

# Mesure de la qualité de l'air par satellite en Nouvelle-Aquitaine

## Bilan 2022

Période de mesure : 2022

Commune et département d'étude : région Nouvelle-Aquitaine

---

Référence : R&D\_INT\_22\_166  
Version finale du : 22/06/2023



# Avant-Propos

**Titre** : Mesure de la qualité de l'air par satellite en Nouvelle-Aquitaine – Bilan 2022

**Reference** : R&D\_INT\_22\_166

**Version** : finale du 22/06/2023

**Nombre de pages** : 42 (couverture comprise)

	Rédaction	Approbation
Nom	A HULIN	P BOURQUIN
Qualité	Responsable Partenariat/Innovation	Directeur délégué Partenariat/Innovation/Communication
Visa		

## Conditions d'utilisation

**Atmo Nouvelle-Aquitaine fait partie du dispositif français de surveillance et d'information sur la qualité de l'air. Sa mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application.**

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Atmo Nouvelle-Aquitaine est garant de la transparence de l'information sur les résultats de ces travaux selon les règles suivantes :

- Atmo Nouvelle-Aquitaine est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet ([www.atmo-nouvelleaquitaine.org](http://www.atmo-nouvelleaquitaine.org))
- les données contenues dans ce rapport restent la propriété d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. En cas de modification de ce rapport, seul le client sera informé d'une nouvelle version. Tout autre destinataire de ce rapport devra s'assurer de la version à jour sur le site Internet de l'association.
- en cas d'évolution de normes utilisées pour la mesure des paramètres entrant dans le champ d'accréditation d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, nous nous engageons à être conforme à ces normes dans un délai de 6 mois à partir de leur date de parution
- toute utilisation de ce document doit faire référence à Atmo Nouvelle-Aquitaine et au titre complet du rapport.

Atmo Nouvelle-Aquitaine ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations, travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux pour lesquels l'association n'aurait pas donné d'accord préalable. Dans ce rapport, les incertitudes de mesures ne sont pas prises en compte lors de comparaison à un seuil réglementaire

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Nouvelle-Aquitaine :

- depuis le [formulaire de contact](#) de notre site Web
- par mail : [contact@atmo-na.org](mailto:contact@atmo-na.org)
- par téléphone : 09 84 200 100

# Sommaire

<b>1. Introduction et contexte .....</b>	<b>6</b>
1.1. Polluants suivis et méthodes de mesure .....	6
<b>2. Bilan annuel par polluant des mesures par satellite .....</b>	<b>12</b>
2.1. Le dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ) .....	13
2.2. Les aérosols ou particules .....	18
2.3. Le méthane (CH <sub>4</sub> ) .....	21
2.4. L'ammoniac (NH <sub>3</sub> ) .....	22
2.5. Le formaldéhyde .....	26
<b>3. Bilan des mesures satellites en lien avec les incendies de l'été 2022 .....</b>	<b>29</b>
3.1. Sources des données sur les incendies .....	29
3.2. Bilan des incendies et surfaces incendiées en Gironde durant l'année 2022 .....	29
3.3. Impact des incendies de l'été 2022 sur la mesure des polluants par satellite .....	32
<b>4. Conclusions .....</b>	<b>38</b>

# Lexique

## Polluants

- CH<sub>4</sub> méthane
- CO<sub>2</sub> dioxyde de carbone
- COV composés organiques volatils
- HCHO formaldéhyde
- NH<sub>3</sub> ammoniac
- NO<sub>2</sub> dioxyde d'azote
- O<sub>3</sub> ozone
- PM10 particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
- PM2.5 particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2.5 µm

## Les unités de mesures

Contrairement aux appareils de mesure au sol couramment utilisés dans les réseaux de mesures, les données produites par les satellites ne sont pas accessibles en concentration de type µg/m<sup>3</sup> (à moins d'avoir fait l'objet de retraitement ou modélisation).

Selon la source de données et le polluant étudié, les données vont être accessibles sous différents formats unités et altitudes.

→ **VMR** : (Volume mixing ratio)

Le ratio de mélange d'un gaz (aussi appelée fraction molaire) est le nombre de mole d'un gaz par mole d'air. Il est donné en mole/mole, ou, lorsqu'on parle de VMR (volume mixing ratio) en v/v (Volume du gaz/volume d'air), puisque le volume occupé par un gaz parfait est proportionnel au nombre de molécule.

La fraction molaire d'un gaz a l'avantage de rester constante lorsque la densité de l'air change.

→ **AOD** : aerosol optical depth (ou AOT pour Aerosol Optical Thickness)

Le degré auquel l'aérosol empêche la transmission de la lumière par absorption ou diffusion de la lumière à travers la totalité de la colonne verticale de l'atmosphère située entre le satellite et la surface terrestre.

→ **VCD** : Vertical Column Densité

Nombre de molécule d'un gaz atmosphérique contenu dans la colonne d'air située entre le satellite et la surface terrestre (par unité de surface terrestre).

## Abréviations

- OMS/WHO Organisation Mondiale pour la Santé / World Health Organization
- OTAN/NATO Organisation du Traité de l'Atlantique Nord / North Atlantic Treaty Organization
- CCE Commission des Communautés Européennes
- INERIS Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
- COFRAC COmité Français d'ACrréditation
- CIRC Centre International de Recherche sur le Cancer

# Résumé

Atmo Nouvelle-Aquitaine mène depuis quelques années des études exploratoires pour évaluer la contribution possible des mesures par satellites dans la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire régional.

Les mesures satellites de composition chimique de la troposphère existent depuis plusieurs dizaines d'années. Les premières mesures, de faible résolution spatiale et temporelle, ont permis de décrire le transport de panaches de polluants à longue distance. L'amélioration des mesures et les progrès réalisés dans le traitement des données permettent aujourd'hui d'apporter de l'information précise à l'échelle infrarégionale.

L'exploitation des données de qualité de l'air mesurées par télédétection depuis les satellites est encore aujourd'hui au stade exploratoire. Le traitement réalisé dans cette étude pour l'année 2022 montre encore une fois les forces et les faiblesses de la donnée.

D'une part les mesures satellites couvrent l'ensemble du territoire de la région Nouvelle-Aquitaine et permettent une comparaison objective au reste du territoire métropolitain ou Européen. Elles fournissent également des informations sur la répartition spatiale de polluants pour lesquels on ne dispose aujourd'hui que peu de données comme l'ammoniac ou le formaldéhyde. Ces données précieuses permettent d'orienter le choix des sites et de la temporalité pour les campagnes de mesures au sol. Elles permettent aussi de valider la répartition spatiale des inventaires des émissions et les résultats des modèles numériques.

Enfin les données satellites prennent en compte des épisodes ponctuels comme les incendies, permettant de valider/améliorer les modèles numériques ; elles donnent une information là où la mesure au sol est absente.

Mais elles ont leurs limites : disponibilités des données, qui est parfois limitée, et peut nuire à leur représentativité ; résolution spatiale, au mieux de 3 km, donc insuffisante pour prendre en compte l'impact local maximal de sources comme le trafic routier.

Dans ce rapport, et en se basant sur les résultats des précédentes études, sont traités les polluants dont la mesure par satellite apporte une information complémentaire à celles dont disposent déjà Atmo Nouvelle-Aquitaine : le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ), les aérosol (particules), le formaldéhyde ( $\text{HCHO}$ ), et l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ).

Un paragraphe est dédié à l'impact des incendies qu'a connu le département de la Gironde durant l'été 2022.

# 1. Introduction et contexte

Les mesures satellites de composition chimique de la troposphère existent depuis plusieurs dizaines d'années. Les premières mesures, de faible résolution spatiale et temporelle, ont permis de décrire le transport de panaches de polluants à longue distance. L'amélioration des mesures et les progrès réalisés sur le traitement des données permettent aujourd'hui d'apporter de l'information précise aux échelles régionales.

Complémentaires des réseaux de surface existants, notamment en renseignant des zones peu ou pas couvertes par les mesures in-situ, les observations satellites peuvent avoir diverses utilisations :

- produire des bilans et de cartographies de qualité de l'air,
- servir à contraindre les inventaires d'émissions de polluants,
- permettre une analyse fine de résultats de simulation sur de vastes régions et dans toute la colonne atmosphérique,
- être assimilées par les modèles pour délivrer des informations plus réalistes.

Elles sont complémentaires aux données produites par les AASQA et ouvrent de nouvelles possibilités dans la surveillance du territoire régional.

Que les données soient brutes, élaborées, produites par la NASA ou par l'ESA, il apparaît le besoin pour les traiter de mieux maîtriser et comprendre les conditions de leur production, les modèles utilisés et hypothèses associées, ainsi que les limites de leur exploitation.

Atmo Nouvelle-Aquitaine mène depuis quelques années des études exploratoires pour évaluer la contribution possible des mesures par satellites dans la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire régional.

Dans ce rapport, et en se basant sur les résultats des précédentes études, sont traités les polluants dont la mesure par satellite apporte une information complémentaire à celles dont disposent déjà Atmo : le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), les aérosol (particules), le formaldéhyde (HCHO), et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>).


Un paragraphe est dédié à l'impact des incendies qu'a connu le département de la Gironde durant l'été 2022.

## 1.1. Polluants suivis et méthodes de mesure

### Mesures par prélèvement suivi d'une analyse chimique

Caractéristique mesurée	Matériel	Référence et/ou principe de la méthode de prélèvement	Référence et / ou principe de la méthode d'analyse
Concentration en ammoniac (NH <sub>3</sub> )	Echantillonneurs passifs	NF EN 17346 - Méthode normalisée pour la détermination de la concentration en ammoniac au moyen d'échantillonneurs par diffusion	NF EN 17346 CICD

## Mesures automatiques

Caractéristique mesurée	Matériel	Référence et/ou principe de la méthode	Accréditation
Concentration en oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	Analyseurs automatiques	NF EN 14211 - Dosage du dioxyde d'azote et du monoxyde d'azote par chimiluminescence	 ACCREDITATION COFRAC N° 1-6354* Portée disponible sur <a href="http://www.cofrac.fr">www.cofrac.fr</a>
Concentration en particules		NF EN 16450 - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM10 ; PM2.5)	
Concentration en ammoniac (NH <sub>3</sub> )	Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge (IASI)	Télédétection par satellite	Pas d'accréditation
Concentration en aérosol	Spectroradiomètre imageur		
Concentration en méthane (CH <sub>4</sub> )	Spectromètre imageur (TROPOMI)		
Concentration en formaldéhyde (HCHO)			
Concentration en dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )			

# 1. Les satellites, missions et instruments de mesures

Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive des satellites impliqués dans la mesure de la qualité de l'air. Seuls les satellites dont les données ont été utilisées dans ce rapport sont décrits dans ce paragraphe.

## 1.1. Les missions Sentinel (ESA)



Figure 1 : Le satellite de la mission Sentinel 5p

Les missions satellites Sentinel, également nommées Sentinelle en français, sont une famille de missions d'observation de la Terre et d'instruments embarqués destinés à remplacer notamment le satellite ENVISAT2. Ils constituent le volet spatial du programme Copernicus de l'Union européenne.

Seules les missions sentinelles 4, 5 et 5p sont destinées à la mesure des polluants atmosphériques. Elles appartiennent à une gamme plus large de missions Sentinel, numérotées de 1 à 6.

### 1.1.1. Sentinel-5 Precursor

- ➔ Instrument de mesure : TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) ( Spectromètre imageur)
- ➔ Principaux polluants mesurés : O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, formaldéhyde, aerosols
- ➔ Résolution : 5.5 x 3.5 km (7 x 3.5km avant aout 2019)
- ➔ Lancement : 13 octobre 2017
- ➔ Durée de vie : 7.25 ans
- ➔ Altitude : 824 km
- ➔ Heure locale de visite : environ 13h35 UTC.

Sentinel-5 Precursor – surnommé Sentinel-5P –est la première mission de COPERNICUS dédiée à la surveillance de l'atmosphère. Le satellite est porteur du système de mesure TROPOMI destiné à cartographier des polluants comme les oxydes d'azote, l'ozone le formaldéhyde, ...

Le cycle orbital est de 227 orbites (16 jours) mais du fait de la largeur du champ de vue (une fauchée au sol de 2 600 km), l'ensemble de la surface est cartographié en 24 heures.

Les informations issues de la mission ont pour objectif de servir à travers le programme COPERNICUS à la prévision et à l'aide à la décision. La mission doit également contribuer à la surveillance des poussières volcaniques pour l'aviation et pour avertir de niveaux de radiations UV élevés. En plus de ces éléments, il doit



être utilisé pour améliorer les connaissances des processus atmosphériques en lien avec le climat et les trous dans la couche d'ozone.

### ❖ **TROPOMI**

TROPOMI est un spectromètre imageur avancé à vision au nadir, un DOAS (spectromètre d'absorption optique différentielle), destiné à fournir des données sur les traces de gaz atmosphériques et les aérosols ayant un impact sur la qualité de l'air et le climat.

TROPOMI couvre une bande du sol terrestre via un détecteur bidimensionnel sur une période d'une seconde pendant laquelle le satellite avance d'environ 7 km. En conséquence, la bande terrestre échantillonnée en 1 seconde est d'une dimension de 2 600 km perpendiculairement au trajet du satellite sur 7 km dans le sens du déplacement du satellite (sauf pour les mesures dans l'UV, où la largeur de la bande est de 21 km au lieu de 7 km).

Une nouvelle mesure commence toutes les secondes. Le rayonnement capté est divisé dans les différentes longueurs d'onde via des spectromètres à réseau. TROPOMI a 4 détecteurs différents pour les différentes gammes spectrales.

TROPOMI couvre

- les UV et le visible (270 to 500 nm)
- le NIR (675 to 775 nm)
- le SWIR (2305 to 2385 nm)

## 1.2. Les missions EUMETSAT/ESA et les satellites METOP de première et seconde génération

### 1.2.1. Satellites METOP A, B et C

Source : EUMETSAT (<https://www.eumetsat.int/metop>)



METOP – A (source ESA)

MetOp (de la première génération) est une famille de trois satellites placés en orbite héliosynchrone et développés conjointement par l'Agence spatiale européenne (ESA) et EUMETSAT. Ils sont destinés aux études de la météorologie et du climat. Ils embarquent onze instruments de mesure dont le capteur IASI élaboré par le CNES et réalisé par Alcatel Space. Metop-A a été placé en orbite en 2006, Metop-B en 2012, le lancement du troisième satellite a été effectué le mercredi 7 novembre 2018.

Il s'agit de la première génération de satellite MetOp, à ne pas confondre avec les satellites MetOp-SG qui n'ont pas encore été lancés et qui porteront entre autres la mission Sentinel 5.

La combinaison des instruments à bord des satellites MetOp a une sensibilité qui permet d'observer la terre de jour comme de nuit, et sous la couverture nuageuse.

- Instruments de mesures : IASI<sup>1</sup>, MHS, GOME 2<sup>2</sup>, ASCAT, GRAS, AVHRR 3, AMSU/A, HIRS, SEM 2
- Polluants mesurés : NH<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>,
- Résolution au sol 12 km
- Résolution spectrale : 0,25 cm<sup>-1</sup>.
- Lancement : A : 2006 B : 2012 C : 2018
- Altitude : 819 km

#### ❖ **IASI**

Développé par le CNES en coopération avec l'organisation Européenne pour l'exploitation des SATellites METéorologiques (Eumetsat), l'instrument Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge (IASI) a été conçu pour la météorologie opérationnelle et la surveillance de la chimie atmosphérique et du climat. IASI est un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier et volant à bord des satellites Metop-A (2006), Metop-B (2012) et Metop-C (2018). Il mesure le spectre infra-rouge émis par le système Terre/atmosphère sur une bande spectrale continue de 645 cm<sup>-1</sup> à 2760 cm<sup>-1</sup> (i.e., de 3,62 µm à 15,5 µm), avec un échantillonnage spectral de 0,25 cm<sup>-1</sup>.

La série d'instruments IASI fournit des jeux de données homogènes à long terme de spectres de luminances et de variables atmosphériques dérivées pour alimenter les centres de prévisions météorologiques opérationnels, les services Copernicus et la communauté scientifique. La majorité des centres de prévision météorologique du monde (dont Météo France, UK MetOffice ou le centre européen ECMWF) utilisent les données IASI tant dans les modèles globaux que dans les modèles d'échelle fine [JACQUETTE , 2014].

La continuité du programme IASI sera assurée avec l'instrument IASI-Nouvelle Génération (IASI-NG) qui sera lancé à bord des satellites Metop-Seconde Génération (Metop-SG).

Les données disponibles sur AERIS sont :

- SO<sub>2</sub> (A,B,C, B+C)
- CO : (A,B,C, B+C)
- NH<sub>3</sub> : (A,B,C, A+B, B+C)
- O<sub>3</sub> : (A,B,C, B+C)
- O<sub>3</sub> / IASI+GOME2 (B)
- HCOOH : (A,B,C, B+C)

#### ❖ **GOME-2**

GOME-2 (Global Ozone Monitoring Experiment-2) est un instrument européen de nouvelle génération embarqué à bord des satellites METOP et qui poursuivent la mesure de l'ozone entamée par GOME embarqué sur ERS-2 et SCIAMACHY sur Envisat.

