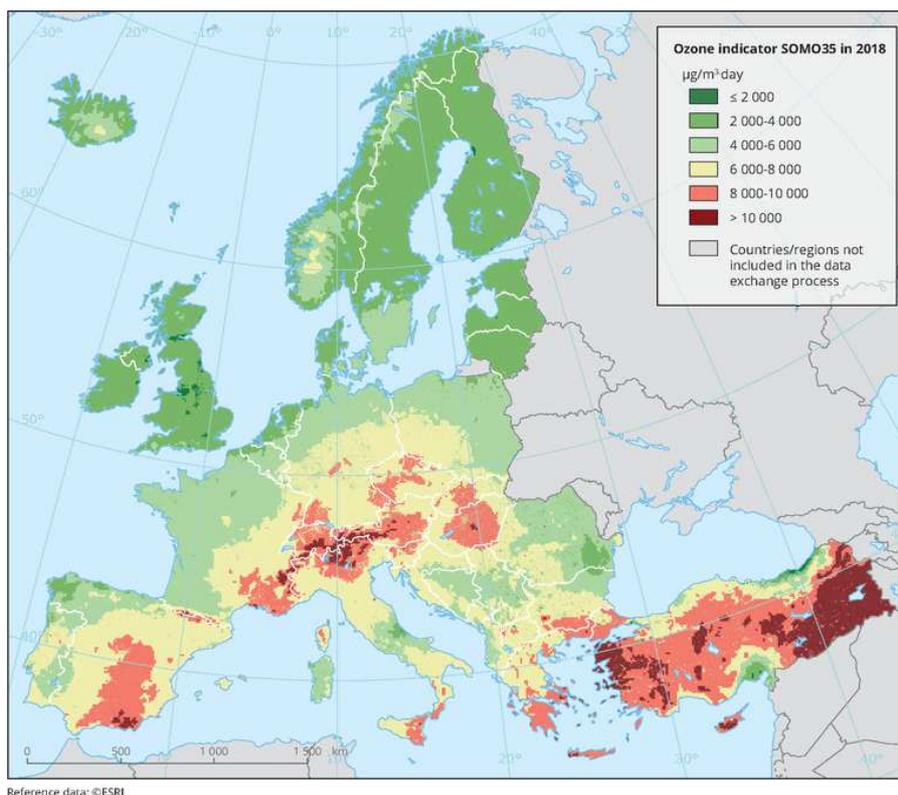


Figure 1 : carte d'indicateur d'exposition cumulé SOMO35² sur l'Europe en 2018 (Source : Agence Européenne de l'Environnement)

Tableau 1 : Nombre d'habitants et part de la population habitant dans une zone dépassant la Valeur Cible pour la protection de la santé humaine en ozone, en 2019

	Alpes-de-Haute-Provence	Hautes-Alpes	Alpes-Maritimes	Bouches-du-Rhône	Var	Vaucluse	Région
Nombre de personnes habitant dans une zone > VC	159 000	67 000	580 000	1 354 000	994 000	559 000	3 713 000
Part de la population habitant dans une zone > VC	98%	48%	53%	67%	94%	100%	74%

¹ Valeur Cible pour la protection de la santé : 120 µg/m³ en maximum journalier de la moyenne sur 8h, à ne pas dépasser plus de 25 jours par an (équivalent à 120 µg/m³ en P93.2)

² SOMO35 (exprimé en µg/m³ par heure) signifie la somme des différences entre le maximum journalier des concentrations moyennes sur 8 heures supérieures à 70 µg/m³ (= 35 parties par milliard) et 70 µg/m³, sur une période donnée (généralement une année civile).

La zone montrant les niveaux les plus élevés est une bande entourant grossièrement le centre des Bouches-du-Rhône, le Vaucluse, le sud des Alpes-de-Haute-Provence et le Var. Il s'agit de **la zone qui reçoit des masses d'air polluées en été, depuis le pôle émetteur de Marseille-Berre, et qui viennent s'ajouter à la pollution locale**. Ce sont en grande partie des zones rurales (cf. Figure 2 ci-dessous). C'est également dans cette zone que s'observe le plus grand nombre de dépassements du Seuil d'Information et de Recommandation ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire).

Les Alpes-Maritimes et les Hautes-Alpes reçoivent peu d'ozone issus des Bouches-du-Rhône, mais restent concernés par ce polluant du fait de la production locale et des apports transfrontaliers.

Les zones ayant les niveaux d'ozone les moins élevés de la carte sont soit des zones de vallées alpines éloignées des grands pôles émetteurs, soit des zones urbaines ou traversées par une autoroute. Dans ces derniers cas, il s'agit de zones émettrices de polluants précurseurs, où les niveaux d'ozone sont inférieurs parce que :

- L'ozone n'a pas eu le temps d'atteindre son maximum de formation avant de migrer sur les zones voisines.
- L'ozone produit est réintégré dans d'autres réactions chimiques qui conduisent à la production d'autres formes de pollutions oxydantes (NO_2 , AOS...). Dans ce cas, **des niveaux d'ozone plus faibles ne traduisent pas forcément une exposition moindre de la population à la pollution de l'air**. En effet, la population est également exposée aux autres formes de pollution en plus de l'ozone.

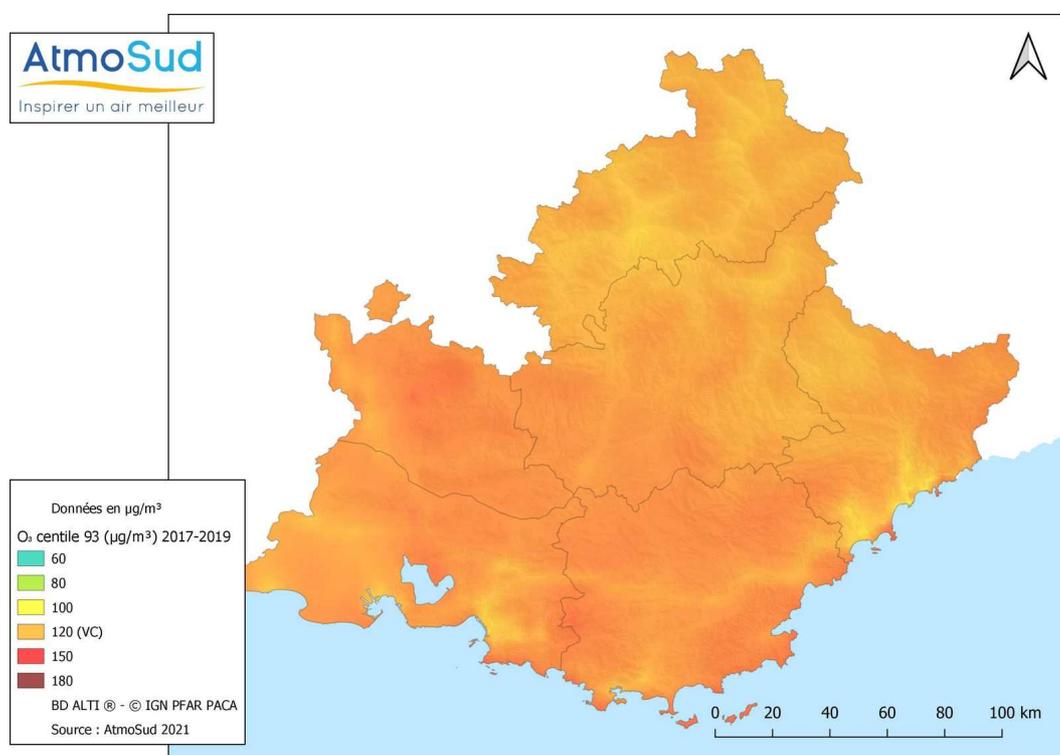


Figure 2 : carte de percentile 93.2 des max des moyennes 8h en ozone en 2017-2019

Il n'est pas possible de réduire directement les concentrations d'ozone dans l'air ambiant : l'ozone n'est pas émis directement par les activités humaines. Il est issu de la transformation chimique de polluants dits « précurseurs », directement dans l'atmosphère, sous l'effet du rayonnement solaire. Les principaux gaz précurseurs sont les oxydes d'azote et les composés organiques volatils. Pour réduire les concentrations d'ozone dans l'air ambiant, il est donc nécessaire de diminuer les émissions de ces polluants précurseurs.

1.2 Rappel des principes de production de l'ozone

Les réactions chimiques déclenchées par l'effet du rayonnement solaire sur les polluants précurseurs sont appelées photochimie. L'ozone est un « traceur » de la pollution photochimique, mais celle-ci ne se limite pas à l'ozone, d'autres polluants oxydants sont produits en même temps que l'ozone (peroxydes, aérosols organiques secondaires...).

Les principales réactions photochimiques sont rappelées dans la Figure 3 ci-dessous.

