

# Les particules

## Comptage et granulométrie Bilans annuels 2019, 2020, 2021, 2022

Période de mesure : 2019, 2020, 2021, 2022

Communes et départements d'étude : Talence (33), Lacq (64), Poitiers (86), Limoges (87)

**Référence : R&D\_INT\_22\_028**

**Version du : 13/07/2023**

---

Auteur(s) : Perrine Jankowski - Ingénieure études, Florie Francony - Ingénieure études

Vérification du rapport : Rémi Feuillade, Directeur Délégué

Validation du rapport : Rémi Feuillade, Directeur Délégué

# Avant-Propos

**Titre** : Les particules - Bilan annuel 2019, 2020, 2021, 2022

**Reference** : R&D\_INT\_22\_028

**Version** : 13/07/2023

**Selon offre n°** : Prescriptions internes

**Nombre de pages** : 97 (couverture comprise)

## 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

Validation numérique du rapport, le

Validation, le 13/07/2023

Rémi Feuillade  
Directeur Délégué Atmo Nouvelle-Aquitaine

# Sommaire

<b>1. Contexte</b>	<b>9</b>
<b>2. Polluants suivis et méthodes de mesure</b>	<b>10</b>
<b>3. Les particules</b>	<b>11</b>
3.1. Mécanisme de formation	11
3.2. Distribution en taille	11
3.3. Composition chimique	12
3.4. Impacts	13
<b>4. Moyens mis en œuvre</b>	<b>14</b>
4.1. Appareils de mesure	14
4.1.1. UFP 3031 – Granulomètre	14
4.1.2. Fidas – Granulomètre	15
4.1.3. CPC – Compteur de particules	15
4.2. Sites de mesure	16
4.2.1. Bordeaux – Talence	17
4.2.2. Poitiers – Augouard	17
4.2.3. Limoges – Berland	18
4.2.4. Lacq	19
4.3. Taux de fonctionnement	20
4.3.1. Taux de fonctionnement annuel	20
4.3.2. Taux de fonctionnement mensuel	21
<b>5. Conditions météorologiques</b>	<b>23</b>
5.1. Températures et précipitations	23
5.1.1. Bordeaux - Mérignac	23
5.1.2. Poitiers - Biard	25
5.1.3. Limoges - Bellegarde	27
5.1.4. Pau - Uzein	29
5.2. Roses des vents	31
5.2.1. Bordeaux - Mérignac	31
5.2.2. Poitiers - Biard	34
5.2.3. Limoges - Bellegarde	36
5.2.4. Pau - Uzein	38
<b>6. Résultats</b>	<b>40</b>
6.1. Particules fines et ultrafines [ $D_p < 1 \mu\text{m}$ ]	40
6.1.1. Statistiques descriptives	40
6.1.2. Evolution annuelle	43
6.1.3. Profils annuels	45

6.1.4.	Evolution mensuelle.....	47
6.1.5.	Profils journaliers.....	50
6.1.6.	Evolution journalière.....	55
6.1.7.	Corrélation avec les autres polluants.....	58
6.1.8.	Influence météorologique et origine de la pollution .....	66
6.2.	Particules fines et grossières [ $0,15\mu\text{m} < D_p < 15\mu\text{m}$ ] .....	71
6.2.1.	Statistiques descriptives .....	71
6.2.2.	Distribution granulométrique .....	72
6.2.3.	Evolution annuelle .....	75
6.2.4.	Evolution journalière.....	76
6.2.5.	Comparaison entre les appareils .....	79
<b>7.</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>83</b>

## Annexes

ANNEXE 1 :	Bibliographie.....	86
ANNEXE 2 :	Comparaisons aux normales Météo France .....	89
ANNEXE 3 :	Lecture des roses des vents et des roses de pollution .....	95
ANNEXE 4 :	Représentation statistique des données à l'aide de « boxplot » .....	96

# Lexique

## Polluants

→ BC	Black Carbon ou carbone suie
→ BC <sub>wb</sub>	Black Carbon issu de la combustion de la biomasse
→ BC <sub>ff</sub>	Black Carbon issu de la combustion de fuel fossile
→ Cl <sup>-</sup>	Ion chlorure
→ COV	Composés Organiques Volatils
→ EC	Carbone élémentaire
→ H <sub>2</sub> S	Sulfure d'hydrogène
→ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acide sulfurique
→ NH <sub>3</sub>	Ammoniac
→ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ion ammonium
→ NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Nitrate d'ammonium
→ NH <sub>4</sub> HSO <sub>4</sub>	Sulfate d'ammonium hydrogéné
→ (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfate d'ammonium
→ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion nitrate
→ NO <sub>x</sub>	Oxydes d'azote
→ OM	Matière organique
→ PM <sub>10</sub>	Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (particules grossières)
→ PM <sub>2,5</sub>	Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm (particules fines)
→ PM <sub>1</sub>	Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm (particules fines)
→ PM <sub>0,1</sub>	Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 100 nm (particules ultrafines)
→ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ion sulfate
→ SO <sub>x</sub>	Oxydes de soufre

## Unités de mesure

→ µg	Microgramme (= 1 millionième de gramme = 10 <sup>-6</sup> g)
→ m <sup>3</sup>	Mètre cube
→ part./cm <sup>3</sup>	Nombre de particules par centimètre cube
→ nm	Nanomètre (10 <sup>-9</sup> m)
→ L/min	Litre par minute

## Abréviations

→ ACSM	Aerosol Chemical Speciation Monitor
→ AE33	Aethalomètre modèle AE33
→ LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
→ PUF	Particules UltraFines
→ PRSE	Plan Régional Santé Environnement
→ TU	Temps Universel

# Définitions

## Particules

- **Diamètre aérodynamique ( $D_p$ )** : Diamètre d'une particule sphérique, de masse volumique de  $1 \text{ g/cm}^3$  et ayant la même vitesse de chute que la particule considérée
- **Granulométrie (Distribution granulométrique)** : Mesure de la taille des particules dans l'atmosphère, détermination de leur forme et étude de leur répartition dans différents intervalles de tailles.
- **Particules en suspension** : Toutes les particules dans l'atmosphère sont considérées comme « particules en suspension »
- **Particules grossières ( $PM_{10}$ )** : Particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à  $10 \mu\text{m}$
- **Particules fines ( $PM_{2,5}$ )** : Particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à  $2,5 \mu\text{m}$
- **Particules fines ( $PM_1$ )** : Particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à  $1 \mu\text{m}$
- **Particules ultrafines ( $PM_{0,1}$ )** : Particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à  $0,1 \mu\text{m}$

## Stations

- **Influence de fond** : Station de mesure fixe qui permet le suivi du niveau d'exposition de la majorité de la population aux phénomènes de pollution dits de « fond » dans les centres urbains, périurbains ou en milieu rural. Les mesures sont représentatives de l'air respiré par la majorité des habitants de ces zones.
- **Influence industrielle** : Représente l'exposition maximale sur les zones soumises directement à une pollution d'origine industrielle.
- **Influence trafic** : Représente l'exposition maximale sur les zones soumises à une forte circulation urbaine et routière.

## Météorologie

- **Extrême maximale (Record)** : Valeur la plus élevée enregistrée au cours de la période
- **Extrême minimale (Record)** : Valeur la plus basse enregistrée au cours de la période
- **Normales** : Représentent le climat d'une période donnée. Elles sont calculées sur 30 ans et mises à jour toutes les décennies. Les normales climatiques sont calculées à partir des valeurs mensuelles obtenues pendant les périodes de référence.
  - Maximale : La température normale maximale du mois de janvier est calculée en moyennant les températures mensuelles les plus élevées des 30 mois de janvier de la période étudiée.
  - Minimale : La température normale minimale du mois de janvier est calculée en moyennant les températures mensuelles les plus basses des 30 mois de janvier de la période étudiée.
  - Moyenne : La température normale du mois de janvier est calculée en moyennant les températures moyennes mensuelles des 30 mois de janvier de la période étudiée.
- **Rose des vents** : Est une représentation complète du vent, sur un site donné, pendant une période d'observation d'au moins un mois. Elle regroupe :
  - les fréquences des directions d'où vient le vent
  - les fréquences de force du vent pour chaque direction de vent.

En dessous d'une vitesse de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ , on parle de vents faibles. Ces vents ne sont pas pris en compte dans les roses des vents présentées dans ce rapport car leur direction n'est pas établie.

- **Rose de pollution** : permet de localiser les différences de concentrations d'un polluant en fonction de la direction et de la force du vent

## Statistiques

- **Maximum** : Plus grande valeur que l'on retrouve dans un échantillon
- **Minimum** : Plus petite valeur que l'on retrouve dans un échantillon

- **Moyenne** : Indicateur le plus simple permettant de réduire tout un échantillon de valeurs à une seule. Elle est égale à la somme de toutes les valeurs, divisée par leur nombre.
- **Médiane** : Valeur centrale d'une série statistique dont les valeurs observées ont été rangées dans l'ordre croissant. La moitié des observations lui sont inférieures ou égales et la moitié des observations lui sont supérieures ou égales.
- **Quartile** : Chacune des trois valeurs qui divisent les données triées en quatre parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/4 de l'échantillon de population
  - le 1er quartile est la donnée de la série qui sépare les 25 % inférieurs des données (Q1)
  - le 2e quartile est la donnée de la série qui sépare les 50 % inférieurs des données (Q2)
  - le 3e quartile est la donnée de la série qui sépare les 75 % inférieurs des données (Q3)
- **P90** : Les centiles ou percentiles sont les valeurs qui séparent les données triées en 100 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/100 de l'échantillon des valeurs. Les centiles permettent de mesurer la dispersion d'un échantillon.
  - le 1er centile sépare le 1 % inférieur des données
  - le 90ème centile sépare les 90 % inférieurs des données, si la valeur se situe dans le 90ème percentile, cela signifie que cette valeur est supérieure à 90 % des valeurs de l'échantillon.
- **Boxplot ou boîtes à moustaches** : Est une représentation graphique de données statistiques. Elle permet de comparer la dispersion des valeurs dans un échantillon. Elle résume la série de données en quelques indicateurs : médiane, quartiles, minimum, maximum, ou déciles.

#### Divers

- **Conversion entre l'heure locale et l'heure universelle (UTC) :**
  - D'octobre à avril (hiver) : heure locale = heure UTC + 1h
  - D'avril à octobre (été) : heure locale = heure UTC + 2h.

# Résumé

Depuis plusieurs années, les particules fines et ultrafines sont suivies sur quatre sites de la région Nouvelle-Aquitaine ; trois stations urbaines de fond : Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard, Limoges-Berland, la quatrième, Lacq, station rurale proche sous influence industrielle.

Plusieurs grandeurs sont suivies en continu sur ces sites : la granulométrie des particules fines et ultrafines de tailles 20 - 800 nm, la granulométrie des particules fines et grossières de tailles 150 nm - 15  $\mu\text{m}$  et le comptage des particules  $\text{PM}_{10}$  sur Bordeaux-Talence et Poitiers-Augouard.

→ En fond urbain, deux sources majoritaires de particules ont été identifiées :

- Le trafic routier, émettant des particules de diamètre inférieur à 50 nm

Ces particules ultrafines présentent une bonne corrélation avec les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) ainsi qu'avec le  $\text{BC}_{\text{ff}}$ , particules provenant de la combustion de combustibles fossiles. Les concentrations de ces classes sont plus importantes en jours ouvrés que le week-end, des pics de concentrations sont également observables le matin et le soir. Ces évolutions hebdomadaires et journalières sont typiques des polluants d'origine routière.

- La combustion de la biomasse, identifiable au travers des particules de diamètre 100 à 200 nm

Ces particules sont très bien corrélées avec les  $\text{PM}_{10}$ , les  $\text{PM}_{2,5}$  ainsi qu'avec les particules provenant de la combustion de biomasse ( $\text{BC}_{\text{wb}}$ ). Les variations saisonnières sont importantes : les niveaux de ces particules sont nettement plus hauts en hiver qu'en été. Pendant la saison froide, les concentrations nocturnes restent élevées, typiques de l'utilisation du chauffage au bois. Les roses de pollution illustrent bien le constat précédent : les vents sont peu chargés en été, les masses d'air de la période froide sont nettement plus concentrées en particules 100-200 nm. Celles-ci proviennent de sources locales ainsi que de l'ensemble des directions. La classe 100-200 nm est caractéristique des émissions liées au chauffage bois.

→ En proximité industrielle, les deux sources majoritaires identifiées en fond urbain sont présentes mais une troisième a clairement été identifiée : la plateforme industrielle de Lacq.

L'étude des vents a mis en évidence des masses d'air chargées en particules ultrafines, de diamètre inférieur à 50 nm, de provenance sud-ouest, pointant directement la zone industrielle, Même si à l'échelle annuelle, il ne semble y avoir aucune corrélation avec le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) ; à l'échelle horaire, des correspondances entre ces deux paramètres ont été identifiées. Ces particules pourraient être liées à la formation d'aérosols secondaires tels que les sulfates à partir du  $\text{SO}_2$ .

→ Grâce au granulomètre Fidas, permettant de distribuer les particules de diamètre compris entre 150 nm à 15  $\mu\text{m}$ , nous avons pu observer que la majorité des particules ont des diamètres de taille inférieure à 0,5  $\mu\text{m}$ . 96 % des particules (en nombre) ont un diamètre inférieur à 0,4  $\mu\text{m}$ , 99 % ont un diamètre inférieur à 1  $\mu\text{m}$  et 99,9 % ont un diamètre inférieur à 2,5  $\mu\text{m}$ . Les 3 sites (Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard et Limoges-Berland, stations urbaines de fond) présentent des profils granulométriques similaires, avec des maxima pour les particules de diamètre 0,191  $\mu\text{m}$  à 0,205  $\mu\text{m}$ .



# 1. Contexte

En charge de la surveillance de la qualité de l'air, Atmo Nouvelle-Aquitaine dispose d'un réseau de stations fixes implantées sur l'ensemble de la région afin de suivre en continu l'évolution des polluants réglementés. Parmi les polluants réglementés, les particules suscitent un intérêt particulier du fait :

- de leur impact sur la santé, l'environnement et le climat,
- des dépassements récurrents de valeur limite sur le territoire français et sur la région, dont l'agglomération bordelaise sur la période 2007-2010,
- de leurs origines multiples (trafic, chauffage, agriculture, particules d'origine secondaire, etc.)

La réglementation en air ambiant a historiquement été basée sur la masse des particules dans l'air, du fait des technologies métrologiques disponibles. La directive 1996/62/CE<sup>1</sup> a ainsi focalisé les efforts sur les PM<sub>10</sub>, particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm. La directive 2008/50/CE<sup>2</sup> a ensuite complété la réglementation sur les particules plus fines, à savoir les PM<sub>2,5</sub>, particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm. À l'heure actuelle, les valeurs réglementaires relatives aux particules s'intéressent encore uniquement aux concentrations massiques.

Depuis plusieurs années, l'intérêt croissant pour la surveillance des particules de très petites tailles et pour leur caractérisation chimique a conduit Atmo Nouvelle-Aquitaine à mettre en place un plan de surveillance spécifique pour les particules fines.

- Dans le cadre du PRSE 2009-2013 d'Aquitaine, AIRAQ, aujourd'hui devenu Atmo Nouvelle-Aquitaine, a mené des mesures exploratoires de particules fines et ultrafines sur deux stations de mesures, à savoir :
  - la station urbaine de fond de Bordeaux-Talence, située dans l'agglomération bordelaise, qui est la station de référence pour tous les projets ayant trait aux particules,
  - la station sous influence industrielle de Mourenx (puis sur la station de Lacq), située dans le bassin de Lacq.
- Des travaux sont également menés, en collaboration avec le LCSQA sur deux stations, aujourd'hui stations de référence « particules » de la région Nouvelle-Aquitaine, dans le but d'étudier la composition chimique des particules :
  - la station urbaine de fond de Bordeaux-Talence,
  - la station urbaine de fond de Poitiers-Augouard, située dans la Communauté Urbaine du Grand Poitiers.
- Depuis début 2019, la station urbaine de fond de Limoges-Berland, située dans la Communauté Urbaine Limoges Métropole permet également d'étudier une partie de la composition chimique des particules.

Les données recueillies, comme la concentration en nombre, la distribution granulométrique et la composition chimique apportent des informations complémentaires et contribuent à une meilleure compréhension des particules. Ces connaissances aident ainsi à l'évaluation de la provenance et de la contribution des différentes sources d'émissions, permettant ensuite de cibler les secteurs émetteurs lors la mise en œuvre de politiques urbaines. La composition des particules en zones urbaines est particulièrement complexe de par la multitude des sources d'émission et des mécanismes de transformation physico-chimique impliqués.

Aujourd'hui, quatre stations permettent le suivi des particules, au-delà du réglementaire : Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard et Limoges-Berland, stations urbaines de fond, où sont mesurées les particules fines et ultrafines ainsi que leur composition chimique, et Lacq, station rurale proche sous influence industrielle, pour le suivi des particules fines et ultrafines. Ce document présente les bilans annuels des comptages et mesures granulométriques des particules fines ultrafines pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022.

*N.B. : Les travaux relatifs à la composition chimique des particules seront traités dans un rapport spécifique.*

<sup>1</sup> Directive 96/62/CE du conseil du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant

<sup>2</sup> Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

## 2. Polluants suivis et méthodes de mesure

### Mesures automatiques


Caractéristique mesurée	Matériel	Référence et/ou principe de la méthode	Accréditation
Concentration en oxydes d'azote (NOx)	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 dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )		NF EN 14212 - Dosage du dioxyde de soufre par fluorescence UV	
Concentration en ozone (O <sub>3</sub> )		NF EN 14625 - Dosage de l'ozone par photométrie UV	
Concentration en particules (PM <sub>10</sub> ; PM <sub>2,5</sub> )		NF EN 16450 - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM <sub>10</sub> ; PM <sub>2,5</sub> )	
Distribution granulométrique de particules (Diamètre 20 nm – 800 nm)		Mesure via UFP 3031 : Tri des particules par classe de taille (en fonction de leur mobilité électrique), puis comptage à l'aide d'un électromètre	Pas d'accréditation
Distribution granulométrique de particules (Diamètre 150 nm – 15 µm)		Mesure optique via Fidas : mesure de la diffusion de lumière blanche par les particules. <i>Cette méthode permet une identification du niveau de PM<sub>1</sub> (hors équivalence de méthode de référence validée par la directive européenne)</i>	
Comptage de particules (Diamètre 7 nm – 1 µm)		Mesure via un compteur de particules CPC (Condensation Particle Counter) : compteur de particules à condensation	
Concentration en Black Carbon		Mesure via un aethalomètre : Atténuation de l'intensité d'un faisceau lumineux à travers un échantillon de poussières déposées sur filtre	
Caractérisation chimique des particules	Mesure via un spectromètre de masse ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor)		

Figure 1 | Matériel et méthodes de mesure

\* Les avis et interprétations ne sont pas couverts par l'accréditation COFRAC d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. Toute utilisation des données d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, couvertes par l'accréditation doit faire mention : "Ces essais ont été réalisés par Atmo Nouvelle-Aquitaine – Accréditation n°1-6354, portée disponible sous [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)", sans y associer le logo COFRAC et préciser que les rapports d'Atmo Nouvelle-Aquitaine sont disponibles sur demande ou joindre ces derniers dans leur intégralité au document rapportant ces résultats.

# 3. Les particules

## 3.1. Mécanisme de formation

Les aérosols sont émis dans l'atmosphère par une grande variété de sources et par des mécanismes de formation différents, leur conférant des tailles et des compositions chimiques variées. Les particules peuvent être d'origine naturelle, telles que les poussières minérales ou les cendres volcaniques, mais également d'origine anthropique comme les particules issues de la combustion de fuel fossile. Deux types d'aérosols peuvent être distingués selon leur processus de formation :

- ➔ les aérosols primaires émis directement dans l'atmosphère par différents mécanismes : par action mécanique du vent sur les roches, les sols ou les sables, par des processus de combustion tels que les feux de forêts ou les unités d'incinération, par les éruptions volcaniques, par des processus biologiques conduisant à l'émission de pollens ou de débris végétaux, par des activités industrielles telles que la construction de bâtiments ou encore par usure de matériaux de synthèse tels que les pneus et les revêtements des routes.
- ➔ les aérosols secondaires formés dans l'atmosphère par des processus de transformation et de condensation de composés gazeux. Certains composés gazeux, appelés précurseurs d'aérosols, peuvent conduire, à travers diverses transformations chimiques, telles que l'oxydation, à des composés de plus faibles tensions de vapeur se condensant et formant la matière particulaire. Les principaux précurseurs gazeux sont les Composés Organiques Volatiles (COV), les oxydes de soufre et d'azote ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ) et l'ammoniac (Buseck and Adachi, 2008; Seinfeld and Pandis, 2006).

## 3.2. Distribution en taille

L'atmosphère est un milieu essentiellement gazeux dans lequel se trouvent des particules sous forme solide ou liquide appelées communément aérosols atmosphériques. La diversité des sources et des mécanismes d'émission induit une multiplicité de particules de tailles et de compositions chimiques variées. Ces particules peuvent avoir un diamètre aérodynamique allant de quelques nanomètres à plusieurs dizaines de micromètres. Les particules de diamètre inférieur à  $2,5 \mu\text{m}$  sont dites « fines » tandis que les particules de diamètre supérieur à  $2,5 \mu\text{m}$  sont dites « grossières ». Dans une atmosphère moyenne, il existe quatre modes principaux de distribution (Seinfeld and Pandis, 1998; Whitby, 1978) :

- ➔ **le mode ultrafin** (ou mode de nucléation) représentant les aérosols de **diamètre ( $D_p$ ) inférieur à  $0,02 \mu\text{m}$** , formés par condensation de vapeur lors de processus de combustion ou par nucléation de molécules de gaz. Du fait de leur très grand nombre, et en particulier proches des sources de combustion, ces particules coagulent très rapidement, formant des noyaux de condensation (CCN, Cloud Condensation Nuclei). Ce type de particules a donc une faible durée de vie dans l'atmosphère et évolue rapidement vers le mode d'accumulation.
- ➔ **le mode d'Aitken** (aérosols dont le **diamètre est compris entre  $0,02$  et  $0,1 \mu\text{m}$** ), souvent regroupé avec le mode de nucléation, provenant principalement de la coagulation de particules ultrafines (Kulmala et al., 2004).
- ➔ **le mode fin** ou mode d'accumulation (aérosols dont le **diamètre est compris entre  $0,1 \mu\text{m}$  et  $2,5 \mu\text{m}$** ) comprenant les particules de combustion et les particules résultant de la condensation de vapeur sur les particules de ce mode et de la coagulation des particules du mode de nucléation. Ces particules sont petites mais coagulent trop lentement pour atteindre le mode grossier. Ainsi, elles ont une durée de vie relativement longue (environ deux semaines) et contribuent aux effets de visibilité des aérosols atmosphériques. Elles sont éliminées par dépôts secs ou humides (Anastasio and Martin, 2001).
- ➔ **le mode grossier** représentant les aérosols de **diamètre supérieur à  $2,5 \mu\text{m}$**  formés par des processus mécaniques anthropiques, tels que l'agriculture, l'industrie, les exploitations minières, et naturels, tels que le soulèvement de poussières désertiques ou les embruns marins. Du fait de leur taille, les particules grossières se déposent rapidement à la surface de la Terre et sont éliminées par sédimentation, ainsi leur durée de vie dans l'atmosphère est de seulement quelques heures (Buseck and Adachi, 2008).

Les particules sont caractérisées par leur taille, leur volume, leur surface spécifique et leur nombre et sont généralement représentées par une distribution granulométrique. D'un point de vue réglementaire, les particules sont différenciées selon leur diamètre aérodynamique. On distingue les PM<sub>10</sub> de diamètre inférieur à 10 µm, les PM<sub>2,5</sub> de diamètre inférieur à 2,5 µm et les PM<sub>1</sub> de diamètre inférieur à 1 µm.

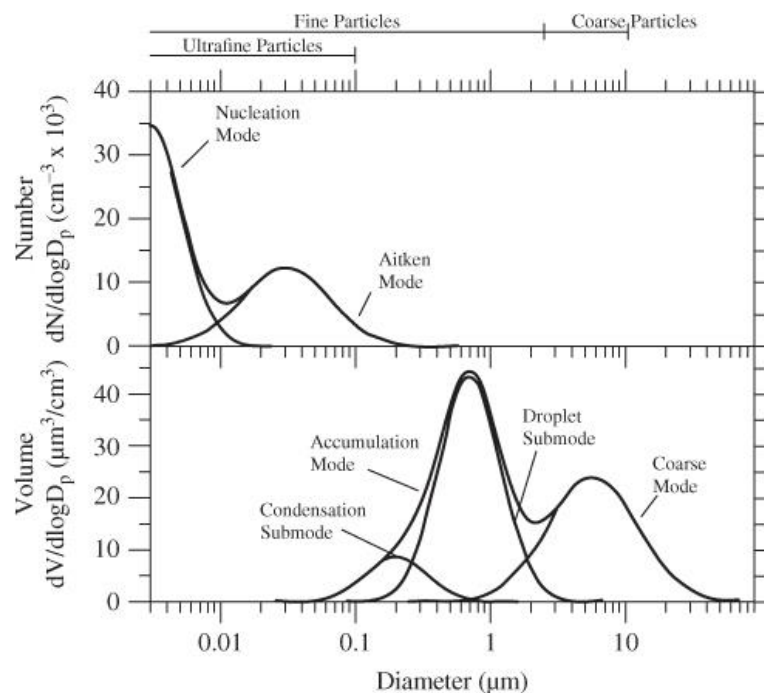


Figure 2 | Distribution en nombre et en volume des particules atmosphériques en fonction du diamètre (Seinfeld and Pandis, 1998)

Les particules atmosphériques grossières constituent la fraction granulométrique la plus importante en masse. Ce sont des particules primaires naturelles ou anthropiques issues de processus mécaniques d'émissions (poussières terrigènes, embruns marins, particules volcaniques, débris de pneus, débris végétaux, pollens, etc.) (Kiehl and Rodhe, 1995; Lelieveld et al., 2002; Putaud et al., 2004a). Les particules fines et ultrafines ne représentent, quant à elles, pas plus de quelques pourcents de la masse totale des particules mais sont les plus importantes en nombre. Ce sont des particules primaires anthropiques telles que les suies ou secondaires naturelles et anthropiques (sulfates, ammonium, composés organiques) issues de processus chimiques (Kiehl and Rodhe, 1995; Lelieveld et al., 2002; Putaud et al., 2004a).

### 3.3. Composition chimique

Les particules atmosphériques sont constituées d'une très grande variété de composés chimiques organiques et inorganiques. Leur composition chimique varie suivant leurs sources d'émission mais également les processus physico-chimiques qui ont lieu au cours du transport des particules. Les aérosols sont constitués d'eau, de matière carbonée, d'espèces ioniques, de métaux et d'éléments traces. La proportion de chaque composé varie suivant l'origine des particules. En effet, un aérosol d'origine naturelle est constitué principalement d'espèces ioniques, de métaux et d'éléments traces tandis que les aérosols d'origine anthropique sont caractérisés par des proportions de matière carbonée plus importantes (Heintzenberg, 1989; Heintzenberg et al., 2000; Putaud et al., 2004b).