GOME-2 a pour objectif de contribuer aux recherches sur le climat et l'atmosphère, en produisant des données en temps quasi-réel pour la prévision de la qualité de l'air.

## 1.3. EOS : Aqua et terra (NASA)

<sup>1</sup> [Interféromètre atmosphérique de sondage dans l'infrarouge](#)

<sup>2</sup> surveillance de l'[ozone](#) à l'échelle du globe

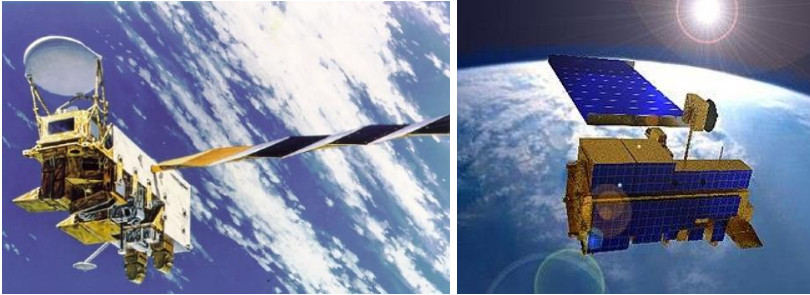


Figure 2 : Aqua (gauche) Terra (droite)

### 1.3.1. Terra

Terra (EOS AM-1) est une mission spatiale de la NASA placée en orbite en 1999 dont l'objectif est d'explorer les interactions entre l'atmosphère, les terres, les régions enneigées, la glace et les océans ainsi que la balance énergétique.

Terra produit 83 séries de données dont 22 portent sur l'étude de l'atmosphère.

Le satellite est toujours opérationnel en 2023.

- ➔ Instruments de mesure : ASTER, CERES, MISR, MODIS, MOPITT
- ➔ Lancement : 18 décembre 1999
- ➔ Altitude : 705 km
- ➔ Période orbitale : 99 minutes (16 orbites par jour)
  - MODIS : spectromètre imageur, prend une image complète de la Terre tous les 1 ou 2 jours
  - MODIS : Polluants mesurés : aérosols
  - MODIS Résolution: 10km x 10km et 3km x 3km à partir de la version 6.0

### 1.3.2. Aqua

Aqua ou EOS PM-1 est une mission spatiale de la NASA lancée en 2002 pour étudier le cycle de l'eau c'est-à-dire des précipitations et des processus d'évaporation. La mission utilise un satellite d'observation de la Terre de grande taille, 3 tonnes, embarquant six instruments. Ses instruments réalisent de manière continue plusieurs douzaines de types de mesure portant sur les eaux de surface des océans, l'évaporation des océans, la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère terrestre, les nuages, les précipitations, la glace de mer, les glaciers et la neige.

Aqua mesure également le flux radiatif, les aérosols, la couverture végétale du sol, le phytoplancton, la matière organique dissoute dans les océans ainsi que la température de l'air, du sol et de l'eau.

Aqua est le deuxième engin spatial du programme Earth Observing System (EOS), après le satellite Terra. Aqua est suivi par Aura lancé en 2004, chargé de l'étude de l'atmosphère. La mission primaire d'Aqua d'une durée de 6 ans est prolongée et le satellite est toujours opérationnel en 2023.

- ➔ Instruments de mesure : AIRS, AMSU-A, HSB, MODIS, CERES, AMSR-E
- ➔ Lancement : 18 décembre 1999
- ➔ Altitude : 705 km
- ➔ Période orbitale : 99 minutes (16 orbites par jour)
- ➔ Mesures :
  - MODIS / Polluants mesurés : aérosols
  - MODIS / Résolution: 10km x 10km et 3km x 3km à partir de la collection 6.0
  - AIRS / Polluants mesurés :SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, aerosols
  - AIRS / Résolution: 50km x 50km

- ❖ **MODIS** (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) est un imageur à résolution modérée pour mesurer les propriétés des nuages et les flux d'énergie radiative. Il enregistre en plus les propriétés des aérosols, la couverture et le changement d'utilisation des sols ainsi que la détection des incendies et des éruptions volcaniques. Il enregistre des données dans 36 bandes spectrales allant de 0,4 à 14,4  $\mu\text{m}$  avec une résolution spatiale de 250 m à 1 km. Ensemble, les différents spectromètres prennent une image complète de la Terre tous les 1 ou 2 jours.
- ❖ **AIRS** (*Atmospheric Infrared Sounder*) est une sonde infrarouge à haute résolution dont l'objectif principal est la mesure de la température et l'humidité atmosphérique depuis la surface jusqu'à une altitude de 40 km. L'instrument mesure le rayonnement dans 2 382 longueurs d'onde distinctes sont 2 378 dans l'infrarouge (entre 3,74 et 15,4  $\mu\text{m}$ ) et quatre en lumière visible / proche infrarouge (0,4-1,1  $\mu\text{m}$ ).

## 1.4. SUOMI NPP (National Polar-orbiting Partnership) (NASA)

**SUOMI NPP est un satellite météorologique issu d'une mission commune de la NASA et de la NOAA, initiée en 1998.** En mars 2013, la NASA a transféré le contrôle opérationnel du satellite à la NOAA. <sup>37</sup>

Le satellite est lancé en 2011 pour garantir la continuité de la collecte des données réalisées par les satellites vieillissants du *Earth Observing System* (Terra, Aqua...) en attendant la mise au point des satellites météorologiques polaires de type *Joint Polar Satellite System* (JPSS).

*Suomi NPP* doit également contribuer à mettre au point les instruments qu'utilisent les satellites JPSS et doit fournir des données pour les prévisions météorologiques.



Figure 3 : SUOMI-NPP

- ➔ Appareils de mesure : VIIRS, ATMS, CrIS, OMPS, CERES
- ➔ Lancement : 28 octobre 2011
- ➔ Altitude : 832 km
- **VIIRS** (Visible/Infrared Imager Radiometer Suite), le plus grand des instruments, est un radiomètre à 22 canaux qui fournit des images dans l'infrarouge des océans, de la glace, de l'atmosphère et des terres émergées. Les données collectées permettent d'observer les feux, la végétation, la couleur de l'océan, la température de la surface des mers et d'autres caractéristiques.

## 2. Bilan annuel par polluant des mesures par satellite

## 2.1. Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) se forme dans l'atmosphère à partir du monoxyde d'azote (NO) qui se dégage essentiellement lors de la combustion de combustibles fossiles, ce qui en fait un bon traceur de la pollution automobile. Il contribue, en association avec d'autres polluants, à l'acidification des milieux naturels. D'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le NO<sub>2</sub> a des effets néfastes sur la santé: une exposition à long terme peut altérer la fonction pulmonaire et augmenter les risques de troubles respiratoires.

La durée de vie du dioxyde d'azote est relativement courte et ne lui permet pas d'être transporté loin dans l'atmosphère. Sa concentration est en conséquence maximale directement aux abords des sources d'émissions. La mesure de la colonne verticale sera donc une bonne approximation de la concentration en NO<sub>2</sub> au sol. Si plusieurs instruments fournissent une mesure du NO<sub>2</sub>, c'est Sentinel 5p qui offre la meilleure résolution géographique et dont les valeurs sont présentées dans ce paragraphe.

### 1.4.1. Bilan 2022 des concentrations de NO<sub>2</sub>

Mission : Sentinel 5p
Instrument : TROPOMI (+ autres pour la prise en compte de la couverture nuageuse)
Résolution : 5.5 x 3.5 km
Données : VCD (Vertical Column Density) en mg/m <sup>2</sup> sur la colonne troposphérique
Qa >0.5 (indice de qualité de la donnée retenu)

La carte suivante représente les concentrations moyennes annuelles (colonne troposphérique) en NO<sub>2</sub> sur la France pour l'année 2022, mesurées par Sentinel 5p.

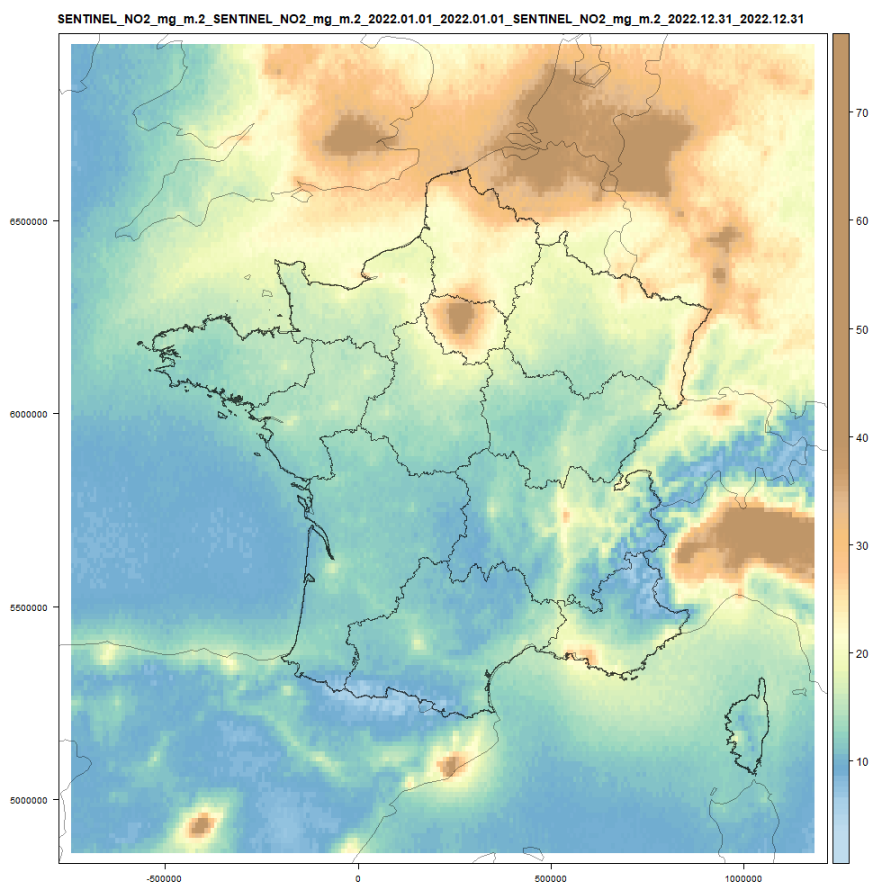


Figure 4 : concentrations moyennes annuelle 2022 de  $\text{NO}_2$  sur la métropole en  $\text{mg}/\text{m}^3$  (Sentinel5p)

Les valeurs les plus élevées sur le territoire national correspondent à la région Parisienne, les environs de Marseille, la vallée du Rhône, l'Alsace et le nord des Haut de France.

Les concentrations sur la Manche et la Méditerranée sont plus élevées en raison du trafic Maritime, mais du fait d'un trafic maritime moins important, les valeurs sont faibles sur l'Atlantique au niveau de la région Nouvelle-Aquitaine.

La Figure 5 représente les moyennes annuelles de 2020 à 2022 sur la région Nouvelle Aquitaine. Les valeurs les plus élevées sur la région sont mesurées à Bordeaux, le long de l'autoroute A63 et au niveau de Bayonne/Biarritz dans la continuité des surconcentrations observées sur la côte espagnole. Le nord de la région peut aussi être sous l'influence des émissions des régions voisines.

Les concentrations sont globalement plus faibles en 2022 qu'en 2021, ce qui correspond à l'amélioration continue de la pollution par le dioxyde d'azote observée sur les stations du réseau fixe. Elles sont en revanche plus élevées que celles de l'année 2020, année des premiers confinements.

## NO2 - Concentrations moyennes annuelles

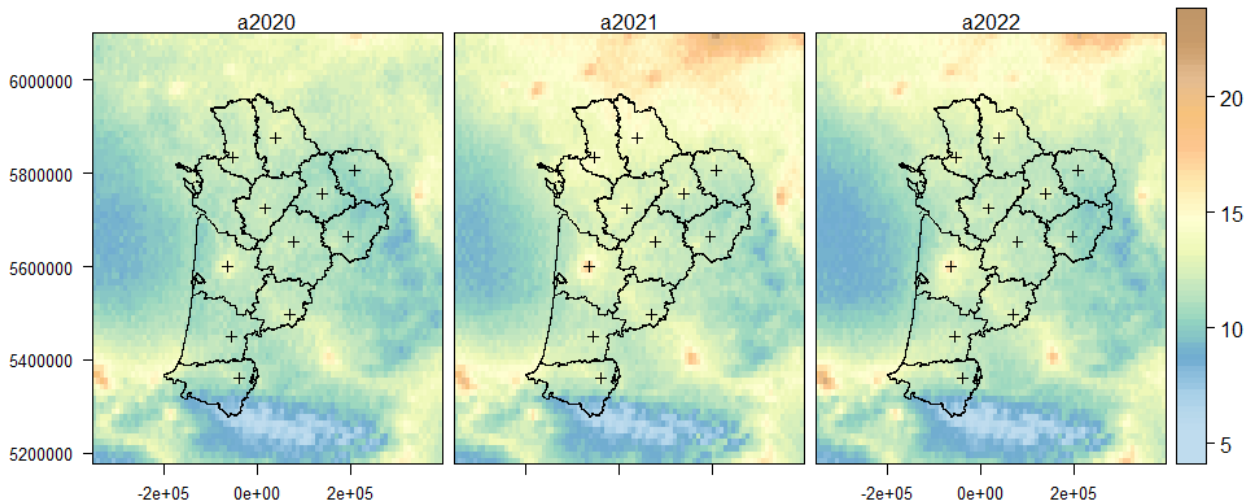


Figure 5 : Concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> en mg/m<sup>2</sup> – colonne verticale – Sentinel5p

Le graphique suivant représente les concentrations moyennes mensuelles mesurées par Sentinel5p en 2022 sur Bordeaux, La Rochelle, Limoges et le sud de la Gironde, qui a connu de violents incendies durant l'été 2022. Les concentrations de NO<sub>2</sub> sur le sud de la Gironde en juillet et août témoignent de fortes émissions de NO<sub>2</sub> générées par la combustion de la végétation. L'impact n'est en revanche pas visible jusqu'à Bordeaux à l'échelle mensuel.

Pour les sites de Bordeaux, La Rochelle et Limoges, les concentrations suivent le comportement saisonnier bien connu du dioxyde d'azote : les valeurs sont plus élevées durant les mois d'hiver, en raison des effets cumulés des conditions climatiques défavorables et des émissions liées au chauffage.

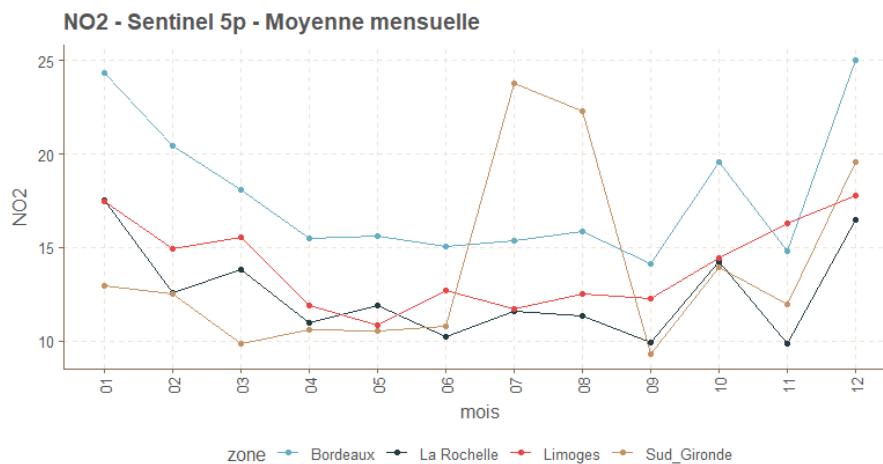


Figure 6 : Concentrations moyennes mensuelles de NO<sub>2</sub> sur 4 zones de la région Nouvelle-Aquitaine

### 1.4.2. Comparaison avec les mesures au sol

Dans ce paragraphe, les concentrations mesurées par le satellite Sentinel5p ont été extraites à l'échelle journalière et comparées aux valeurs mesurées par les stations de mesures de Bordeaux Métropole.

Nom du site	type	influence	latitude	longitude
GRAND PARC	urbain	fond	44.86139	-0.579444
TALENCE	urbain	fond	44.800556	-0.588056
AMBES	péri-urbain	industriel	45.012222	-0.528333

BASSENS	urbain	industriel	44.900276	-0.514722
MERIGNAC	urbain	trafic	44.84139	-0.65
BORDEAUX-BASTIDE	urbain	trafic	44.849724	-0.543889
BORDEAUX-GAUTIER	urbain	trafic	44.83383	-0.59853

Figure 7 : sites de mesures fixe sur Bordeaux Métropole – Atmo Nouvelle-Aquitaine

Les figures suivantes représentent les nuages de points et le diagramme de Taylor de comparaison des valeurs journalières mesurées par satellite et par les stations au sol à des horaires identiques.