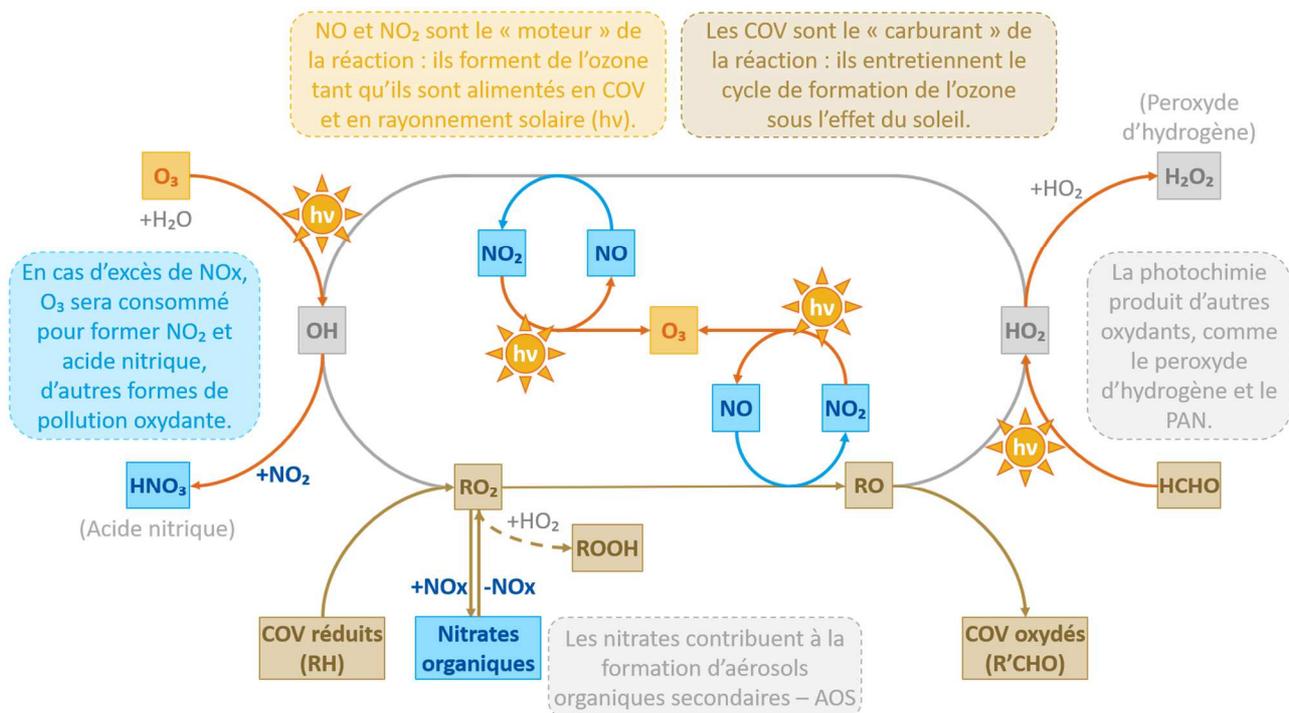


Figure 3 : Cycle simplifié de formation de l'ozone

La formation d'ozone est maximale lorsque les concentrations de NO_x et de COV sont dans les proportions « idéales » (cf. Figure 4 ci-dessous).

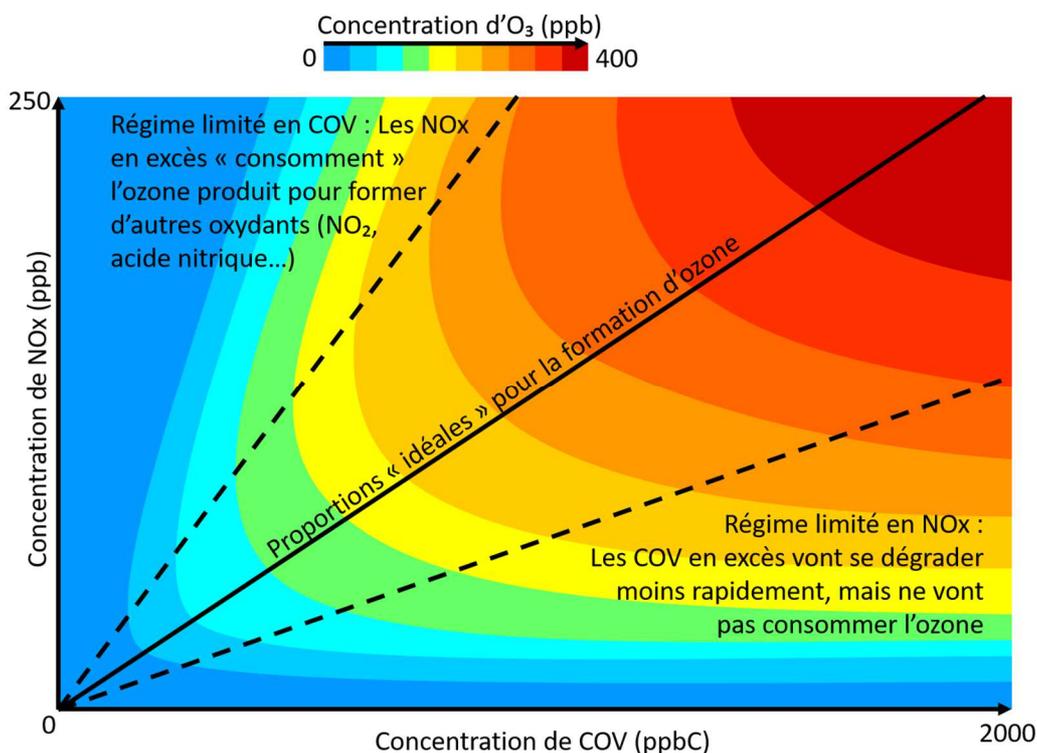


Figure 4 : Diagramme isopleth de formation de l'ozone en fonction des concentrations de NOx et de COV

Dans le cas où les NOx sont fortement excédentaires par rapport aux COV, la concentration d'ozone sera moindre que dans la situation inverse : dans le cas d'un excès de NOx, une partie de l'ozone va être consommée au fur et à mesure de sa production dans d'autres réactions chimiques. Notamment, le NO va être converti plus rapidement en NO₂, et du NO₂ va être converti en acide nitrique.

Le NO₂ contribue également à la formation d'aérosols organiques secondaires (AOS). Ces particules secondaires sont formées toutes l'année sous l'effet de la lumière visible, même si leur production est plus importante l'été (plus de chaleur, plus de lumière).

Ainsi, un excès de NOx se traduit par une baisse de la concentration d'ozone, mais par une augmentation de la concentration d'autres polluants oxydants, notamment le NO₂ et l'acide nitrique, et de particules en suspension.

1.3 Objectifs de ce rapport

Ce dossier a pour objet de :

- Dresser le bilan de l'évolution des concentrations d'ozone et des émissions de polluants précurseurs ces dernières années.
- Chiffrer la contribution des principaux secteurs d'activité à cette pollution aujourd'hui.
- Déterminer les principaux leviers d'actions à envisager pour réduire l'exposition des populations à la pollution photochimique dans les années qui viennent.

2. Une pollution à l’ozone qui perdure

L’ozone est aujourd’hui surveillé par un réseau de 30 sites de mesures permanents, complété par un modèle de prévision quotidienne méso-échelle (précision 1km) qui couvre toute la région. Le parc de stations évolue chaque année en fonction des besoins.

Le bilan 2000-2020 ci-dessous est construit à partir des données d’observations sur les stations de mesures, moyennées sur l’ensemble des stations (Remarque : les évolutions des moyennes de l’ensemble des stations présentées dans ce chapitre sont construites en calculant les moyennes des pentes pour éviter l’influence des arrêts et démarrage de mesures).

2.1 Niveaux moyens en légère hausse

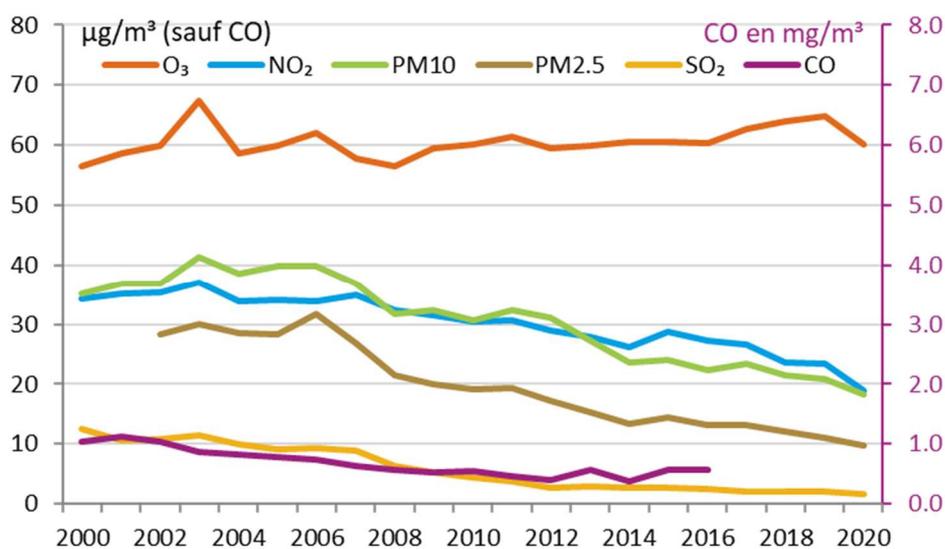


Figure 5 : évolution des moyennes annuelles des principaux polluants depuis 2000

L’ozone est le seul des polluants principaux dont la **moyenne ne baisse pas** sur la région. Au contraire, on observe une légère hausse : +0.27 µg/m³ par an en moyenne (cf. Figure 5 ci-dessus).

Cette hausse est généralisée sur **l’ensemble de la région** : s’il existe des variations selon les stations, ces variations ne sont pas spécifiques à une zone ou à une typologie de site.

Les variations annuelles sont principalement imputables aux variations météorologiques. Notamment, la canicule exceptionnelle de 2003 a provoqué un pic de tous les indicateurs liés à l’ozone cette année-là.

Les rapports PREPA³ et INERIS⁴ prédisent un **effet aggravateur du changement climatique** sur les concentrations en ozone, du fait d’une augmentation de la fréquence de conditions météorologiques favorisant la photochimie.