La fraction carbonée est constituée de matière organique (OM) et de carbone élémentaire (EC) et peut représenter jusqu'à plus de 70 % de la masse des PM (Favez et al., 2010; Jimenez et al., 2009). Les composés organiques formant l'OM sont extrêmement nombreux et il est impossible d'identifier et de quantifier l'ensemble de ces composés. Le sulfate non marin (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), le nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) représentent une part importante de la fraction ionique de l'aérosol atmosphérique et sont majoritairement d'origine secondaire, issus de gaz précurseurs pouvant être d'origine naturelle ou anthropique (Seinfeld and Pandis, 1998). La composante minérale, d'origine terrigène ou anthropique (remise en suspension de particules par les véhicules par exemple), est constituée de métaux tels que l'aluminium, le silicium, le fer, etc. et peut représenter

jusqu'à 25 % de la masse des PM sur des sites sous influence de zones arides ou de transport longue distance de poussières crustales (Putaud et al., 2004b). Enfin, la composante marine constituée de chlorure, de sodium, de magnésium, de calcium et de potassium représente une part importante des aérosols naturels. Cette part diminue lorsque le site d'étude est éloigné d'une côte.

### 3.4. Impacts

La nocivité des particules dépend de leur composition mais également de leur taille. En effet, les particules les plus fines (diamètre inférieur à 2,5  $\mu\text{m}$ ) peuvent pénétrer profondément dans le système respiratoire et atteindre les bronchioles et alvéoles pulmonaires (pour les particules inférieures à 0,1  $\mu\text{m}$  de diamètre), tandis que les particules de taille plus importante sont arrêtées par les voies respiratoires supérieures (Berico et al., 1997; Oberdörster et al., 2005; Terzano et al., 2010).

Les principaux effets de cette pollution par les particules sont essentiellement des troubles respiratoires tels que l'asthme, le cancer du poumon ou l'arythmie cardiaque. Des études ont également montrées que les particules fines pouvaient être à l'origine de problèmes de diabète, de reproduction ou de malformations chez les nouveau-nés (Delfino et al., 2005; Donaldson et al., 2001; Gehring et al., 2010; Strickland et al., 2009).

# 4. Moyens mis en œuvre

## 4.1. Appareils de mesure

### 4.1.1. UFP 3031 – Granulomètre

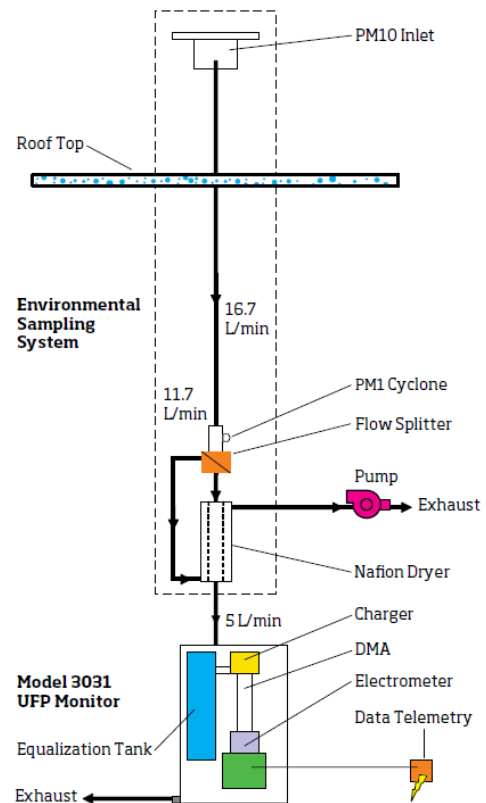
Les particules fines et ultrafines sont mesurées au moyen d'un TSI UFP 3031. Ce modèle a été spécifiquement conçu pour la surveillance en continu et à long terme. Il ne nécessite pas de produit de type butanol, n'utilise pas de source radioactive et a des fréquences de maintenance faibles.

**Cet appareil permet d'obtenir la distribution granulométrique, répartie en six classes de taille de particules, de 20 à 800 nm environ.** Ainsi, il fournit la concentration en nombre pour chaque canal mesuré : 20 – 30 nm, 30 – 50 nm, 50 – 70 nm, 70 – 100 nm, 100 – 200 nm, 200 – 800 nm environ.

Le principe de fonctionnement de cet instrument est principalement basé, d'une part sur le tri des particules par classe de taille (en fonction de leur mobilité électrique), et d'autre part sur leur comptage à l'aide d'un électromètre.



Figure 3 | UFP 3031, Photographie et principe de fonctionnement



## 4.1.2. Fidas – Granulomètre



Figure 4 | Fidas, Photographie du granulomètre

Au-delà de 180 nm, la distribution granulométrique des particules est suivie au moyen d'un granulomètre optique Fidas. Son principe de fonctionnement repose sur l'analyse de l'interaction des particules avec une source lumineuse polychromatique. La taille des particules est déterminée en mesurant l'intensité de la lumière diffusée par les particules, sur la base de la théorie de Mie.

**Le nombre de particules est déterminé, en temps réel et en continu, par classe de taille allant de 180 nm à 18 µm (64 classes possibles).**

## 4.1.3. CPC – Compteur de particules

L'ENVI-CPC est un compteur de noyaux de condensation permettant le suivi en temps réel de la quantité totale en nombre des particules ultrafines dans l'air ambiant et notamment des ultrafines ( $\leq 0,1 \mu\text{m}$ ). Il permet la mesure de la concentration totale des aérosols fins et ultrafins, également dénommés Particules Ultra Fines (PUF) ou nanoparticules, dans l'air ambiant.

**Cet appareil permet d'obtenir le nombre de particules par  $\text{cm}^3$  ayant une taille comprise entre 7 nm et 1 µm.**

Le principe de fonctionnement est basé sur le grossissement de ces aérosols par condensation d'un fluide (typiquement butanol) avant un comptage une à une des gouttelettes par détection optique (photomultiplicateur). La taille des gouttelettes formées est mesurée, fournissant une information complémentaire sur l'efficacité du processus de condensation.

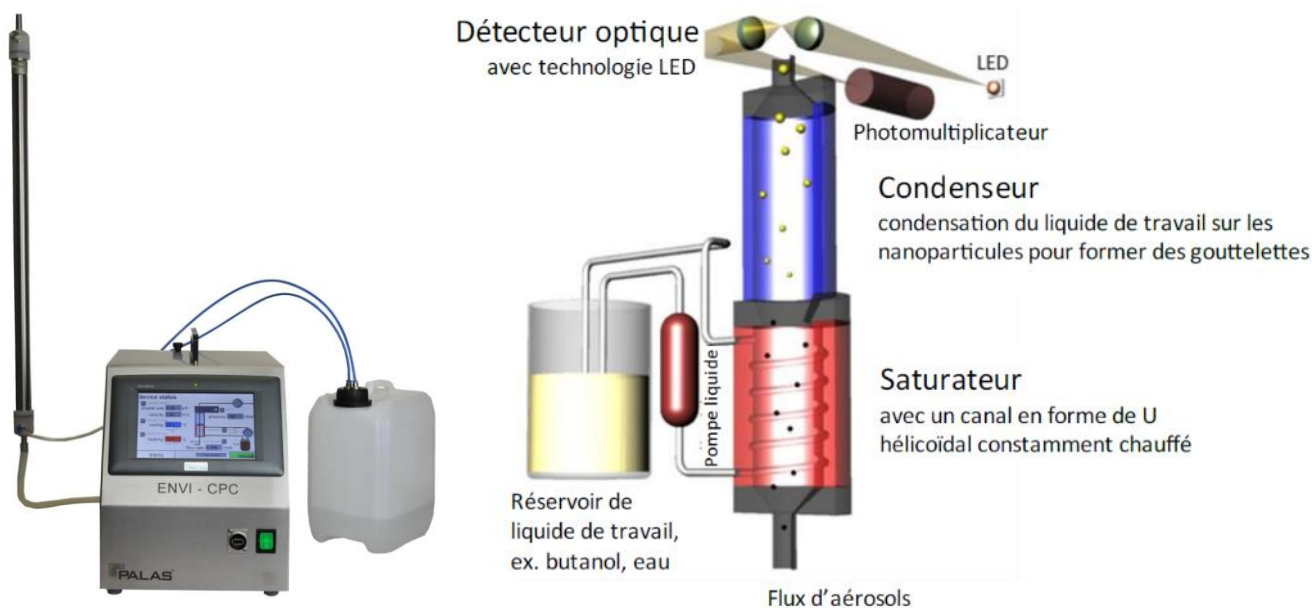


Figure 5 | CPC, Photographie et principe de fonctionnement

## 4.2. Sites de mesure

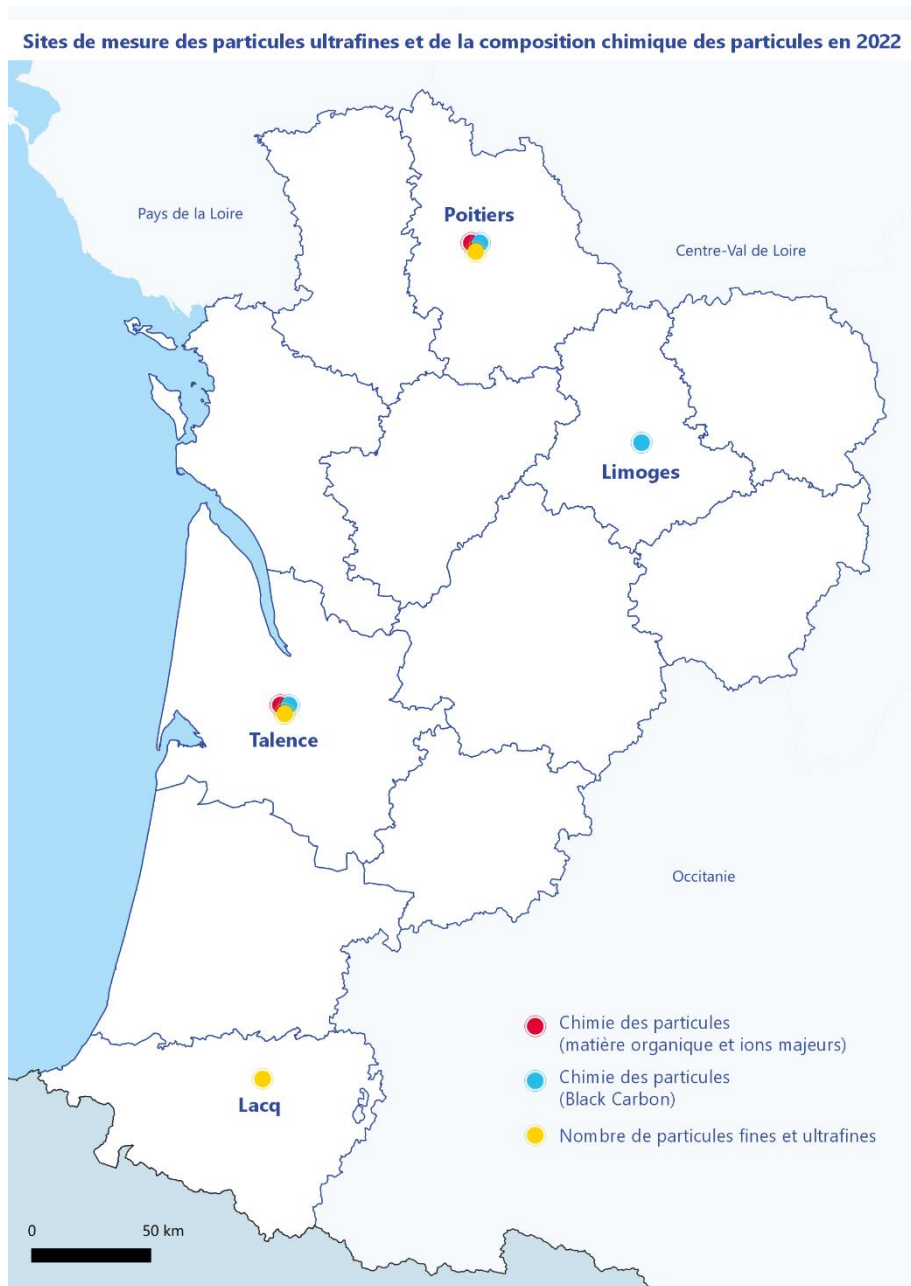


Figure 6 | Localisation des mesures de particules fines et ultrafines, Carte régionale

De 2019 à 2022, la surveillance des particules par Atmo Nouvelle-Aquitaine s'est organisé ainsi :

- ➔ Distribution granulométrique et comptage de particules ultrafines, fines et grossières sur :
  - la station urbaine de fond de Bordeaux-Talence
  - la station urbaine de fond de Poitiers-Augourd
  - la station urbaine de fond de Limoges-Berland
  - la station de proximité industrielle de Lacq
- ➔ Pour mémoire, la composition chimique des particules, traitée dans un rapport spécifique est analysée au niveau de
  - la station urbaine de fond de Bordeaux-Talence
  - la station urbaine de fond de Poitiers-Augourd
  - la station urbaine de fond de Limoges-Berland.



### 4.2.1. Bordeaux – Talence

Située dans l'agglomération bordelaise, Bordeaux-Talence (x : 416 248,2 m, y : 6 417 704,8, altitude : 23 m) est une station de fond urbain, localisée au croisement des rues de Verdun et du Général Percin, en retrait des axes de circulation importants. Elle n'est pas sous influence directe d'une source en particulier.

Cette station est une station de référence « particules » de la région Nouvelle-Aquitaine, dans le but d'étudier la granulométrie et la composition chimique des particules. Elle fait partie du programme national CARA (CARActérisation chimique et sources des particules) géré par le LCSQA visant à mieux documenter l'origine des PM10 en cas d'épisode de pollution aux particules.

La station de Bordeaux-Talence est instrumentée d'un UFP 3031 et d'un AE33 depuis 2014, un ACSM depuis 2015. Des compteurs Fidas et CPC sont venus compléter le dispositif de mesure de particules en 2018 et 2019.

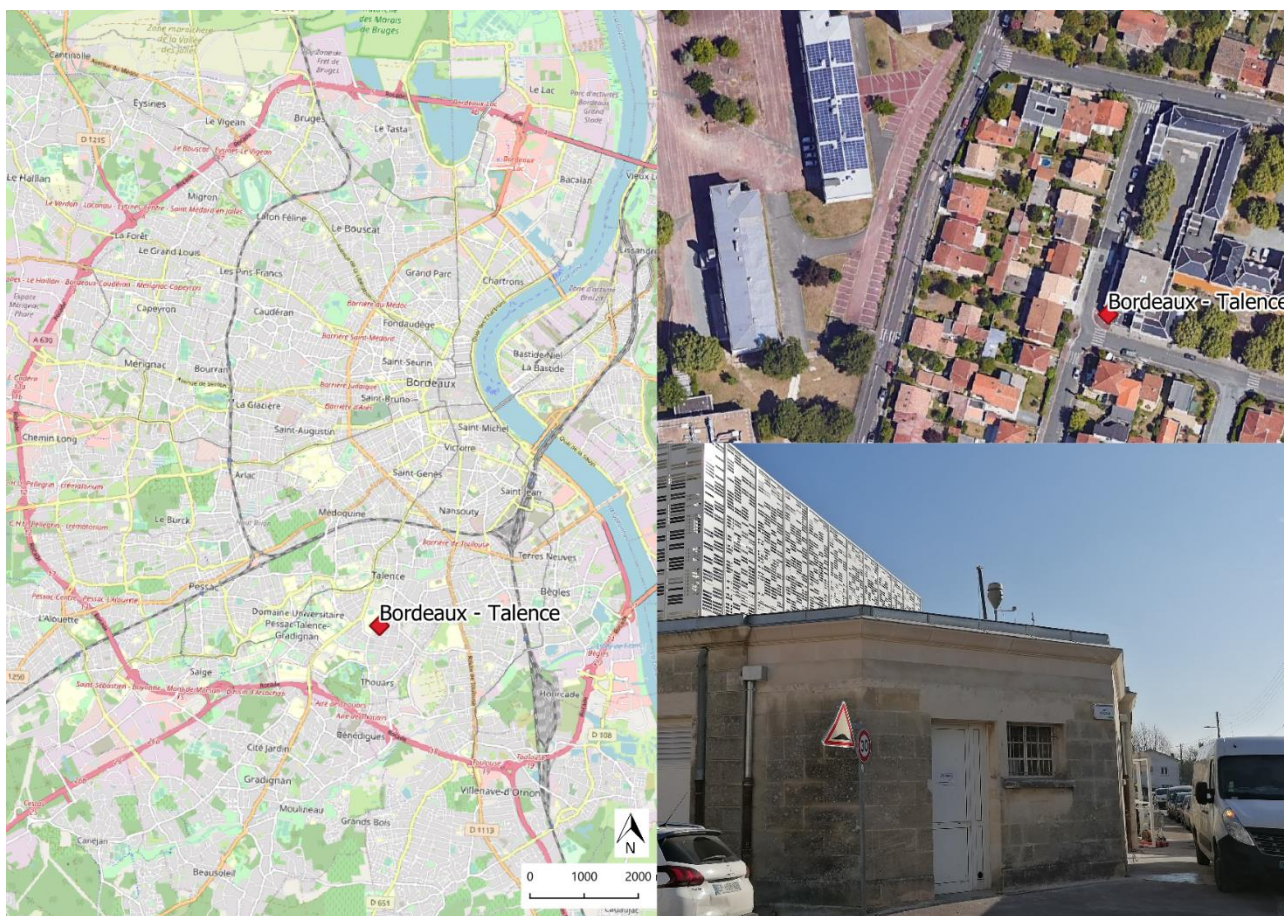


Figure 7 | Bordeaux-Talence, Localisation et environnement de la station

### 4.2.2. Poitiers – Augouard

Située dans la Communauté Urbaine du Grand Poitiers, Poitiers-Augouard (x : 496 786,3 m, y : 6 612 743,4 m, altitude : 105 m) est une station de fond urbain localisée dans une zone urbaine dense.

Tout comme la station de Bordeaux-Talence, cette station est une station de référence « particules » de la région Nouvelle-Aquitaine et fait partie du programme national CARA.

Elle est instrumentée d'un AE33 depuis 2014 et d'un ACSM depuis 2015. Des compteurs Fidas et CPC sont également venus compléter le dispositif de mesure de particules en 2016 et 2021.



Figure 8 | Poitiers-Augouard, Localisation et environnement de la station

### 4.2.3. Limoges – Berland

Située dans la Communauté Urbaine Limoges Métropole, Limoges – Berland (x : 564 935.5 m, y : 6 528 440.8 m, altitude : 437 m) est une station de fond urbain située dans une zone urbaine.

Tout comme les stations de Bordeaux-Talence et Poitiers- Augouard, cette station fait partie du programme national CARA.

Elle a été mise en service le 1<sup>er</sup> janvier 2019, et est instrumentée d'un AE33 et d'un compteur Fidas.



Figure 9 | Limoges-Berland, Localisation et environnement de la station

#### 4.2.4. Lacq

Située dans les Pyrénées-Atlantiques, à 40 km au nord-ouest de Pau, la station de Lacq (x : 406 941,3 m, y = 6 263 591,9 m, altitude : 113 m) est une station rurale proche sous influence industrielle. Le bassin de Lacq alimente aujourd'hui les industriels de la plate-forme en énergie et en matière première soufrée. Des activités allant de la chimie fine aux énergies renouvelables en passant par les matériaux s'y trouvent.

Un granulomètre UFP 3031 est installé depuis 2013 à proximité de la plateforme industrielle de Lacq afin de suivre les particules ultrafines dans cette zone.



Figure 10 | Lacq, Localisation et environnement de la station

## 4.3. Taux de fonctionnement

### 4.3.1. Taux de fonctionnement annuel

Entre 2019 et 2022, pour les 4 sites, les taux de fonctionnement annuel des différents appareils varient. Ces variations sont liées aux maintenances et problèmes techniques divers des appareils de mesure, aux travaux environnants les stations, impliquant des invalidations de mesures, ou encore pour l'année 2020, des restrictions de déplacements entraînant l'arrêt des mesures pendant les premières phases de confinement (Covid19).

- ➔ En 2022, à partir du mois de mars, des travaux ont eu lieu dans l'environnement direct de la station de Bordeaux-Talence. Les mesures de particules ont dû être arrêtées pour le restant de l'année. Les résultats de l'année 2022 pour la station de Bordeaux-Talence ne sont pas présentés dans le rapport, car ils sont non représentatifs de l'année.
- ➔ En 2020, en raison des restrictions de déplacement (Covid19, confinement), les appareils permettant la mesure de la granulométrie (UFP3031) des particules ont dû être arrêtés en mars et avril, expliquant les plus faibles taux de fonctionnement. Des différences dans les moyennes avec les années précédentes et suivantes peuvent ainsi être induites.

Sont surlignés en bleu, les taux de fonctionnement inférieurs au taux de fonctionnement de référence de 85 %.

Taux de fonctionnement		CPC	FIDAS	UFP3031
Talence	2022	13%	15%	15%
	2021	93%	99%	81%
	2020	48%	92%	72%
	2019	8%	96%	68%
Poitiers - Augouard	2022	97%	99%	
	2021		98%	
	2020		98%	
	2019		96%	
Limoges - Berland	2022		97%	
	2021		99%	
	2020		100%	
	2019		82%	
Lacq	2022			71%
	2021			98%
	2020			62%
	2019			76%

Figure 11 | Taux de fonctionnement annuel

### 4.3.2. Taux de fonctionnement mensuel

Les taux de fonctionnement des différents appareils, pour les 4 stations, sont détaillés pour les 12 mois de chaque année dans les tableaux suivants.

Talence		Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
CPC	2022	99%	55%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13%
	2021	81%	49%	98%	99%	100%	96%	100%	100%	99%	96%	100%	100%	93%
	2020	34%	81%	50%	-	-	5%	99%	100%	83%	55%	61%	15%	48%
	2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35%	64%	8%
FIDAS	2022	100%	83%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15%
	2021	99%	96%	96%	99%	100%	97%	100%	100%	100%	100%	97%	100%	99%
	2020	100%	98%	100%	100%	92%	86%	68%	74%	82%	100%	100%	100%	92%
	2019	95%	91%	66%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	96%
UFP3031	2022	100%	83%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15%
	2021	99%	100%	98%	100%	98%	96%	24%	-	55%	98%	100%	100%	81%
	2020	100%	100%	50%	81%	96%	100%	100%	43%	-	-	95%	96%	72%
	2019	88%	92%	99%	100%	86%	-	-	-	58%	98%	100%	99%	68%

Figure 12 | Bordeaux-Talence, Taux de fonctionnement mensuel

Poitiers - Augouard		Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
CPC	2022	89%	100%	99%	100%	100%	100%	93%	100%	100%	84%	94%	100%	97%
	2021													-
	2020													-
	2019													-
FIDAS	2022	98%	98%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	100%	98%	100%	100%	99%
	2021	91%	97%	100%	99%	97%	98%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	98%
	2020	81%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	100%	100%	100%	99%	98%
	2019	95%	100%	100%	97%	90%	99%	91%	97%	100%	89%	100%	100%	96%

Figure 13 | Poitiers-Augouard, Taux de fonctionnement mensuel

Limoges - Berland		Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
FIDAS	2022	100%	100%	100%	91%	88%	99%	100%	99%	99%	100%	99%	95%	<b>97%</b>
	2021	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	97%	<b>99%</b>
	2020	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	<b>100%</b>
	2019	-	51%	100%	98%	100%	98%	96%	98%	88%	57%	100%	96%	<b>82%</b>

Figure 14 | Limoges-Berland, Taux de fonctionnement mensuel

Lacq		Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
UFP3031	2022	100%	48%	-	-	95%	100%	76%	43%	100%	100%	87%	100%	<b>71%</b>
	2021	100%	99%	90%	88%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	99%	<b>98%</b>
	2020	100%	84%	78%	-	60%	100%	96%	40%	-	-	82%	99%	<b>62%</b>
	2019	100%	93%	89%	100%	94%	65%	-	-	85%	100%	100%	94%	<b>76%</b>

Figure 15 | Lacq, Taux de fonctionnement mensuel

# 5. Conditions météorologiques

Les résultats ci-dessous ont été élaborés à partir de mesures enregistrées par les stations Météo-France Bordeaux-Mérignac, Poitiers-Biard, Limoges-Bellegarde et Pau-Uzein pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022. Les comparaisons aux normales, ainsi que des extraits des bulletins climatiques (années 2019-2022) publiés par Météo-France sont disponibles en annexe 2.

## 5.1. Températures et précipitations

Les normales (minimales, maximales et cumuls de précipitations) sont calculées tous les 10 ans sur des périodes de 30 ans, tandis que les records (températures extrêmes) se calculent sur la base de toutes les données existantes.