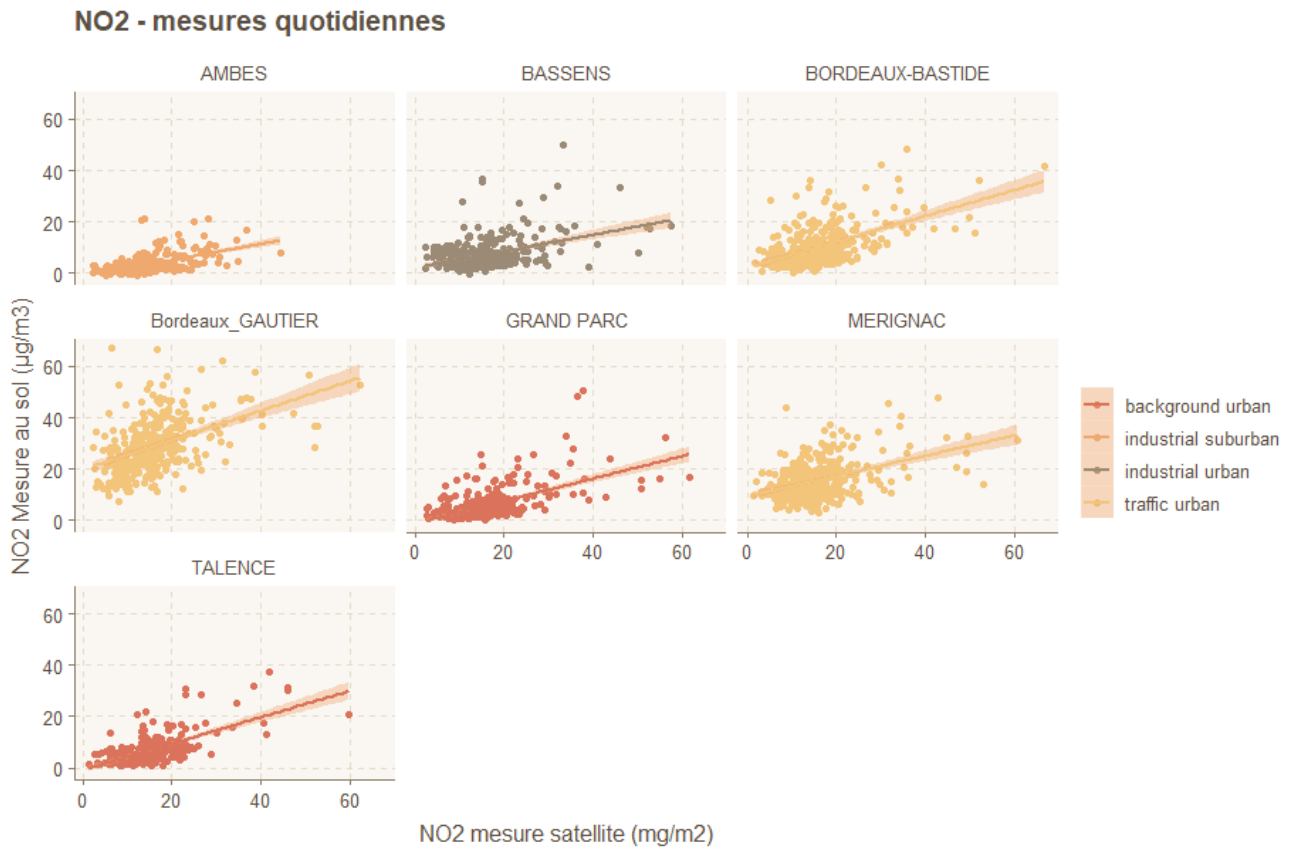


Figure 8 : nuages de points des valeurs de mesures au sol avec les mesures par satellite – données journalières - 2022.



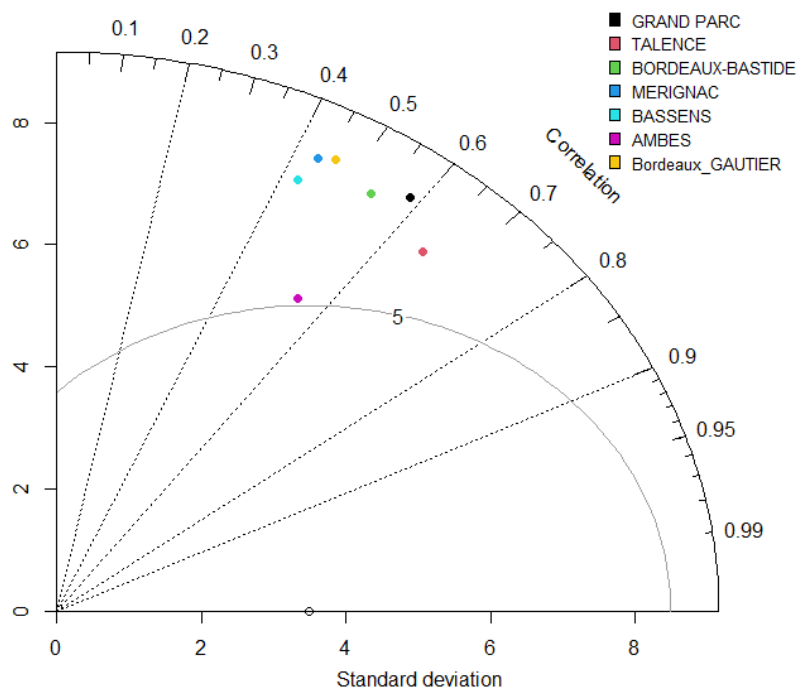


Figure 9 : Diagramme de Taylor de comparaison des mesures au sol avec les mesures par satellite – données journalières - 2022.

Les unités n'étant pas les mêmes ( $\text{mg}/\text{m}^2$  pour le satellite,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour la mesure au sol) il n'est pas possible de comparer les valeurs de manière absolue mais uniquement de manière relative.

Les résultats sont mitigés, meilleurs sur les sites de fond (Talence, Grand Parc) que sur les sites directement influencés par le trafic à proximité comme la station Bordeaux-Gautier ou Mérignac.

En effet la mesure par satellite, dont la résolution géographique pour le  $\text{NO}_2$  est supérieure à 3km, n'est pas en mesure de représenter l'influence des sources très locales comme une voirie de circulation, dont l'impact le plus visible est généralement située dans les 100 à 200 premiers mètres.

Les corrélations entre les séries de valeurs sont correctes, de 0.43 à 0.65, mais pourraient probablement être améliorées à l'aide de modèles statistiques.

Nom du site	corrélation	RMSE	RAE	biais	Nombre de valeurs
AMBES	0.55	12.03	4.70	- 10.89	335
BASSENS	0.43	11.47	2.53	- 8.67	334
BORDEAUX-BASTIDE	0.54	9.60	1.40	- 5.90	341
Bordeaux GAUTIER	0.46	16.18	1.68	12.85	342
GRAND PARC	0.59	12.43	2.66	- 10.34	340
MERIGNAC	0.44	8.32	1.11	- 0.35	338
TALENCE	0.65	10.34	2.14	- 8.43	228

Tableau 1 : statistiques de comparaison des valeurs journalières  $\text{NO}_2$  mesurées par satellite et au sol en 2022

A titre d'illustration le graphique suivant montre les deux séries des données journalières sur la station de Mérignac. Malgré des écarts parfois importants, la plupart des épisodes de hausses/diminution des concentrations semblent observés conjointement par les deux mesures.

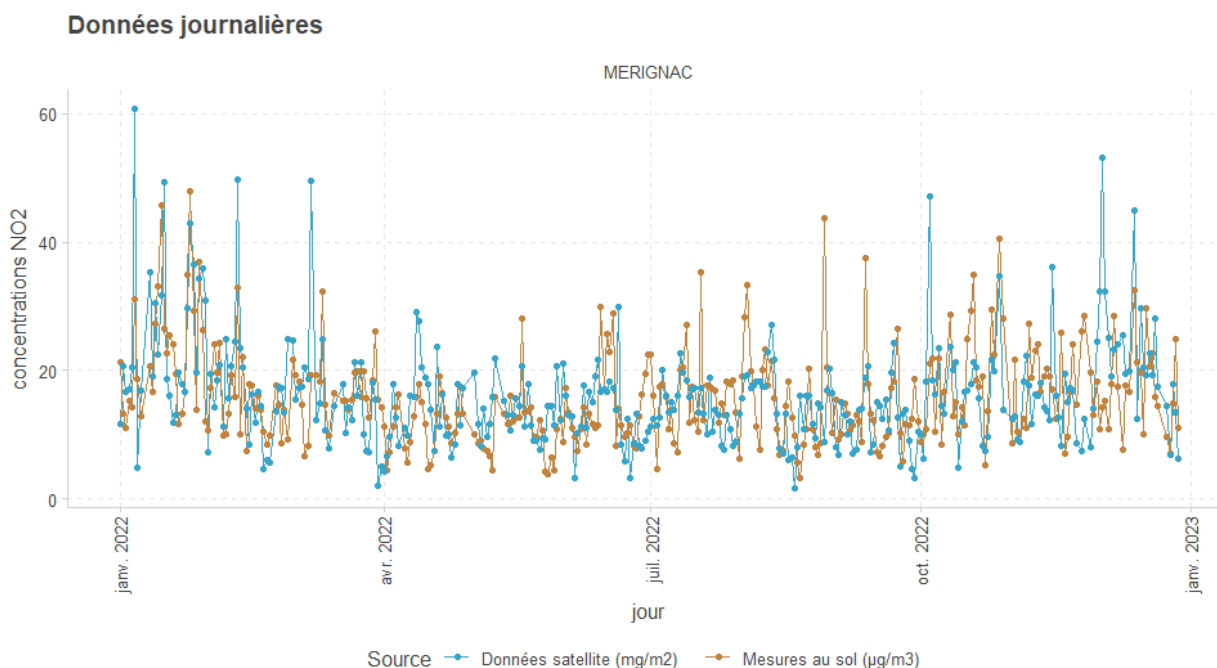


Figure 10 : données jours au niveau de la station Mérignac – mesures satellites et mesures au sol – année 2022

## 2.2. Les aérosols ou particules

Les aérosols présents dans l'atmosphère sont un mélange complexe et hétérogène de particules émises par des sources anthropiques (combustion, travail des sols...) ou naturelles (poussières désertiques, embruns marins...), ou bien encore formées dans l'atmosphère à partir de polluants gazeux (nitrate, ammonium, composés organiques volatils...). La réglementation Française sur les particules les différencie par classe de taille (PM2.5, PM10) ; en effet les particules les plus fines sont celles qui pénètrent le plus profondément dans les voies respiratoires et sont donc les plus susceptibles d'avoir un impact sur la santé.

Dans le cas de la mesure des aérosols par satellite, il n'est pas fait de distinction de classe de taille. Les données de ce paragraphe correspondent aux concentrations de particules totales.

Les concentrations en aérosol à partir des mesures satellites sont le plus souvent évaluées à partir de l'AOD (Aerosol Optical Depth ou épaisseur optique des aérosols) qui correspond à une mesure de la charge en aérosol de la colonne troposphérique.

Depuis la collection 6, les données de MODIS sont fournies, en plus de la donnée habituelle à 10km, avec une résolution de 3km pour les mesures d'aérosols et leur propriété (épaisseur optique, granulométrie, concentrations massiques, et indicateurs de qualité) sur l'ensemble des océans et une partie des continents.

Les mesures AOD sont fournies pour MODIS avec une résolution de 3km sur les terres et océans. Elles sont accompagnées d'une donnée transformée en concentrations massique, plus proche aux données de mesures au sol. La conversion de l'AOD en concentration massique est assurée par des modèles tenant compte de la mesures des propriétés physico-chimiques de l'aérosol.

Dans ce paragraphe, c'est la donnée élaborée de concentration massique ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) qui est exploitée. Les filtres qualité recommandés pour MODIS sur la terre et l'océan ont été appliqués avant l'exploitation.

La carte suivante représente les moyennes annuelles des concentrations massiques mesurées par MODIS sur la colonne troposphérique en 2022 sur la métropole.

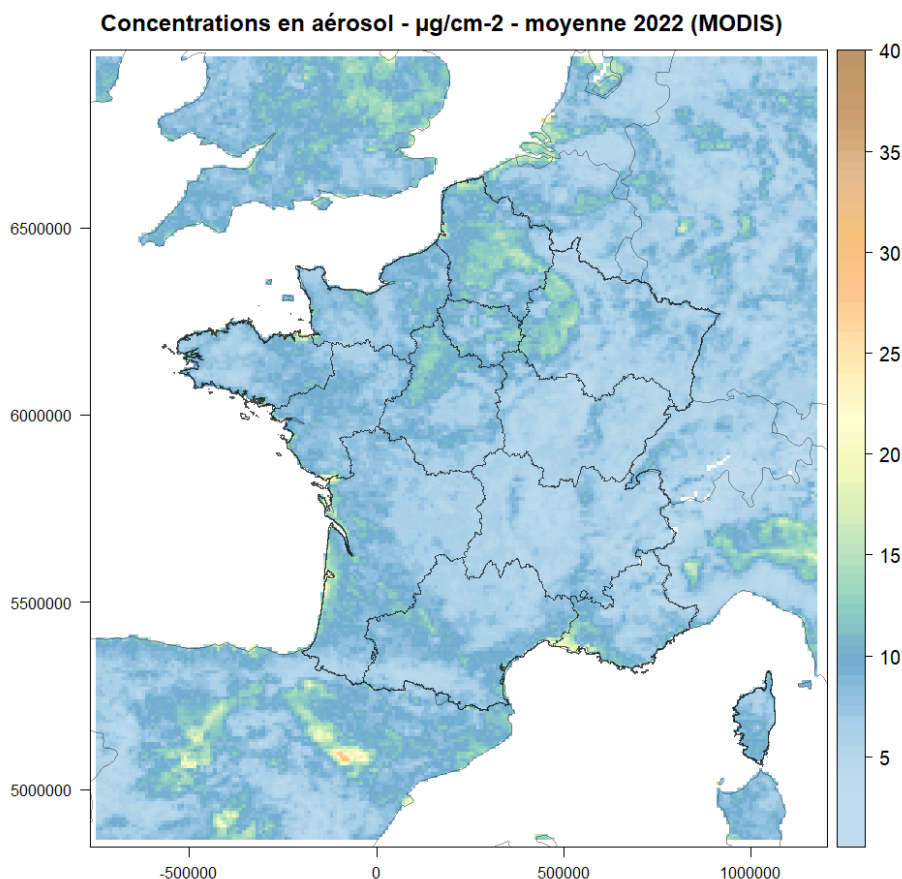


Figure 11 : moyenne annuelle 2022 de la concentration en aérosol dérivée de l'AOD – MODIS-Aqua – Métropole Française

A l'échelle de la métropole, les valeurs les plus élevées sont mesurées sur Marseille et le Bassin parisien. La carte a été produite à partir des données MODIS, disponibles tous les 1 à deux jours.

La carte Figure 12 montre par pixel la disponibilité journalière de la donnée à l'échelle annuelle. La représentativité de la donnée est plus élevée sur le sud de la France, en raison potentiellement d'une couverture nuageuse moins importante. La donnée manque en particulier lorsque la couverture nuageuse est trop importante ou sur les zones enneigées. Le nombre de valeurs journalières disponibles à l'échelle du territoire néo-Aquitaine oscille entre 60 et 110, soit une représentativité assez faible, dont il faut tenir compte dans l'exploitation de la donnée.

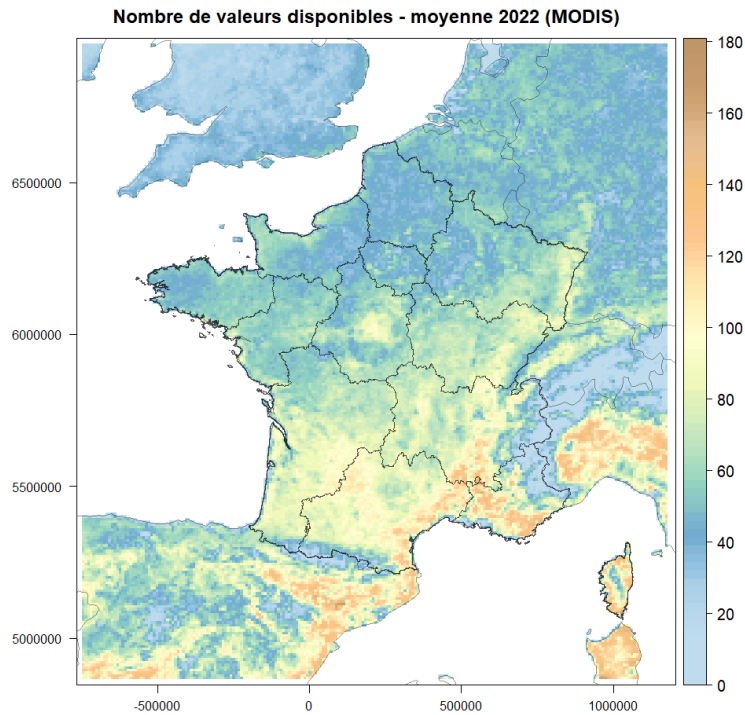


Figure 12 : nombre de valeurs journalières disponibles à l'échelle de l'année 2022.