³ https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Evaluation_ex_ante_du_PREPA%5B1%5D.pdf

⁴ <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01862932/document>

2.2 Des pics d’ozone moins fréquents

A l’inverse de la moyenne, la fréquence et l’intensité des pics d’ozone diminuent avec le temps. Le nombre de jours où est observé un dépassement du seuil d’information et de recommandation baisse sur les vingt dernières années (cf. Figure 6 ci-dessous). De la même manière, les valeurs des pics les plus élevés (percentile 99.8 des moyennes horaires, soit la 18^e valeur la plus élevée de l’année) baisse régulièrement sur la même période : $-1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par an en moyenne (cf. Figure 7 ci-dessous).



Figure 6 : évolution du nombre de jours avec un dépassement du SIR⁵ observé sur au moins une station de la région.

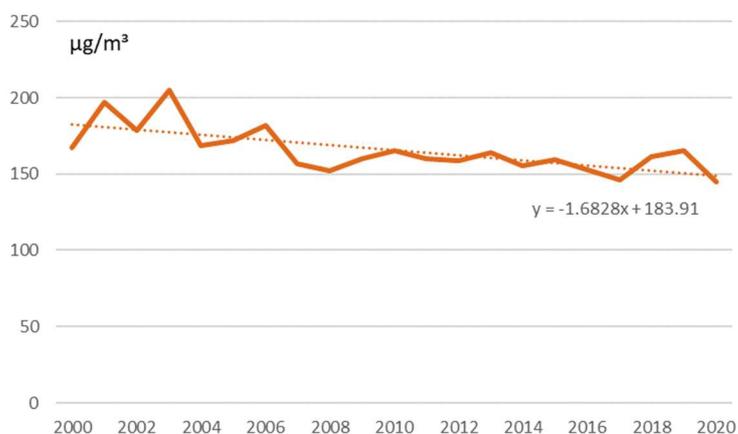


Figure 7 : évolution de la moyenne des valeurs horaires les plus élevées (percentile 99.8) mesurées aux stations.

L’ozone change progressivement de comportement dans la région : elle s’exprime moins qu’avant par des pics de pollution, mais d’avantage par une pollution moyenne, chronique, plus difficile à prendre en compte au quotidien par le grand public.

⁵ SIR : Seuil d’Information et de Recommandation, $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire pour l’ozone.

2.3 Valeurs Cibles : des progrès pour la végétation, pas pour la santé

La Valeur Cible pour l’ozone est fixée à 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier de la moyenne glissante sur 8h, à ne pas dépasser plus de 25 jours par an. La valeur du 26^e jour le plus élevé (percentile 93.2) est en très légère baisse : - 0.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par an en moyenne (cf. Figure 8 ci-dessous). Cette quasi-stabilité est la résultante des phénomènes vus précédemment : une augmentation de la moyenne, mais une diminution des niveaux de pointe, correspondant aux concentrations diurnes estivales.

La Valeur Cible pour la Protection de la Végétation est fixée à 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en AOT40⁶. Si ce seuil est largement dépassé sur la majeure partie des zones « naturelles » de la région, l’AOT40 est en nette baisse depuis 2000 : -560 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par an environ (cf. Figure 9 ci-dessous). Cet indicateur est calculé en ne prenant en compte que les concentrations supérieures à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette baisse rapide montre donc que ce sont les valeurs supérieures à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ qui sont en nette baisse par rapport à celles inférieures à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figure 8 : évolution de la moyenne des moyennes sur 8h les plus élevées (percentiles 93.2 des maximums quotidiens) mesurées aux stations



Figure 9 : évolution de la moyenne des cumuls AOT40⁶ mesurées aux stations

⁶ AOT40 (exprimé en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 parties par milliard) et 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs sur une heure, mesurées quotidiennement entre 8h00 et 20h00 (heure de l’Europe centrale). Pour la Valeur Cible pour la Protection de la Végétation, la période utilisée est du 1^{er} mai au 31 juillet.

2.4 Un comportement saisonnier qui évolue

Les moyennes mensuelles sur des séries de 3 ans montrent une augmentation progressive des concentrations moyennes en saison froide (novembre à mars) et une légère baisse durant la saison chaude (mai-juin – cf. Figure 10).

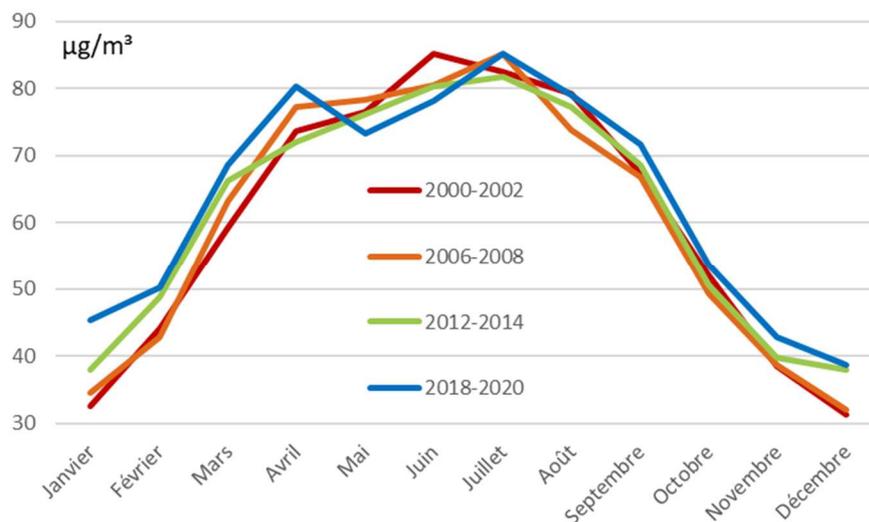


Figure 10 : évolution des moyennes mensuelles sur des séries de 3 ans mesurées aux stations depuis 2000

Depuis 2018, la concentration mensuelle d'avril est supérieure à celle du mois de mai, voire de celle de juin. Ce comportement est similaire à ce qui est observé dans d'autres régions habituellement, mais n'a été observé que de manière exceptionnelle dans la région Sud auparavant.

Si les niveaux moyens sont en augmentation au printemps, il est nécessaire de préciser que les concentrations de pointes les plus élevées restent observées durant la saison estivale (juin à août).

De nombreuses régions françaises observent une première élévation des concentrations d'ozone en avril, un creux en mai-juin, puis une seconde augmentation en juillet-août. Dans ces régions, le comportement de l'ozone est davantage influencé par le déplacement des masses d'air à l'échelle européenne.

Le changement de comportement observé dans la région est peut-être révélateur d'une pollution à l'ozone de plus en plus liée à une pollution continentale plutôt que locale.

*Rq1 : l'influence du mois de mai 2020 très nuageux au niveau météo --> fait diminuer la moyenne 2018-2020
Rq2 : il faudrait comparer l'évolution de l'ensoleillement hivernal + estival entre "avant" (2000-2008) et "maintenant" (2012-2020). Si l'ensoleillement a fortement augmenté --> impact sur augmentation des niveaux d'O3. Si ensoleillement n'a pas augmenté --> un argument de plus pour l'apport d'une pollution extérieure (continentale)*

3. Des émissions de précurseurs en baisse depuis 2007

3.1 Une baisse significative des émissions d'oxydes d'azote sur la région, notamment dans le secteur des transports routiers

Les émissions d'oxyde d'azote sont généralement en baisse sur la région : -36% en 11 ans (cf. Figure 11 ci-dessous).

Le **trafic routier** représente près de la moitié des émissions (48%) en 2018, malgré une baisse de -39%. Le **transport maritime** représente la deuxième source d'émissions de NOx (17%) en 2018. Ces émissions ont augmenté de 10% depuis 2007, et sont localisées dans les principaux ports, en premier lieu celui de Marseille/Fos. Les émissions **industrielles** sont la troisième source (15%), malgré une baisse de -39%. La **production d'énergie** est passée en 4^e place des secteurs émetteurs (7%) : une baisse de -67 % des émissions de NOx de ce secteur est enregistrée depuis 2007.

Du fait de leurs sources, les émissions d'oxydes d'azote sont principalement concentrées sur les zones urbanisées du sud de la région (cf. Figure 12 ci-dessous). Ces émissions sont en baisse quasiment partout, en dehors de quelques exceptions comme Toulon (transport maritime), Saint-Raphaël (transport routier) ou dans des communes plus petites (sources industrielles principalement).