### 5.1.1. Bordeaux - Mérignac

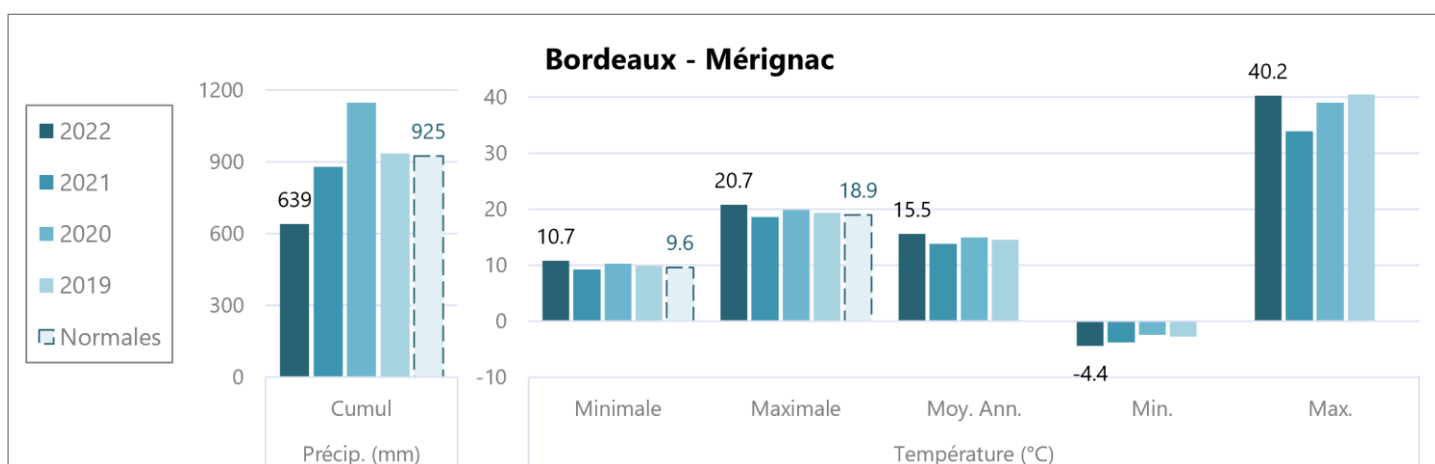
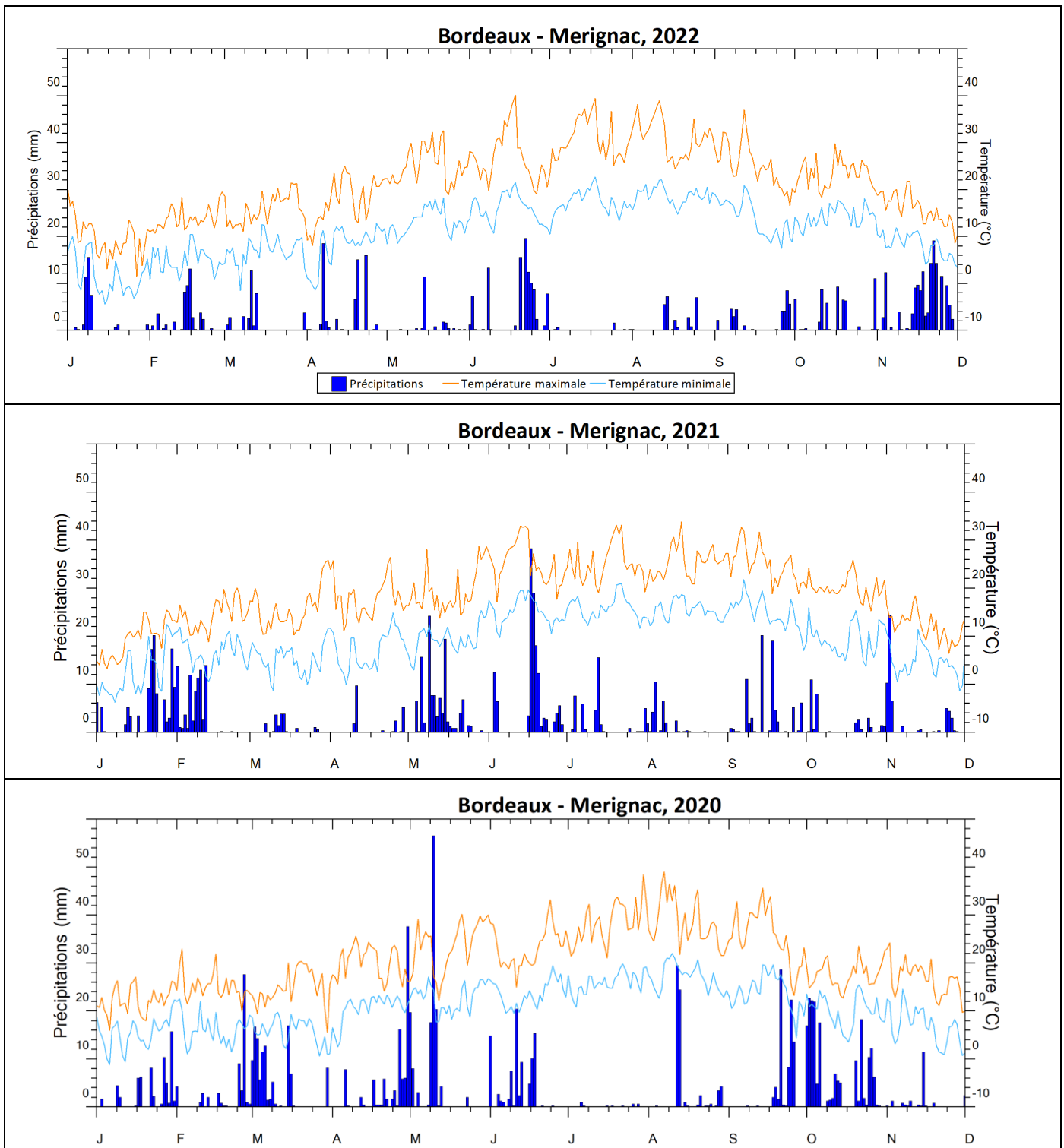


Figure 16 | Bordeaux-Mérignac, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles)

- ➔ **Précipitations**, hormis l'année 2020, présentant une pluviométrie excédentaire, les niveaux de précipitations de Bordeaux-Mérignac ont été inférieurs aux normales Météo France en 2021 et 2022. L'année 2022 présente une pluviométrie extrêmement faible (636 mm), la normale (1991-2020) est de 925 mm.
- ➔ **Températures**
  - **Minimale**, hormis l'année 2021, présentant une température minimale moyenne plus faible, les minimales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 3 autres années. L'année 2022 présente la minimale la plus élevée de ces 4 années.
  - **Maximale**, hormis l'année 2021, présentant une température maximale moyenne plus faible, les maximales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 3 autres années. L'année 2022 présente la maximale la plus élevée de ces 4 années.
  - La **température moyenne annuelle** (Moy. Ann.) la plus élevée au cours de ces 4 années est de 15,5°C (2022).
  - La **température la plus froide** (Min.) enregistrée au cours de ces 4 années est de - 4,4°C, le 15 janvier 2022.
  - La **température la plus chaude** (Max.) enregistrée au cours de ces 4 années est de 40,4°C, le 23 juillet 2019.

Les figures suivantes représentent la pluviométrie et les températures minimales et maximales journalières pour les années 2022, 2021, 2020 et 2019, enregistrées par la station Bordeaux-Mérignac.





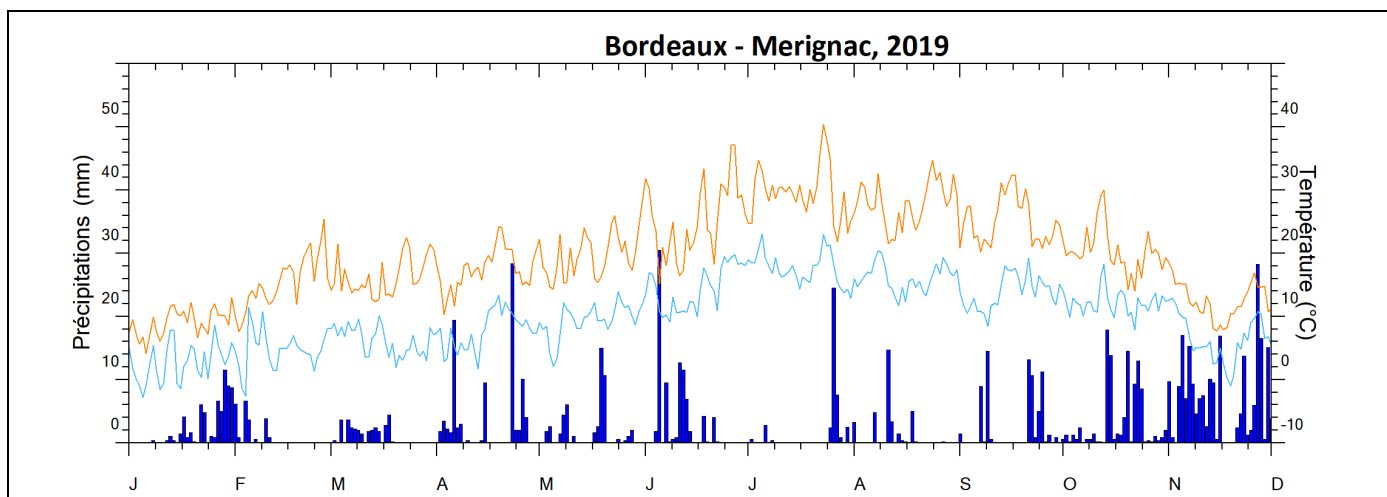


Figure 17 | Bordeaux-Mérignac, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières)

### 5.1.2. Poitiers - Biard

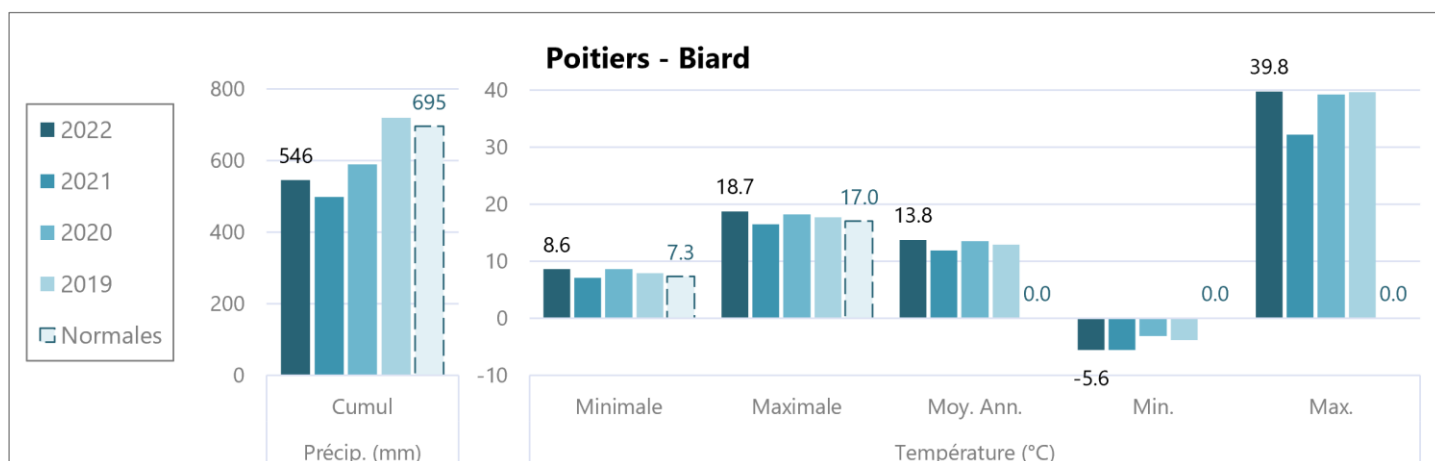


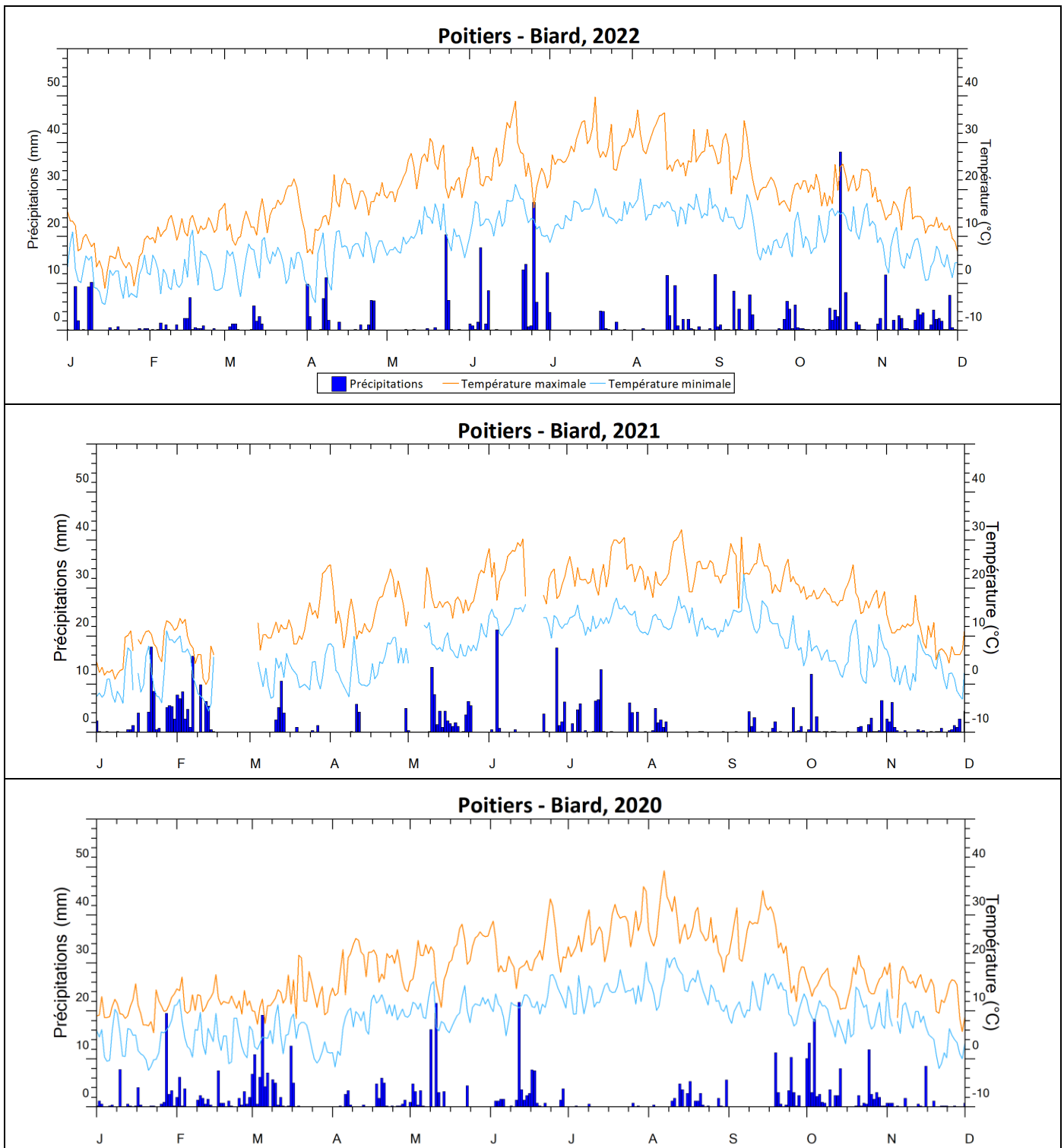
Figure 18 | Poitiers-Biard, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles)

→ **Précipitations**, hormis l'année 2019, présentant une pluviométrie excédentaire, les niveaux de précipitations de Poitiers-Biard ont été inférieurs aux normales Météo France pour les 3 autres années. L'année 2021 présente une pluviométrie extrêmement faible (498 mm), la normale (1991-2020) est de 695 mm.

→ **Températures**

- **Minimale**, hormis l'année 2021, présentant une température minimale moyenne plus faible, les minimales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 3 autres années. Les années 2020 et 2022 présentent la même minimale, 8,6°C, valeur la plus élevée de ces 4 années.
- **Maximale**, hormis l'année 2021, présentant une température maximale moyenne plus faible, les maximales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 3 autres années. L'année 2022 présente la maximale la plus élevée de ces 4 années, 18,7°C.
- La **température moyenne annuelle** (Moy. Ann.) la plus élevée au cours de ces 4 années est de 13,8°C (2022).
- La **température la plus froide** (Min.) enregistrée au cours de ces 4 années est de - 5,6°C, les 13 février 2021 et 18 décembre 2022.
- La **température la plus chaude** (Max.) enregistrée au cours de ces 4 années est de 39,8°C, le 18 juillet 2022.

Les figures suivantes représentent la pluviométrie et les températures minimales et maximales journalières pour les années 2022, 2021, 2020 et 2019, enregistrées par la station Poitiers-Biard.



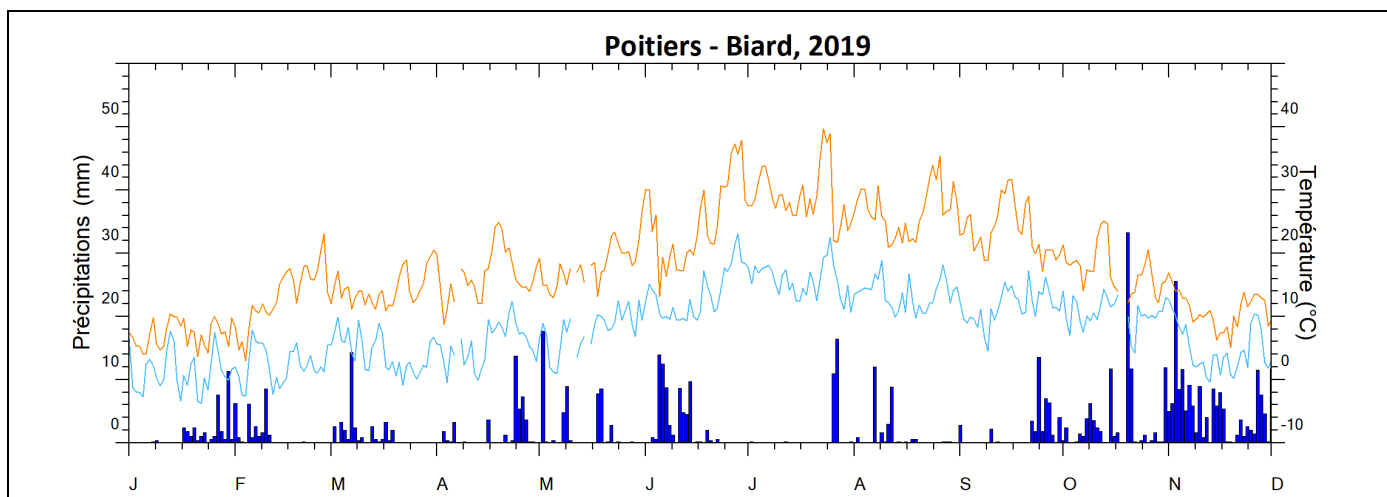


Figure 19 | Poitiers-Biard, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières)

### 5.1.3. Limoges - Bellegarde

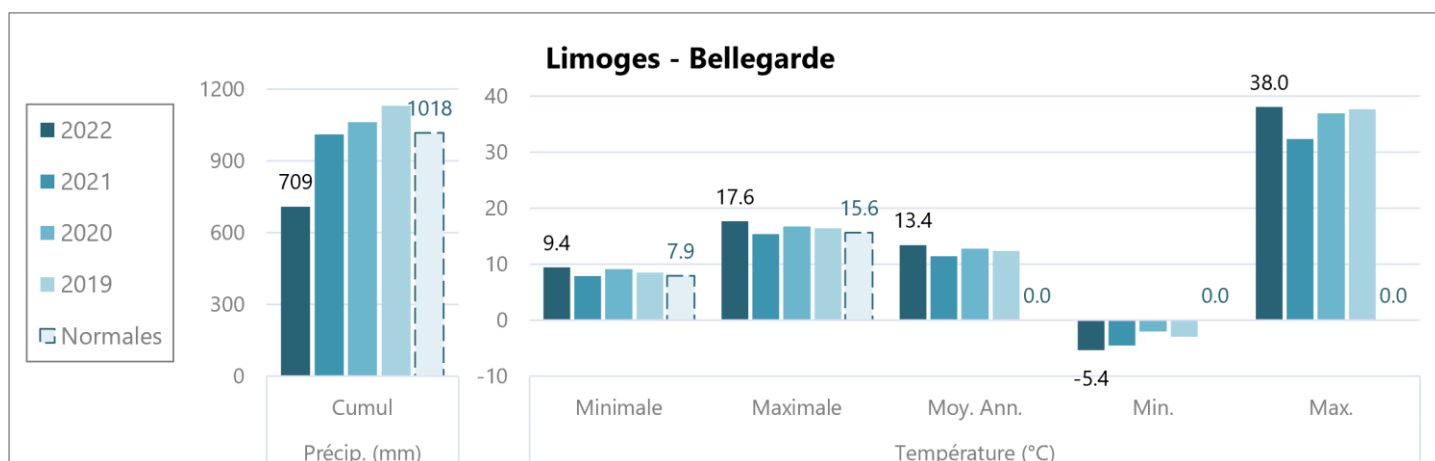


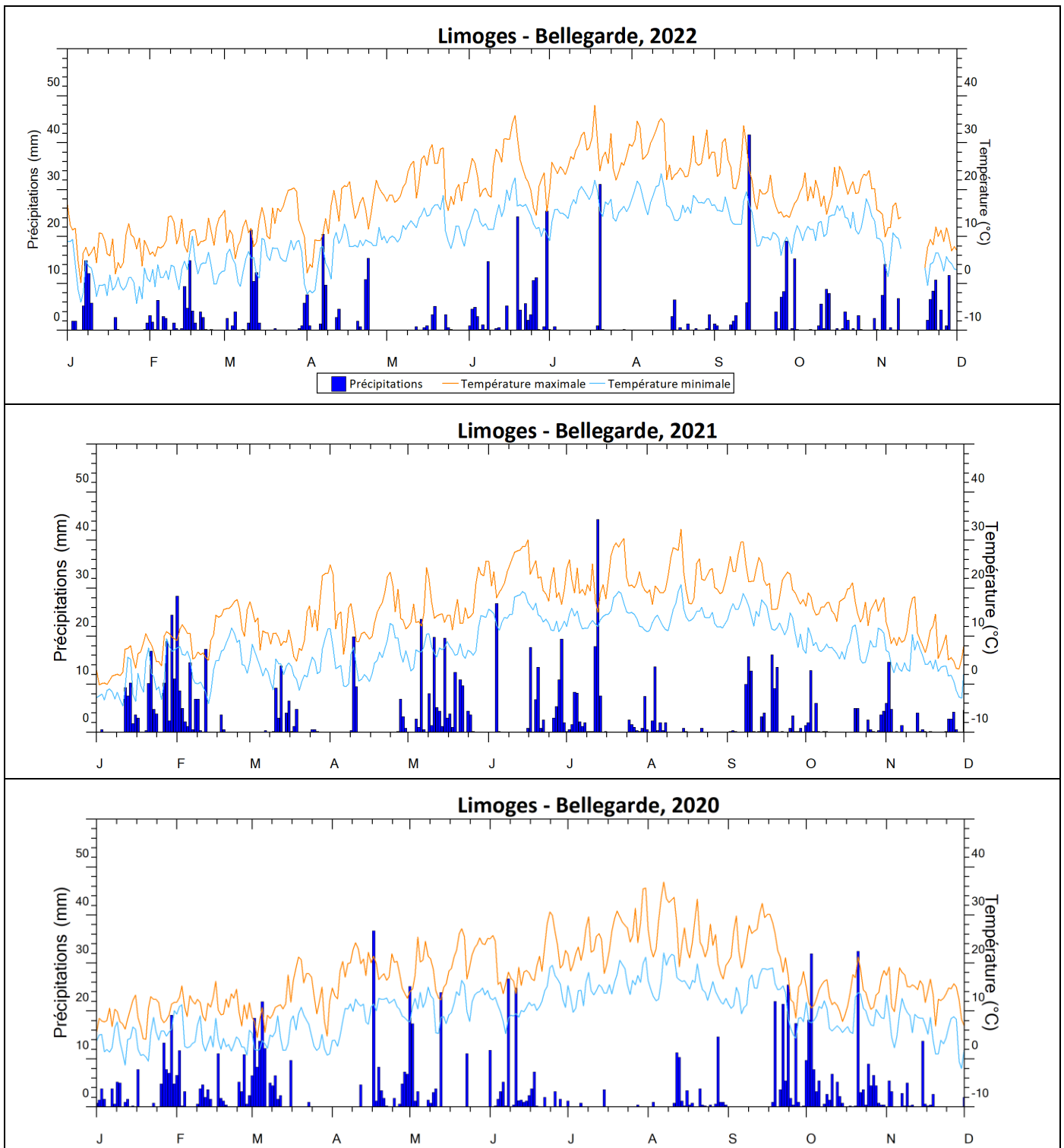
Figure 20 | Limoges-Bellegarde, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles)

➔ **Précipitations**, sur Limoges-Bellegarde, les années 2019 et 2020 présentent des pluviométries excédentaires aux normales. Quant à l'année 2022, celle-ci dévoile une pluviométrie extrêmement faible (709 mm), la normale (1991-2020) est de 1018 mm.

#### ➔ Températures

- **Minimale**, hormis l'année 2021, présentant une température minimale moyenne légèrement plus faible, les minimales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 3 autres années. L'année 2022 présente la minimale la plus élevée de ces 4 années.
- **Maximale**, hormis l'année 2021, présentant une température maximale moyenne légèrement plus faible, les maximales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 3 autres années. L'année 2022 présente la maximale la plus élevée de ces 4 années.
- La **température moyenne annuelle** (Moy. Ann.) la plus élevée au cours de ces 4 années est de 13,4°C (2022).
- La **température la plus froide** (Min.) enregistrée au cours de ces 4 années est de -5,4°C, le 11 décembre 2022.
- La **température la plus chaude** (Max.) enregistrée au cours de ces 4 années est de 38,0°C, le 18 juillet 2022.

Les figures suivantes représentent la pluviométrie et les températures minimales et maximales journalières pour les années 2022, 2021, 2020 et 2019, enregistrées par la station Limoges-Bellegarde.



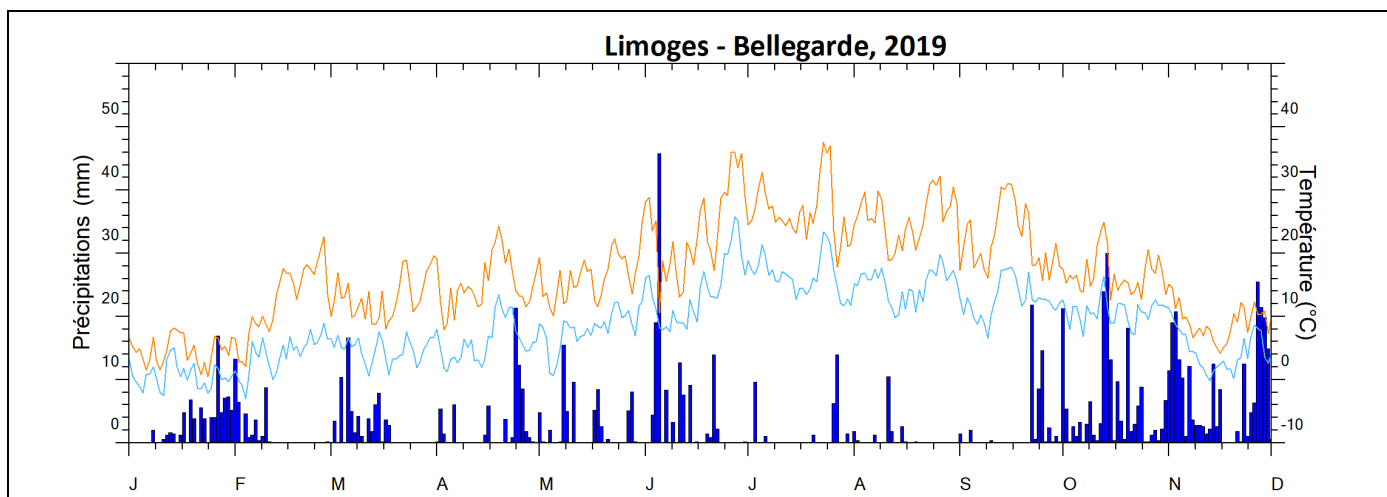


Figure 21 | Limoges-Bellegarde, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières)