Au niveau de la région Nouvelle Aquitaine (Figure 13), la donnée MODIS à 3km de résolution permet d'identifier des secteurs plus ou moins impacté par les aérosols. Les valeurs d'aérosol les plus faibles sont mesurées sur le Limousin et la Dordogne (ainsi que sur les Pyrénées où la représentativité de la mesure est extrêmement faible et où les données ne peuvent être exploitées de manière fiable). Les valeurs sont plus élevées à proximité de la façade Atlantique au niveau du département des Landes de la Charente -Maritime et de la Gironde, ainsi que sur un axe Bordeaux-Toulouse.

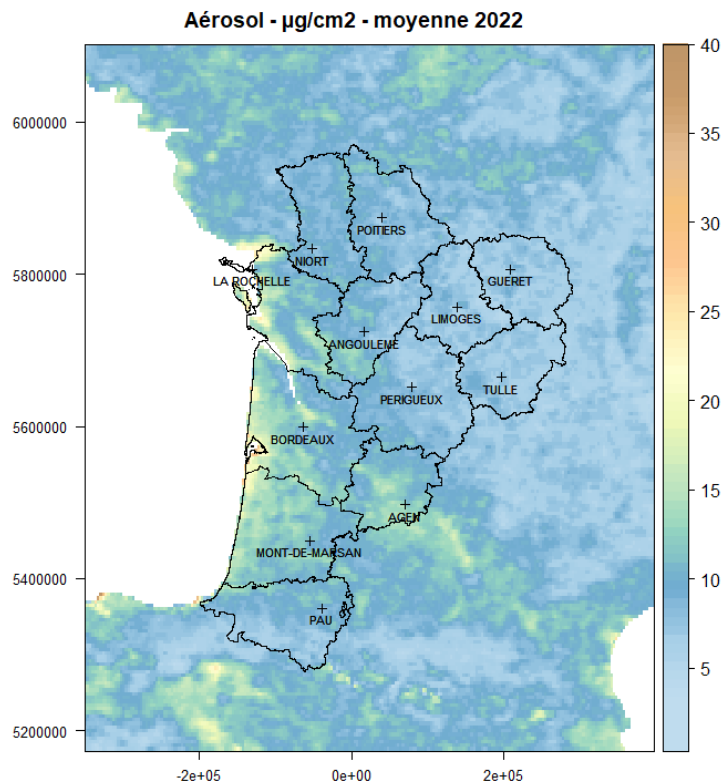


Figure 13 : moyenne annuelle 2022 de la concentration en aérosol dérivée de l'AOD – MODIS-Aqua – région Nouvelle-Aquitaine

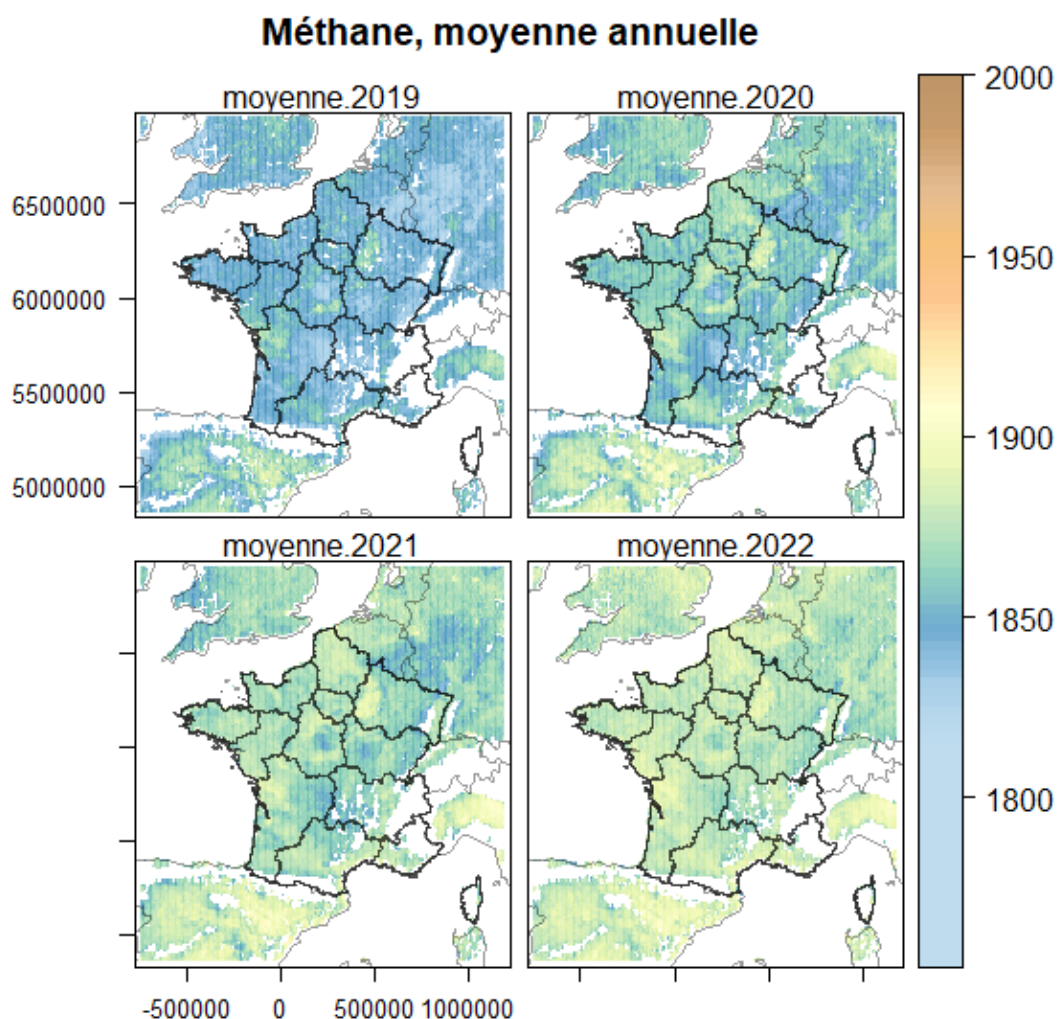
## 2.3. Le méthane (CH<sub>4</sub>)

Le méthane est un des principaux gaz à effet de serre, dont le pouvoir de réchauffement global (PRG à 100 ans) est 28 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>.

Si le méthane est présent naturellement sur notre planète, environ 60% des émissions mondiales de méthane proviennent des activités humaines, selon le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), à travers trois secteurs notamment : les énergies fossiles, l'agriculture et les déchets.

Les cartes suivantes ont été créées à partir des mesures du spectromètre imageur TROPOMI embarqué sur Sentinel5p. Elles représentent les concentrations moyennes annuelles de méthane mesurées sur le territoire métropolitain de 2019 à 2022.

Elles montrent comme chaque année l'augmentation régulière des concentrations de méthane dans l'atmosphère.



Ces cartes permettent également d'apprécier la répartition spatiale des valeurs sur le territoire métropolitain, avec une bonne répétabilité d'une année à l'autre. Ainsi comme chaque année des valeurs un peu plus élevées sont mesurées en France par le satellite sur les territoires céréaliers de la Charente-Maritime, sur la région Centre-Val de Loire et sur l'ouest de la région Grand Est.

Sur la carte suivante, les concentrations de méthane sont représentées sur la région Nouvelle-Aquitaine avec une échelle de couleur classées par quantiles, afin de faire ressortir les zones (en orange) où les valeurs sont plus élevées comparativement au reste de la région.

Sont superposées à cette carte des données d'occupation du sol issues de Corine Land Cover (CLC 2018), en particulier les terres arables et les zones urbaines.

Il ressort que les zones où les concentrations de méthane sont les plus fortes correspondent en grande partie sur le territoire régional aux terres arables (en vert foncé) et aux zones urbaines (en rouge).

Ces données peuvent servir de base à l'amélioration et la validation des inventaires d'émissions de polluants produits par Atmo Nouvelle-Aquitaine. Elles peuvent également aider à orienter le suivi et l'action contre les émissions de gaz à effet de serre.

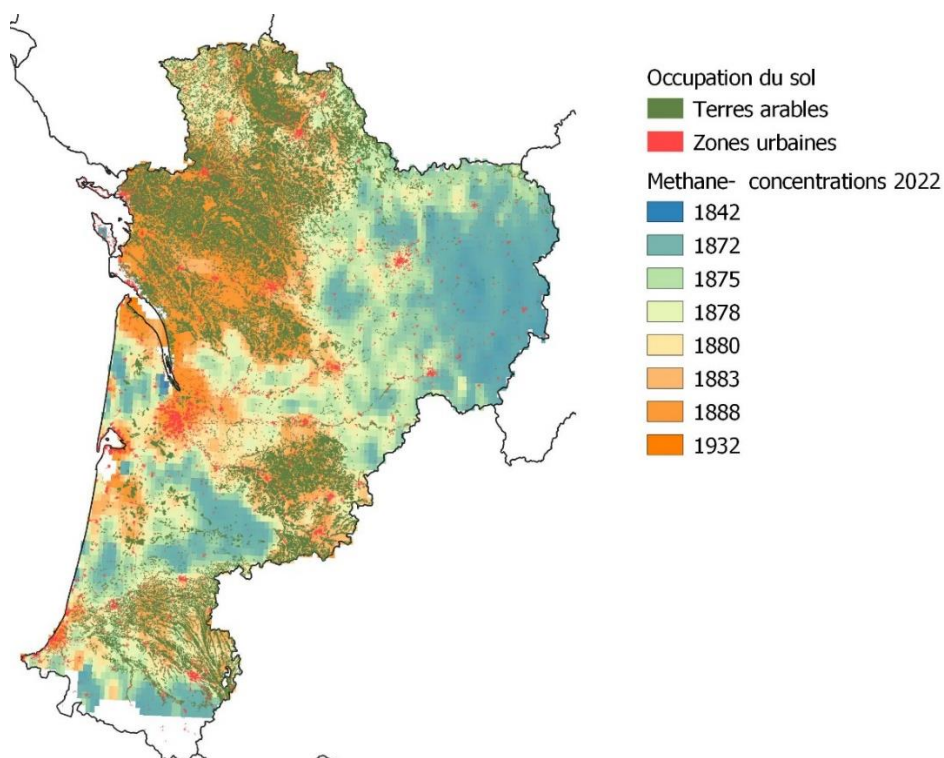


Figure 14 : concentrations de méthane (colonne troposphérique) moyenne annuelle 2022 – TROMPOMI-Sentinel5P

## 2.4. L'ammoniac (NH<sub>3</sub>)

L'ammoniac (NH<sub>3</sub>) est présent naturellement dans l'environnement du fait de son rôle dans le cycle de l'azote dans les milieux aquatique et terrestre. La majeure partie de l'ammoniac a cependant pour origine l'activité humaine. Si l'ammoniac provient très majoritairement des activités agricoles, il est aussi émis par les transports et l'industrie.

L'ammoniac est à l'origine de la formation de particules secondaires, qui contribuent à la présence de particules fines dans l'air, enjeu majeur de santé publique.

A la date de rédaction de ce rapport, les données de mesure NH<sub>3</sub> de IASI ne sont disponibles que jusqu'au 30 juin 2022. La carte suivante est à défaut la carte des concentrations annuelles d'ammoniac mesurées par IASI de juillet 2021 à juin 2022.

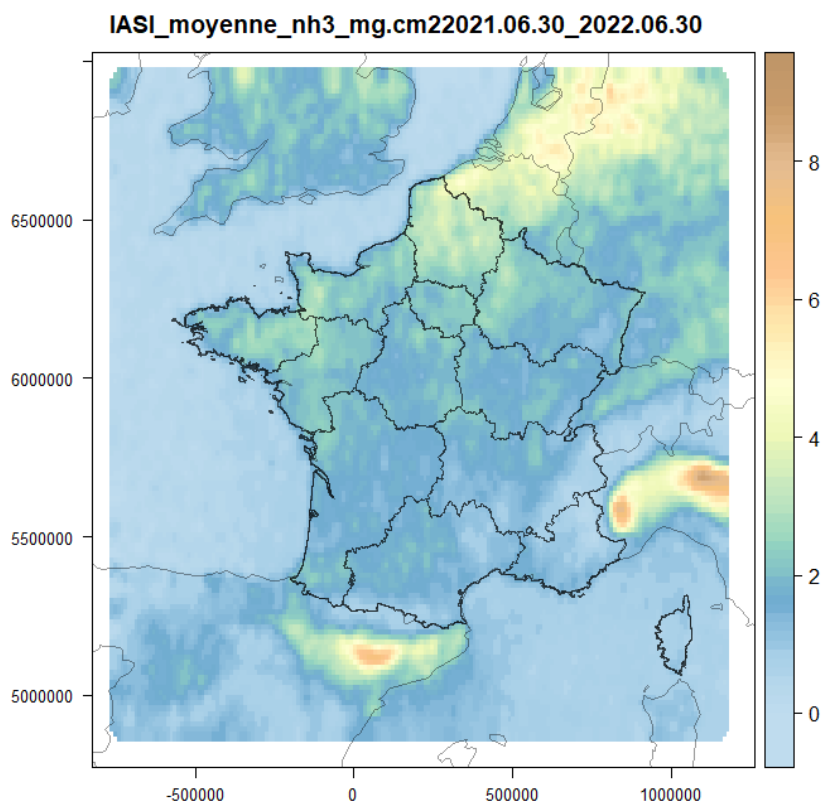


Figure 15 : concentrations d'ammoniac mesurées par IASI de juin 2021 à juin 2022 – échelle nationale.

La carte des concentrations sur la métropole divise le territoire en deux, avec une moitié Nord et Nord-Ouest exposée à des concentrations plus élevées. Sont en particulier concernées les régions Haut de France, la Champagne, les Pays de la Loire et la Bretagne. Le département des Deux Sèvres, qui jouxte la région Pays de la Loire, ou les Pyrénées Atlantiques sont également exposés à des valeurs plus fortes.

Les cartes de la Figure 16 représentent les concentrations  $\text{NH}_3$  mesurées par satellite et moyennées par commune sur le territoire régional :

- Pour l'année la plus récente disponible : juillet 2021-juin 2022
- Une période moyenne : 2019-2021

Comme pour les autres polluants, les valeurs mesurées par satellite ne sont pas des concentrations au sol mais la concentration de la colonne verticale entre le sol et le satellite et sont exprimées en milligramme par centimètre carré.

Les cartes confirment la prédominance des concentrations d'ammoniac sur le nord de la région (Deux Sèvres, Vienne, nord de la Charente-Maritime) et sur les Pyrénées Atlantique, du nord de Pau à l'est de Biarritz.

Dans le nord, le secteur correspond à une zone de grande culture (blé/orge/colza/tournesol), au sud aux cultures de maïs.

Sur la période été 2021- été 2022, les valeurs ont été plus élevées qu'à l'accoutumée sur la Charente-Maritime et sur le sud de la région.