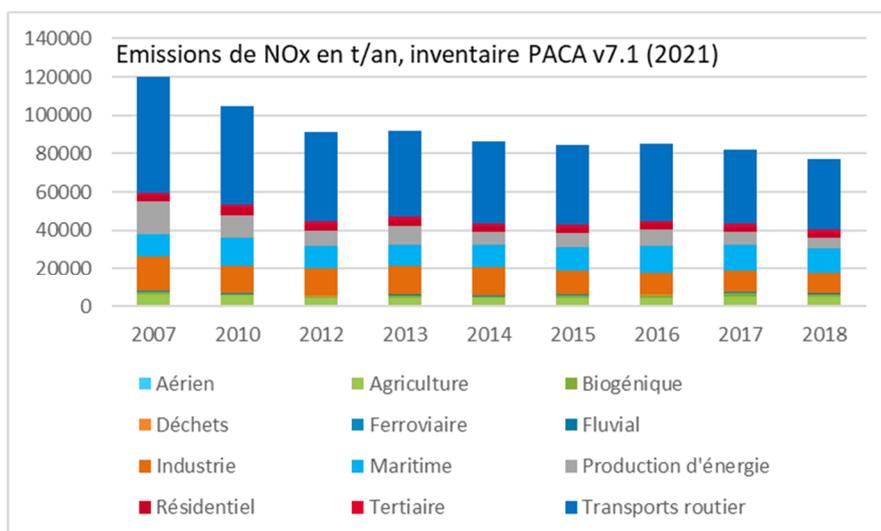
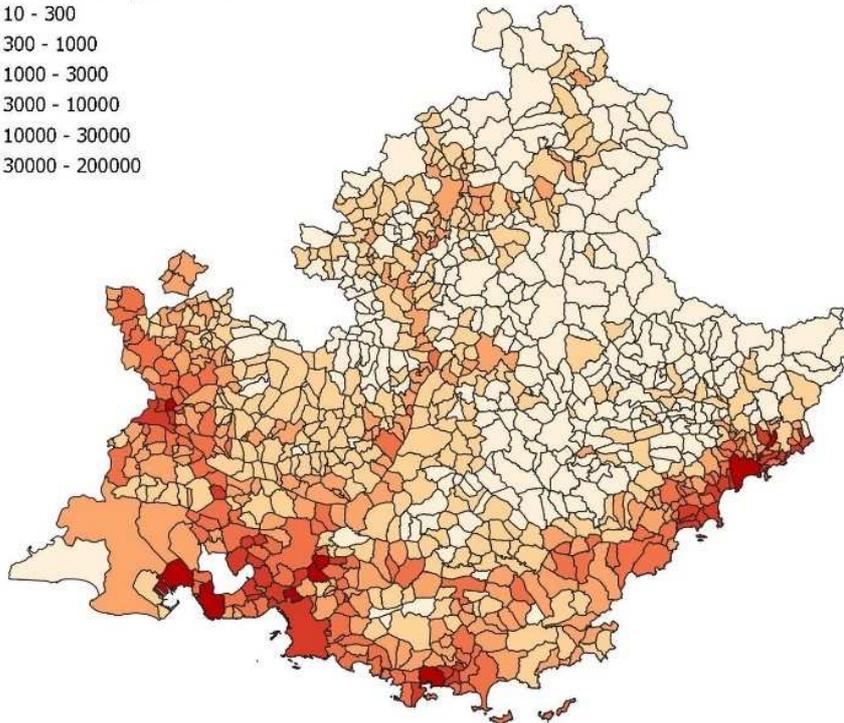


Figure 11 : Evolution des émissions d'oxydes d'azote par secteur d'activité en région Sud

Pour amplifier encore la réduction des précurseurs NOx les actions doivent cibler en priorité le trafic routier partout, ainsi que le transport maritime et l'industrie là où ils sont présents.

Emissions NOx en kg/km² en 2018



Evolutions des émissions de NOx en kg/km² entre 2007 et 2018

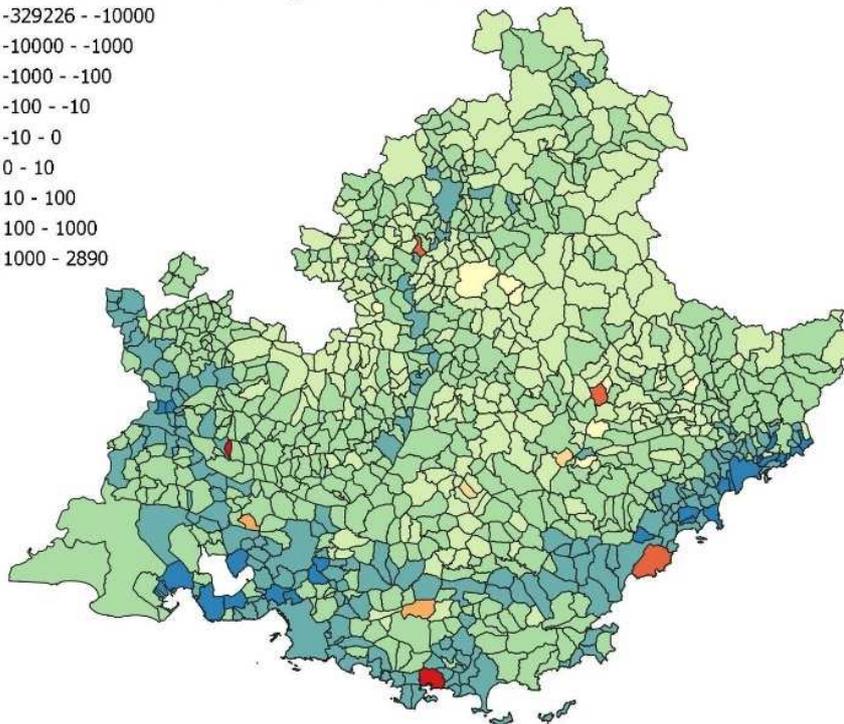
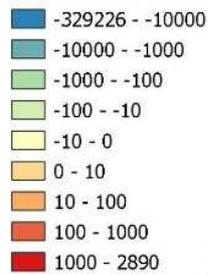


Figure 12 : Emissions communales d'oxydes d'azote en 2018, et évolution entre 2007 et 2018

3.2 Après la nature, le secteur résidentiel est la principale source d'émissions de COVNM

La végétation naturelle est la principale source d'émissions de composés organiques volatils non méthaniques en région Sud : 73% (cf. Figure 13 ci-dessous). Cette part est stable sur les dernières années.

Les émissions anthropiques, elles, sont en baisse sur la région : -46% depuis 2007.

Le **secteur résidentiel** représente près de la moitié des émissions anthropiques de la région (48%), suivi de **l'industrie** (29%), du **transport routier** (10%) et de la **production d'énergie** (9%). Le secteur résidentiel n'a réduit ses émissions que de -17% depuis 2007, tandis que les autres secteurs principaux ont connu des baisses plus fortes : -51% pour l'industrie, -77% pour le transport routier, -55% pour la production d'énergie... En 11 ans, le secteur résidentiel est passé de 31% à 48% du total des émissions anthropiques.

Les émissions de COVNM du secteur résidentiel proviennent pour 35% du chauffage domestique, à la saison froide, donc ne participant pas à la formation d'ozone à la saison chaude. **Le reste des émissions est principalement lié à l'utilisation de solvants, peinture et entretien du bois (59%)**. La contribution du résidentiel est donc à relativiser de ce point de vue : la part des émissions de COVNM issue du résidentiel contribuant effectivement à la production d'ozone (en été) est proche de la part issue du secteur industriel. En revanche, les émissions de COVNM par le chauffage domestique (en hiver) contribuent à la formation de particules (aérosols organiques secondaires).

Les émissions de COVNM sont plus concentrées sur les zones urbanisées et industrielles du sud de la région mais, du fait de leurs émissions naturelles, sont également présentes sur les zones naturelles (principalement au sud – végétation méditerranéenne. Cf. Figure 14 ci-dessous). La baisse des émissions s'observe presque partout, à l'exception de quelques communes (émissions industrielles ou résidentielles).

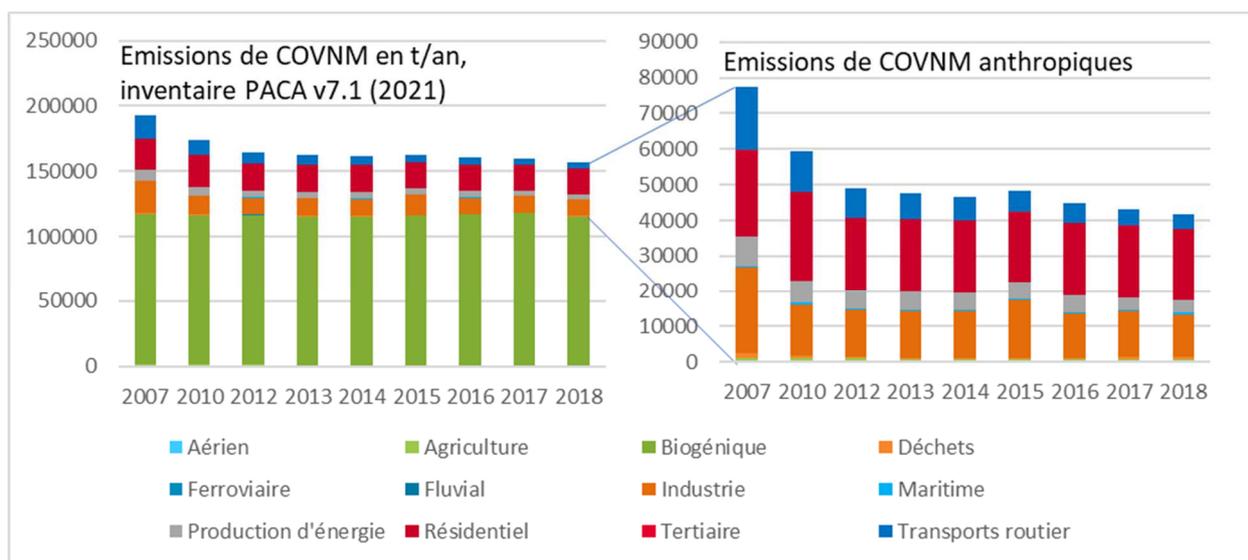


Figure 13 : Evolution des émissions de COVNM par secteur d'activité en région Sud (avec et sans les émissions naturelles)

Pour amplifier encore la réduction des précurseurs COVNM, les actions ne peuvent porter que sur les 27% issues des activités humaines. Elles doivent cibler en priorité le secteur résidentiel partout, ainsi que l'industrie là où elle est présente.