### 5.1.4. Pau - Uzein

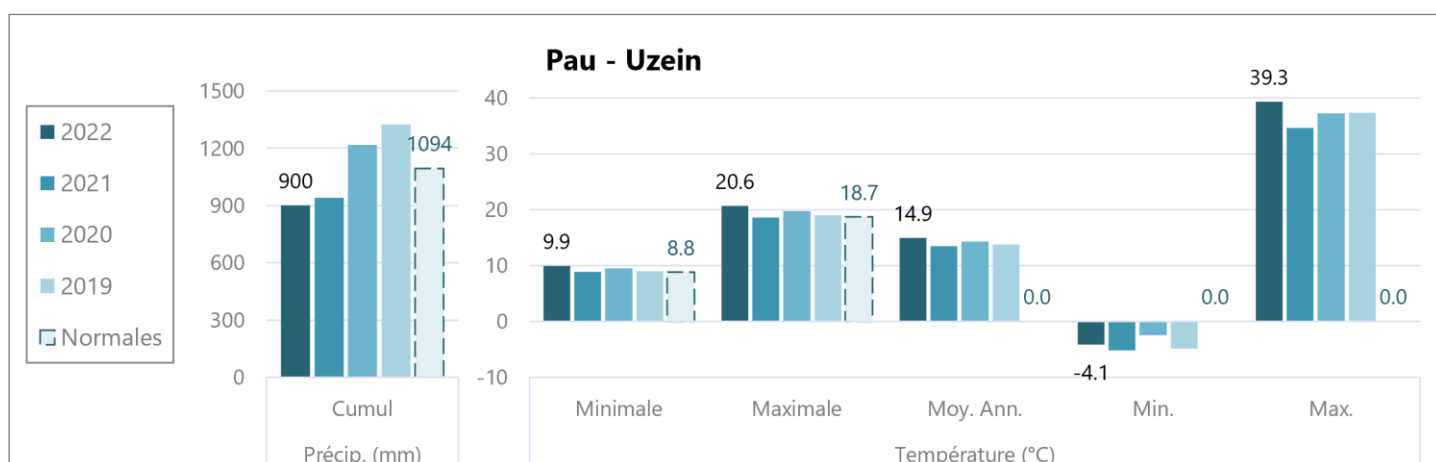


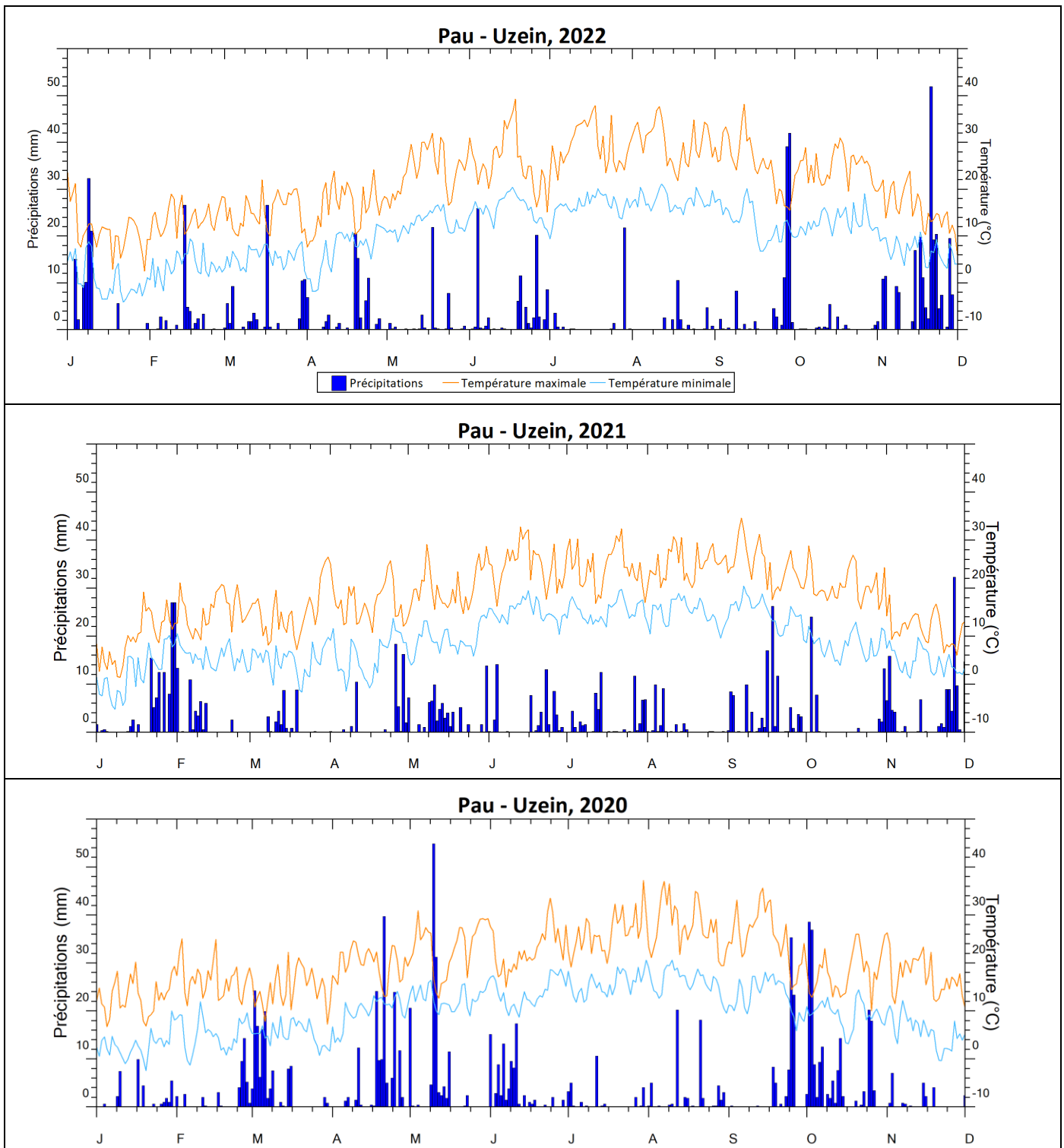
Figure 22 | Pau-Uzein, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles)

➤ **Précipitations**, sur Pau-Uzein, les années 2019 et 2020 présentent des pluviométries excédentaires aux normales. Les années 2021 et 2022 arborent des pluviométries faibles (942 et 900 mm), la normale (1991-2020) est de 1094 mm.

➤ **Températures**

- **Minimale**, les minimales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 4 années. L'année 2022 présente la minimale la plus élevée de ces 4 années.
- **Maximale**, hormis l'année 2021, présentant une température maximale moyenne légèrement plus faible, les maximales mesurées par la station ont été supérieures aux normales Météo France pour les 3 autres années. L'année 2022 présente la maximale la plus élevée de ces 4 années.
- La **température moyenne annuelle** (Moy. Ann.) la plus élevée au cours de ces 4 années est de 14,9°C (2022).
- La **température la plus froide** (Min.) enregistrée au cours de ces 4 années est de -5,2°C, le 08 janvier 2021.
- La **température la plus chaude** (Max.) enregistrée au cours de ces 4 années est de 39,3°C, le 18 juin 2022.

Les figures suivantes représentent la pluviométrie et les températures minimales et maximales journalières pour les années 2022, 2021, 2020 et 2019, enregistrées par la station Pau-Uzein.



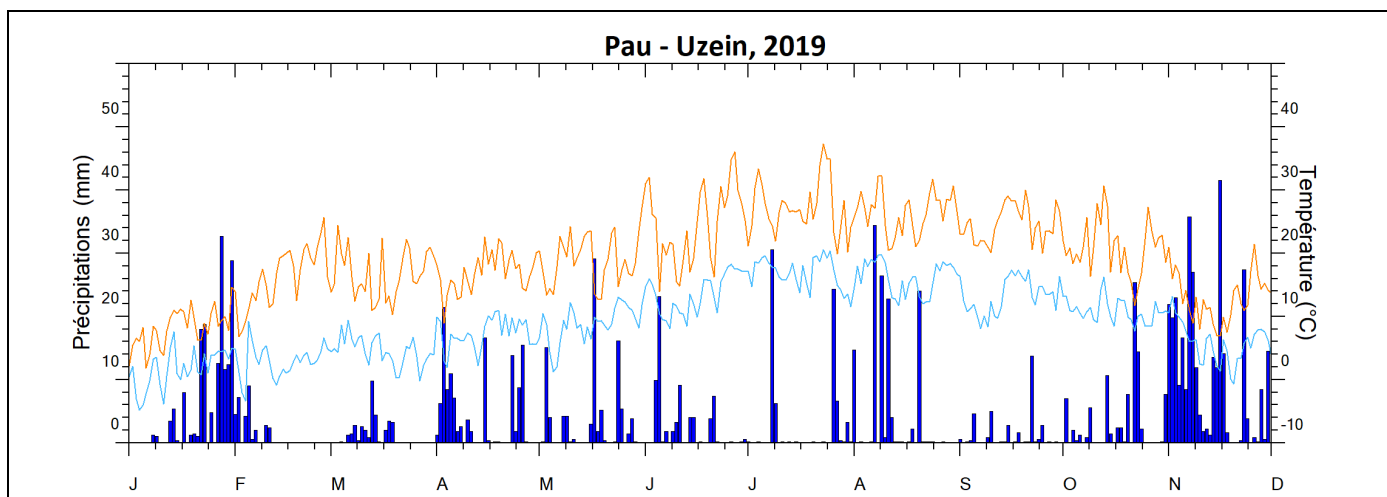


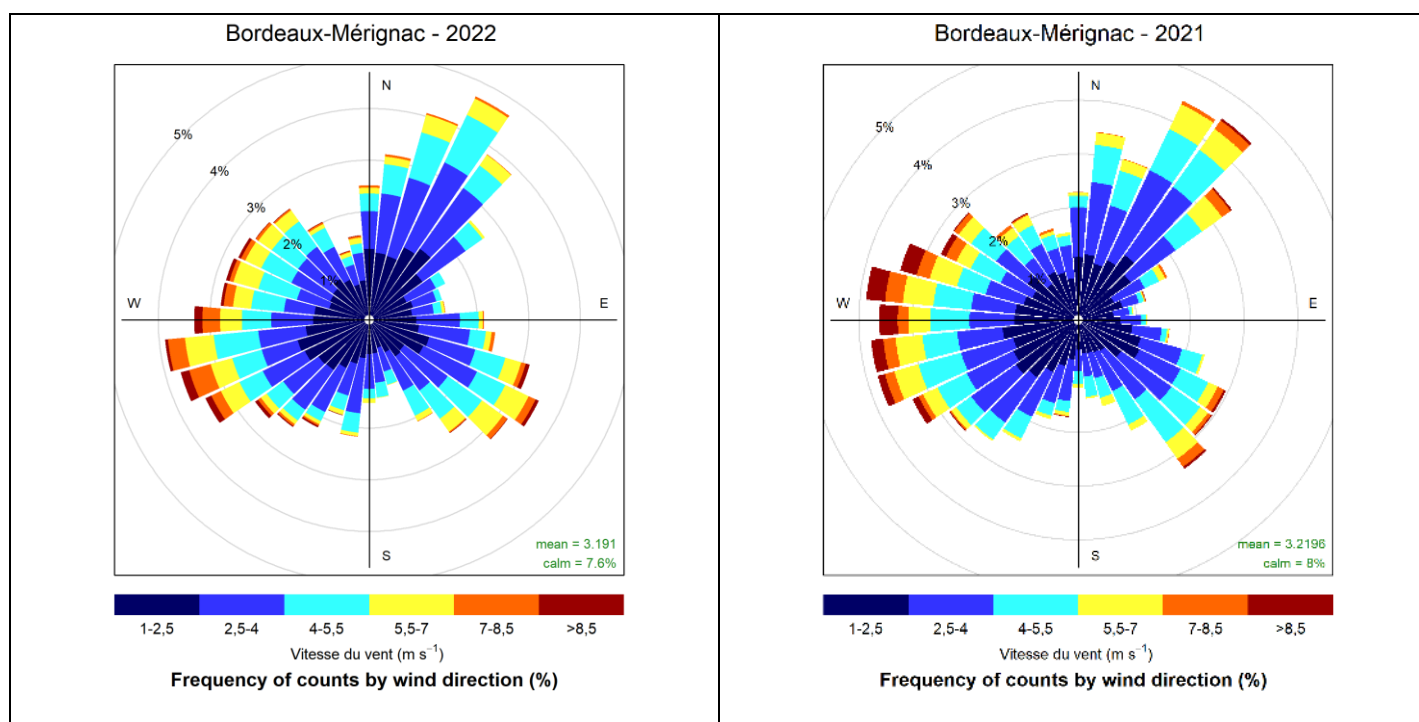
Figure 23 | Pau-Uzein, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières)

## 5.2. Roses des vents

Il s'agit d'une représentation du vent, pour un site donné pendant une période d'observation déterminée. Les roses des vents associent les directions aux vitesses de vents et informent ainsi sur la provenance des masses d'air captées à la station. Les vents calmes, dont la vitesse est inférieure à  $1 \text{ m.s}^{-1}$ , ne sont pas pris en compte. Ces vents sont trop faibles pour que leur direction soit établie. Une explication de lecture des roses des vents se trouve en annexe 3.

Les figures ci-dessous présentent les roses des vents établies pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 pour les stations Météo France de Bordeaux-Mérignac, Poitiers-Biard, Limoges-Bellegarde et Pau-Uzein. Deux échelles de temps sont présentées : les roses annuelles ainsi que les roses saisonnières.

### 5.2.1. Bordeaux - Mérignac



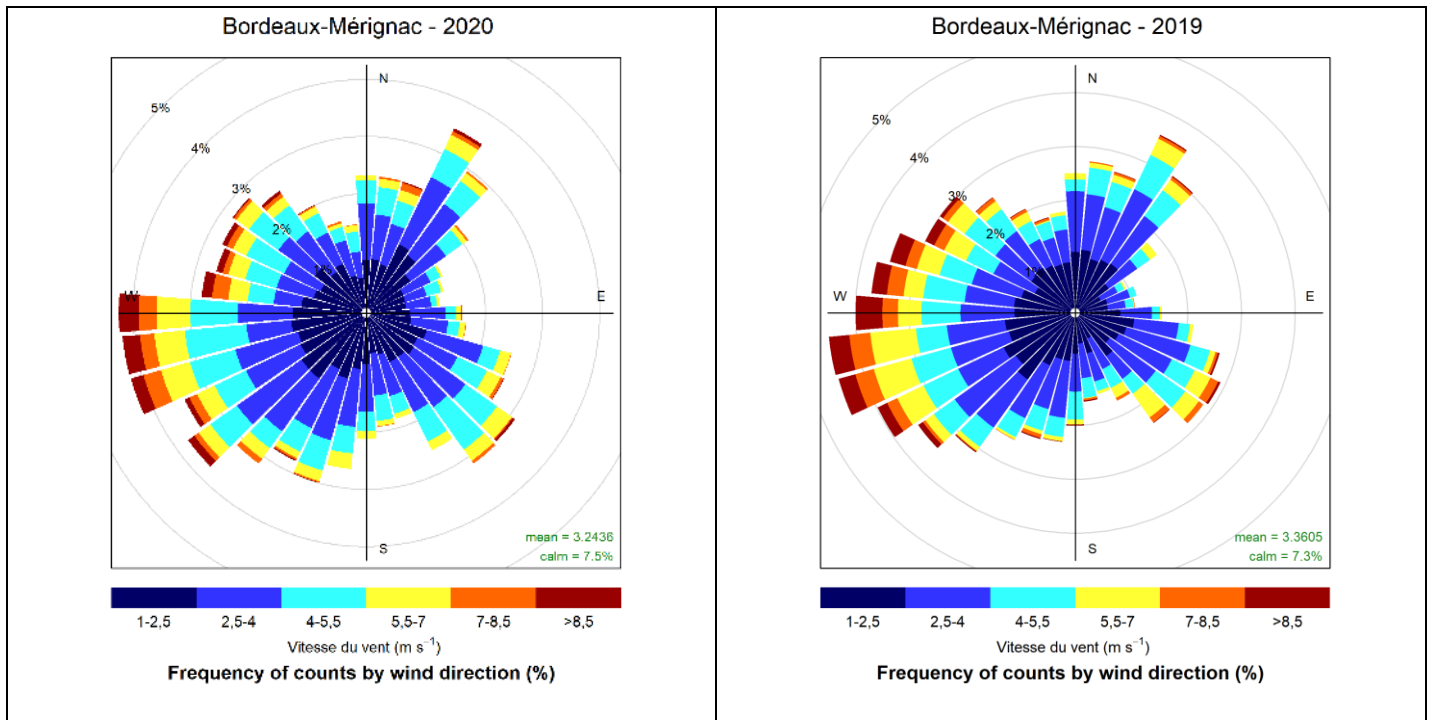
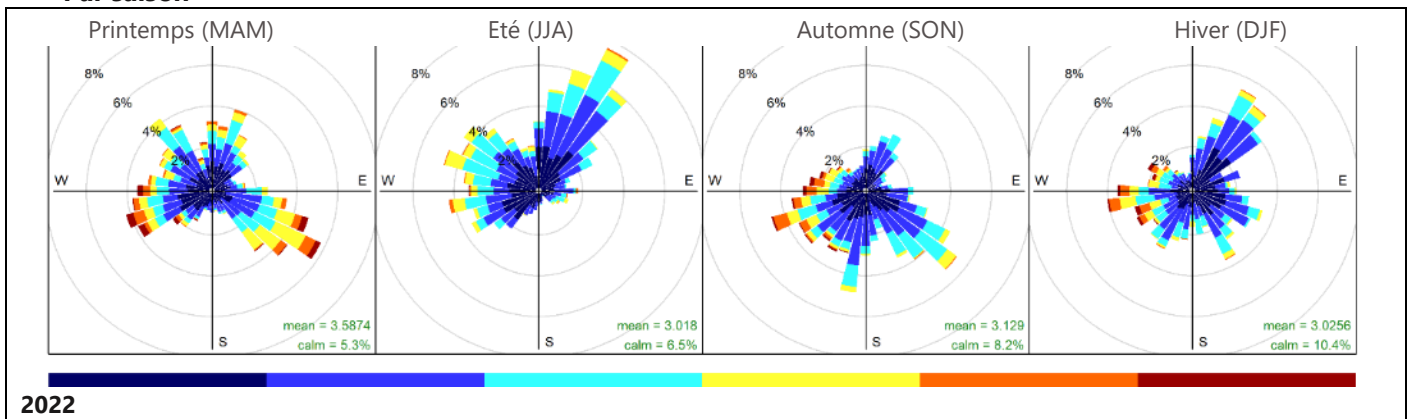


Figure 24 | Bordeaux-Mérignac, Roses des vents annuelles (données horaires)

- Roses annuelles
  - Les vents les plus forts et les plus fréquents proviennent essentiellement du secteur ouest, correspondant à la façade atlantique
- Roses saisonnières
  - A l'été et au printemps, il y a peu de vent provenant des secteurs sud.
  - Aux saisons froides, une fréquence importante de vent est originaire des secteurs sud-est.

**Par saison**





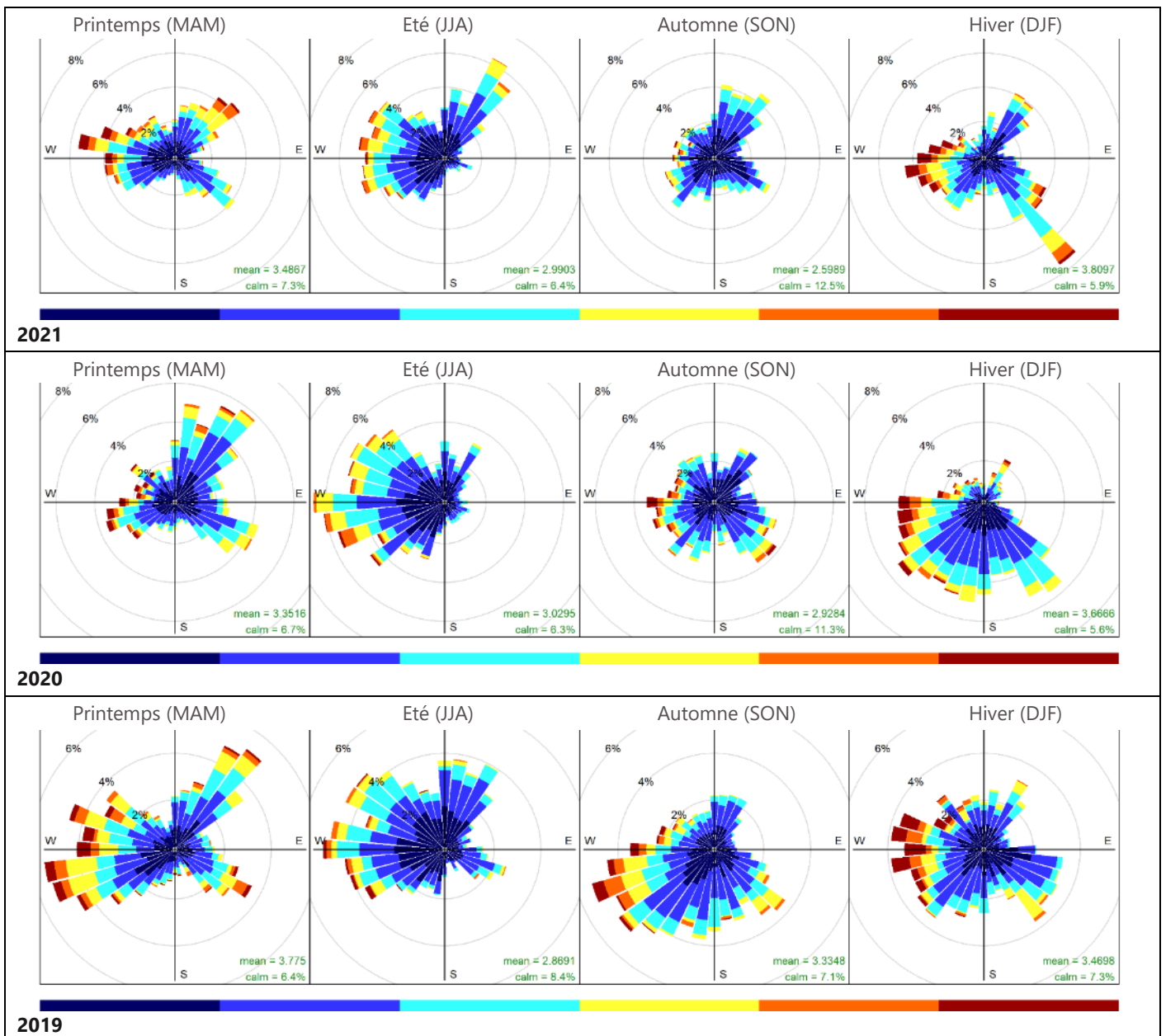


Figure 25 | Bordeaux-Mérignac, Roses des vents saisonnières (données horaires)

## 5.2.2. Poitiers - Biard

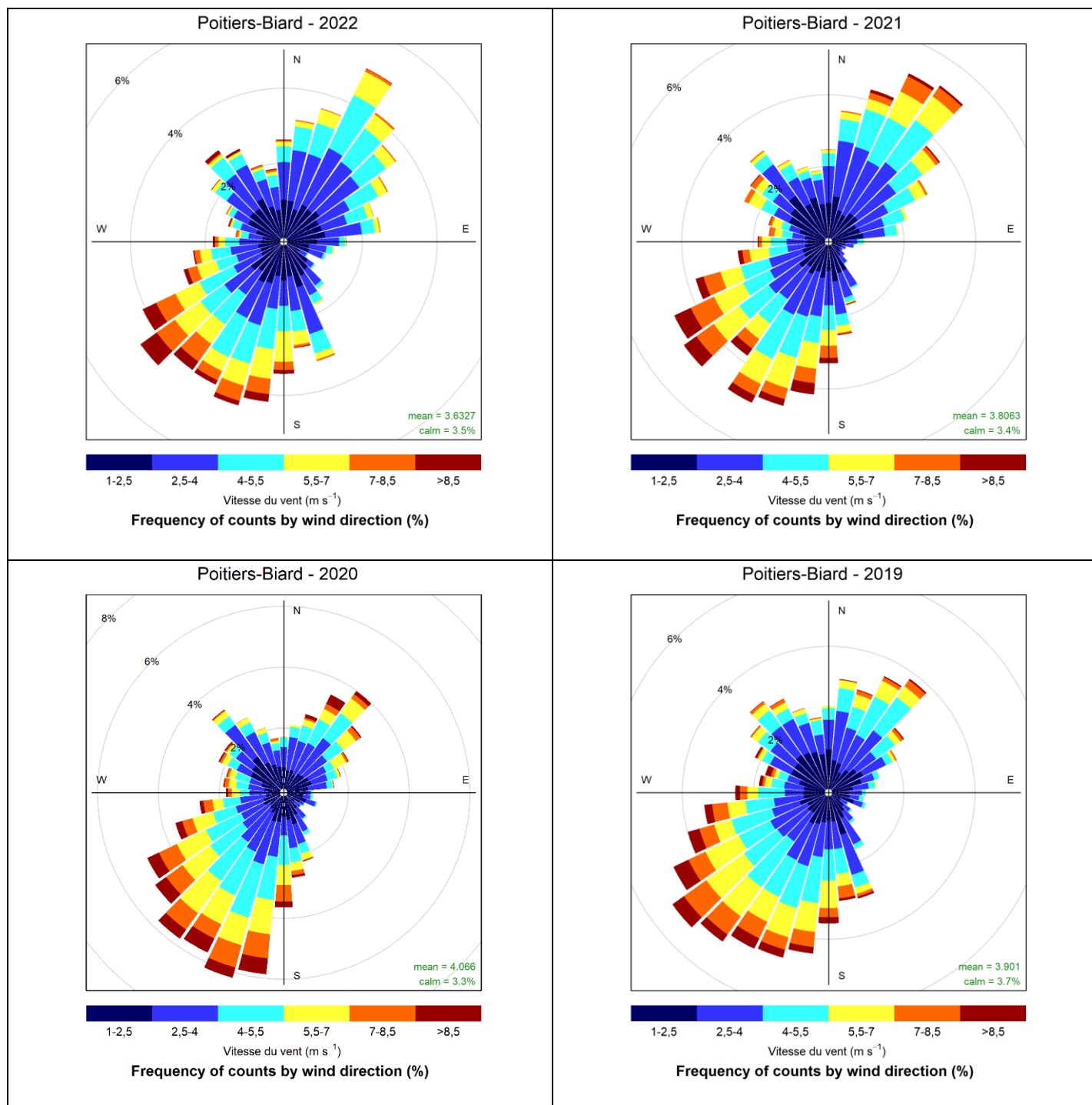


Figure 26 | Poitiers-Biard, Roses des vents annuelles (données horaires)

- Roses annuelles
  - Les vents les plus forts proviennent principalement de deux secteurs : sud-ouest et nord-est.
- Roses saisonnières
  - En automne et hiver, sont mesurés les vents les plus forts, ils sont principalement issus des secteurs sud-ouest.