Ammoniac (mg.cm-2)  
Mesures par satellite (IASI)

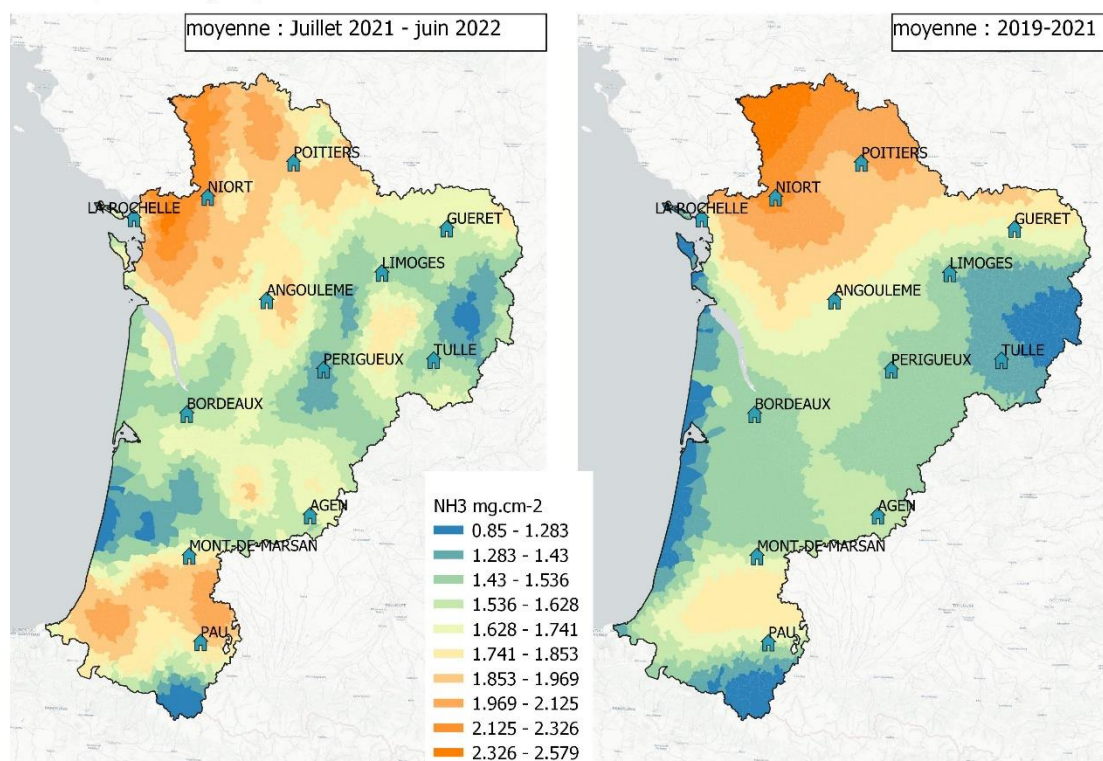


Figure 16 : Concentrations moyennes d'ammoniac à l'échelle communale sur la région Nouvelle-Aquitaine – mesure IASI en mg.cm-2

Les cartes de la Figure 17 montre l'évolution annuelle des concentrations sur la région de 2017 à 2021. La répartition spatiale des valeurs suit la même logique d'une année à l'autre : c'est chaque année le nord de la région qui est le plus exposé, suivi du département des Pyrénées-Atlantiques.

### Ammoniac - moyenne annuelle

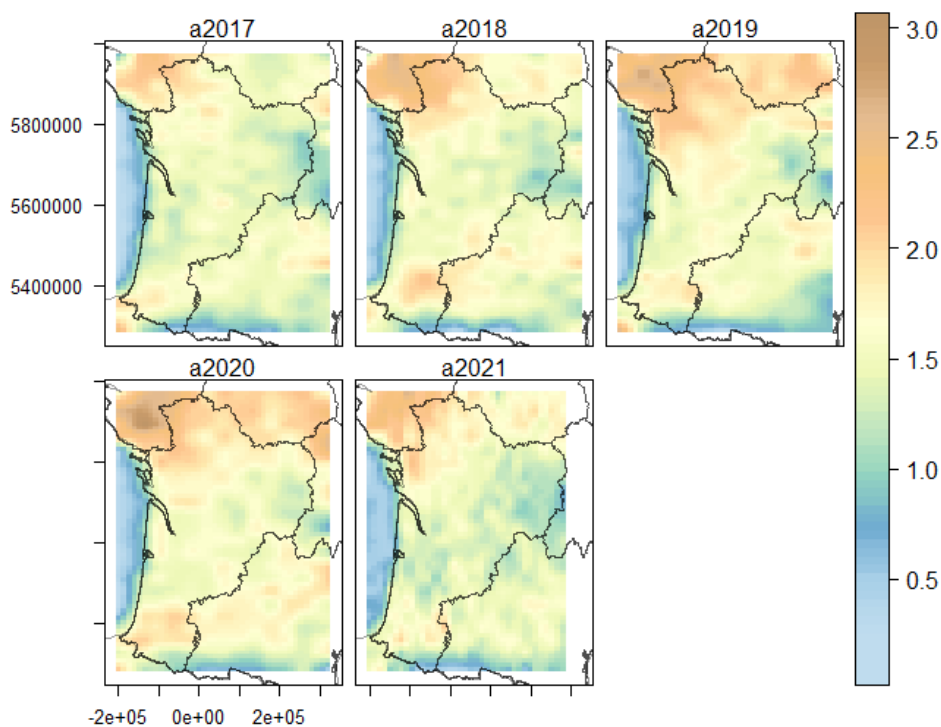


Figure 17 : Concentrations moyennes annuelles ammoniac en mg.cm-2



### 1.4.3. Comparaison mesure au sol/mesure par satellite pour l'ammoniac

Les données de ce paragraphe sont issues de l'étude menée par Atmo Nouvelle Aquitaine sur les polluants émergents [ATMONA 2023]

A noter que les unités ne sont pas les mêmes sur la mesure par satellite ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) et par échantillonneur passif ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), c'est donc ici seulement l'évolution des concentrations qui est évaluée, et non la correspondance exacte des valeurs.

Le tableau suivant contient les statistiques comparatives entre la mesure au sol (emplacement des sites en vert sur la carte) et les mesures par satellite sur la période janvier-juin 2022. Les données sont comparées sur des moyennes 2 semaines (durée d'un prélèvement par échantillonneur passif).

Données de janvier à juin 2022 (Echantillonneurs passifs – satellite (IASI))					
Site	cor	nmse	rae	biais	Nombre d'analyses
Bordeaux - Gautier(T)	0.14	0.46	3.70	1.63	11
Bressuire (R)	<b>0.96</b>	0.14	1.20	0.99	5
La Nouaille - MERA (R)	0.29	0.24	1.91	-0.59	12
Lalonquette (R)	<b>0.84</b>	0.12	1.25	-0.62	11
Niort - Venise(U)	<b>0.86</b>	0.04	0.53	0.22	10
Poitiers – Le Nain(T)	0.48	0.71	2.46	1.86	9

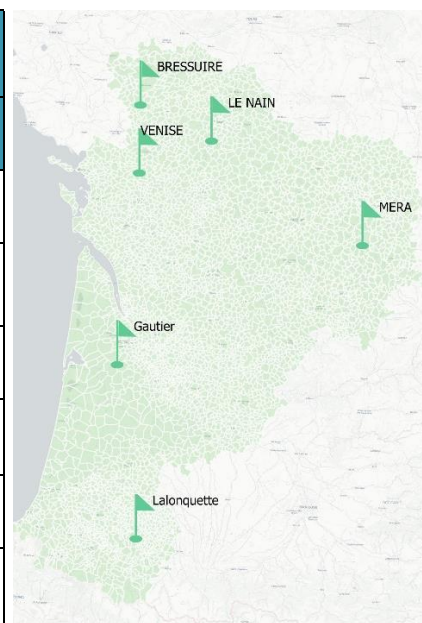


Tableau 2 : comparaison des valeurs mesurées par satellites et par échantillonneurs passifs de janvier à juin 2022

La Figure 18 représente l'évolution au cours de l'année des concentrations mesurées sur les mêmes périodes par échantillonneurs passifs et par satellite (2021-2022). Comme on ne dispose que de 6 mois de mesures pour les satellites en 2022, la comparaison n'est présentée ici qu'à titre indicatif.



Figure 18 : concentrations NH<sub>3</sub> mesurées par échantillonneurs passifs et par satellites

Les tendances annuelles sont proches pour certains sites comme Lalonquette, Bressuire ou Niort (corrélation en 2022 de respectivement 0.84, 0.96 et 0.86), mais moins comparables sur des sites comme La Nouaille ou Bordeaux (0.29 et 0.14). Sur Bordeaux c'est l'influence de sources à proximité qui explique ces différences car leur impact est trop localisé pour être visible par le satellite.

Certains pics se répètent en 2021 et 2022 sur les mesures satellites et sur les mesures au sol comme au mois de juin sur Lalonquette ou mars sur Niort et Bressuire.

La comparaison n'a pu à cette date être réalisée que sur six mois, elle sera réalisée sur l'année entière lorsque les données complètes de l'année 2022 seront mises à disposition pour IASI.

## 2.5. Le formaldéhyde

Le formaldéhyde est présent dans l'atmosphère, les eaux de surfaces et souterraines et dans l'air intérieur de bâtiments.

C'est un gaz ubiquitaire, principalement issu de la combustion incomplète de substances contenant du carbone. Il est donc présent dans la fumée de feux de forêt, dans les rejets de centrales électriques thermiques, d'incinérateurs, de raffineries, de chaudières industrielles et dans les gaz d'échappement de véhicules automobiles, et dans la fumée du tabac. Il est aussi produit dans l'atmosphère sous l'action des rayons solaires

et du d'une radical hydroxyle (OH) sur le méthane atmosphérique ainsi que sur d'autres hydrocarbures; les processus de décomposition de matières organiques en produisent aussi.

Le formaldéhyde est éliminé de l'atmosphère par photolyse (une source majeure de radicaux libres dans l'atmosphère) ou par réaction avec l'hydroxyle atmosphérique (OH).

Il est généralement présent en concentrations nettement supérieures dans l'air intérieur, car à la contribution de l'air extérieur s'ajoute celle de nombreux produits d'usage quotidien (colles, encres...) et de matériaux émissifs (agglomérés, contreplaqués).

Le formaldéhyde est classé depuis 2004 dans la catégorie des composés cancérigènes pour l'homme par le CIRC.

Il existe un lien entre la présence de formaldéhyde et d'ozone dans l'air extérieur pour deux raisons :

- Il est l'un des composés précurseurs d'ozone, et à ce titre fait partie des composés que la directive 2002/3/CE recommande de surveiller.
- Il est l'un des produits de dégradation par ozonolyse et oxydation photochimique de COV d'origine naturelle [Nicolas,2006][INERIS,2021].

Le formaldéhyde n'est pas un polluant réglementé en air extérieur, en conséquence, très peu d'AASQA ont procédé à des mesures extérieures de formaldéhyde [ADEME, 2005]. La mesure par satellite, via TROPOMI sur Sentinel 5p, est en conséquence une des rare source d'information sur la variabilité spatiale des concentrations de formaldéhyde sur le territoire.

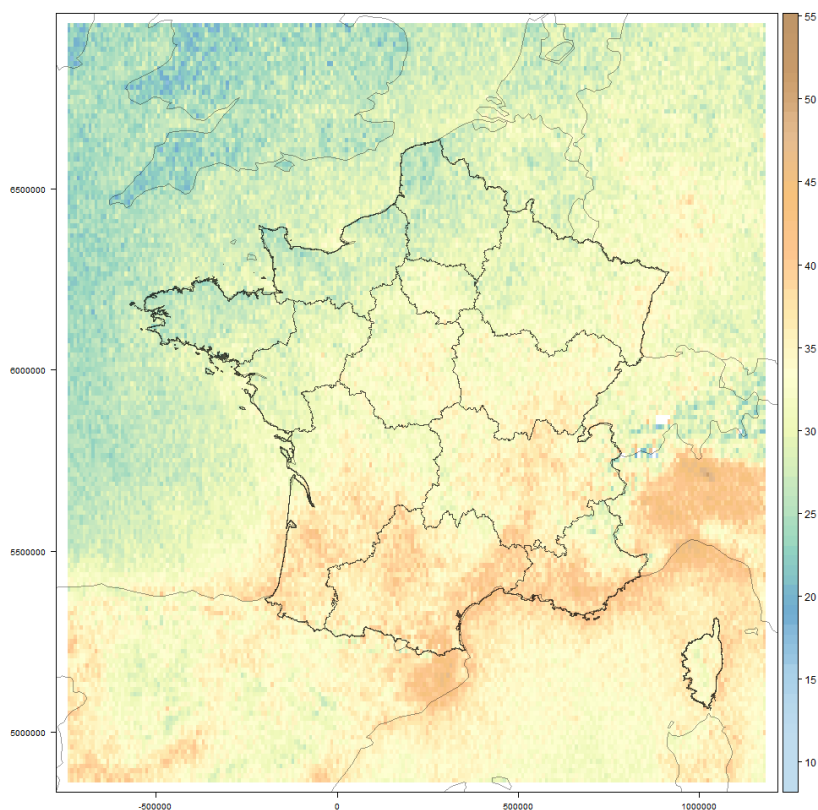


Figure 19 : concentrations de formaldéhyde, moyenne annuelle 2022 – mesures par Sentinel 5p. – Métropole Française

Il existe un dégradé de concentrations sur le territoire national du nord au sud, le tiers sud du pays étant le plus exposé, en particulier sur le pourtour de la Méditerranée.

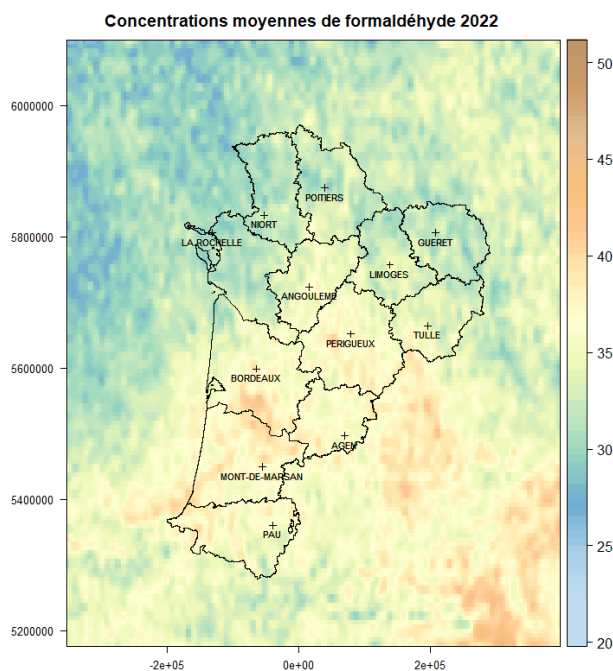


Figure 20 : concentrations de formaldéhyde, moyenne annuelle 2022 – mesures par Sentinel 5p – Région NA

A l'échelle de la région, c'est sur les départements de l'ancienne Aquitaine que les valeurs sont les plus élevées, en particulier au sud de la Gironde.

La Figure 21 montre l'extraction des valeurs moyennes mensuelles mesurées par Sentinel 5p au niveau de 3 agglomérations de la région (Bordeaux, La Rochelle, Limoges) et au sud de la Gironde, au niveau des zones incendiées durant l'été 2022.

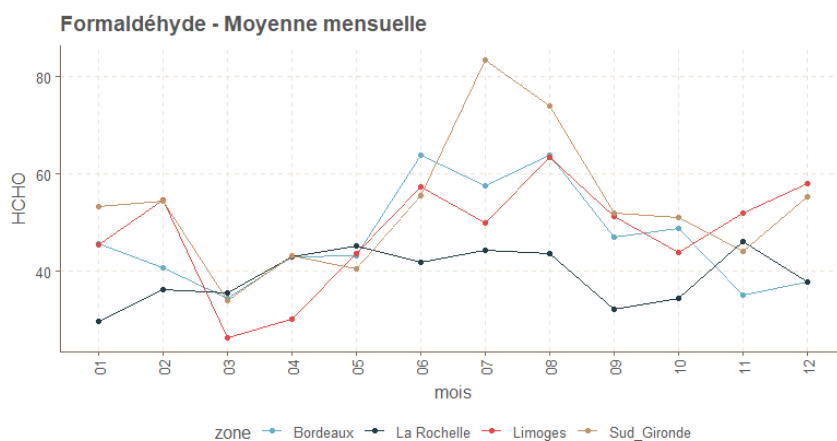


Figure 21 : concentrations moyennes mensuelles de formaldéhyde sur 4 sites de la régions Nouvelle Aquitaine – Mesures IASI

Les concentrations en formaldéhyde augmentent durant l'été sur tous les sites, même si cette hausse est plus modérée sur La Rochelle. Au sud de la Gironde l'impact des incendies en juillet et aout impact les concentrations moyennes mensuelles, qui sont sur ces mois plus élevées que les 3 territoires urbains.

# 3. Bilan des mesures satellites en lien avec les incendies de l'été 2022

## 3.1. Sources des données sur les incendies

Les incendies actifs sont localisés par les satellites sur la base des « anomalies thermiques » ou « points chauds » qu'ils produisent. Plusieurs satellites sont en mesure de fournir cette information : AQUA, TERRA, SUOMI-NPP, Sentinel... Ils sont dans cet objectifs équipés de capteurs adaptés : MODIS, VIIRS,... Deux plateformes en particulier, FIRMS (USA) et EFFIS (Europe), produisent une information traitée sur les incendies de forêts à partir de ces différentes mesures. Des données complémentaires sont accessibles également via la plateforme COPERNICUS et le service Climate Data Store (CDS).

Les points chauds sont affichés sur les cartes avec les limites suivantes :

- L'emplacement du point chaud sur la carte n'est précis que dans la limite de la résolution spatiale du capteur
- Certains incendies peuvent être dissimulés par de la fumée ou des nuages et ne pas être détectés
- Les satellites détectent également d'autres sources de chaleur (tous les points chauds ne sont pas des incendies)

Dans ce paragraphe les données sont issues de :

- EFFIS (mesures de MODIS ) pour les surfaces brûlées
- FIRMS (MODIS, VIIRS) pour les points chauds

## 3.2. Bilan des incendies et surfaces incendiées en Gironde durant l'année 2022

Le département de la Girond a connu durant l'été 2022 une série d'incendies exceptionnels, favorisés par une sécheresse persistante combinée à une vague de chaleur et des vents tempétueux.