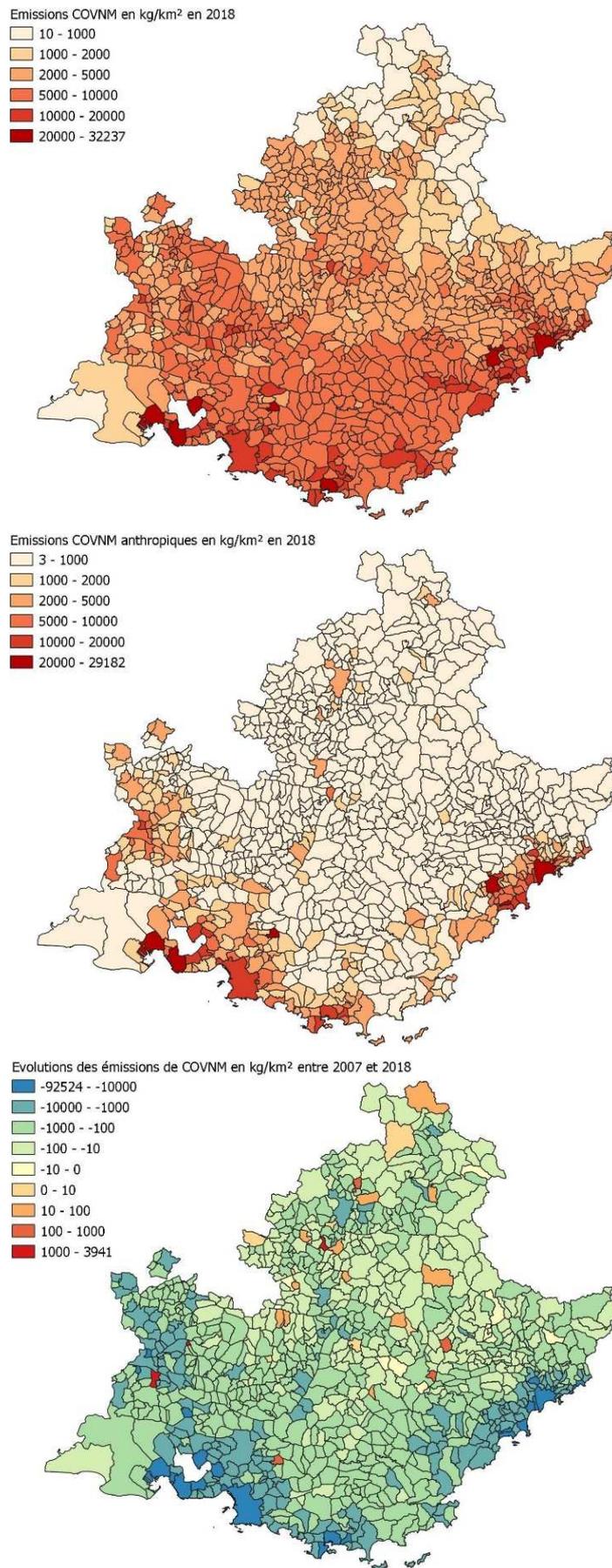


Figure 14 : Emissions communales de COVNM (totales et anthropiques) en 2018, et évolution entre 2007 et 2018

3.3 Rapport COV/NOx : les NOx comme principal levier d'action

Sur les communes les plus émettrices de NOx et de COV, le rapport COV/NOx tend à être limité en COV (cf. Figure 15 ci-dessous). Ce déséquilibre limite non seulement la formation d'ozone, mais les NOx excédentaires vont tendre à « consommer » l'ozone produit pour accélérer l'oxydation de NO en NO₂ à la place, et produire d'autres polluants oxydants. Ceci signifie que la pollution oxydante aura plus tendance à s'exprimer sous forme de NO₂, et un peu moins sous forme d'ozone (dans les centres-villes et en bordure d'axe).

Dans les zones plus faiblement émettrices, en général des zones plus rurales, le rapport COV/NOx tend à être limité en NOx. Dans ces zones, les émissions de COV sont largement dominées par les émissions naturelles. Sans un apport extérieur, ces zones produiraient peu d'ozone par elles-mêmes. Mais dans le cas de masses d'air polluées en ozone en provenance d'une zone voisine, ces COV augmentent l'intensité et la durée des épisodes pollués.

Dans la plupart des communes, depuis 2007, les émissions de NOx baissent plus rapidement que les émissions de COV. En conséquence, le ratio COV/NOx tend à basculer vers un régime limité en NOx. Cependant, on retrouve quand même quelques communes parmi les principales émettrices pour lesquelles les COV baissent plus rapidement que les NOx. On retrouve donc trois grandes catégories de communes :

- Les communes avec un régime limité en COV et pour lesquelles les émissions de COV baissent plus vite que les NOx. Cette situation concerne notamment **les communes les plus peuplées**. Dans ces cas, le régime limité en COV est renforcé, ce qui se traduit par une formation d'ozone plus faible mais une conversion plus forte du NO en NO₂. **Dans ce cas la baisse des émissions de NOx doit être privilégiée (routier, maritime, industrie), afin de réduire l'exposition des populations au NO₂ dans un premier temps, et à l'ozone dans un second temps.**
- Les communes avec un régime limité en COV et pour lesquelles les émissions de NOx baissent plus vite que les COV. Dans ces cas, on se rapproche d'un rapport COV/NOx idéal pour la formation d'ozone. La formation de NO₂ baisse plus rapidement et la formation d'ozone peut rester stable, voire augmenter temporairement. Les émissions étant globalement en baisse pour NOx et COV, l'exposition globale de la population à la pollution oxydante est quand même en baisse, même si ce n'est pas visible sur les mesures d'ozone seules. **Dans ce cas la baisse des émissions doit être équilibrée pour réduire l'exposition globale des populations.**
- Les communes avec un régime limité en NOx et pour lesquelles les émissions de NOx baissent plus vite que les COV. Ce sont essentiellement **des communes rurales**. Dans ces cas, le régime limité en NOx est renforcé. La formation de NO₂ et d'ozone est en baisse, mais peut être entretenue par des arrivées de masses d'air en provenance des principaux pôles émetteurs. **Dans ce cas la baisse des émissions de COV anthropiques doit être privilégiée (résidentiel, déchets), afin de limiter l'entretien des phénomènes de photochimie qui transitent sur ces zones.**

Remarque : Une diminution des émissions de NOx sans réduction des émissions de COV pourrait aboutir à une augmentation de la formation d'ozone sur des communes dont le régime est limité en COV. Cependant, cette situation est peu probable dans la région puisque les émissions de COV baissent presque partout. L'exposition des populations à la pollution oxydante dans son ensemble (NO₂ et O₃ principalement) tend à baisser sur toute la région.

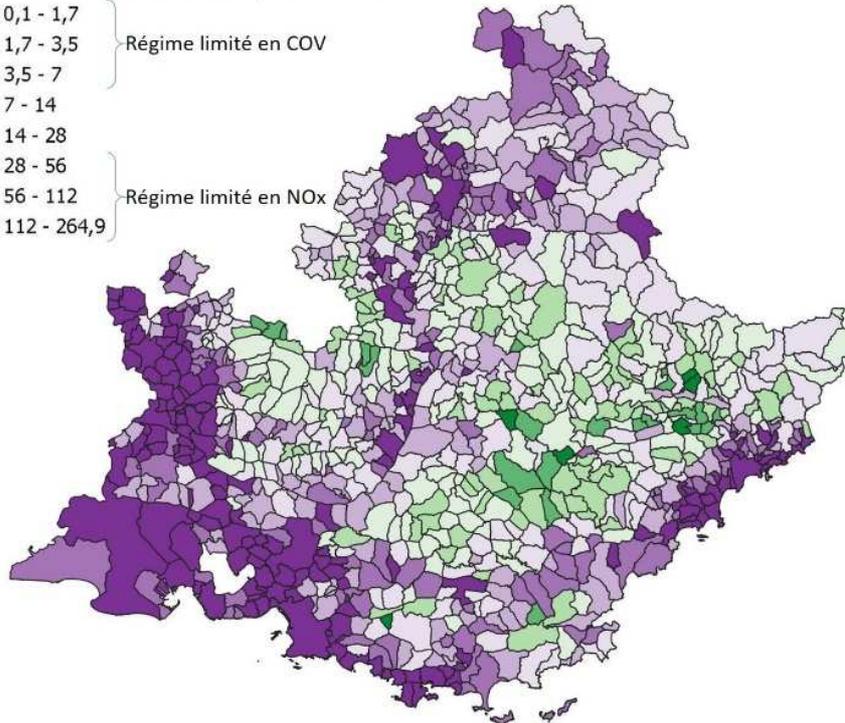
La diminution conjointe des NOx et des COVNM est nécessaire pour faire baisser les concentrations d'ozone. Cependant, la baisse des émissions de NOx reste le principal levier d'action dans les zones les plus émettrices pour réduire les concentrations des différentes formes de pollutions oxydantes.