**Par saison**

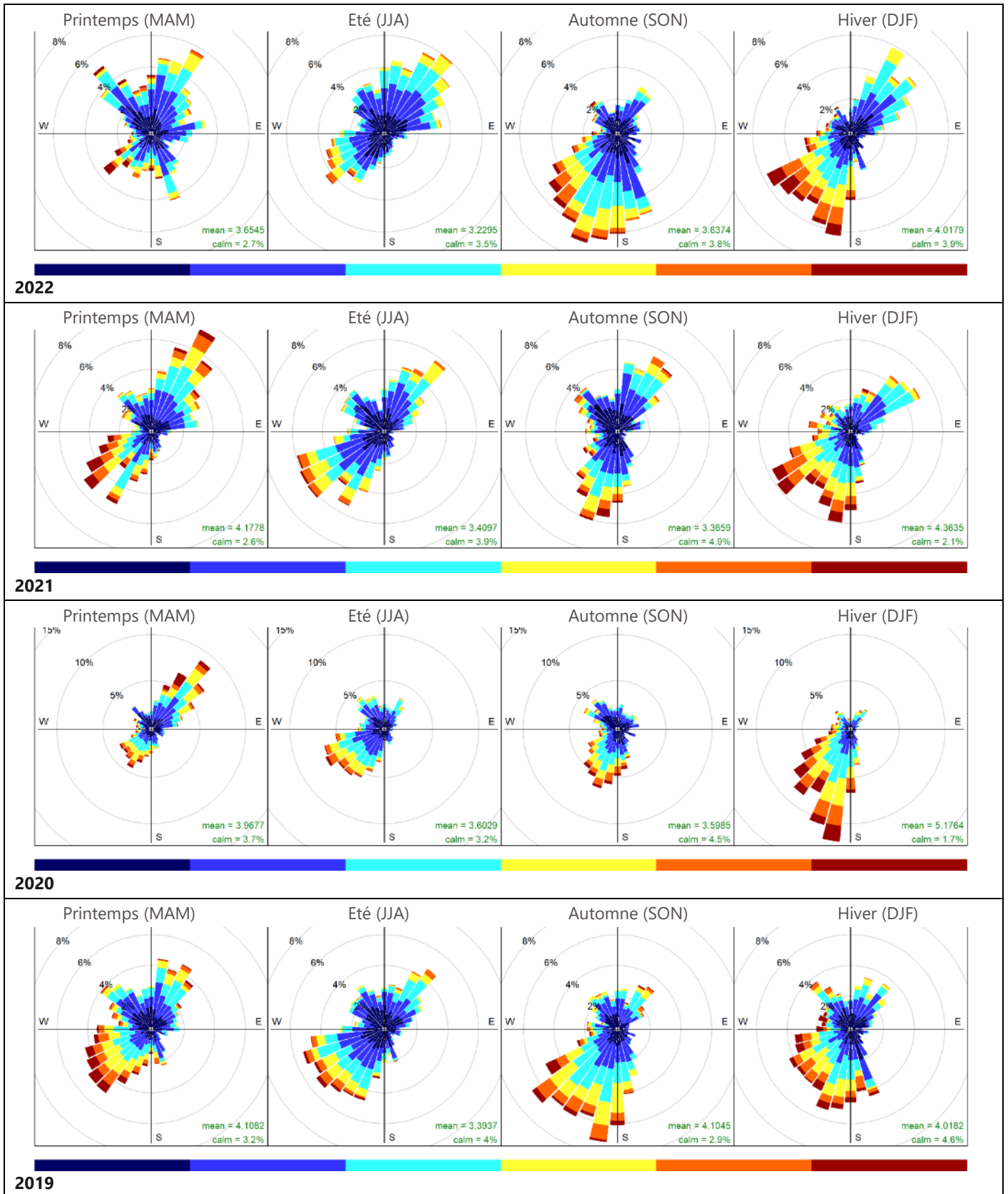


Figure 27 | Poitiers-Biard, Roses des vents saisonnières (données horaires)

### 5.2.3. Limoges - Bellegarde

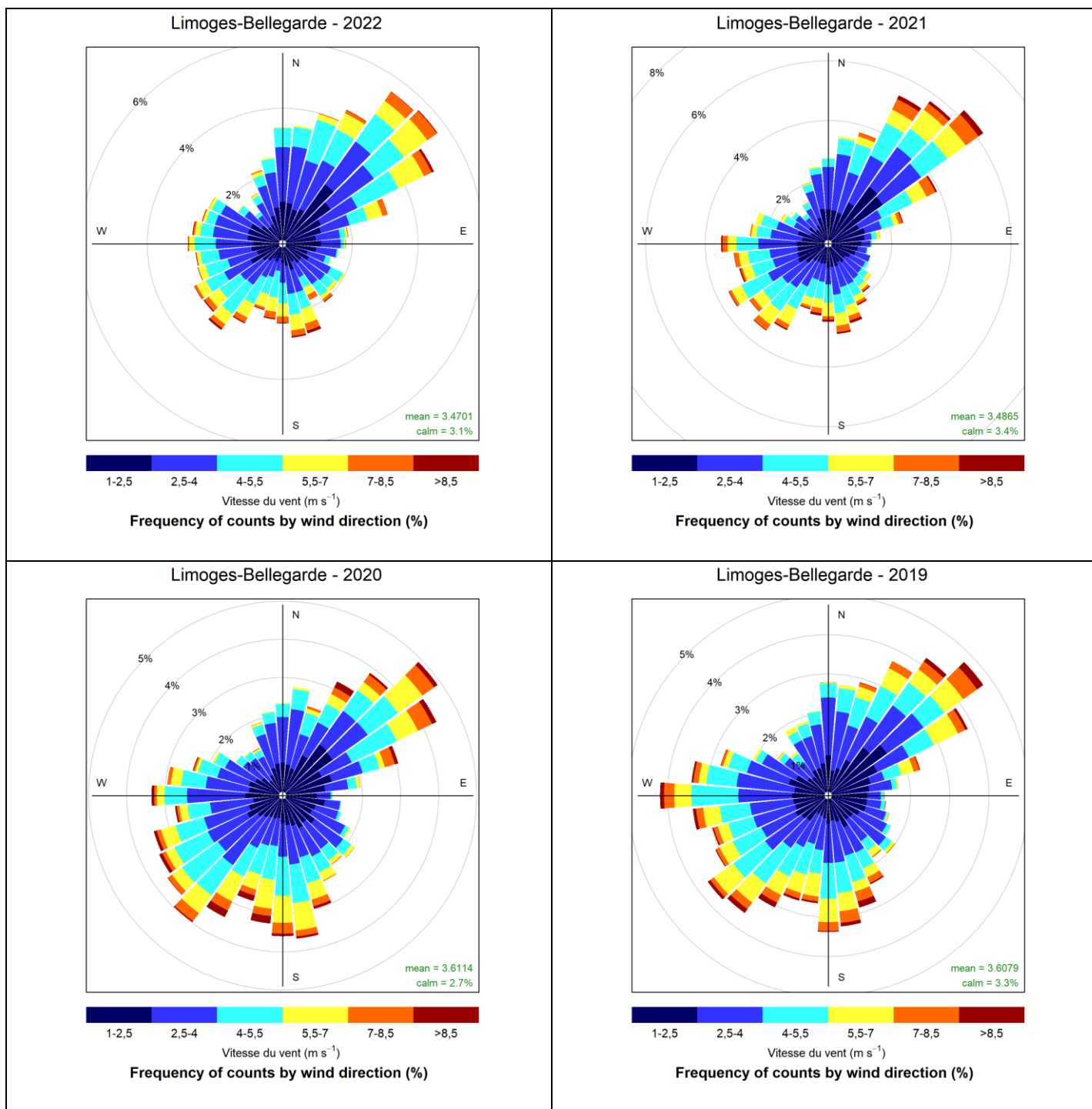


Figure 28 | Limoges-Bellegarde, Roses des vents annuelles (données horaires)

#### ➤ Roses annuelles

- Les vents proviennent principalement de deux secteurs : sud-ouest et nord-est.

**Par saison**

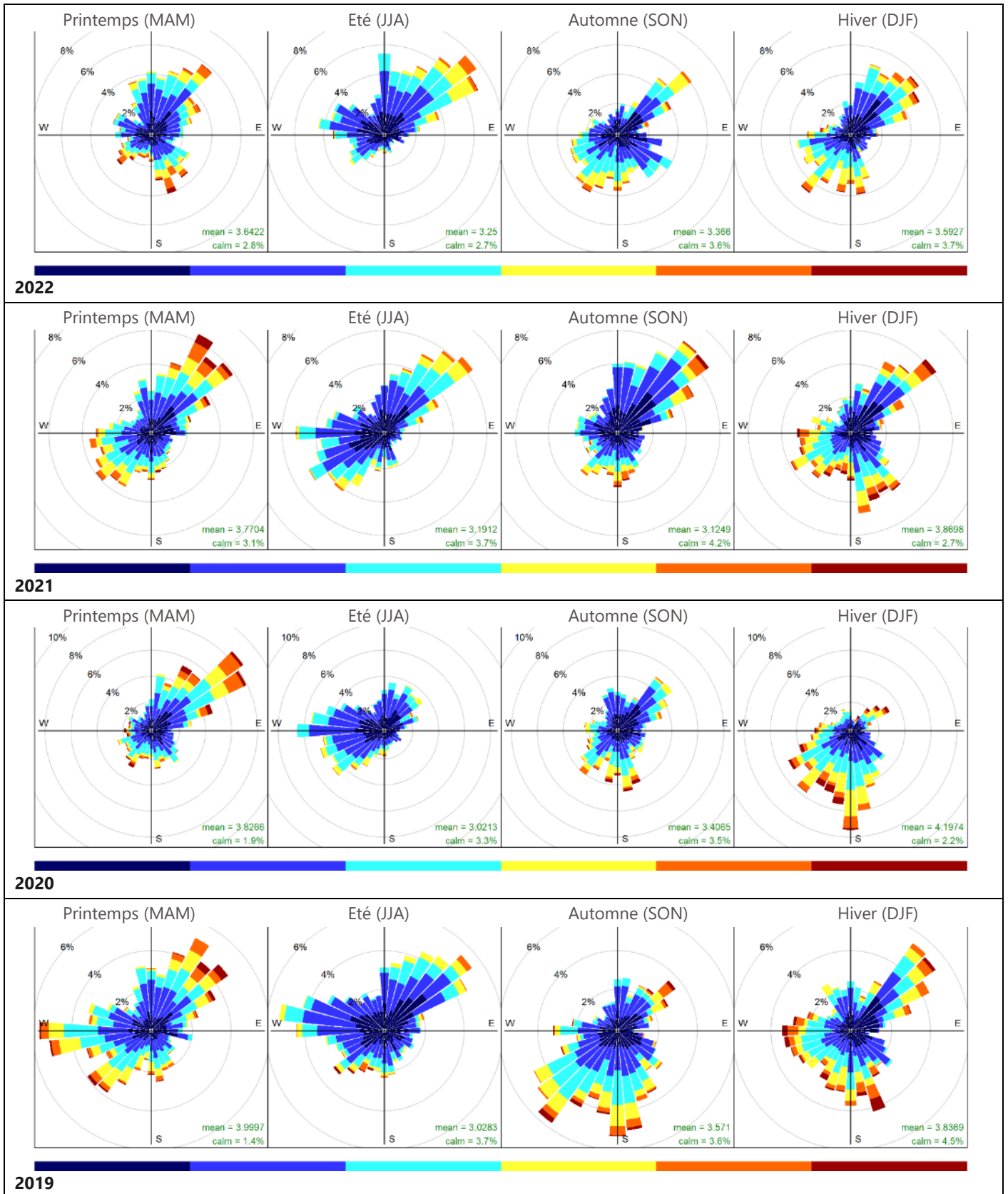


Figure 29 | Limoges-Bellegarde, Roses des vents saisonnières (données horaires)

## 5.2.4. Pau - Uzein

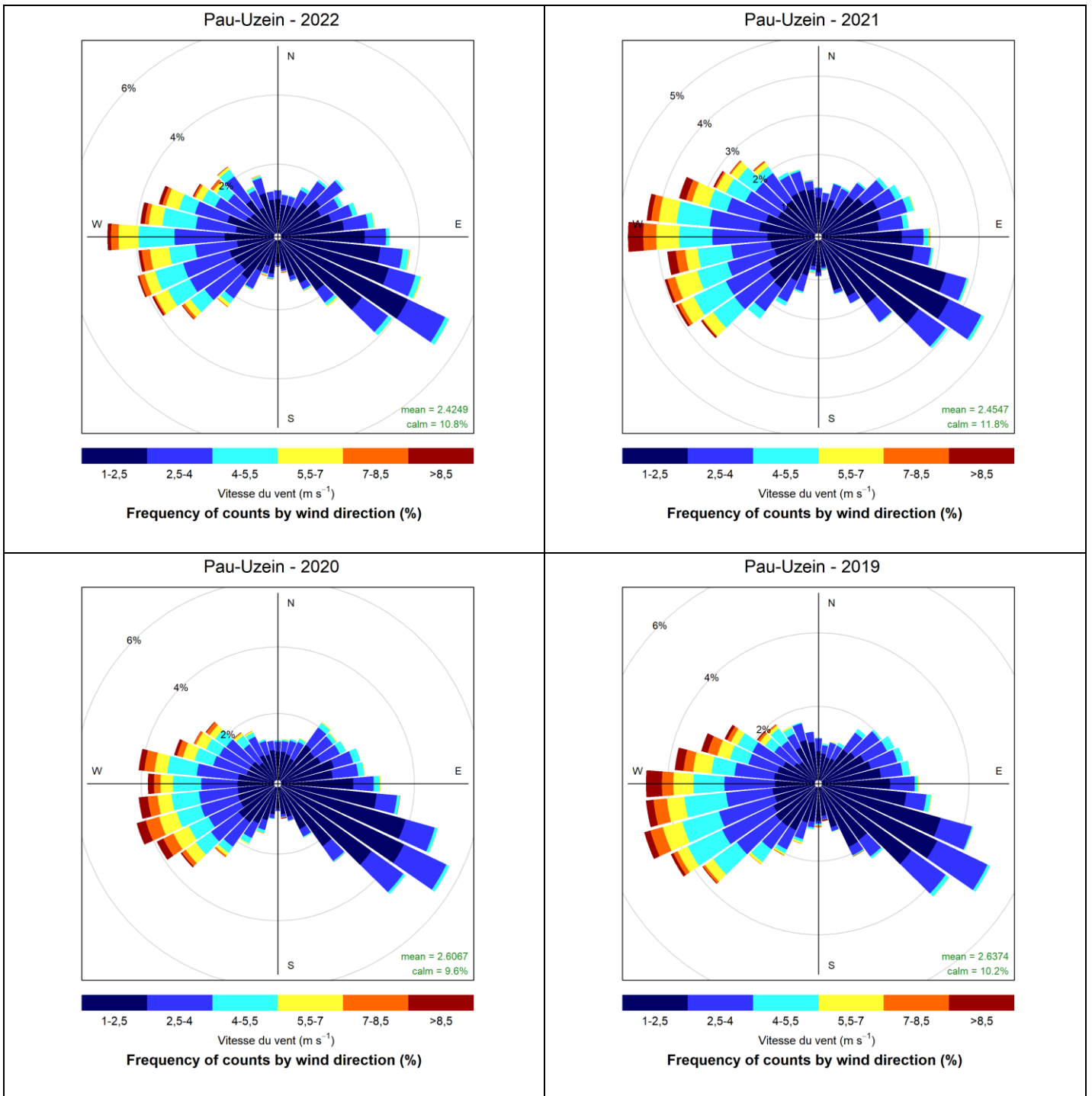


Figure 30 | Pau-Uzein, Roses des vents annuelles (données horaires)

- Roses annuelles
  - Le site de Pau présente des vents provenant majoritairement des secteurs ouest et sud-est.
- Roses saisonnières
  - Le printemps et l'hiver sont également caractérisés par des vents issus d'un secteur sud-ouest. La station de mesure est installée au nord-est de la zone d'activité de Lacq, elle se situe donc sous les vents industriels, d'autant plus au cours de ces deux saisons.

**Par saison**

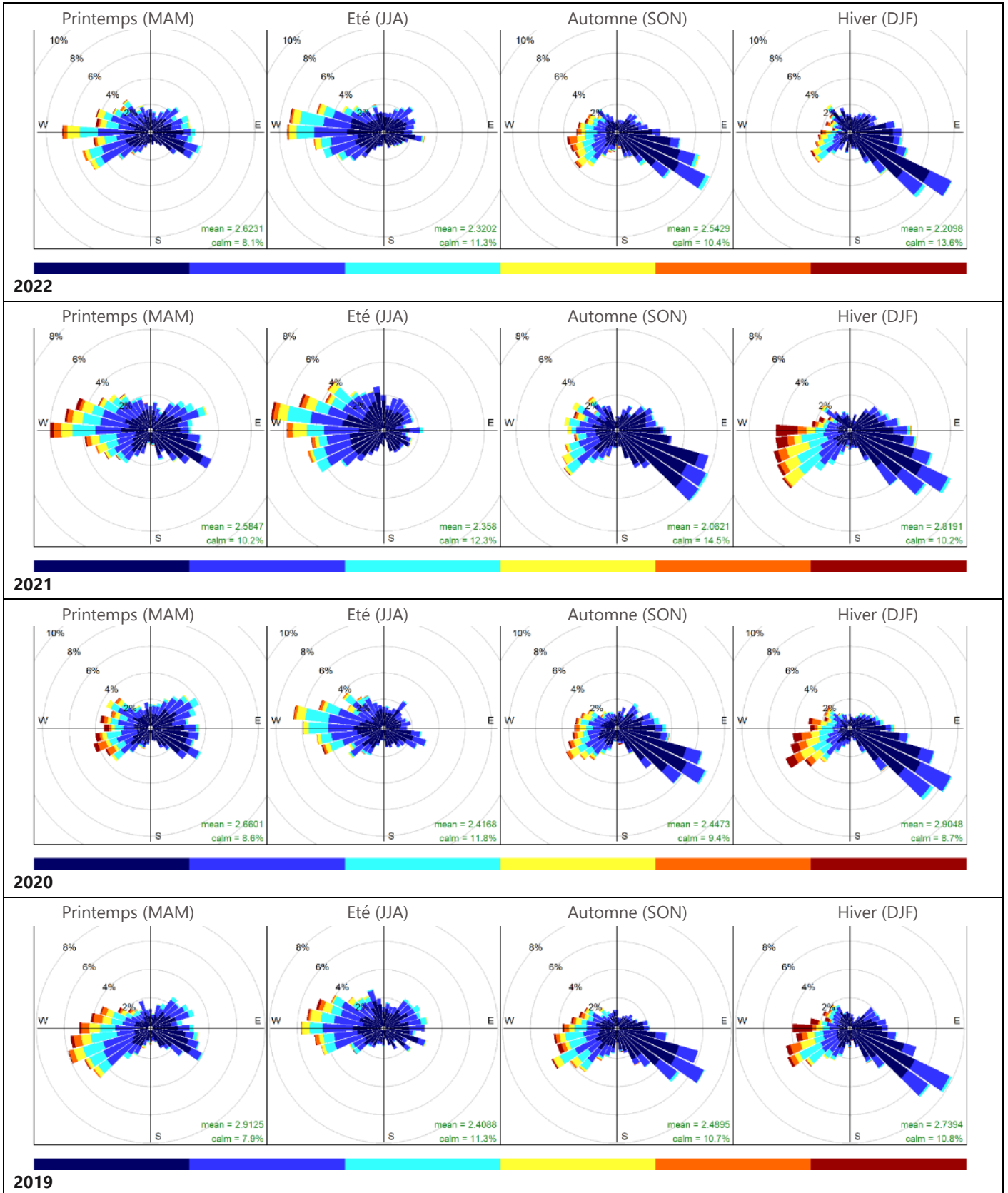


Figure 31 | Pau-Uzein, Roses des vents saisonnières (données horaires)

# 6. Résultats

## 6.1. Particules fines et ultrafines [ $D_p < 1 \mu m$ ]

Cette partie traite des mesures obtenues par les granulomètres UFP3031, installés sur les sites de Bordeaux-Talence et de Lacq. Ces appareils ont une gamme de mesure allant de 20 nm à 800 nm. Jusqu'à 100 nm (0,1  $\mu m$ ), on parle de particules ultrafines ; jusqu'à 2,5  $\mu m$ , on parle de particules fines.

### 6.1.1. Statistiques descriptives

Le diagramme en boîte, ou « boxplot » en anglais, est la représentation statistique d'une série de données. Cet outil graphique permet la représentation des informations de dispersion de la série de données étudiée : moyenne, médiane, valeurs extrêmes, premiers et troisièmes quartiles. L'explication de la lecture de ces diagrammes se trouve en annexe 4.

#### Bordeaux-Talence

Les diagrammes ci-dessous présentent le nombre de particules par  $cm^3$  observé à Bordeaux-Talence au cours des années 2019, 2020 et 2021, à l'échelle horaire et journalière. En raison du faible taux de fonctionnement de l'appareil (15 %), les résultats de l'année 2022 ne sont pas présentés, car ceux-ci sont jugés non représentatifs de l'année écoulée.





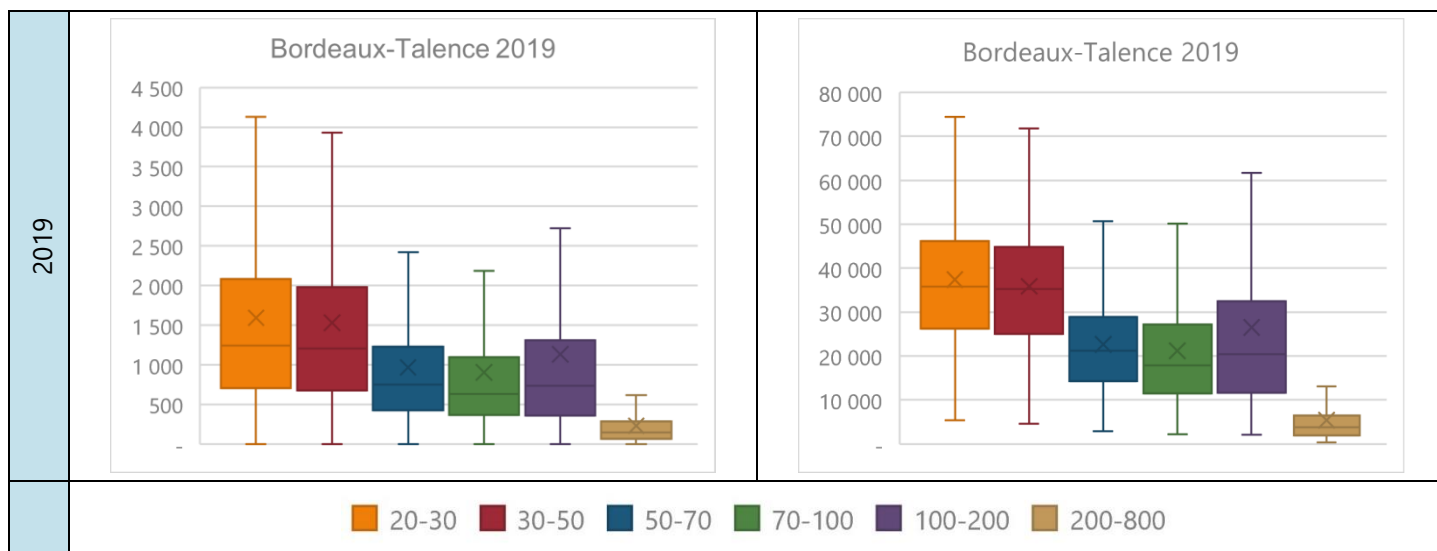
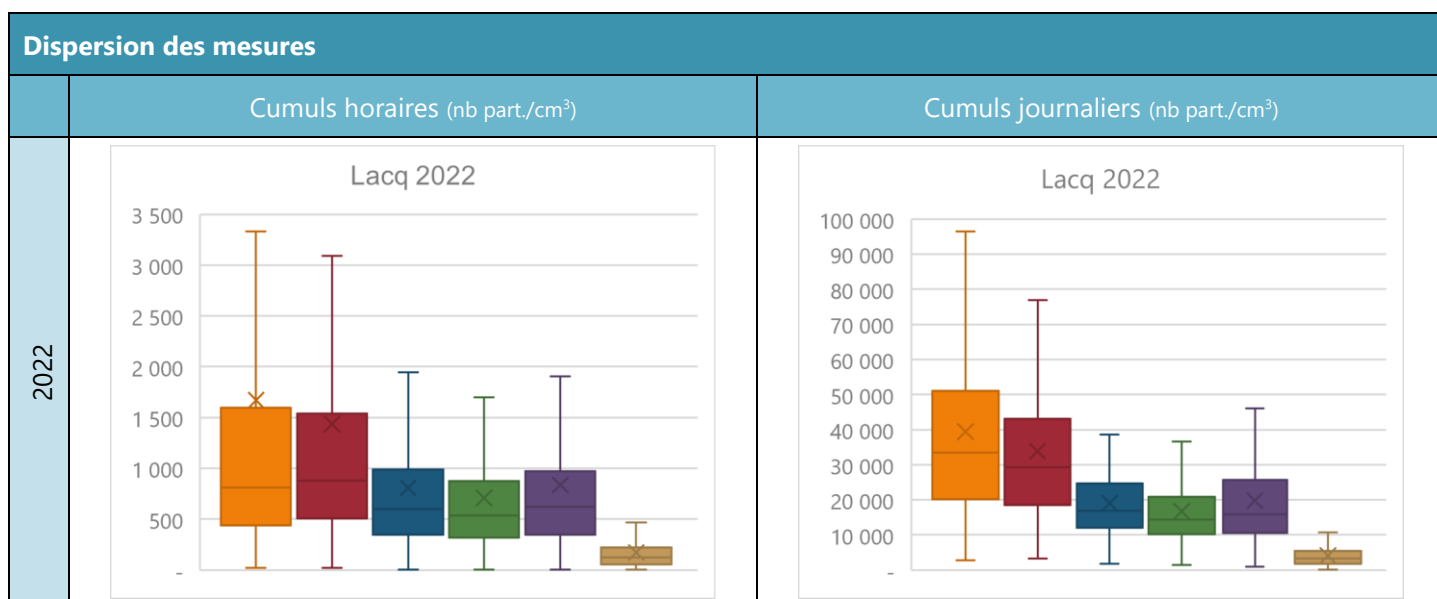


Figure 32 | Bordeaux-Talence, Dispersion des mesures

- La valeur médiane des particules totales, 6 classes réunies, sur ces 3 années est d'environ de 4 570 part./cm<sup>3</sup> en cumuls horaires et 123 000 part./cm<sup>3</sup> en cumuls journaliers. Le maxima atteint est de plus de 52 000 part./cm<sup>3</sup> (2021) en valeur horaire, et de plus de 490 000 part./cm<sup>3</sup> en valeur journalière (2020).
- Classes 20-50 nm
  - Sur Bordeaux-Talence, ces 2 classes présentent des dispersions et des niveaux similaires. Leur dispersion est plus grande que celle des autres classes de particules (ligne verticale plus longue). Ces 2 classes ont une plus grande variabilité de valeurs et présentent des maxima plus importants.
  - Les valeurs moyennes (représentées par la « croix ») et les valeurs médianes (ligne horizontale centrale de la boîte) sont plus élevées que pour les autres classes de particules.
- Classe 100-200 nm
  - Cette classe présente la dispersion la plus faible des 6 classes (ligne verticale plus courte).
  - Les valeurs moyennes (représentées par la « croix ») et les valeurs médianes (ligne horizontale centrale de la boîte) sont plus faibles que pour les autres classes de particules.

### Lacq

Les diagrammes ci-dessous présentent le nombre de particules par cm<sup>3</sup> observé à Lacq au cours des années 2019, 2020, 2021 et 2022 à l'échelle horaire et journalière, par l'appareil UFP3031.