De la mi-juillet à la fin septembre, l'évènement a nécessité l'intervention de plusieurs centaines de pompiers aquitains ou venus d'autres régions et même de quelques pays européens.

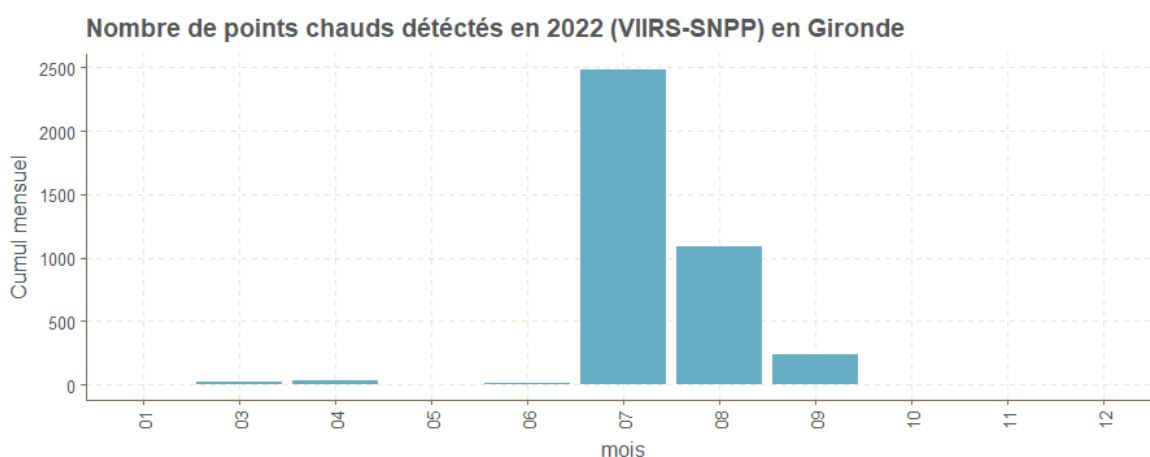


Figure 22 : Cumul mensuel des points chauds détectés par VIIRS sur SNPP en 2022 sur le département de la Gironde

Les feux hors normes de juillet ont provoqué l'évacuation de 36 750 habitants et ravagé 20 800 hectares de forêt (principalement) de pins durant près de deux semaines avant que les nombreux moyens déployés ne parviennent à les fixer.

Le 9 août, conséquence de la propagation souterraine du brasier suivant des gisements profonds de tourbe, l'incendie reprend à Landiras et « réapparaît » autour de Saint-Magne provoquant la destruction de 7 400 nouveaux hectares.

Le lundi 12 septembre, au sud des Landes du Médoc, un nouvel incendie se déclare dans la forêt de Saumos, puis s'étend à une partie de celle de la commune voisine de Sainte-Hélène dont plusieurs habitants, exposés aux fumées, doivent être évacués. 3720 hectares ont brûlé.

Le 18 septembre, un incendie brûle au moins 120 hectares de forêt du côté d'Arès.

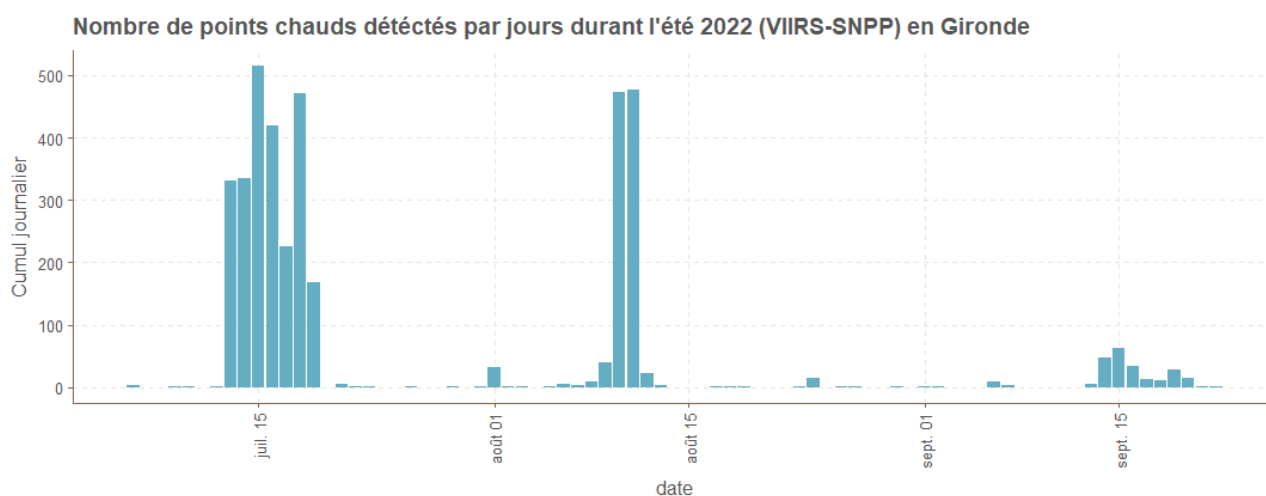


Figure 23 : Cumul journalier des points chauds détectés par VIIRS sur SNPP durant l'été 2022 sur le département de la Gironde

Au total, ces incendies ont brûlé plus de 32 000 hectares du massif des Landes de Gascogne. Avec 13 800 hectares brûlés, celui de Landiras (sans compter la reprise de feu) est le 2ème plus grand incendie de l'histoire de France récente, derrière l'incendie de la forêt des Landes de 1949.

La Figure 24 représente le cumul départemental des surfaces brûlées au cours de l'année 2022. Leurs localisations (en orange) sont superposées aux départements.

MODIS : Surface brûlées et cumul départemental du 2022-01-01 au 2022-11-12

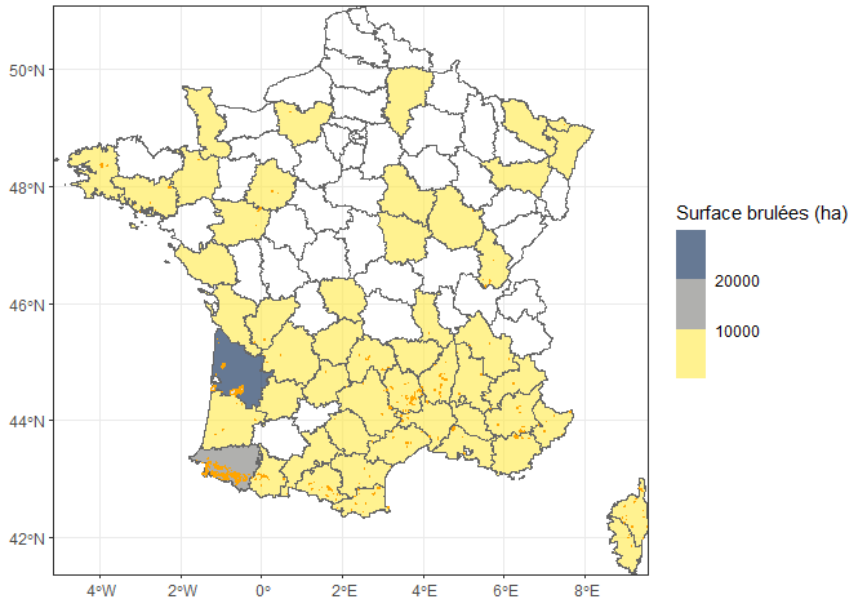


Figure 24 : Surfaces brûlées détectées par MODIS en France en 2022 (cumul départemental et représentation des surfaces en orange)

Le bilan annuel confirme que le département de la Gironde a été le plus touché en 2022 à l'échelle nationale. Les Pyrénées Atlantiques est le second département le plus impacté : Contrairement à la Gironde, il ne s'agit pas d'incendies estivaux mais des pratiques d'écobuage qui ont lieu au début du printemps. La carte Figure 25 montre le détail communal des surfaces brûlées sur le département de la Gironde en 2022.

MODIS : Surfaces brûlées et cumul communal en Gironde du 2022-01-01 au 2022-12-31

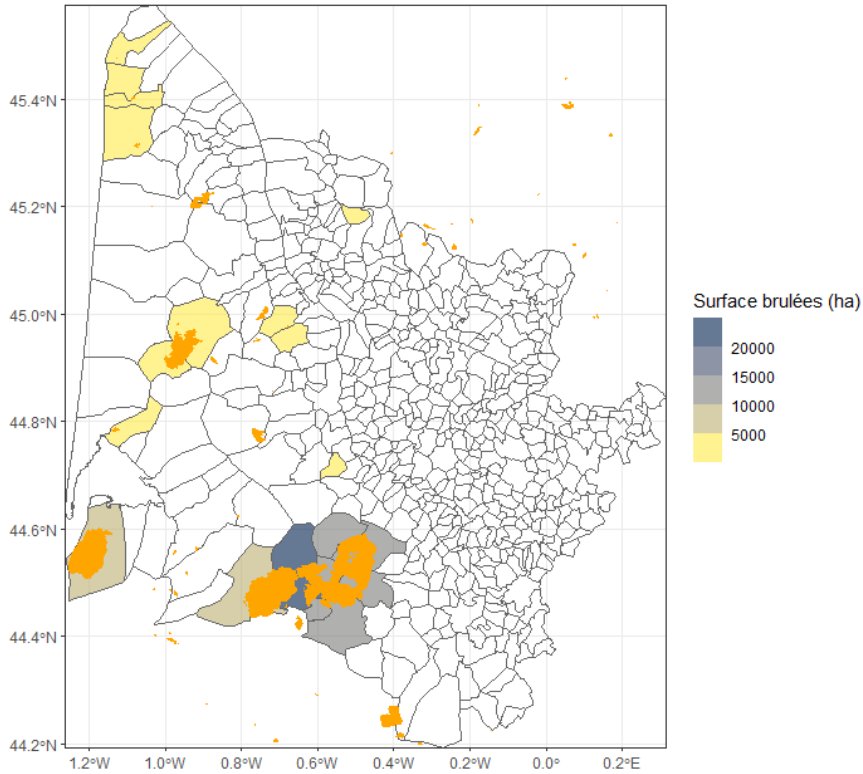


Figure 25 : Surfaces brûlées détectées par MODIS en 2022 sur la Gironde (cumul communal et représentation des surfaces en orange)

### 3.3. Impact des incendies de l'été 2022 sur la mesure des polluants par satellite

#### 4.3.1 Dioxyde d'azote

Les mesures satellites permettent à posteriori de connaître l'étendu de l'impact sur la qualité de l'air des incendies.

Concernant les oxydes d'azote, les concentrations à l'échelle des mois de juillet et août ont été particulièrement élevées sur le sud des Landes du Médoc. En moyenne sur cette période, l'impact reste localisé et ne s'étend pas jusqu'à Bordeaux.

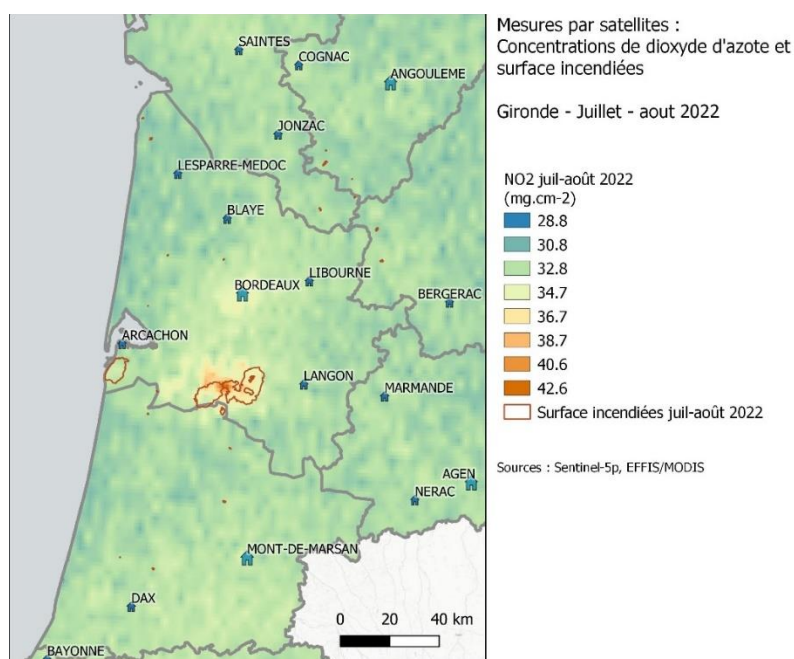


Figure 26 : concentrations moyenne de NO<sub>2</sub> mesurées par satellite en juillet et août 2022

Il en est de même pour les valeurs journalières comme le montre la Figure 27. Le NO<sub>2</sub> étant un polluant dont la durée de vie dans l'atmosphère est limitée, les panaches du 12 au 19 juillet s'étendent peu au-delà de la zone incendiée.



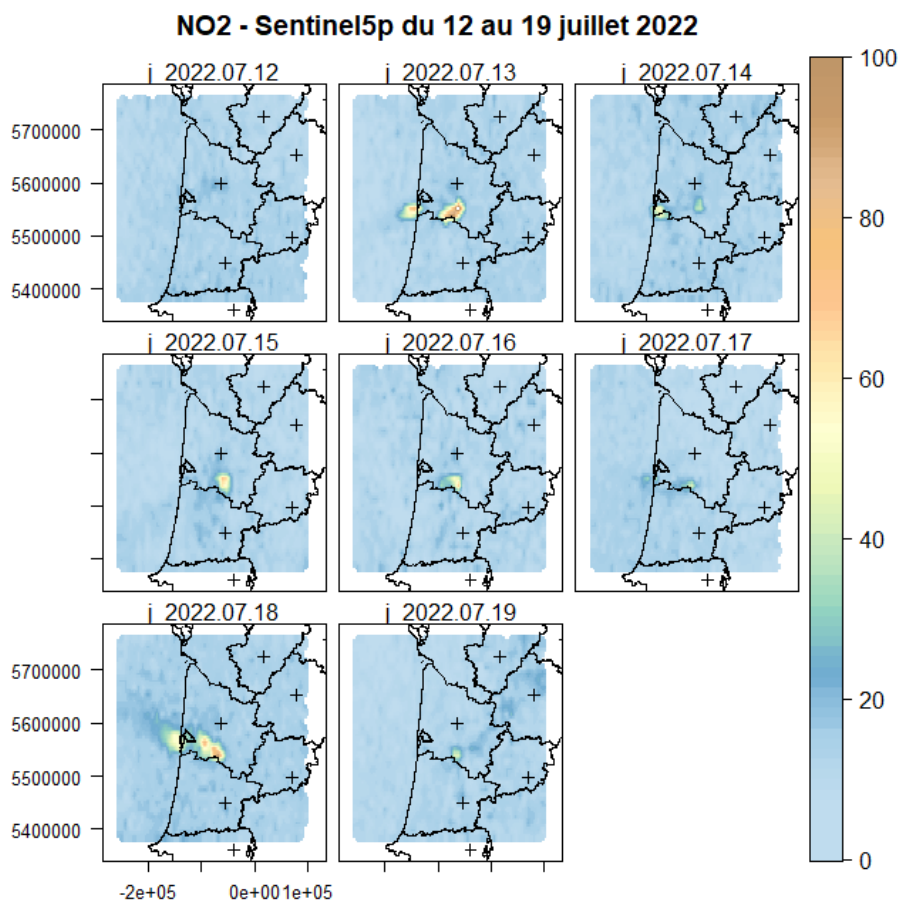


Figure 27 : cartes des concentrations journalières (mesure aux environs de midi) en NO<sub>2</sub> – Sentinel5p (mg/cm<sup>2</sup>) sur de département de la Gironde et les départements voisins du 12 au 19 juillet 2022.

Sur la Figure 28, les concentrations NO<sub>2</sub> mesurées par satellite ont été extraites sur la zone des incendies au Sud de la Gironde et sur Bordeaux à l'échelle journalière. L'historique représente quant à lui le nombre de points chauds détectés par jour sur la même période.