Rapport des émissions de COVNM/NOx en 2018

- 0,1 - 1,7
- 1,7 - 3,5
- 3,5 - 7
- 7 - 14
- 14 - 28
- 28 - 56
- 56 - 112
- 112 - 264,9

Régime limité en COV

Régime limité en NOx



Evolution du rapport des émissions de COVNM/NOx en % entre 2007 et 2018

- 53,8 - -33
- 33 - -20
- 20 - -10
- 10 - 0
- 0 - 11
- 11 - 25
- 25 - 50
- 50 - 762,1

Les COV baissent plus vite que les NOx

Les NOx baissent plus vite que les COV

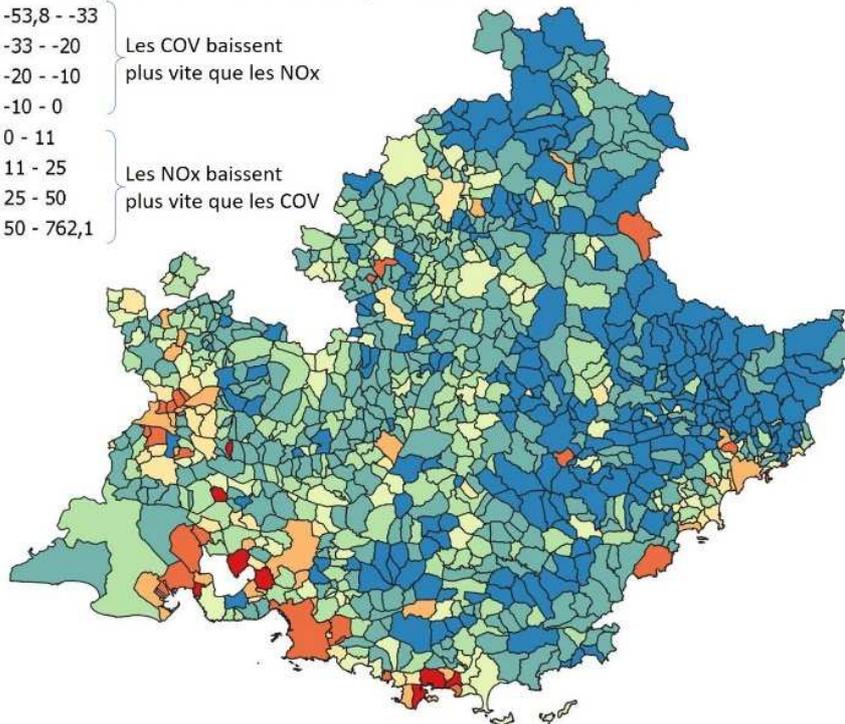


Figure 15 : Rapport des émissions COV/NOx en 2018, et évolution entre 2007 et 2018

3.4 Spéciation des COV anthropiques : cibler les précurseurs majeurs

Remarque : les résultats suivants sont calculés à partir de l'inventaire des émissions AtmoSud. Cet inventaire est consolidé pour la somme des COV et pour le benzène, mais pas pour chaque COV pris séparément (les émissions déclarées par les industriels ne sont pas détaillées pour chaque COV). La consolidation des données pour un ou plusieurs COV en particulier nécessiterait un travail spécifique de raffinement de l'inventaire.

Tous les COV n'ont pas la même réactivité chimique, et donc le même potentiel de formation de l'ozone. La relation entre chaque COV et la formation d'ozone n'est pas linéaire : elle dépend de nombreux facteurs, comme les autres COV présents, les paramètres météo, etc. Cependant, il reste possible d'appliquer une pondération aux COV en fonction de leur réactivité moyenne (potentiel d'oxydation photochimique, ou PCOP), afin de faire ressortir, en première approche, les espèces chimiques ayant le plus fort potentiel de formation d'ozone.

La pondération utilisée ici est le potentiel d'oxydation photochimique (PCOP) issu de la thèse « Modélisation et évaluation de l'impact multi-échelles des mégapoles européennes »⁷. C'est la même pondération qui est reprise dans le modèle de prévision Chimère, à la base du système de prévision d'AtmoSud.

La Figure 16 ci-dessous montre que le secteur des déchets disparaît presque complètement lorsque les émissions sont pondérées par le PCOP. En effet, le méthane, malgré son tonnage élevé, influe peu sur la production d'ozone en PACA du fait de son faible potentiel oxydant.

Pour les autres secteurs d'activités, le PCOP influence peu la répartition. A l'échelle de la région, le poids des deux plus gros secteurs, le résidentiel et l'industrie, n'est pas significativement modifié. Le poids du transport routier est presque doublé, celui de la production d'énergie est réduit de moitié. C'est un résultat encourageant, dans la mesure où le transport routier est la principale source d'émissions de NOx. **Les actions de réduction des émissions du transport routier auront donc une influence plus importante sur la production d'ozone que ne le laisse présager la simple analyse des masses de COV émis, puisque les COV issus du transport sont environ deux fois plus producteurs d'ozone que la moyenne des COV de la région.**

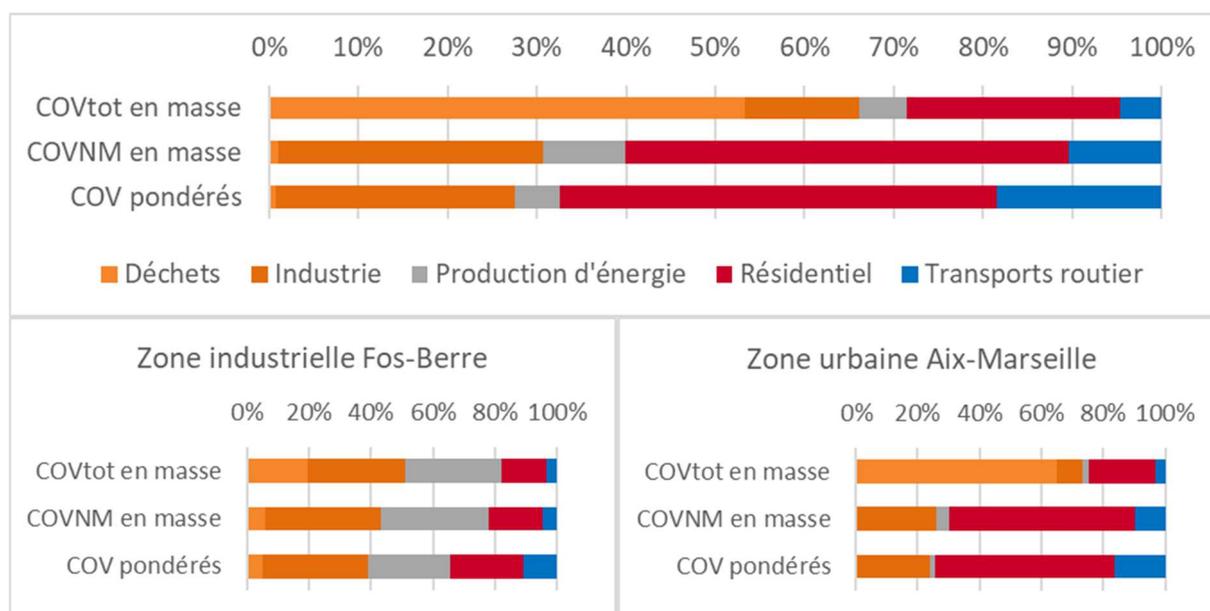


Figure 16 : Emissions régionales de COV totaux et COVNM, en masse et en masse pondérée par le PCOP, pour les 5 principaux secteurs émetteurs (hors biogéniques), sur la région, une zone industrielle et une zone urbaine.

⁷ Guillaume Siour. Modélisation et évaluation de l'impact multi-échelles des mégapoles européennes. Autre. Université Paris-Est, 2012. Français. NNT : 2012PEST1034. tel-00804626 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00804626>

Le détail sur les zones de Fos-Berre (industrielle) et d'Aix-Marseille (urbaine) montre que les secteurs prépondérants sont différents selon le type de zones, et donc que **les actions de réduction sont à adapter en fonction des problématiques locales**. Dans la zone industrielle, la production d'énergie dépasse le résidentiel. En zone urbaine, à l'inverse, le poids du résidentiel augmente encore au dépend de l'énergie. Dans ce dernier cas, la répartition reste relativement similaire à celle de la région. Que ce soit en zone urbaine, périurbaine ou rurale, le poids du routier est augmenté dans la même proportion, mais reste derrière le résidentiel et l'industrie.

L'analyse des résultats par espèce chimique permet de cibler les principaux précurseurs de l'ozone (cf. Figure 17 ci-dessous). La répartition sur les zones urbaines est très proche de la moyenne régionale. En revanche, dans le cas de la zone industrielle de Fos-Berre, le poids plus important de la production d'énergie modifie l'importance respective des différentes espèces. Cette modification est toutefois limitée, et les principaux précurseurs de la zone industrielle sont tous des composés identifiés dans la liste régionale, avec un rang différent lié au poids de l'industrie et de l'énergie.

Les spécificités de la zone Fos-Berre ne modifient pas fondamentalement la priorisation des COV sur lesquels agir, mais modifient la priorisation des secteurs d'activité.

Au sein de chaque secteur d'activité, il serait nécessaire de distinguer les activités spécifiques qui génèrent le plus des COV précurseurs identifiés dans cette liste, afin d'orienter les actions vers le maximum d'efficacité.