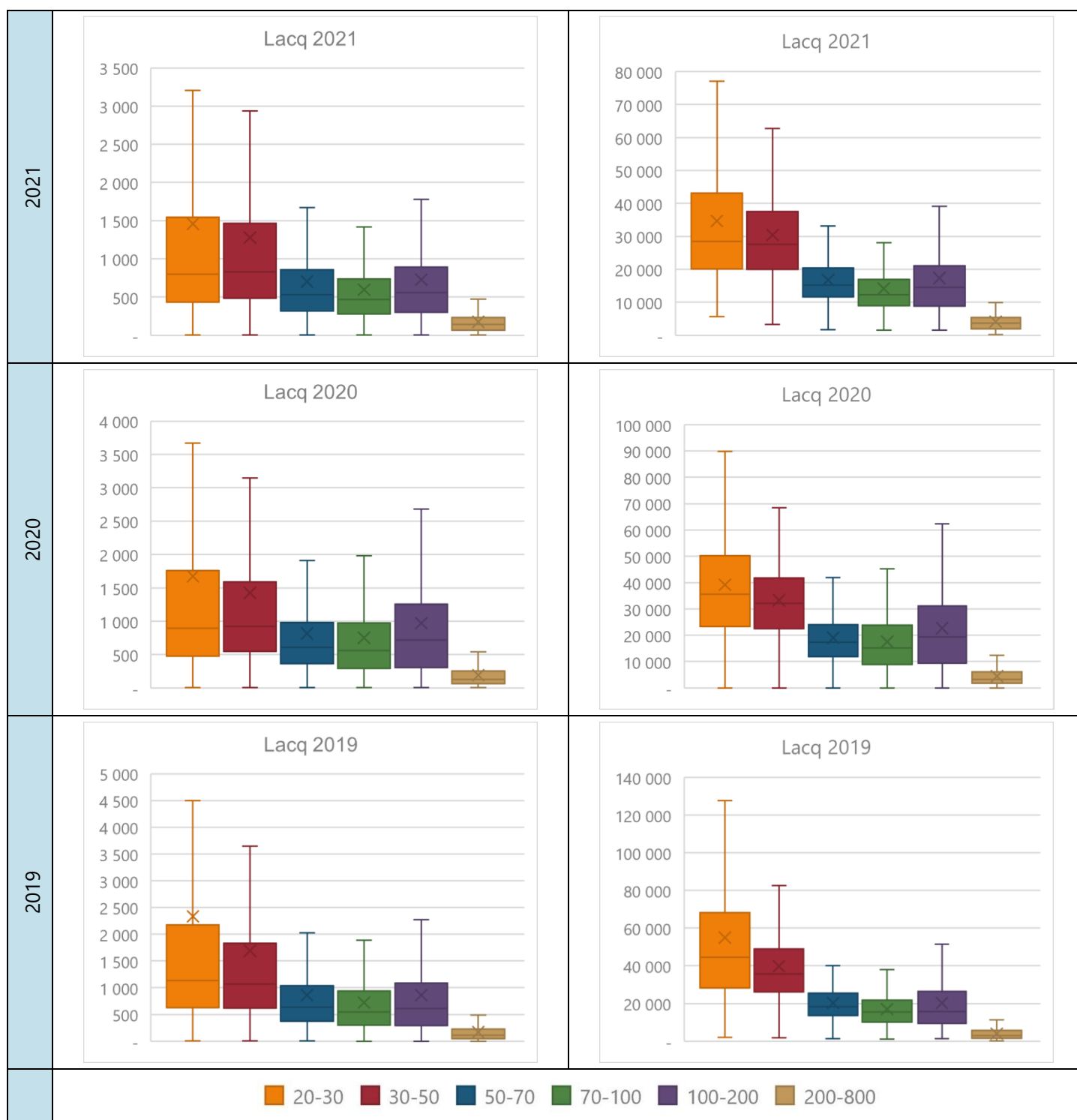


Figure 33 | Lacq, Dispersion des mesures

- La valeur médiane des particules totales, 6 classes réunies, sur ces 4 années est d'environ de 4 100 part./cm<sup>3</sup> en cumuls horaires et près de 126 000 part./cm<sup>3</sup> en cumuls journaliers. Le maxima atteint est de plus de 195 000 part./cm<sup>3</sup> (2019) en valeur horaire, et de plus de 607 000 en valeur journalière (2022).
- Classes 20-50 nm
  - Contrairement à Bordeaux-Talence, ces 2 classes ne présentent plus de dispersions et niveaux similaires. La classe 20-30 nm affiche la plus grande dispersion (ligne verticale plus longue) et les niveaux les plus importants. Cette classe a la plus grande variabilité de valeurs et présente les maxima les plus importants.

- Les valeurs moyennes (représentées par la « croix ») et les valeurs médianes (ligne centrale de la boîte) sont plus élevées que pour les autres classes de particules.

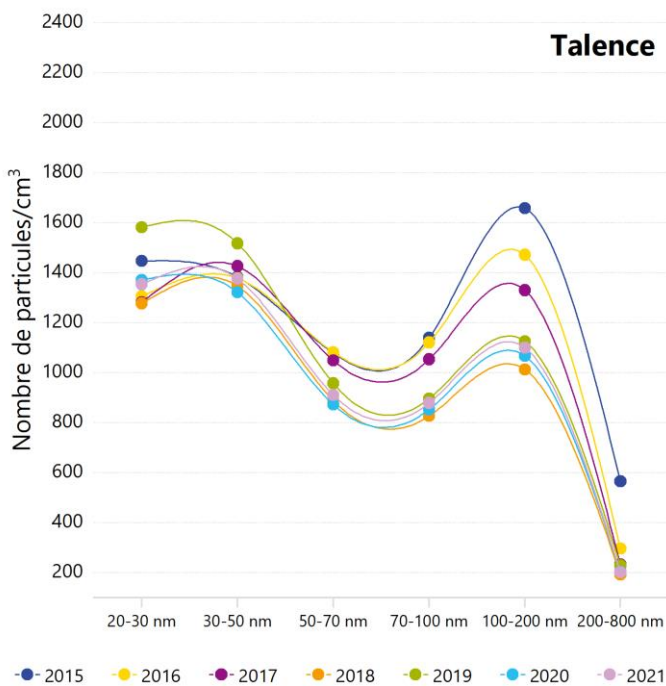
→ Classe 100-200 nm

- Cette classe présente la dispersion la plus faible des 6 classes (ligne verticale courte).
- Les valeurs moyennes (représentées par la « croix ») et les valeurs médianes (ligne horizontale centrale de la boîte) sont plus faibles que pour les autres classes de particules.

## 6.1.2. Evolution annuelle

### Bordeaux-Talence

Le graphique suivant présente les distributions moyennes horaires, par classe de particules pour le site de Bordeaux-Talence depuis le début des mesures.



→ Le site de Bordeaux-Talence présente le profil d'un site de fond urbain avec deux sources prédominantes :

- Le trafic routier : particules de diamètre aérodynamique inférieur à 50 nm. En effet, la majorité des particules provenant de l'échappement d'un véhicule se situe dans la gamme de 20 à 130 nm pour les moteurs diesel et de 20 à 60 nm pour les moteurs à essence (Morawska et al., 1998; Ristovski et al., 1998).
- La combustion de la biomasse : particules de diamètre compris entre 100 et 200 nm.

→ Sur le site de Bordeaux-Talence, le nombre de particules diminue régulièrement depuis le début des mesures en 2015, notamment pour les particules de diamètre supérieur à 50 nm, dont les sources sont autres que le trafic routier, voire principalement la combustion de biomasse.

Figure 34 | Bordeaux-Talence, Distribution moyenne par taille de PUF (données horaires)

En 2022, du fait de travaux à proximité de la station de Bordeaux-Talence, le compteur de particules n'a fonctionné que 2 mois. C'est pourquoi, les résultats 2022 ne sont pas présentés ici, car ils sont jugés non représentatifs de l'année.

## Lacq

Sont illustrées par le graphique suivant, les distributions moyennes horaires par classe de particules ultrafines. Le site de proximité industriel du bassin de Lacq où les PUF sont surveillées a changé en 2016, ainsi les mesures sur des deux sites du bassin de Lacq sont représentées.

- Comme pour Bordeaux-Talence, on retrouve deux modes principaux chez les ultrafines :
  - Les particules très fines, qui concerne l'ensemble des particules de diamètre inférieur à 50 nm (soit les classes 20-30 et 30-50 nm)
  - La classe 100-200 nm

Toutefois, ici, le nombre de particules de la classe 20-50 nm est supérieur à celui de la classe 100-200 nm. Alors que sur le site de Talence, le nombre de particules des 20-50 et 100-200 nm sont assez proches (respectivement 1 400 part./cm<sup>3</sup> et 1 100 part./cm<sup>3</sup> en moyenne horaire) ; sur le bassin de Lacq, la classe 100-200 nm est moitié plus faible (800 part./cm<sup>3</sup>) contre 1 600 part./cm<sup>3</sup> pour les classes 20-50 nm.

- Pour les particules des classes 20-30 et 30-50 nm, les niveaux moyens horaires sont plus élevés que ceux mesurés sur Bordeaux-Talence. Le nombre important de particules de diamètre inférieur à 50 nm sur le site de Lacq pourrait être lié à la formation d'aérosol secondaire tels que les sulfates, formés à partir du SO<sub>2</sub>, traceur des activités de la plateforme industrielle.

En effet, les particules secondaires sont issues principalement des processus de nucléation homogène et sont constituées de sulfates, de nitrates et de composés organiques. Elles se retrouvent principalement dans le mode de nucléation (particules de diamètre < 20 nm) (Seinfeld and Pandis, 2006). Il est possible que de telles particules soient mesurées dans les classes les plus fines de l'UFP 3031.

- Pour les particules supérieures à 100 nm de diamètre, une diminution du nombre moyen est observée depuis 2016, à l'exception des années 2020 et 2022.

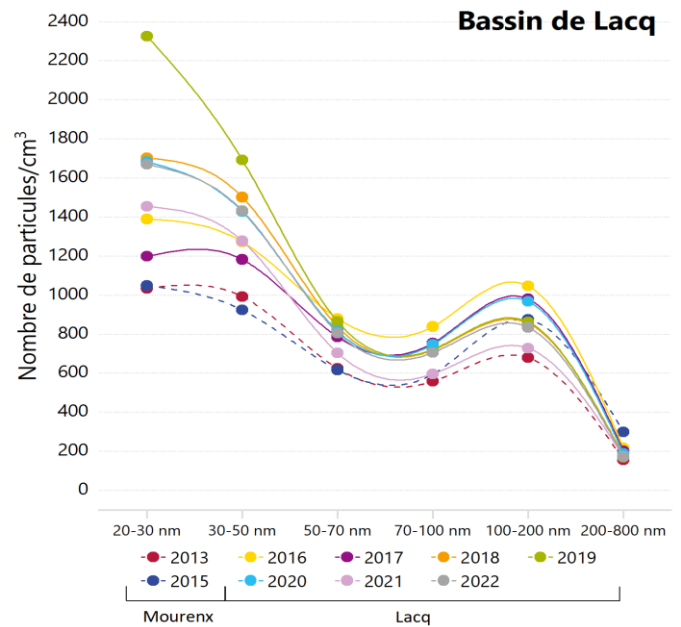
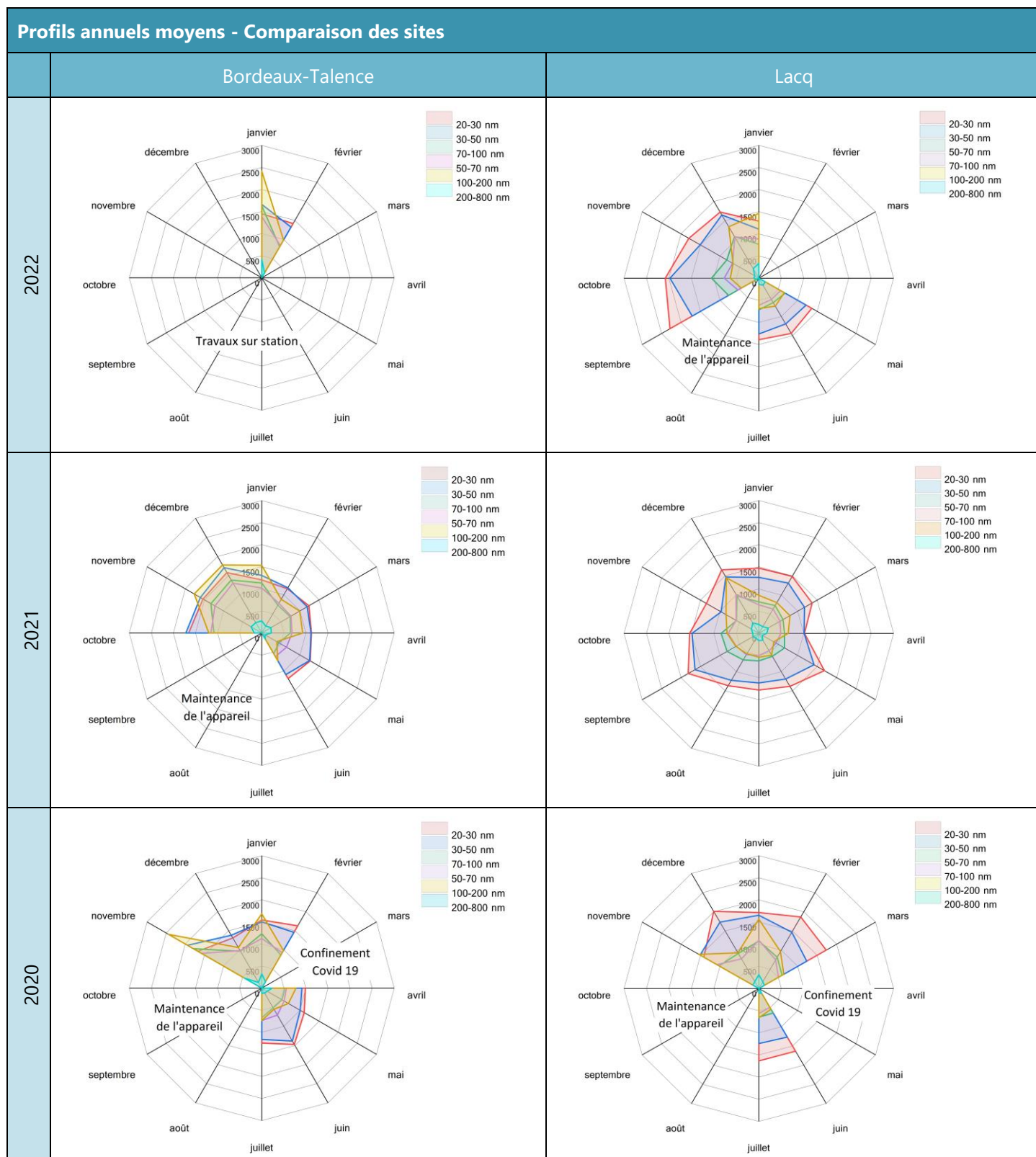


Figure 35 | Pau-Uzein, Distribution moyenne par taille de PUF (données horaires)

### 6.1.3. Profils annuels

#### Comparaison des sites de mesure

Les figures ci-dessous représentent les profils annuels moyens sous forme de radar des différentes classes de particules fines et ultrafines pour les deux sites de mesure, pour les 4 années étudiées.



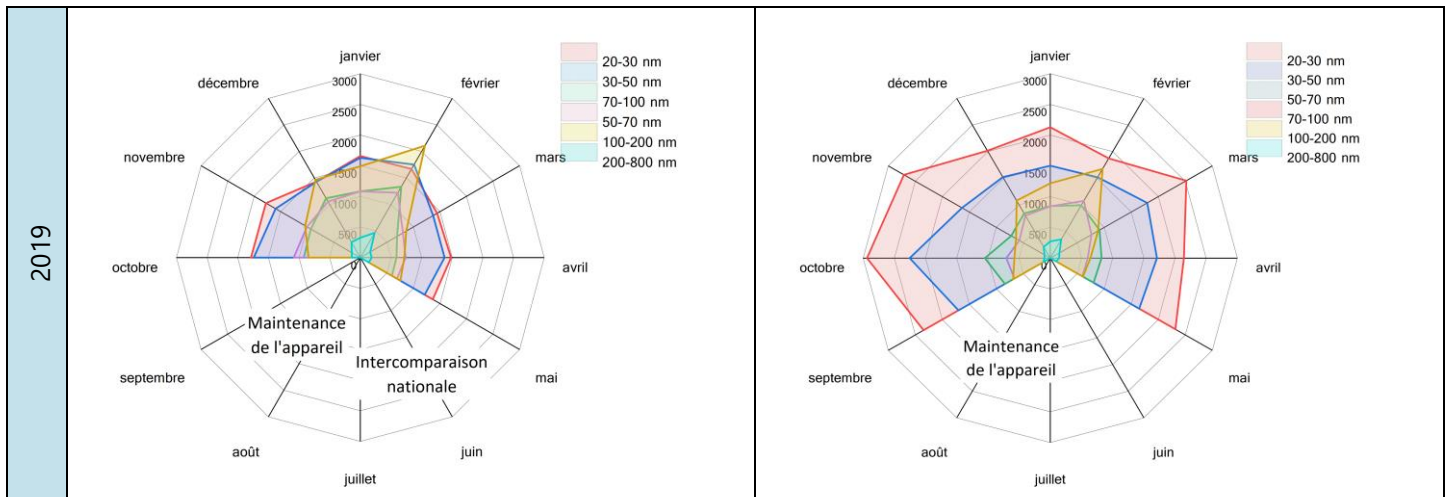


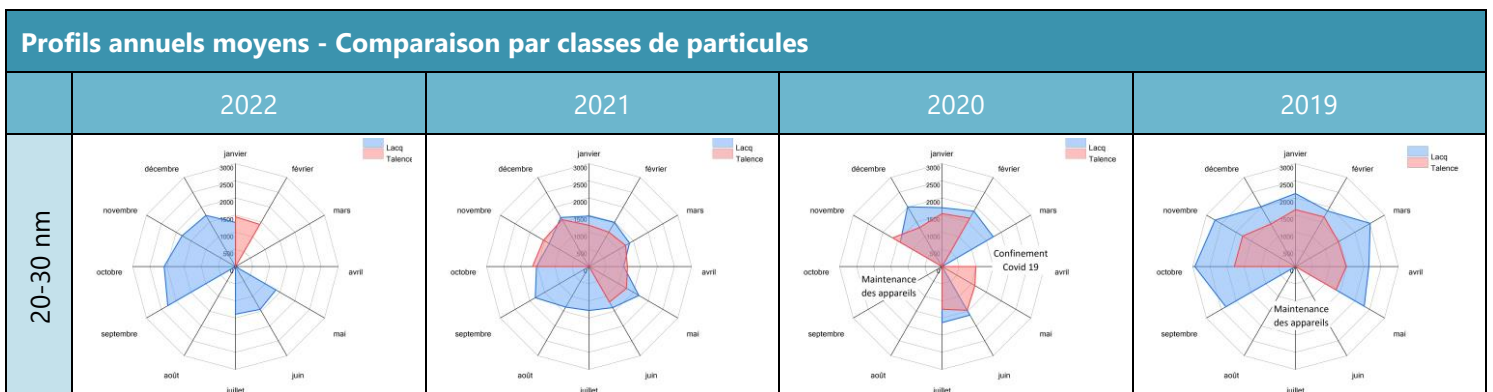
Figure 36 | Profils annuels moyens, Comparaison des sites Bordeaux-Talence et Lacq (représentation « radar »)

- Sur ces deux sites, la saisonnalité est marquée avec des maxima observés durant les mois les plus froids, d'octobre à février.
- À Bordeaux-Talence,
  - Les particules des classes 20-50 nm sont présentes tout au long de l'année : elles proviennent du trafic routier ou de transformations chimiques (particules secondaires).
  - La classe 100-200 nm, liée au chauffage résidentiel au bois, est prédominante pendant les mois froids, tandis qu'elle est beaucoup moins importante entre mars et octobre.
- Le site de Lacq est,
  - Quant à lui, dominé tout au long de l'année par des particules de diamètre aérodynamique inférieur à 50 nm, très vraisemblablement liées aux activités industrielles du secteur.
  - L'année 2019 présente des niveaux en particules 20-50 nm plus élevés que les années suivantes.
  - La classe 100-200 nm, liée au chauffage résidentiel au bois, présente également des niveaux plus importants pendant les mois froids.

### Comparaison par classes de particules

Ci-dessous, les profils annuels moyens de Bordeaux-Talence et de Lacq pour chaque classe de taille de particules.

- Les classes 20-30 nm et 30-50 nm sont présentes tout au long de l'année. Les niveaux mesurés sont plus importants sur Lacq que sur le site de Bordeaux-Talence. Originaires d'une part du trafic routier, une autre part serait possiblement liées aux activités industrielles de la zone.
- La classe 100-200 nm, provenant principalement de la combustion de biomasse, présentent les niveaux les plus élevés durant les mois froids. Ces particules sont plus importantes sur Bordeaux-Talence que sur Lacq, s'explique par l'utilisation du chauffage au bois et par la densité de population plus importante sur l'agglomération bordelaise que sur le bassin de Lacq.



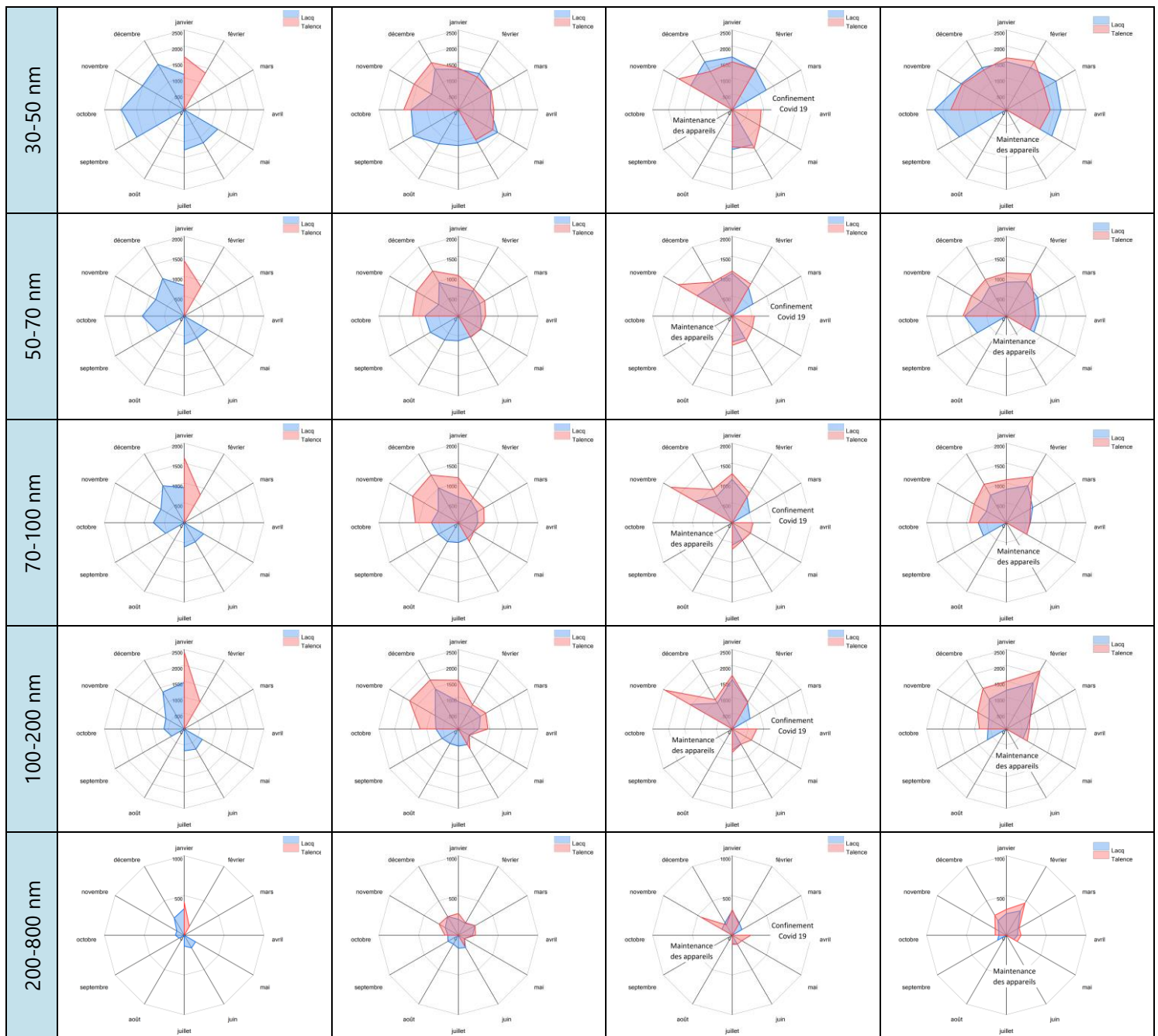


Figure 37 | Profils annuels moyens, Comparaison des sites Bordeaux-Talence et Lacq par classe de particules (représentation « radar »)

## 6.1.4. Evolution mensuelle

Les graphiques ci-dessous montre l'évolution mensuelle des différentes classes de particules ultrafines pour les sites de Bordeaux-Talence et de Lacq. A gauche sont présentées, en nombre de particules, les classes de diamètre inférieur à 50 nm, et à droite celles de diamètre supérieur à 50 nm.

### Bordeaux – Talence

- ➔ La saisonnalité est marquée avec des maxima observés durant les mois les plus froids. Les niveaux en particules ultrafines sont plus importants d'octobre à février.
- ➔ Classes 20-50 nm
  - La variation saisonnière est moindre pour les fractions les plus fines. Ces particules sont présentes tout au long de l'année : elles proviennent du trafic routier ou de transformations chimiques (particules secondaires).

- En 2020, pour les fractions de diamètre inférieur à 50 nm, les niveaux en particules sont plus faibles qu'habituellement pour les mois de mars, avril et mai. Ce creux correspond à la période de confinement lié au Covid19 et aux restrictions de déplacements imposées.

→ Classes 50-800 nm

- Les niveaux de particules ayant un diamètre supérieur à 70 nm varient avec les saisons et sont nettement plus élevés en hiver qu'en été.
- La classe 100-200 nm, liée au chauffage résidentiel au bois, est prédominante pendant les mois froids, tandis qu'elle est beaucoup moins importante entre mars et octobre.





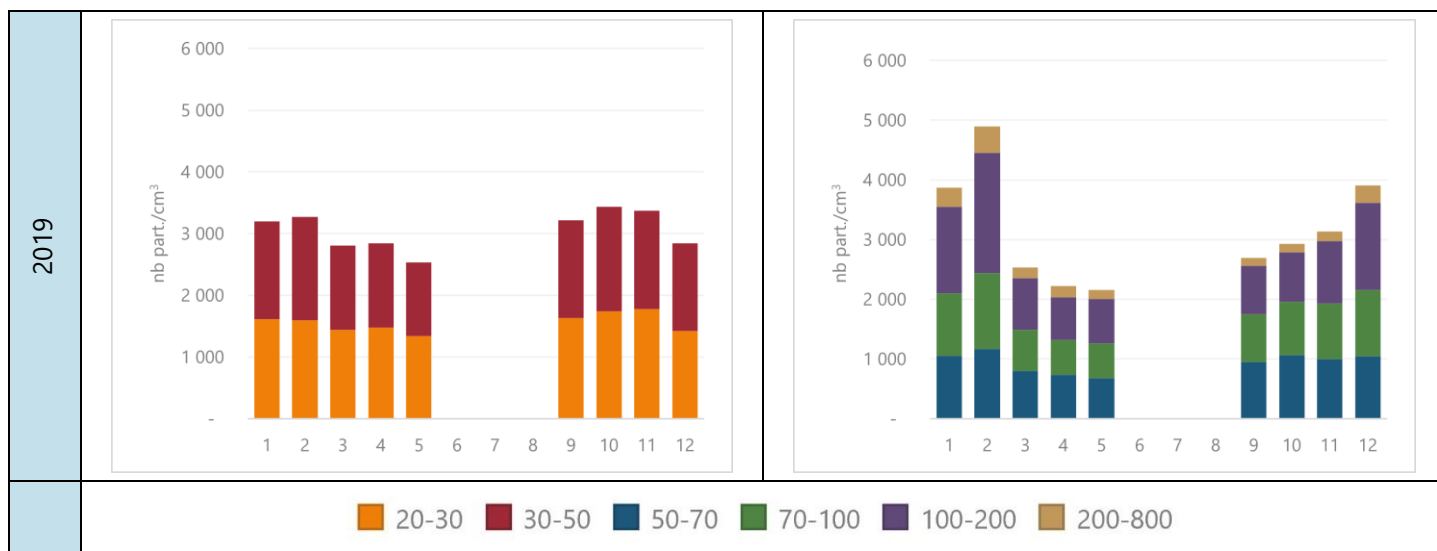


Figure 38 | Bordeaux-Talence, Evolution mensuelle

### Lacq

#### → Classes 20-50 nm

- Ces particules dominent tout au long de l'année. Une partie de ces particules provient probablement des activités industrielles de la zone.
- L'année 2019 présente des niveaux en particules 20-50 nm plus élevés que les années suivantes.