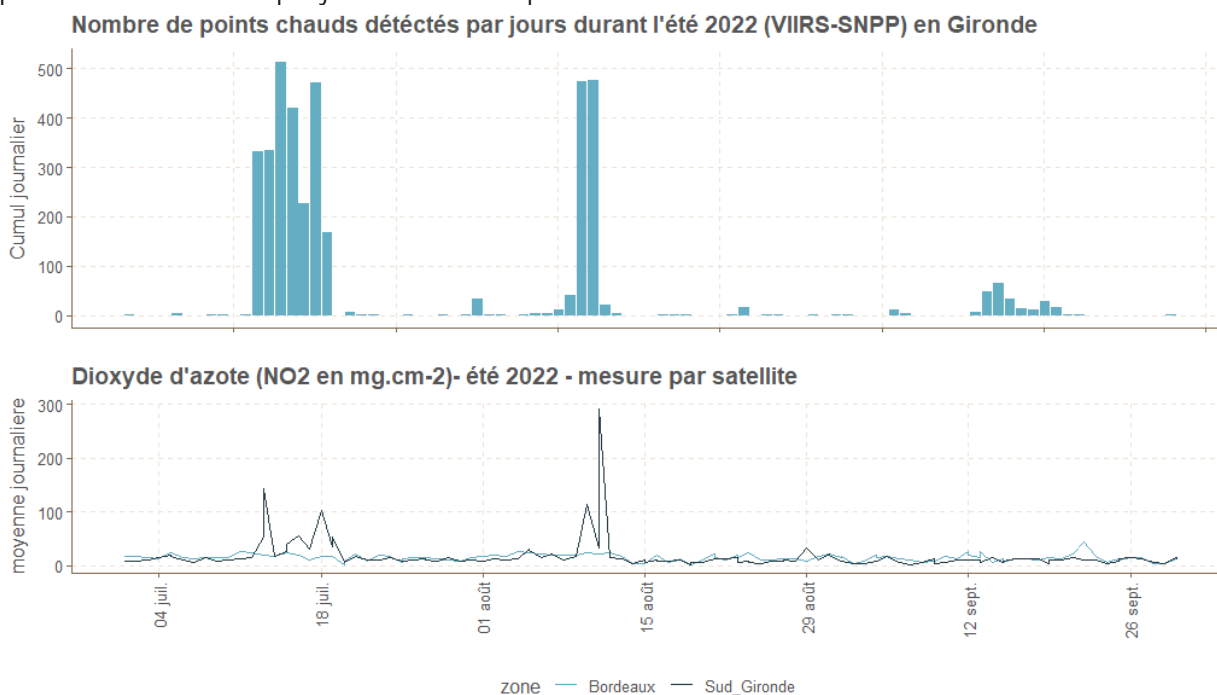


Figure 28 : concentrations NO<sub>2</sub> mesurées par satellite extraites au niveau de Bordeaux et du sud Gironde (Sud des landes de Gascogne) durant l'été 2022

Les incendies au sud du département ont produit des hausses de concentrations durant les épisodes de juillet et août. Les hausses de concentrations pour le NO<sub>2</sub> ne sont observées que durant les incendies, les niveaux redeviennent similaires à ceux de Bordeaux dès les points chauds disparaissent. De même que sur les cartes, ces résultats montrent que les panaches de polluants chargés en NO<sub>2</sub> ne se sont pas déplacés jusqu'à Bordeaux.

### 4.3.2 Aérosols

Les données de ce paragraphe sont issues de du capteur MODIS embarqué sur le satellite Aqua ; il s'agit de la concentrations massiques ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) de la colonne verticale avec une résolution de 3km.

Les cartes de la Figure 29 montre la zone d'impact moyenne des incendies sur la présence d'aérosol dans l'atmosphère pour l'épisode de juillet et d'août.

A noter que les surconcentrations observées ne sont pas uniquement dues aux incendies mais peuvent provenir d'autres sources naturelles (embruns marins près des côtes, poussières désertiques) ou anthropiques. On observe cependant des valeurs élevées autour du bassin d'Arcachon et au sud de la Gironde potentiellement imputables aux incendies.

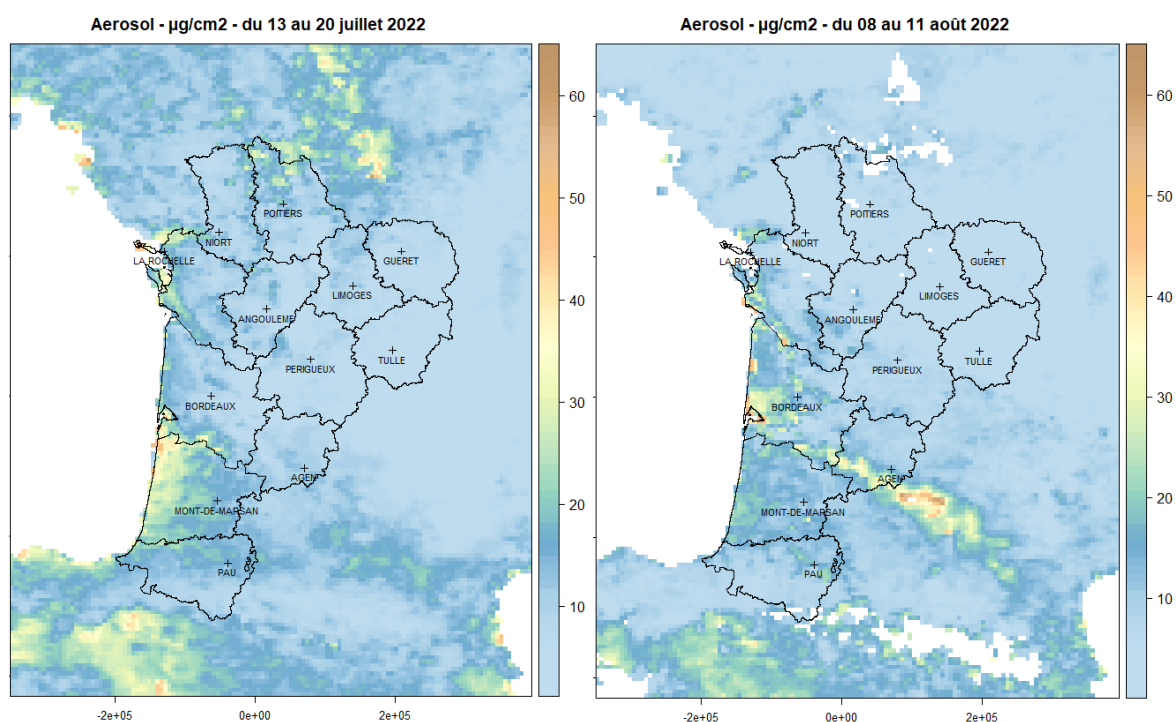


Figure 29 : concentrations en aérosols ou particules mesurées par satellite lors des épisodes d'incendies de juillet et août 2022

Les cartes de la Figure 30 montre le détail par jour des concentrations en aérosol durant l'épisode d'incendies d'août 2022.

Durant la journée du 10 août, un panache de particules est visible entre le sud de la Gironde et Toulouse. Le 11 c'est principalement le département de la Gironde qui est impacté.

### Concentration massique en aérosol - MODIS

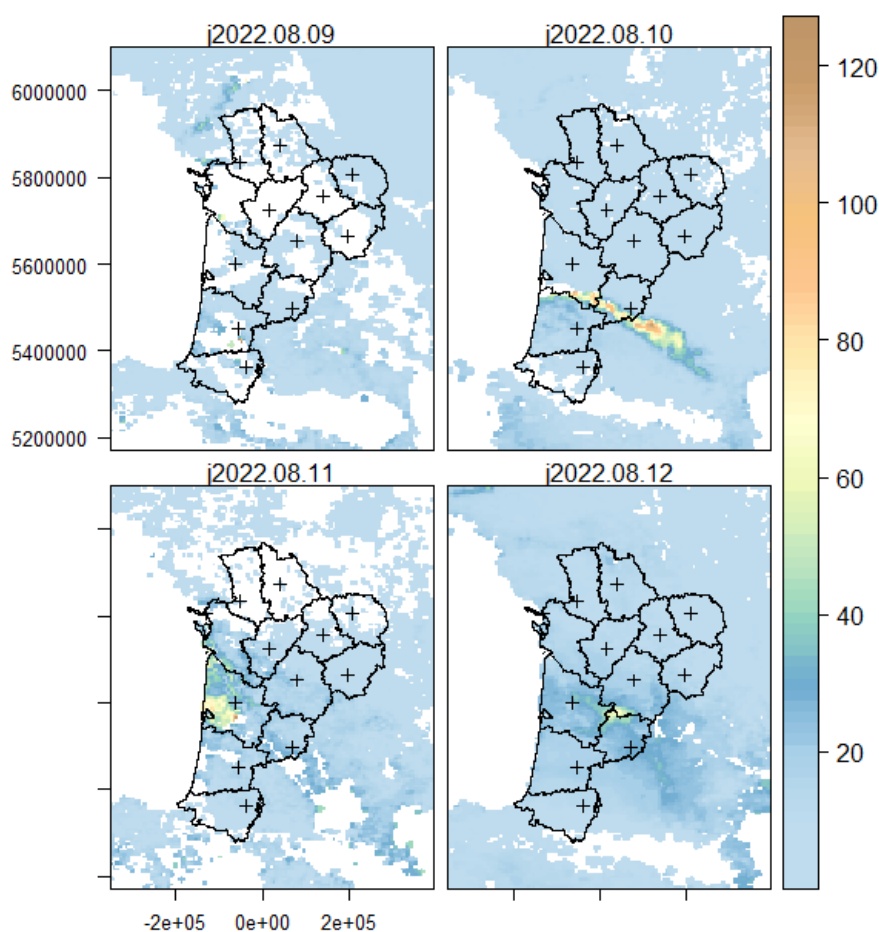


Figure 30 : Concentrations massiques journalières d'aérosol en  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  durant l'épisodes d'incendies d'août 2022

Le graphique suivant montre l'extraction des concentrations journalières d'aérosols mesurées par satellite de juillet à septembre 2022.

Le lien entre la présence de particules et occurrence des incendies, ainsi que le gradient de concentration entre Bordeaux et le Sud Gironde est beaucoup moins net pour les particules qu'avec le  $\text{NO}_2$ .

La présence des particules est potentiellement associées aux incendies, mais également aux autres sources naturelles et anthropiques. De plus, la durée de vie des particules dans l'atmosphère est plus élevée par rapport à celle d'un polluant comme le dioxyde d'azote, il faut donc ajouter aux sources locales la diffusion/persistance potentielle des panaches de fumées.

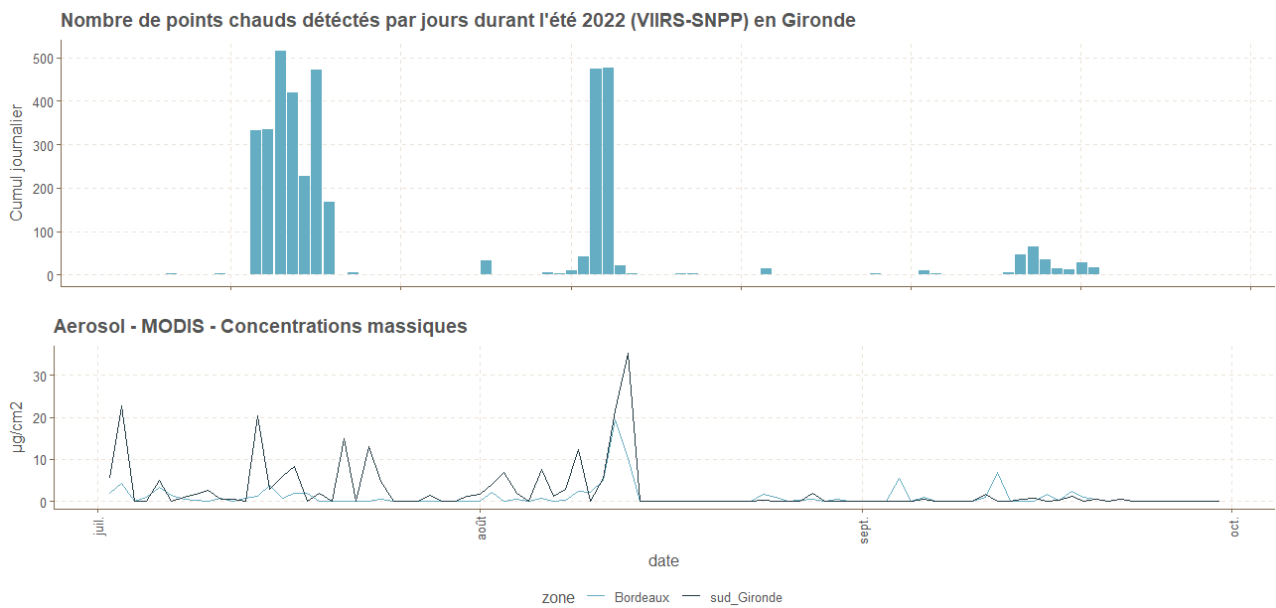


Figure 31 : mesures d'aérosol mesurées par satellite extraites au niveau de Bordeaux et du sud Gironde (Sud des landes de Gascogne) durant l'été 2022

### 4.3.3 Formaldéhyde

Le même exercice présenté aux paragraphes précédents a été réalisé sur le formaldéhyde. Une des sources importantes de formaldéhyde en air extérieur est la combustion de biomasse, le polluant est donc un traceur d'intérêt pour étudier l'impact des incendies de forêts.

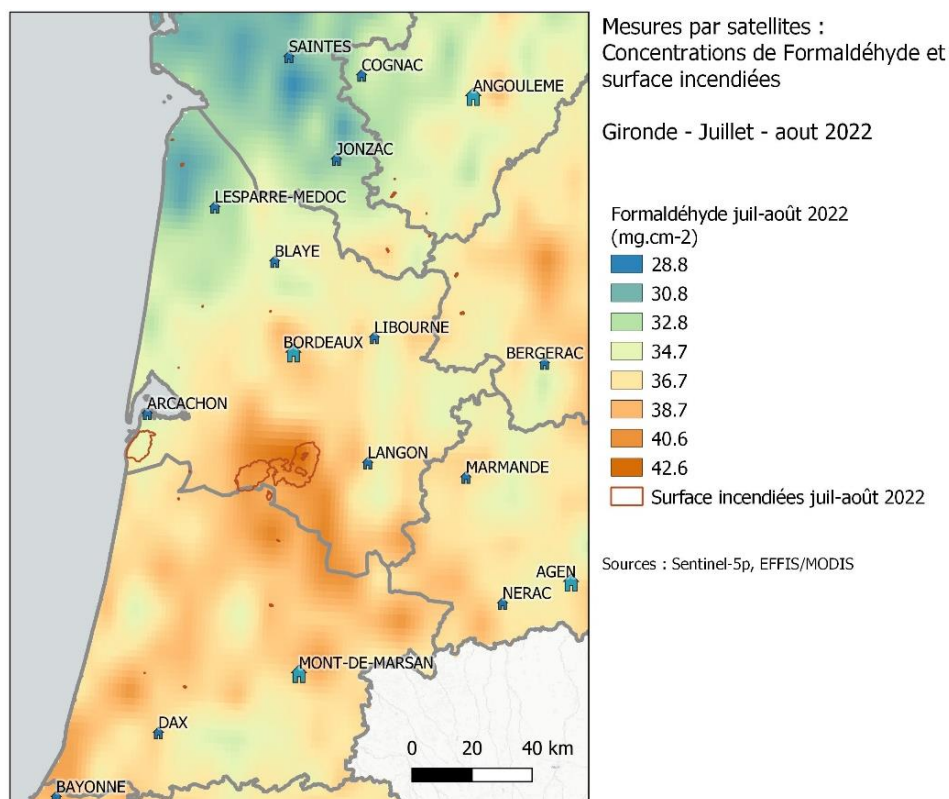


Figure 32 : concentrations moyennes de formaldéhyde mesurée par satellite en juillet et août 2022

De même que pour les particules, la carte des concentrations moyennes des mois de juillet et août montrent que l'impact des incendies se superpose à celui d'autres sources naturelles et anthropiques, qui concernent

plus globalement la région. On observe malgré tout une zone de surconcentration sur sud de la Gironde, au niveau des incendies, d'autant plus visible sur les cartes journalières (Figure 33)

**Formaldéhyde - Sentinel5p du 12 au 19 juillet 2022**

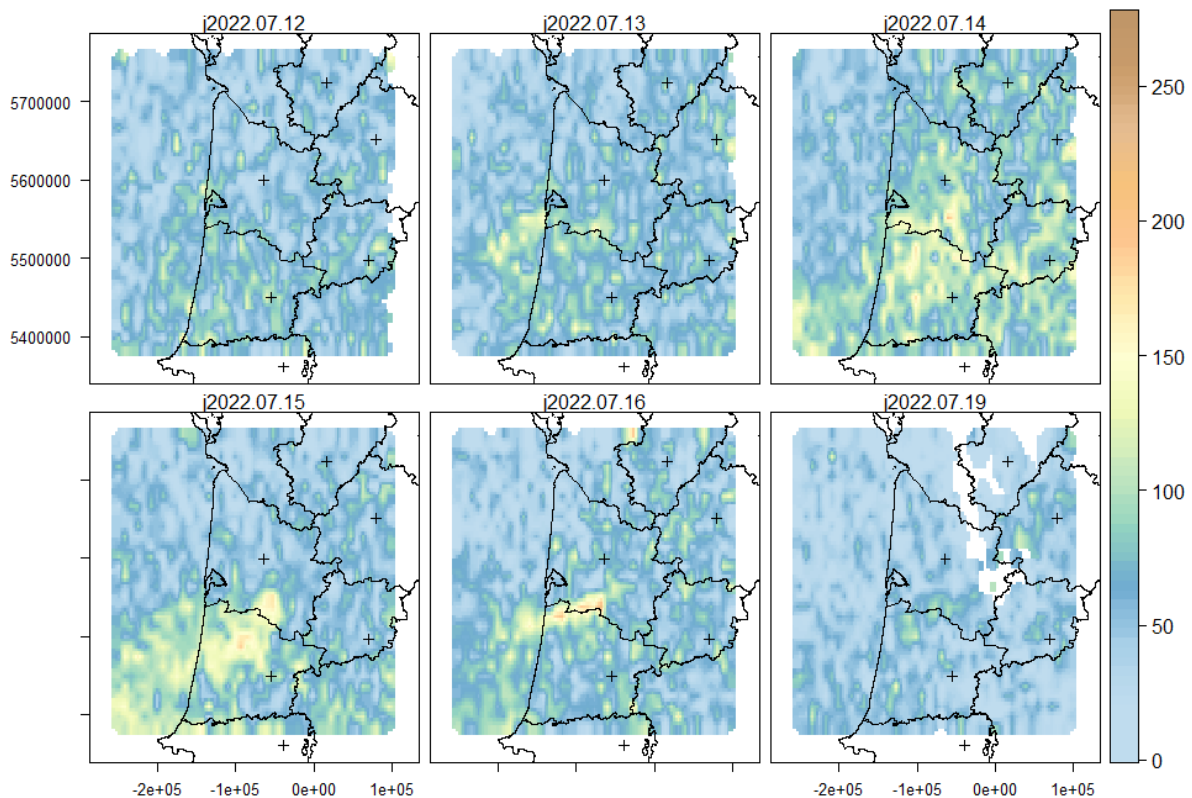


Figure 33 : Concentrations massiques journalières en µg/cm<sup>2</sup> durant l'épisodes d'incendies de juillet 2022

Les concentrations journalières mesurées par satellite entre juillet et septembre 2022 montre des valeurs plus élevées sur le Sud Gironde par rapport à Bordeaux durant l'épisode d'incendie de juillet, et dans une moindre mesure celui d'août.