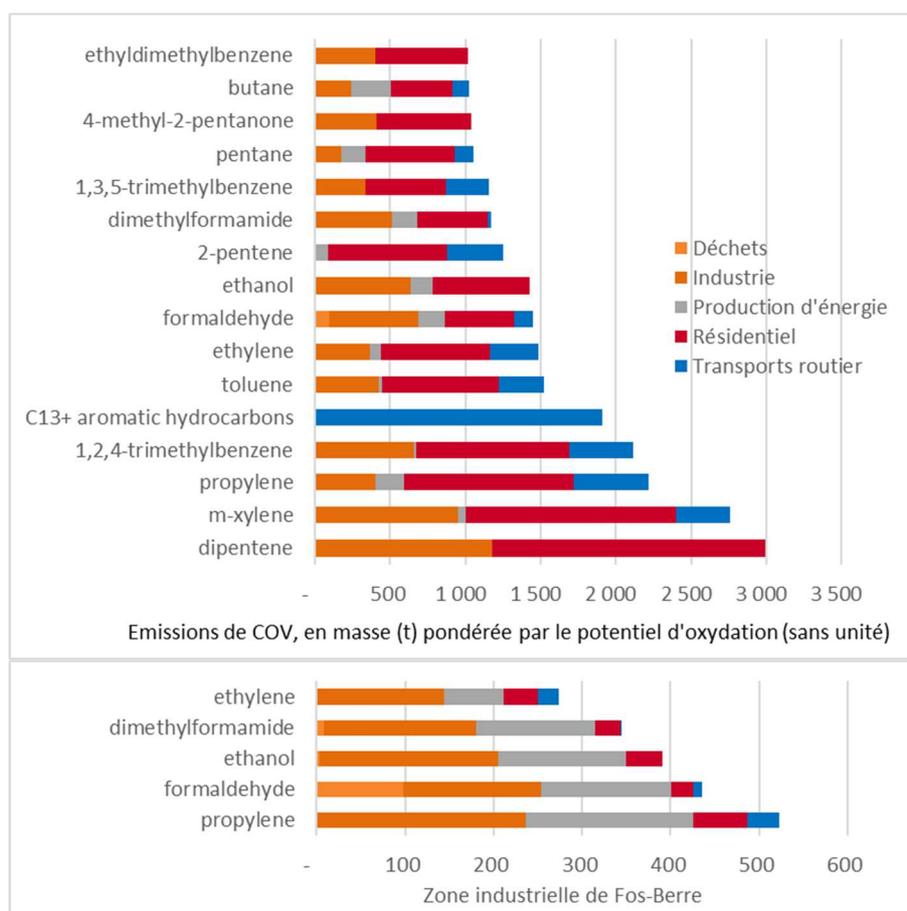


Figure 17 : principaux COV précurseurs en 2018, pour les 5 principaux secteurs émetteurs, sur la région et sur la zone industrielle de Fos-Berre.

3.5 Impact de la baisse d'émissions des précurseurs

AtmoSud avait travaillé entre 2001 et 2006 sur l'impact de la réduction des précurseurs sur les niveaux d'ozone en région⁸. Les conclusions des travaux réalisés à l'époque ne peuvent pas être reprises telles qu'elles aujourd'hui, du fait d'une modification significative des conditions atmosphériques (émissions locales, apports transfrontaliers, conditions climatiques).

Ces calculs n'ont pas pu être refaits dans le cadre de l'évaluation des PPA pour des questions de délais de rendu. En effet, l'évaluation de l'impact des actions du PPA sur l'ozone nécessiterait de refaire des calculs de chimie très chronophages.

Pour cette analyse, les travaux réalisés il y a peu par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes peuvent apporter certains éléments.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a publié, en juillet 2020, un rapport intitulé « Ozone Troposphérique, Etat des connaissances et sensibilité de réductions des émissions de précurseurs et des secteurs d'activités sur les concentrations d'ozone »⁹. Dans le cadre de ce rapport, plusieurs scénarios de modélisation ont été réalisés. Les résultats de certains de ces scénarios sont spécifiques à la région AuRA (poids des différents secteurs d'activités). En revanche, d'autres sont plus facilement transposables à la région Sud, notamment ceux réduisant les émissions de COV et NOx.

Voici les conclusions de ces scénarios :

- La baisse de 35% des émissions de COV d'origine anthropique entraîne une faible baisse des concentrations d'ozone ($< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sur toute la région et toute l'année.
- La baisse de 35% des émissions de NOx entraîne une augmentation des concentrations d'ozone toute l'année sur les zones de fortes émissions (jusqu'à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne mensuelle en hiver, autour de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne mensuelle en été), et une légère augmentation des concentrations d'ozone en hiver et une diminution en été sur le reste de la région.
- La baisse simultanée de 35% des émissions de NOx et de COV donne des résultats relativement similaires à la baisse des NOx seuls.

Remarque : Dans le rapport d'AuRA, il est montré qu'une baisse de -35% d'émissions de NOx aurait pour effet d'augmenter les concentrations d'ozone sur les zones urbaines ($+10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne). Ce qu'il est nécessaire de compléter, est qu'**une baisse de -35% d'émissions de NOx se traduit par une baisse des concentrations de NO₂, dont l'impact sanitaire est considéré plus élevé aujourd'hui dans la région que celui de l'ozone** (cf.4.2, page 22).

Entre 2007 et 2018 en région PACA, les émissions de NOx ont baissé de -36%, ce qui s'est traduit par une baisse de concentration moyenne de NO₂ de -32%. Dans ce scénario, **même si les niveaux d'ozone augmentent légèrement, la charge oxydante totale est quand même en diminution, ce qui entraîne une réduction globale de l'exposition des populations.**

⁸ Escombe : Simulation de scénarios de réduction d'émissions
https://www.atmosud.org/sites/paca/files/publications_import/files/060700_AirPACA_LISA_PRIMEQUAL_SCENARIOS_net.pdf

⁹ Ozone Troposphérique, Etat des connaissances et sensibilité de réductions des émissions de précurseurs et des secteurs d'activités sur les concentrations d'ozone :

https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/atoms/files/travauxozonetropospherique_connaissances_et_actions_juillet2020.pdf

4. Comment réduire l'exposition des populations : conclusion et perspectives

Même si le nombre de pics d'ozone diminue avec le temps, l'ozone reste en région Sud le seul polluant dont les concentrations moyennes ne baissent pas. Les seuils sanitaires sont dépassés sur une large portion du territoire, en dépit de la réduction des émissions des polluants précurseurs de l'ozone ces dernières années.

Les efforts réalisés localement pour réduire les émissions de ces précurseurs sont contrebalancés par la hausse du niveau de fond mondial, du fait de l'augmentation globale de ces émissions, aggravé par le réchauffement climatique.

4.1 Baisse de la production locale et hausse du niveau de fond

L'évolution constatée de l'ozone dans la région s'explique par un équilibre entre deux tendances :

- Les émissions de précurseurs diminuent dans la région. La production locale d'ozone diminue, ce qui réduit les concentrations d'ozone au moment de la plus forte photochimie : durant la journée en été.
- Les émissions de précurseurs augmentent au niveau planétaire, ce qui se traduit par une augmentation du niveau de fond troposphérique global¹⁰. Ce phénomène est potentialisé par les effets du réchauffement climatique, qui tend à augmenter les concentrations d'ozone.

Depuis 20 ans, ces deux phénomènes tendent à se compenser. Sans les efforts de réduction des émissions de précurseurs de l'ozone qui ont eu lieu dans la région depuis plus de 20 ans, il est certain que nous aurions vu les concentrations d'ozone augmenter sur cette période.

La réduction des émissions de précurseurs permet donc à la fois de réduire l'exposition des populations à ces polluants, mais également de ne pas augmenter l'exposition à l'ozone.

4.2 Exposition des populations à l'ozone ou à la pollution oxydante ?

Dans son rapport d'octobre 2020¹¹, l'EPHA quantifie la contribution des principaux polluants dans les coûts induits par l'exposition de la population à la pollution, dans les principales villes Européennes. Dans les sept villes de la région incluses dans cette étude¹², l'impact économique des coûts sanitaires attribué aux polluants varie de la manière suivante :

- Particules (PM10, PM2.5) : entre 78 et 88%
- Dioxyde d'azote (NO₂) : entre 7 et 19%
- Ozone (O₃) : entre 4 et 6%

D'une manière générale, le **NO₂ a un impact sanitaire direct deux à trois fois plus important que celui de l'ozone**. Le NO₂ contribue également à la formation de particules secondaires (aérosol organique secondaire – AOS), ce qui lui ajoute un **impact sanitaire indirect**.

Du fait des réactions chimiques entre polluants et de l'équilibre entre NO₂ et O₃, il arrive dans certains cas qu'une action de réduction des émissions de NOx puisse entraîner une diminution des concentrations de NO₂ et une légère augmentation transitoire des concentrations d'ozone. Dans ces cas, il convient de se rappeler de la finalité des actions de réduction des émissions polluantes : la réduction de l'exposition globale de la population à la pollution, notamment la pollution oxydante.

Les actions de lutte contre la pollution à l'ozone spécifiquement ne doivent pas conduire à un ralentissement de la lutte contre la pollution au NO₂ et aux particules, dont les bénéfices sanitaires sont supérieurs.

¹⁰ Ziemke, J. R., Oman, L. D., Strode, S. A., Douglass, A. R., Olsen, M. A., McPeters, R. D., Bhartia, P. K., Froidevaux, L., Labow, G. J., Witte, J. C., Thompson, A. M., Haffner, D. P., Kramarova, N. A., Frith, S. M., Huang, L.-K., Jaross, G. R., Seftor, C. J., Deland, M. T., and Taylor, S. L.: Trends in global tropospheric ozone inferred from a composite record of TOMS/OMI/MLS/OMPS satellite measurements and the MERRA-2 GMI simulation, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 3257–3269, <https://doi.org/10.5194/acp-19-3257-2019>, 2019

¹¹ Sander de Bruynand et Joukje de Vries, EPHA. Health costs of air pollution in European cities and the linkage with transport <https://cleanair4health.eu/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/final-health-costs-of-air-pollution-in-european-cities-and-the-linkage-with-transport-c.pdf>

¹² Aix-en-Provence, Avignon, Fréjus, Marseille, Martigues, Nice, Toulon.

4.3 Leviers d'actions : prioriser la baisse des NOx et d'une sélection de COV

A l'échelle de la région, les actions de réduction des émissions de COVNM sont limitées par la forte proportion des émissions naturelles : seul 27% des COVNM sont émis par les activités humaines. Ce qui signifie qu'une réduction d'un tiers des émissions anthropiques (similaire aux scénarios AuRA) entrainerait une réduction de moins de 10% des émissions de COVNM toutes sources sur la région.