#### → Classes 50-800 nm

- Les niveaux de particules ayant un diamètre supérieur à 70 nm varient avec les saisons et sont plus élevés en hiver qu'en été

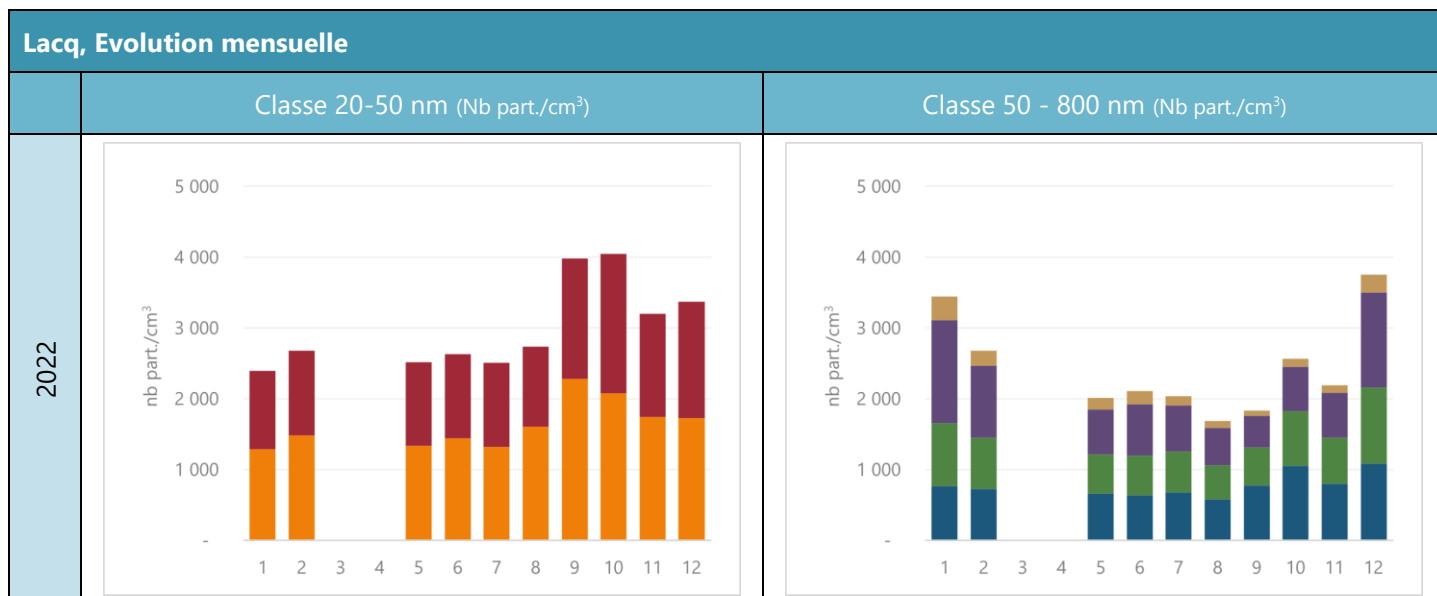




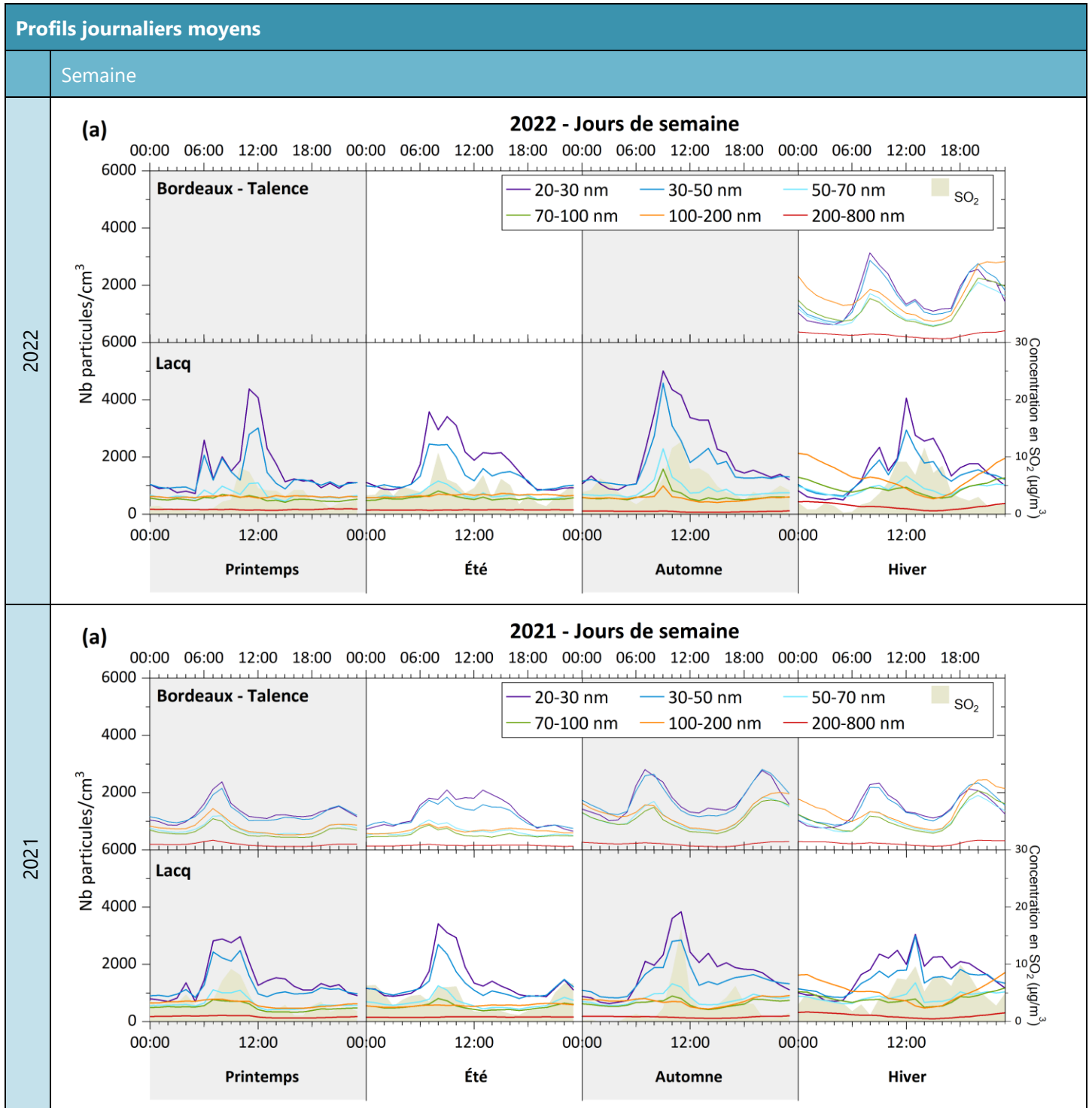
Figure 39 | Lacq, Evolution mensuelle

### 6.1.5. Profils journaliers

Les profils journaliers moyens permettent de caractériser le comportement général des polluants à l'échelle de la journée. L'évolution du nombre de particules des différentes classes de taille varie suivant le site, la classe, les saisons et également suivant les jours de semaine. En effet, si chaque site présente deux pics en nombre, certains sont moins visibles pour certaines classes de taille de particules du site de Lacq.

## Jour de la semaine

Les figures suivantes illustrent les évolutions des particules ultrafines au cours d'une journée. Les quatre saisons ont été distinguées : Printemps (mars, avril, mai), Été (juin, juillet, août), Automne (septembre, octobre, novembre) et Hiver (décembre, janvier, février). Deux catégories de profils sont présentées, la première représentant les jours de semaine (lundi au vendredi), la seconde illustrant les jours de week-end (samedi, dimanche).



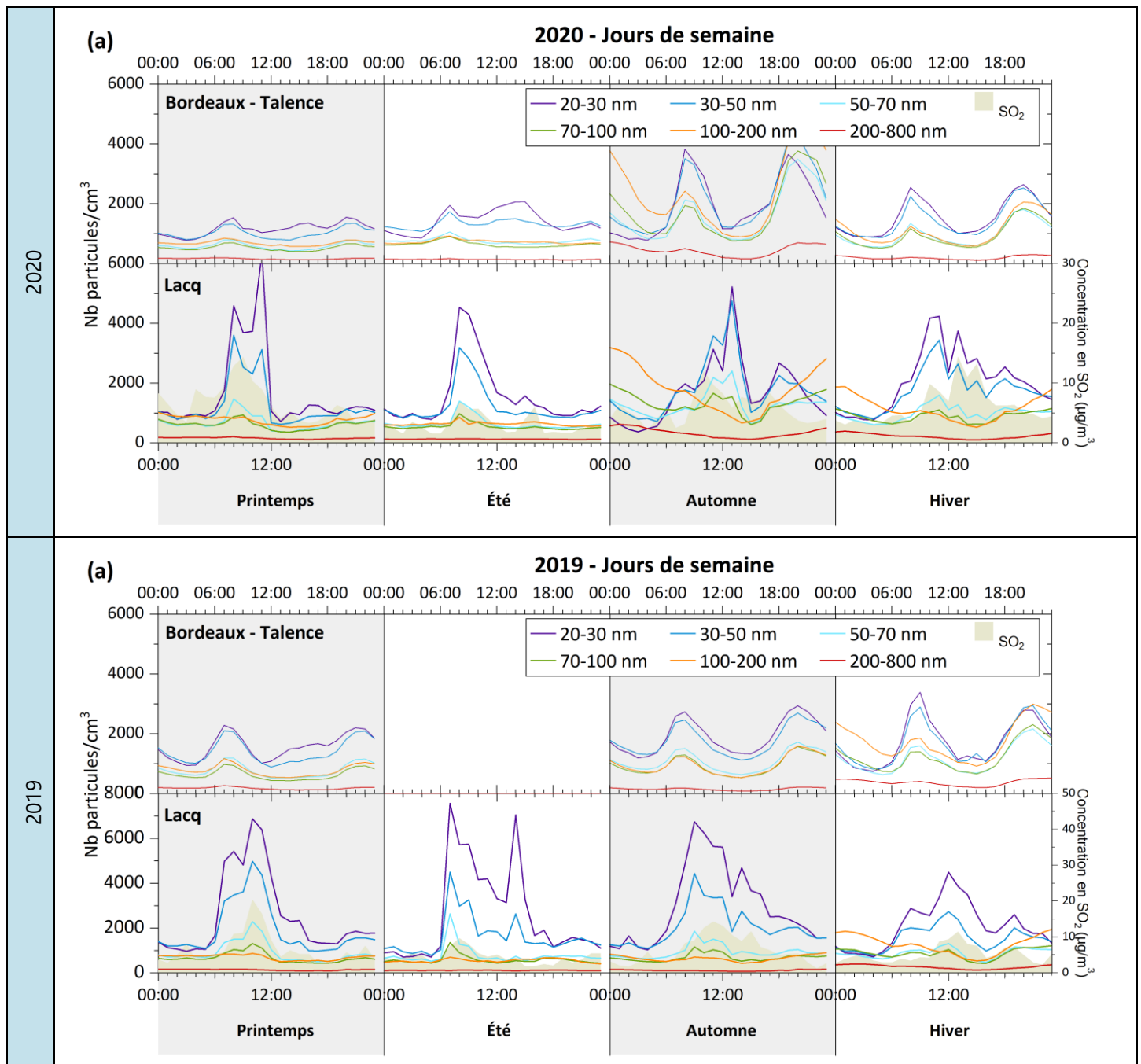


Figure 40 | Profils journaliers moyens, Semaine

### Bordeaux-Talence

- ➔ Présente un profil classique retrouvé en fond urbain avec un pic vers 7h-9h et un autre en soirée vers 20h-21h (heure TU) correspondant aux pics d'émissions du trafic routier et du chauffage résidentiel.
  - Le premier ayant lieu le matin entre 7h et 9h, correspond au trajet « domicile-travail ». A l'exception de la classe 200-800 nm, ce pic est suivi par l'ensemble des classes de particules ultrafines. Le pic est le plus marqué pour les classes 20-30 et 30-50 nm.
  - Le second pic peut, à la fois être attribué au trajet « travail-domicile » pour les particules de 20-50 nm, mais aussi au chauffage résidentiel pour les particules 70-200 nm.
  - Les particules de diamètre supérieur à 200 nm sont beaucoup moins marquées par les cycles journaliers.
- ➔ L'évolution au cours des saisons montre une augmentation importante des particules de 70-200 nm de diamètre en fin de journée, notamment en automne et hiver. Les niveaux commencent à augmenter à partir de 17h, les concentrations restent élevées en début de soirée et diminuent lentement jusqu'au petit

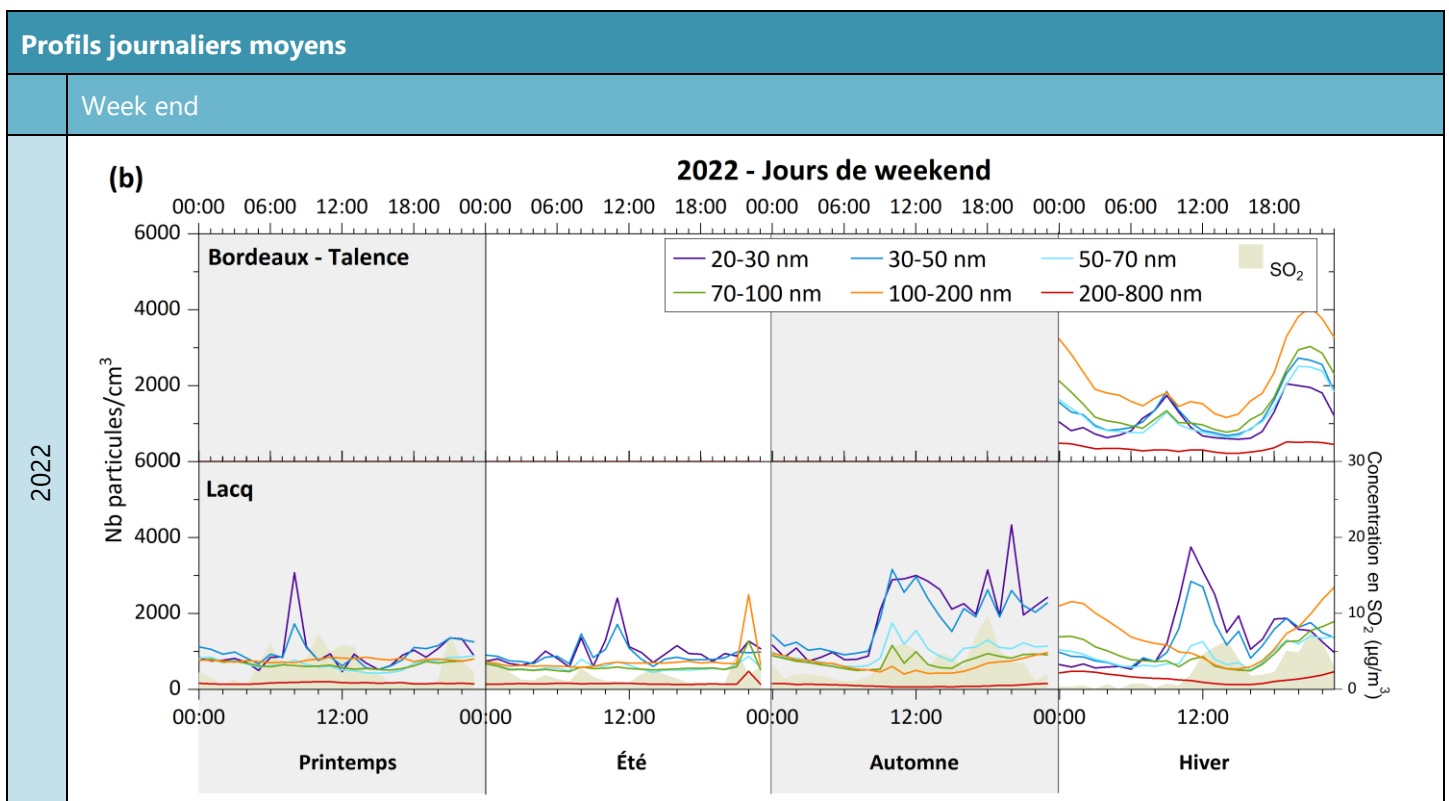
matin. Ce pic est lié à la combustion de bois. En effet, les saisons froides sont propices aux émissions primaires provenant du chauffage. Pour les particules, sur cette période, la contribution des feux de cheminées est significative.

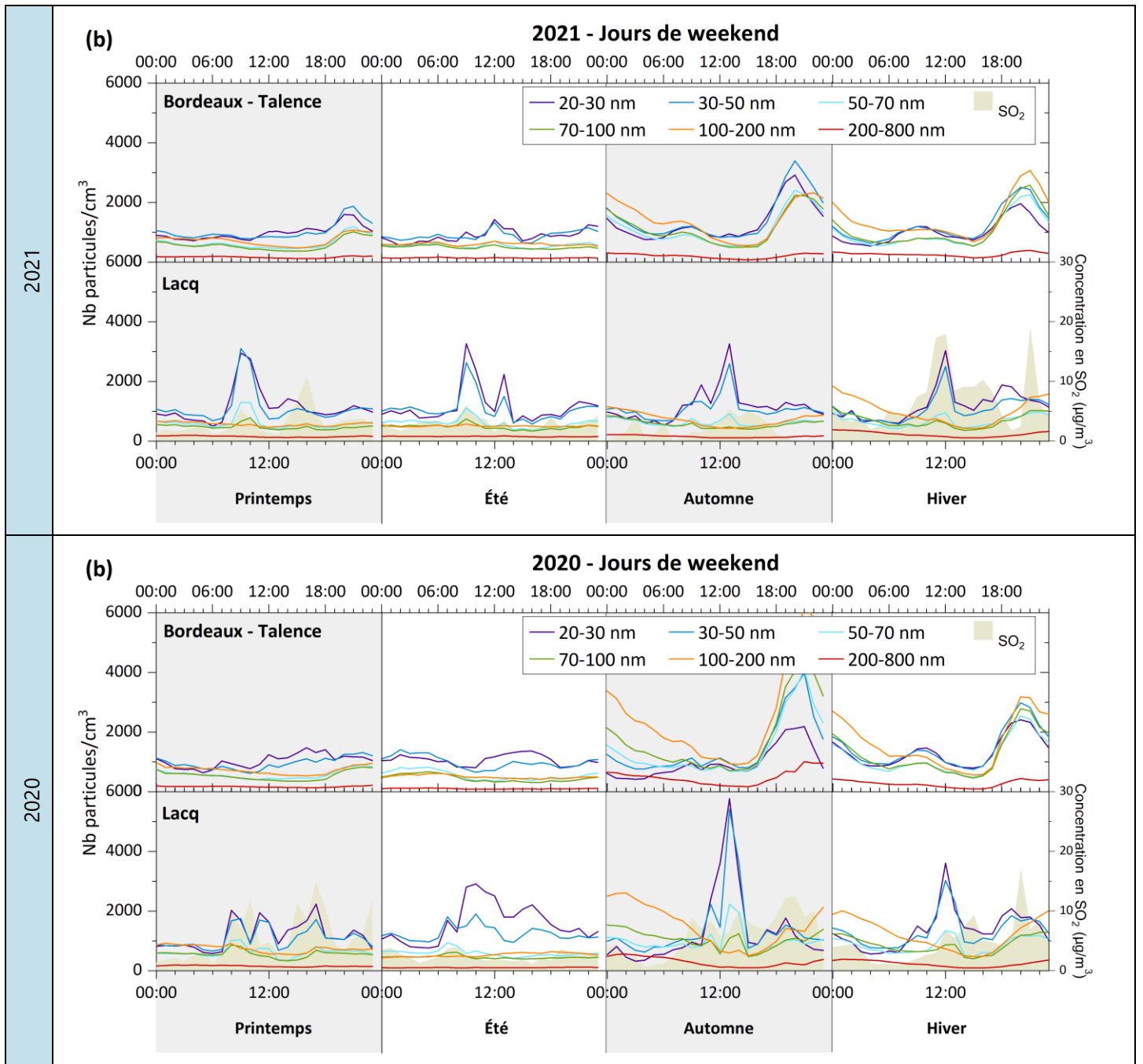
- De plus, un décalage dans le temps est observable au cours des saisons automne et hiver. En effet, plus les particules sont fines, plus l'augmentation du nombre de particules du soir survient tôt. Deux phénomènes peuvent expliquer ceci :
  - Le « vieillissement » des particules : les particules résultent de processus de grossissement tel que la coagulation des particules plus petites formées par nucléation, et la condensation d'espèces semi-volatiles sur les particules,
  - Le changement de source : pic du soir plus tardif pour la fraction 100-200 nm et persistant le weekend, en lien avec le chauffage résidentiel au bois.
- Au printemps 2020, le profil journalier moyen des particules de classes 20-50 nm est relativement plat en comparaison aux 3 autres années et ne présente pas l'habituelle augmentation du nombre de particules entre 7 et 9h le matin. Cette période correspond aux restrictions de déplacement induites par le Covid et explique les niveaux plus faibles de ces classes de particules.

### Lacq

- Ne présente pas les caractéristiques d'un site de fond urbain ou d'un site influencé par le trafic routier du fait d'un pic très important vers 9h-10h TU qui s'étend jusqu'en milieu d'après-midi. L'évolution journalière des concentrations en SO<sub>2</sub>, traceur de l'activité industrielle du bassin de Lacq, juxtaposée à l'évolution du nombre de particules sur ce site met en évidence une coévolution du SO<sub>2</sub> avec le nombre de particules observé, notamment pour les particules de diamètre inférieur à 50 nm. Ainsi les particules les plus fines semblent avoir une source majoritaire qui est l'activité industrielle de la plateforme de Lacq.
- La classe de particules 100-200 nm présente des caractéristiques semblables à celles observées sur Talence. Pour les saisons froides, les niveaux augmentent à partir de 17h, restent élevés la nuit et diminuent lentement à partir du petit matin. Ce profil nocturne correspond à la combustion du bois utilisé pour le chauffage.

### Week end





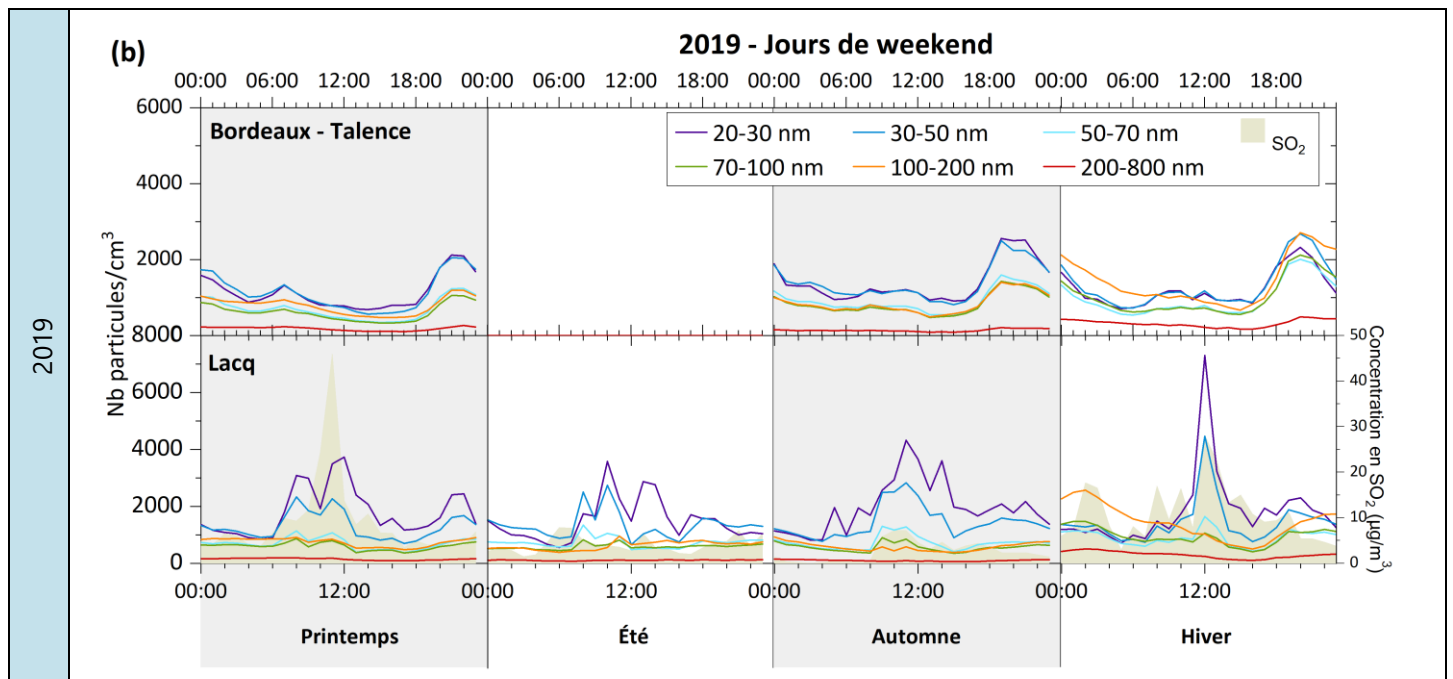


Figure 41 | Profils journaliers moyens, Week end

### Bordeaux-Talence

- ➔ Ne présente plus aux heures de pointes, les augmentations de particules des classes les plus fines [20-50 nm]. Les émissions du trafic sont moins importantes le week-end qu'en jours ouvrés.
- ➔ En automne et en hiver, en fin de journée, les niveaux de l'ensemble des classes de particules augmentent. Les classes 70-100 nm et 100-200 nm prédominent, illustrant à nouveau l'utilisation du chauffage au bois.

### Lacq

- ➔ Présente à nouveau une augmentation des classes les plus fines, vers 9h-10h TU s'étendant jusqu'en milieu d'après-midi, toutefois l'augmentation étant moins marquée qu'en jours ouvrés.
- ➔ La classe de particules 100-200 nm présente la même évolution journalière la semaine que les week-ends. En saison froide, les niveaux en particules augmentent à partir de 17h, restent élevés la nuit et diminuent lentement à partir du petit matin. Ce profil nocturne est à lier à la combustion du bois utilisé pour le chauffage.

## 6.1.6. Evolution journalière

Les graphiques suivants représentent les évolutions journalières des 4 années étudiées pour les 6 classes de particules ultrafines. Cette représentation permet de visualiser, pour chaque journée, le nombre de particules mesurées pour chacune des classes. Ainsi, les zones rouges du graphique montrent les journées, ainsi que la classe de particules concernée par l'augmentation du nombre de particules, les zones bleues correspondent aux périodes et classes de particules faiblement impactées.

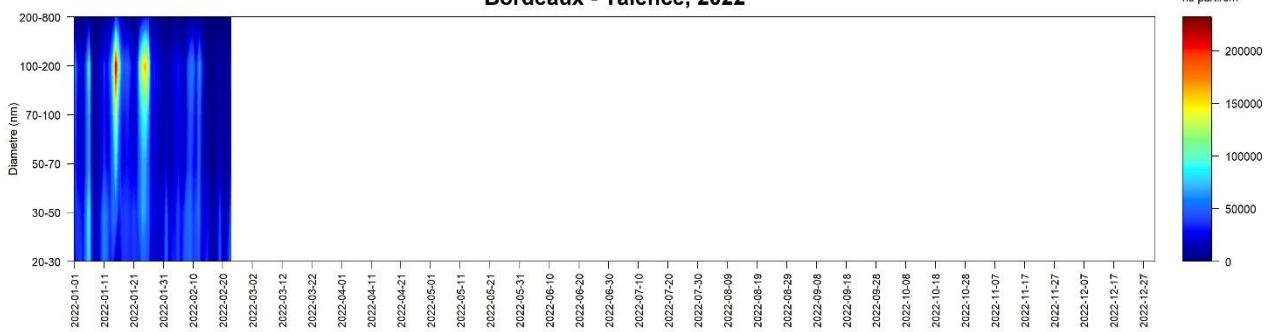
L'évolution temporelle du nombre journalier de particules met en évidence les effets visibles sur les moyennes mensuelles. En effet, à Bordeaux-Talence, de nombreux jours hivernaux ont présenté un nombre plus important de particules de diamètre compris entre 100 et 200 nm. Pour certaines de ces journées, les classes 20-30 nm et 30-50 nm peuvent également présenter des augmentations de leur nombre. Ces augmentations sont non seulement à lier aux sources d'émissions que sont le chauffage résidentiel au bois et le trafic routier, mais également aux conditions hivernales peu dispersives.