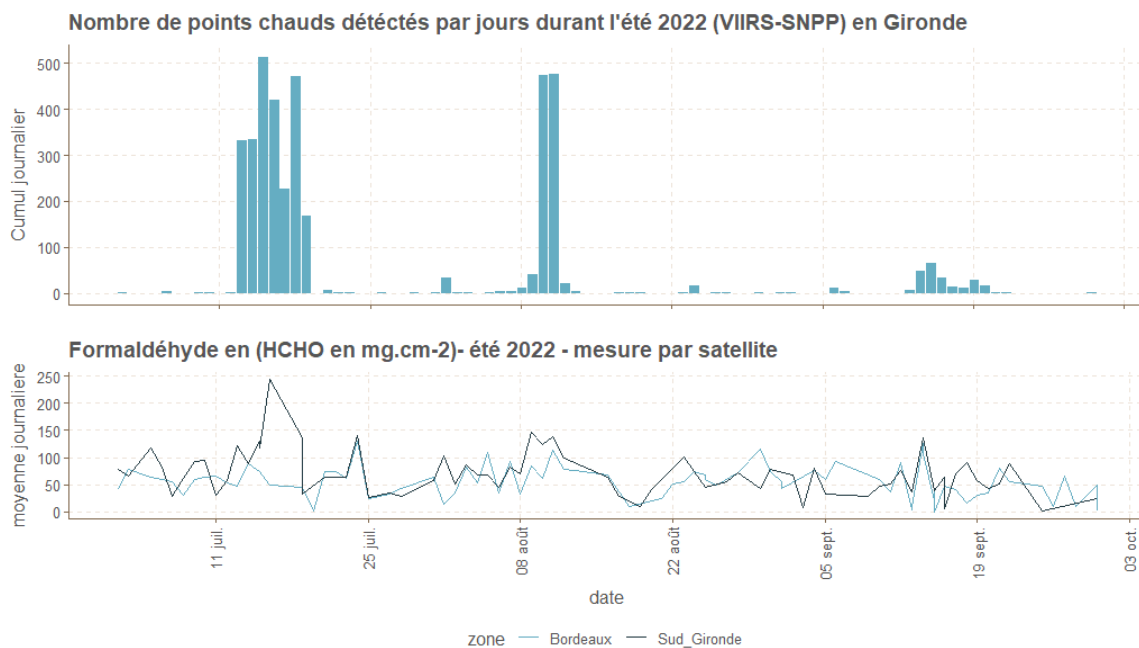


Figure 34 : mesures de formaldéhyde mesurées par satellite extraites au niveau de Bordeaux et du sud Gironde (Sud des landes de Gascogne) durant l'été 2022

## 4. Conclusions

L'exploitation des données de qualité de l'air mesurées par télédétection depuis les satellites est encore aujourd'hui à un stade exploratoire. Le traitement réalisé dans cette étude pour l'année 2022 montre encore une fois les forces et les faiblesses de la donnée.

D'une part, les mesures satellites couvrent l'ensemble du territoire de la région Nouvelle-Aquitaine, ce qui permet une comparaison objective avec le reste du territoire métropolitain ou européen. Elles fournissent également des informations sur la répartition spatiale de polluants pour lesquels nous disposons encore de peu de données, tels que l'ammoniac ou le formaldéhyde. Ces données précieuses permettent d'orienter le choix des sites et de la temporalité pour les campagnes de mesures au sol, ainsi que de valider la répartition spatiale des inventaires des émissions.

Enfin les données satellites prennent en compte des épisodes ponctuels comme les incendies, permettant de valider/améliorer les modèles numériques ; elles donnent une information là où la mesure au sol est absente.

Cependant, elles ont leurs limites. La disponibilité des données est parfois limitée, ce qui peut nuire à leur représentativité. De plus, la résolution spatiale, au mieux de 3 km, est insuffisante pour prendre en compte l'impact local de sources telles que le trafic routier.

En ce qui concerne les polluants pris en compte :

- Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

L'évolution temporelle des concentrations mesurées par satellite est conforme à celle des mesures au sol : les valeurs sont plus élevées en hiver, lorsque les conditions météorologiques sont défavorables à la dispersion des polluants et que le chauffage est actif. La comparaison entre les mesures satellites et les mesures au sol montre que les données satellitaires sont mieux adaptées à l'étude de la pollution de fond et ne reflètent pas bien l'impact local du trafic.

- Les aérosols (particules)

C'est la donnée MODIS de résolution 3km qui a été retenue pour l'exploitation dans ce rapport. Elle montre des zones géographiques plus ou moins impactées : les valeurs les plus faibles sont mesurées sur le Limousin et la Dordogne.

Les valeurs sont plus élevées à proximité de la façade Atlantique au niveau du département des Landes, de la Charente -Maritime et de la Gironde, ainsi que sur un axe Bordeaux-Toulouse.

- Le méthane (CH<sub>4</sub>)

Le méthane est un des principaux gaz à effet de Serre. La mesure par satellite montre que les concentrations continuent d'augmenter d'année en année.

Sur le territoire régional, les secteurs où les concentrations de méthane sont les plus élevées correspondent aux terres arables et aux zones urbaines.

- L'ammoniac (NH<sub>3</sub>)

La répartition des concentrations d'ammoniac sur la région est assez similaire en 2022 à celle des années précédentes : il existe une prédominance des concentrations d'ammoniac sur le nord de la région (Deux Sèvres, Vienne, nord de la Charente-Maritime) et sur les Pyrénées Atlantique, du nord de Pau à l'est de Biarritz.

Dans le nord, le secteur correspond à une zone de grande culture (blé/orge/colza/tournesol), au sud aux cultures de maïs.

- Le formaldéhyde

La mesure par satellite est une des rare source d'information sur la variabilité spatiale des concentrations de formaldéhyde en air extérieur sur le territoire.

A l'échelle de la région, c'est sur le département de l'ancienne Aquitaine que les valeurs sont les plus élevées, en particulier au sud de la Gironde.

# Bibliographie

[ATMONA 2023], Mesures régionales de l'ammoniac et du 1.3-butadiène, Campagne 2022, Référence : R&D INT 21 087, Version finale du : 21/03/2023

[INERIS 2021], : Institut national de l'environnement industriel et des risques, FORMALDÉHYDE, Verneuil-en-Halatte, Ineris - 203228 - v1.0, 10/05/2021.

[Salthammer 2019] , Tunga Salthammer, Formaldehyde sources, formaldehyde concentrations and air exchange rates in European housings, Building and Environment, Volume 150, 2019, Pages 219-232, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.042>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318307960>)

[Mélanie Nicolas, 2006] Ozone et qualité de l'air intérieur : interactions avec les produits de construction et de décoration. Océan, Atmosphère. Université Paris-Diderot - Paris VII, 2006. (<https://theses.hal.science/tel-00134593/document>)

[Remer , 2013] Remer, L. A., Mattoo, S., Levy, R. C., and Munchak, L. A.: MODIS 3 km aerosol product: algorithm and global perspective, Atmos. Meas. Tech., 6, 1829–1844, <https://doi.org/10.5194/amt-6-1829-2013>, 2013

[Levy , 2013] Levy, R. C., Mattoo, S., Munchak, L. A., Remer, L. A., Sayer, A. M., Patadia, F., and Hsu, N. C.: The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean, Atmos. Meas. Tech., 6, 2989–3034, <https://doi.org/10.5194/amt-6-2989-2013>, 2013.

[L.Menut, 2016] Menut, Laurent & Attié, J.-L & Beekmann, Matthias & Bessagnet, Bertrand & Clerbaux, Cathy & Cuesta, Juan & Dufour, Gaëlle & Foret, Gilles & El Amraoui, Laaziz & Mallet, Marc & Meleux, Frederik & Ricaud, Philippe & Tanré, Didier & Turquety, Solene. (2017). Apport de l'observation satellitaire à l'analyse et à la prévision de la qualité de l'air. La Météorologie. 34. 10.4267/2042/62165.

[J.P.Veefkind,2011] TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications, J.P.Veefkind et. Al., <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>.

[JACQUETTE , 2014] Elsa JACQUETTE, Elisa BALDIT et l'équipe projet IASI CNES « Le sondeur infrarouge IASI » , Photoniques 73, 2014 , <https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2014/05/photon201473p26.pdf>

[DE CLERCQ, IASB] Implémentation du système global pour la mesure de la composition atmosphérique : concepts et méthodes pour une analyse intégrée des données satellitaires, Coralie DE CLERCQ, 2008-2009, INSTITUT D'AERONOMIE SPATIALE DE Belgique (<http://bictel.ulg.ac.be/ETD-db/collection/available/ULgetd-06112009-111926/unrestricted/>)

[Acker, 2007] J. G. Acker and G. Leptoukh, "Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data", Eos, Trans. AGU, Vol. 88, No. 2 (9 January 2007), pages 14 and 17.

[Peiro,2018] Assimilation des observations satellitaires de l'interféromètre atmosphérique de sondage infrarouge (IASI) dans un modèle de chimie-transport pour des réanalyses d'ozone à l'échelle globale, Hélène Peiro, Université Paul Sabatier – Toulouse III, 2018.

A part of the analyses and visualizations used in this study was produced with the Giovanni online data system, developed and maintained by the NASA GES DISC.

# Table des figures

Figure 1 : Le satellite de la mission Sentinel 5p.....	8
Figure 2 : Aqua (gauche) Terra (droite).....	11
Figure 3 : SUIOMI-NPP.....	12
Figure 4 : concentrations moyennes annuelle 2022 de NO <sub>2</sub> sur la métropole en mg/m <sup>2</sup> (Sentinel5p).....	14
Figure 5 : Concentrations moyennes annuelles de NO <sub>2</sub> en mg/m <sup>2</sup> – colonne verticale – Sentinel5p.....	15
Figure 6 : Concentrations moyennes mensuelles de NO <sub>2</sub> sur 4 zones de la région Nouvelle-Aquitaine .....	15
Figure 7 : sites de mesures fixe sur Bordeaux Métropole – Atmo Nouvelle-Aquitaine.....	16
Figure 8 : nuages de points des valeurs de mesures au sol avec les mesures par satellite– données journalières - 2022.....	16
Figure 9 : Diagramme de Taylor de comparaison des mesures au sol avec les mesures par satellite – données journalières - 2022.....	17
Figure 10 : données jours au niveau de la station Mérignac – mesures satellites et mesures au sol – année 2022 .....	18
Figure 11 : moyenne annuelle 2022 de la concentration en aérosol dérivée de l’AOD – MODIS-Aqua – Métropole Française.....	19
Figure 12 : nombre de valeurs journalières disponibles à l’échelle de l’année 2022.....	20
Figure 13 : moyenne annuelle 2022 de la concentration en aérosol dérivée de l’AOD – MODIS-Aqua – région Nouvelle-Aquitaine.....	20
Figure 14 : concentrations de méthane (colonne troposphérique) moyenne annuelle 2022 – TROMPOMI-Sentinel5P.....	22
Figure 15 : concentrations d’ammoniac mesurées par IASI de juin 2021 à juin 2022 – échelle nationale.....	23
Figure 16 : Concentrations moyennes d’ammoniac à l’échelle communale sur la région Nouvelle-Aquitaine – mesure IASI en mg.cm-2 .....	24
Figure 17 : Concentrations moyennes annuelles ammoniac en mg.cm-2.....	24
Figure 18 : concentrations NH <sub>3</sub> mesurées par échantillonneurs passifs et par satellites .....	26
Figure 19 : concentrations de formaldéhyde, moyenne annuelle 2022 – mesures par Sentinel 5p. – Métropole Française .....	27
Figure 20 : concentrations de formaldéhyde, moyenne annuelle 2022 – mesures par Sentinel 5p – Région NA .....	28
Figure 21 : concentrations moyennes mensuelles de formaldéhyde sur 4 sites de la régions Nouvelle Aquitaine – Mesures IASI .....	28
Figure 22 : Cumul mensuel des points chauds détectés par VIIRS sur SNPP en 2022 sur le département de la Gironde.....	29
Figure 23 : Cumul journalier des points chauds détectés par VIIRS sur SNPP durant l’été 2022 sur le département de la Gironde.....	30
Figure 24 : Surfaces brûlées détectées par MODIS en France en 2022 (cumul départemental et représentation des surfaces en orange).....	31
Figure 25 : Surfaces brûlées détectées par MODIS en 2022 sur la Gironde (cumul communal et représentation des surfaces en orange).....	31
Figure 26 : concentrations moyenne de NO <sub>2</sub> mesurées par satellite en juillet et aout 2022.....	32
Figure 27 : cartes des concentrations journalières (mesure aux environs de midi) en NO <sub>2</sub> – Sentinel5p (mg/cm <sup>2</sup> ) sur de département de la Gironde et les départements voisins du 12 au 19 juillet 2022.....	33
Figure 28 : concentrations NO <sub>2</sub> mesurées par satellite extraites au niveau de Bordeaux et du sud Gironde (Sud des landes de Gascogne) durant l’été 2022.....	33
Figure 29 : concentrations en aérosols ou particules mesurées par satellite lors des épisodes d’incendies de juillet et août 2022 .....	34



Figure 30 : Concentrations massiques journalières d'aérosol en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ durant l'épisodes d'incendies d'août 2022 .....	35
Figure 31 : mesures d'aérosol mesurées par satellite extraites au niveau de Bordeaux et du sud Gironde (Sud des landes de Gascogne) durant l'été 2022.....	36
Figure 32 : concentrations moyennes de formaldéhyde mesurée par satellite en juillet et août 2022 .....	36
Figure 33 : Concentrations massiques journalières en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ durant l'épisodes d'incendies de juillet 2022...	37
Figure 34 : mesures de formaldéhyde mesurées par satellite extraites au niveau de Bordeaux et du sud Gironde (Sud des landes de Gascogne) durant l'été 2022 .....	37

## ***Tables des tableaux***

Tableau 1 : statistiques de comparaison des valeurs journalières NO <sub>2</sub> mesurées par satellite et au sol en 2022 .....	17
Tableau 2 : comparaison des valeurs mesurées par satellites et par échantillonneurs passifs de janvier à juin 2022 .....	25

RETROUVEZ TOUTES  
NOS **PUBLICATIONS** SUR :  
[www.atmo-nouvelleaquitaine.org](http://www.atmo-nouvelleaquitaine.org)

## Contacts

---

[contact@atmo-na.org](mailto:contact@atmo-na.org)

Tél. : 09 84 200 100

Pôle Bordeaux (siège social) - ZA Chemin Long  
13 allée James Watt - 33 692 Mérignac Cedex

Pôle La Rochelle (adresse postale-facturation)  
ZI Périgny/La Rochelle - 12 rue Augustin Fresnel  
17 180 Périgny

Pôle Limoges  
Parc Ester Technopole - 35 rue Soyouz  
87 068 Limoges Cedex