Les COVNM permettent aux épisodes de pollution à l'ozone de se maintenir plus longtemps dans la journée, et de se propager plus loin sur les zones périphériques et rurales. On pourrait dire que les COVNM sont le « carburant » des réactions de formation de l'ozone, tandis que les NOx en sont le « moteur ». En région Sud, il n'est **pas possible de réduire la majeure partie du carburant des réactions photochimiques, du fait de son origine naturelle.**

Afin d'éviter que ces épisodes de pollution se propagent, les actions les plus efficaces consistent donc à **réduire en priorité les émissions de NOx sur les principaux pôles émetteurs**, pour éviter que les épisodes de pollution n'y démarrent. Sur ces zones, une priorisation des baisses des émissions de NOx n'aura pas d'effet bénéfique immédiat sur les concentrations locales d'ozone. Du fait des réactions complexes de formation de l'ozone, une baisse des émissions de NOx seule pourrait même augmenter les concentrations d'ozone de manière transitoire. Cependant, même dans ce cas, **l'exposition des populations à la pollution oxydante dans son ensemble diminuerait, y compris à court terme.** En effet, une réduction des concentrations de NOx permettrait une baisse des concentrations de NO₂ et d'acide nitrique, ainsi qu'une diminution de la production d'aérosols organiques secondaires (AOS). Or, les particules restent la forme de pollution ayant le coût sanitaire le plus élevé aujourd'hui. Enfin, la baisse des émissions de NOx permettrait à moyen terme de passer en régime limité en NOx, et **d'augmenter l'efficacité de ces actions, y compris sur l'ozone.**

Afin d'éviter que les concentrations d'ozone n'augmentent de manière transitoire sur ces zones fortement émettrices, des actions complémentaires de réduction des émissions de COV restent indispensables. Les réactions photochimiques étant limitées par les COVNM sur ces zones, toute baisse des émissions de ceux-ci se traduirait par une baisse immédiate des concentrations d'ozone. Ces actions peuvent être optimisées en **ciblant en priorité les activités émettant les espèces contribuant le plus** à la photochimie.

4.4 Améliorer la connaissance sur les déterminants de l'ozone

Auvergne-Rhône-Alpes, a réalisé dans son étude de 2020 plusieurs scénarios de contribution des sources. Ces scénarios ont montré que la contribution de l'ozone provenant de l'extérieur de la région était largement majoritaire dans les concentrations observées localement. Les scénarios réalisés dans le cadre de l'étude Escompte en 2001 en région Sud montraient au contraire que la production locale d'ozone était majoritaire, et quantifiait la contribution des différents secteurs d'activité.

Les données disponibles actuellement en région Sud ne permettent pas de déterminer la proportion d'ozone attribuable aux différents secteurs ainsi qu'aux contributions transfrontalières. **Il serait nécessaire de produire une étude similaire en région Sud aujourd'hui afin d'évaluer la part de l'ozone sur laquelle il existe un levier d'action aujourd'hui, et comment cette part va évoluer dans les années qui viennent.** Les principaux volets de cette étude seraient :

- Une consolidation de la spéciation des COV dans l'inventaire des émissions.
- Des scénarios de modélisation évaluant la contribution actuelle des principaux secteurs d'activités à la formation d'ozone, ainsi que la part issue des apports transfrontaliers.
- Une projection de ces scénarios à moyen terme, en fonction des actions de réduction des émissions envisagées et des projections climatiques pour les années qui viennent.

ANNEXE 1 Méthodologie de pondération des émissions de COV par le potentiel d'oxydation photochimique

Emissions spéciées

L'inventaire d'AtmoSud couvre les émissions de COVNM : les données sont complètes et exhaustives pour l'ensemble des secteurs, à un niveau de détail fin selon la nomenclature SNAP3, mais ne sont pas disponibles pour les émissions spéciées.

Ce niveau de détail n'étant pas disponible dans les sorties de l'inventaire AtmoSud, une méthodologie intermédiaire est employée pour les besoins de cette étude à partir des profils de spéciation utilisés en entrée dans le modèle de dispersion CHIMERE.

Dans l'outil, la ventilation des émissions de COVNM par espèce est réalisée via des profils de répartition au niveau SNAP1, issus de la thèse « Modélisation et évaluation de l'impact multi-échelles des mégapoles européennes » de Guillaume Siour, Université Paris-est, 2012.

Les profils indiquent la part en pourcentage de chaque espèce parmi les COVNM totaux émis dans chaque niveau SNAP1, et ce pour 221 espèces (cf. Annexe 2). Le détail est disponible à partir de la page 245 du document scientifique.

Exemple : Erreur ! Liaison incorrecte. Tableau 2 : Exemple des tableaux de profils sources niveau SNAP1

Les profils de répartition au niveau snap 1 sont utilisés pour recalculer des profils de spéciation par secteur selon chaque zone, à partir des résultats de l'inventaire agrégés au niveau SNAP1 par secteur.

Cette étape est réalisée en 2 parties : d'une part l'identification de la contribution de chaque niveau SNAP1 dans les émissions sectorielles de COVNM. A titre d'exemple, au niveau régional les émissions COVNM de la snap 2 représentent 36% des émissions du résidentiel.

Secteur	Snap1	% secteur
Déchets	9	100
Industrie	3	20
	4	16
	6	64
	8	0
Production d'énergie	1	5
	4	32
	5	59
	9	4
Résidentiel	2	36
	6	60
	8	4
	9	1
Transports routier	7	100

Tableau 3 : Contribution des niveaux SNAP1 aux émissions COVNM de chaque secteur - Région

Ensuite la seconde étape consiste à recalculer pour chaque secteur un profil par espèce, en pondérant les profils connus par snap1 avec la contribution de celles-ci dans chaque secteur. Par exemple, pour le résidentiel au niveau régional, pour une espèce n1, le profil est le suivant :

Profil n1-res= profil snap2 * 36% + profil snap6 * 60% + profil snap8 * 4% + profil snap9 * 1%

Les profils par secteurs sont recalculés pour les 221 espèces selon le format suivant :

Secteur	Déchets	Industrie	Production d'énergie	Résidentiel	Transports routier
Espèce 1	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Espèce 2	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Espèce...	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Tableau 4 : Format des profils recalculés par secteur

A partir de ces profils, les données d'émissions de COVNM 2018 de chaque secteur sont déconvoquées pour définir des émissions spéciées théoriques, sur la base de la thèse de l'Université Paris-Est.

Ainsi, pour chaque zone, il est possible de hiérarchiser les substances émises par secteur d'activité.

Les données AtmoSud concernent l'année 2018 et sont issues de l'inventaire v7.1

Réactivité des espèces

En complément de l'analyse des émissions par espèce, il est apparu opportun de relativiser ces résultats avec le potentiel oxydant de chacune des espèces. En effet, chaque COVNM réagira de manière différente au sein de l'atmosphère avec les autres composés en fonction de ses caractéristiques chimiques.

Dans la thèse de l'université Paris-Est, un potentiel de réaction est défini pour chacune des substances : il s'agit de la vitesse de réaction des radicaux OH avec l'environnement extérieur et d'autres composés, et donc potentiellement la participation active dans le processus de formation d'ozone.

Ces potentiels oxydants varient considérablement entre chaque espèce, il est par exemple très faible pour le CH₄, mais élevé pour le dipentène.

Les émissions de chaque espèce ont donc été pondérées en les multipliant par le potentiel oxydant, afin d'obtenir un nouveau classement qui tiendra compte de la réactivité des composés dans l'atmosphère.

AtmoSud, votre expert de l'air en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur



Un large champ d'intervention : air/climat/énergie/santé

La loi sur l'air reconnaît le droit à chaque citoyen de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Dans ce cadre, AtmoSud évalue l'exposition des populations à la pollution atmosphérique et identifie les zones où il faut agir. Pour s'adapter aux nouveaux enjeux et à la demande des acteurs, son champ d'intervention s'étend à l'ensemble des thématiques de l'atmosphère : polluants, gaz à effet de serre, nuisances, pesticides, pollens... Par ses moyens techniques et d'expertise, AtmoSud est au service des décideurs et des citoyens.

Des missions d'intérêt général

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30/12/1996 confie la surveillance de la qualité de l'air à des associations agréées :

- Connaître l'exposition de la population aux polluants atmosphériques et contribuer aux connaissances sur le changement climatique
- Sensibiliser la population à la qualité de l'air et aux comportements qui permettent de la préserver
- Accompagner les acteurs des territoires pour améliorer la qualité de l'air dans une approche intégrée air/climat/énergie/santé
- Prévoir la qualité de l'air au quotidien et sur le long terme
- Prévenir la population des épisodes de pollution
- Contribuer à l'amélioration des connaissances

Recevez nos bulletins

Abonnez-vous à l'actualité de la qualité de l'air : <https://www.atmosud.org/abonnements>

Conditions de diffusion

AtmoSud met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ces travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur notre site Internet.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'AtmoSud. Toute utilisation de données ou de documents (texte, tableau, graphe, carte...) doit obligatoirement faire référence à AtmoSud. Ce dernier n'est en aucun cas responsable des interprétations et publications diverses issues de ces travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.



Siège social : 146, rue Paradis « Le Noilly Paradis » - 13294 Marseille cedex 06
Établissement de Martigues : route de la Vierge 13500 Martigues
Établissement de Nice : 37 bis, avenue Henri Matisse - 06200 Nice
Tél. 04 91 32 38 00 - Télécopie 04 91 32 38 29 - contact.air@atmosud.org



Suivez-nous sur