# Evolution journalière (Nb part./cm<sup>3</sup>)

Bordeaux-Talence

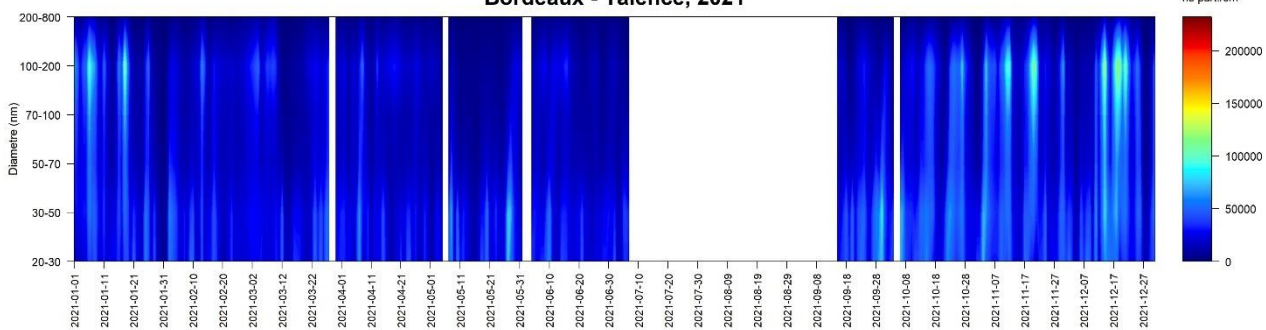
2022

Bordeaux - Talence, 2022



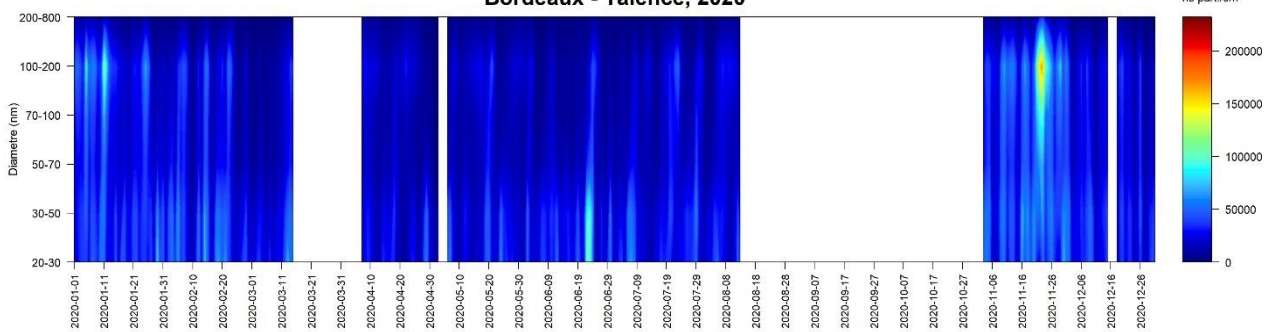
2021

Bordeaux - Talence, 2021



2020

Bordeaux - Talence, 2020



2019

Bordeaux - Talence, 2019

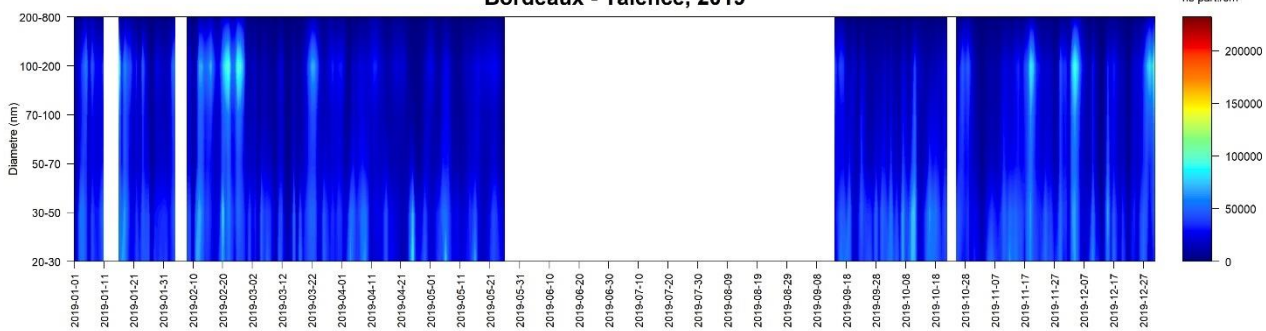


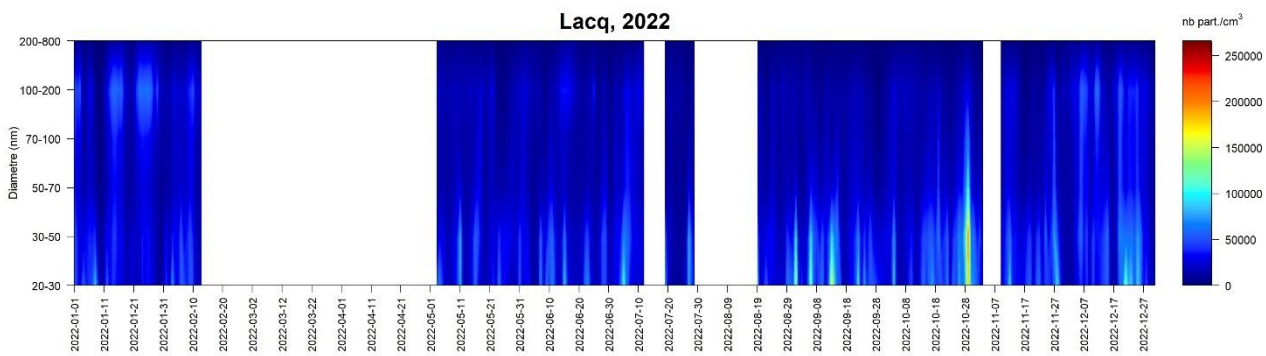
Figure 42 | Bordeaux-Talence, Evolution journalière



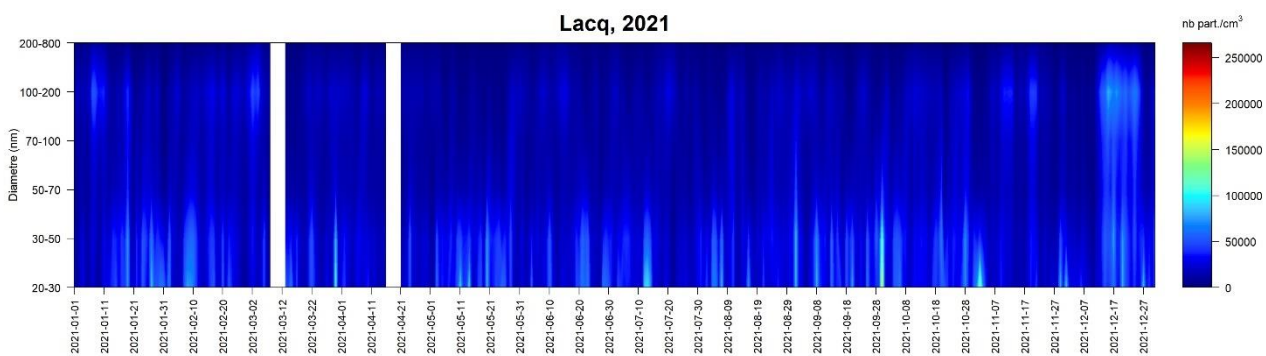
# Evolution journalière (Nb part./cm<sup>3</sup>)

Lacq

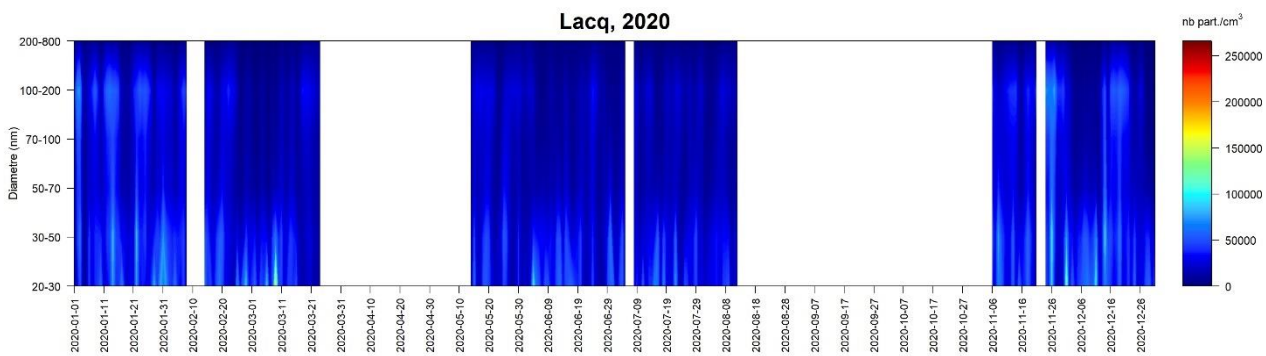
2022



2021



2020



2019

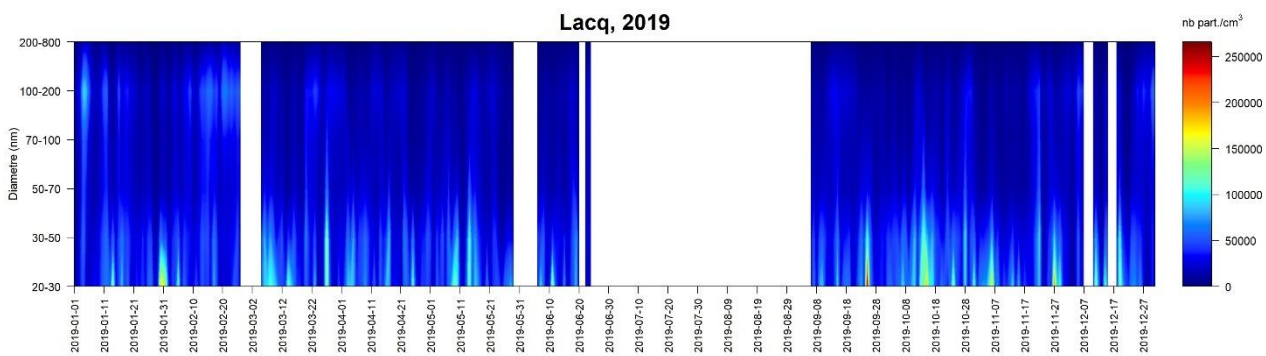


Figure 43 | Lacq, Evolution journalière

### 6.1.7. Corrélation avec les autres polluants

Les coefficients de corrélation de Pearson représentent l'intensité de relation qui existe entre deux polluants. Il est compris entre -1 et 1. Dans les figures suivantes, les corrélations positives sont affichées en bleu et correspondent à des liens forts entre polluants ; les corrélations négatives en rouge. L'intensité de la couleur est proportionnelle au coefficient de corrélation.

#### Bordeaux-Talence

Les plus fortes corrélations sont observées pour :

- Jusqu'à 70 nm : avec le Black Carbon issu de la combustion de fuel fossile (BC<sub>ff</sub>) et les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>), soit des polluants caractéristiques du trafic routier,
- A partir de 70 nm : avec le Black Carbon provenant de combustion de biomasse (BC<sub>wb</sub>) et la matière organique (OM)
- La fraction 100-200 nm présentent les plus fortes corrélations avec le Black Carbon (BC<sub>wb</sub>) et la matière organique (OM), soit des polluants émis par la combustion de biomasse.
- Aucune corrélation avec l'ozone, pour aucun des six canaux de particules ultrafines.

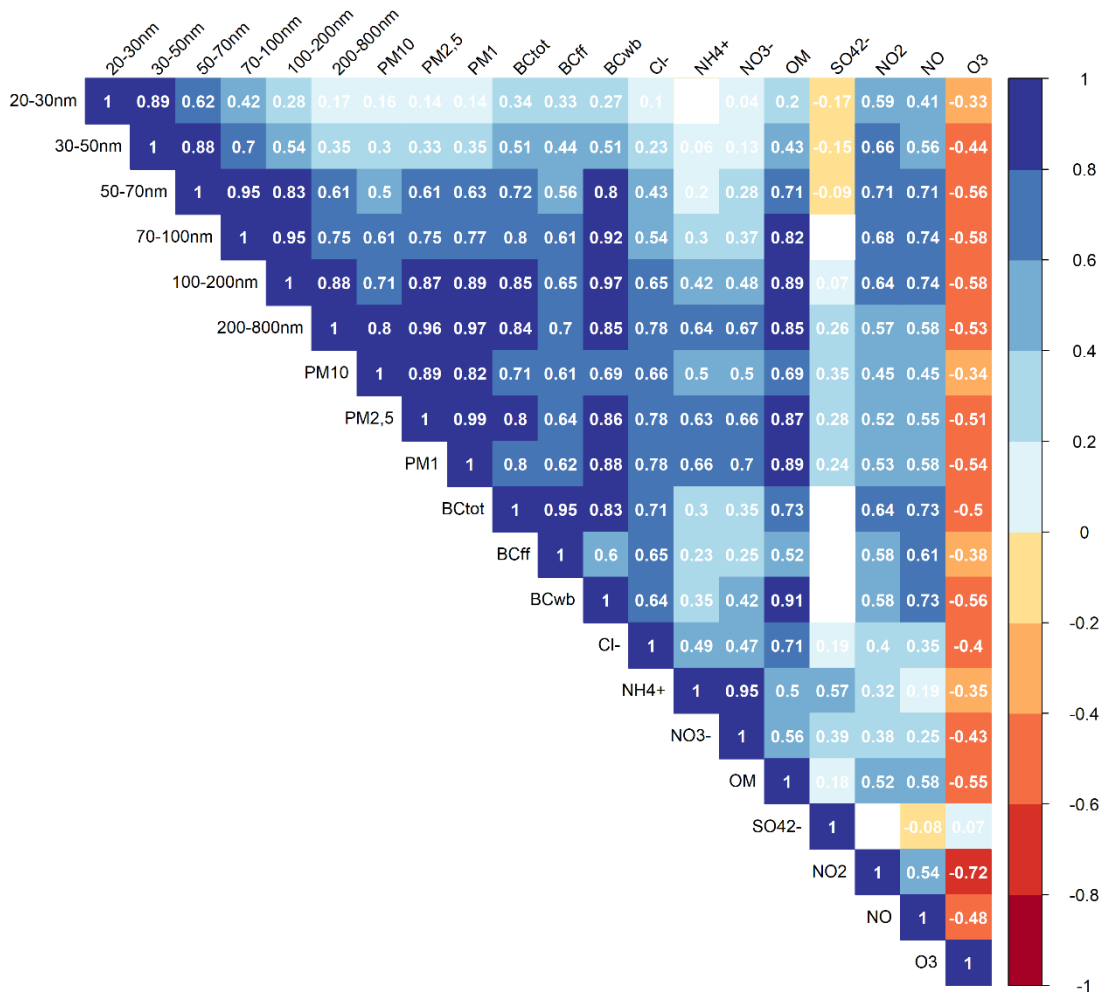
Sous les coefficients de corrélation, l'évolution des moyennes mensuelles illustre les évolutions conjointes des particules aux autres polluants :

- PUF 30-50 nm avec BC<sub>ff</sub>
- PUF 100-200 nm avec BC<sub>wb</sub>

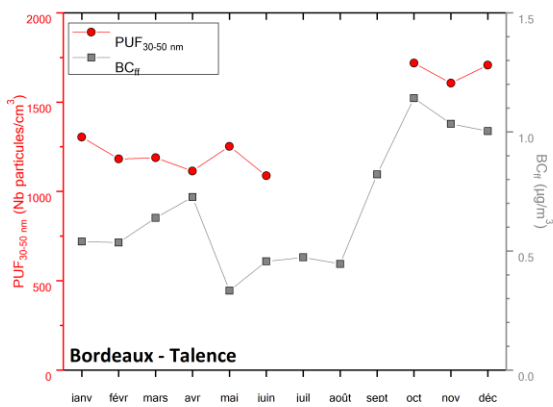
En 2022, en raison de travaux à proximité de la station Bordeaux-Talence, le granulomètre a peu fonctionné (2 mois), c'est pourquoi, les corrélations 2022 ne sont pas présentées ici, elles sont jugées non représentatives de l'année.

Corrélation entre polluants		
	Bordeaux – Talence	
2022	---	
	PUF <sub>30-50nm</sub> - BC <sub>ff</sub>	PUF <sub>100-200m</sub> - BC <sub>wb</sub>
	---	---

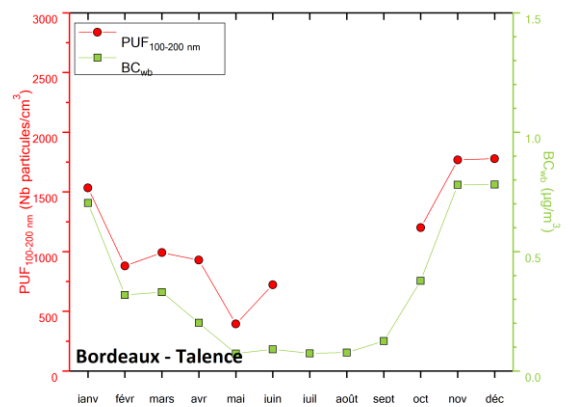
2021



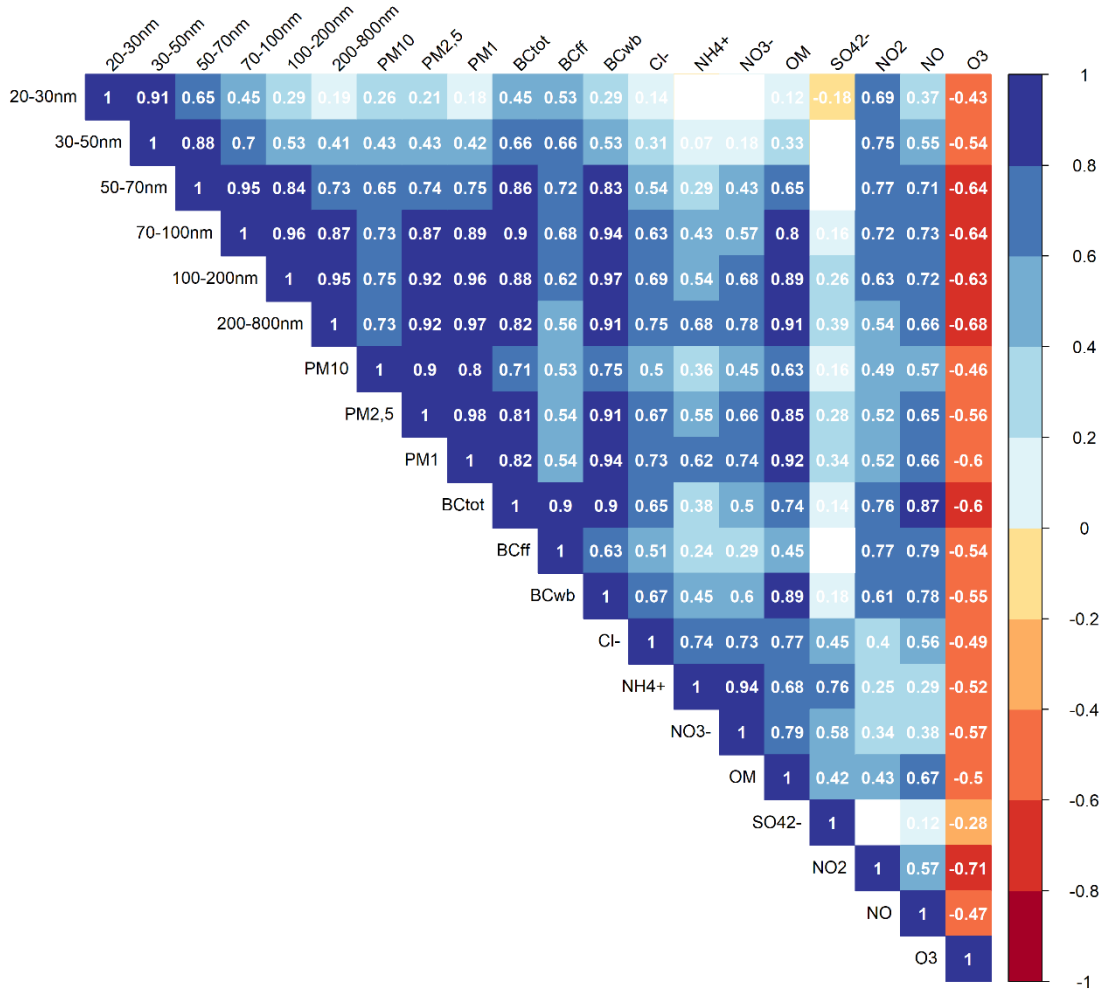
PUF<sub>30-50nm</sub> - BC<sub>ff</sub>



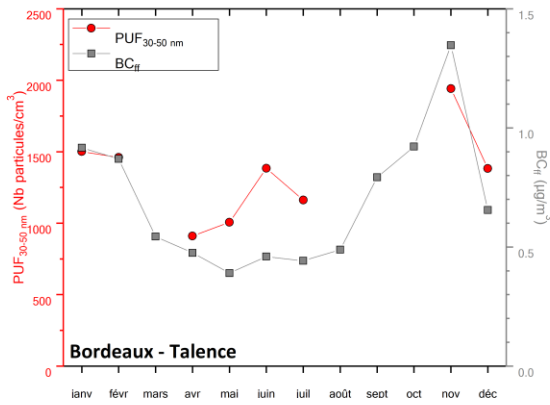
PUF<sub>100-200nm</sub> - BC<sub>wb</sub>



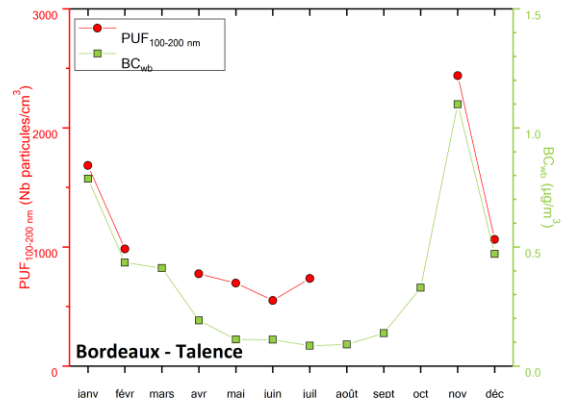
2020

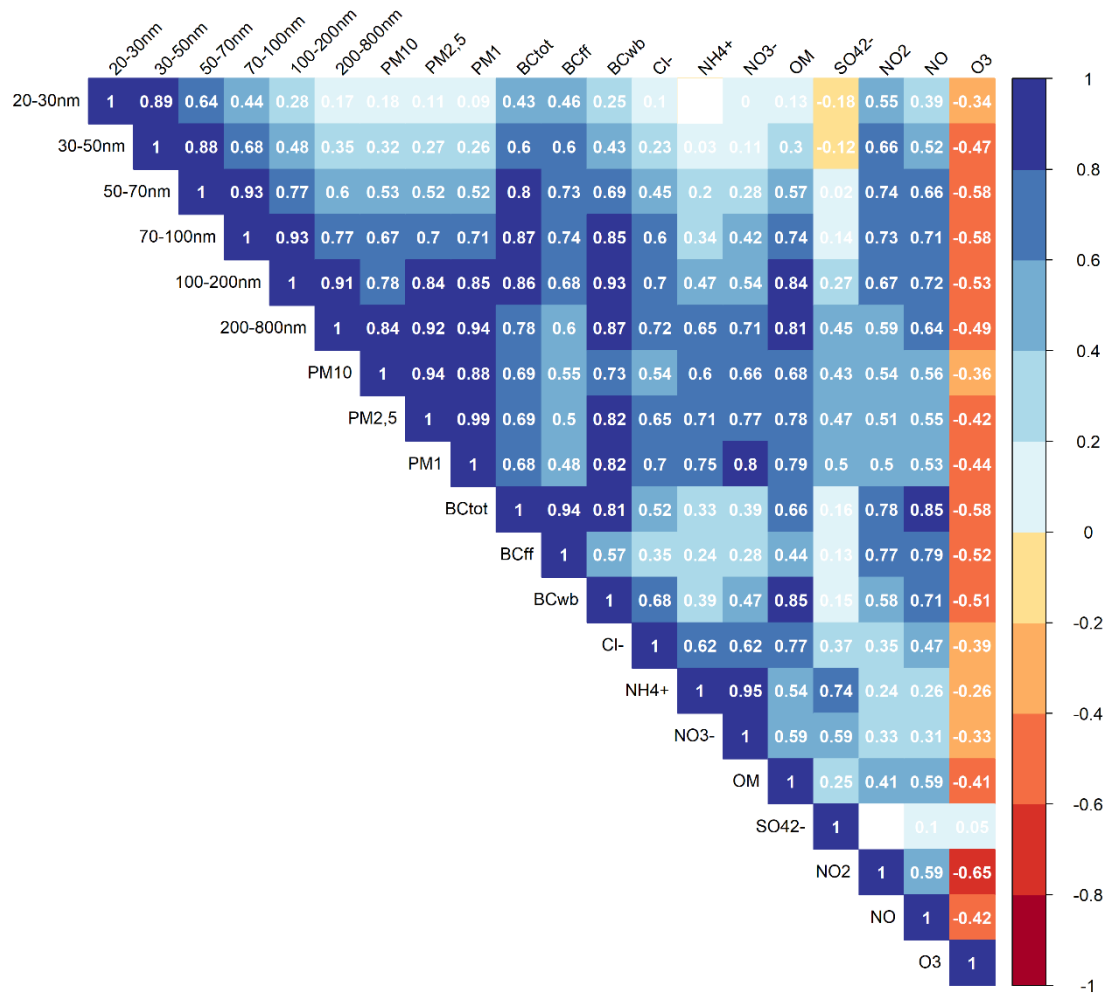


PUF<sub>30-50nm</sub> - BC<sub>ff</sub>

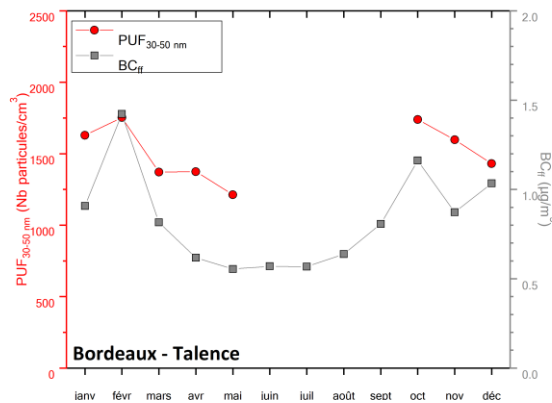


PUF<sub>100-200nm</sub> - BC<sub>wb</sub>





PUF<sub>30-50nm</sub> - BC<sub>ff</sub>



PUF<sub>100-200nm</sub> - BC<sub>wb</sub>

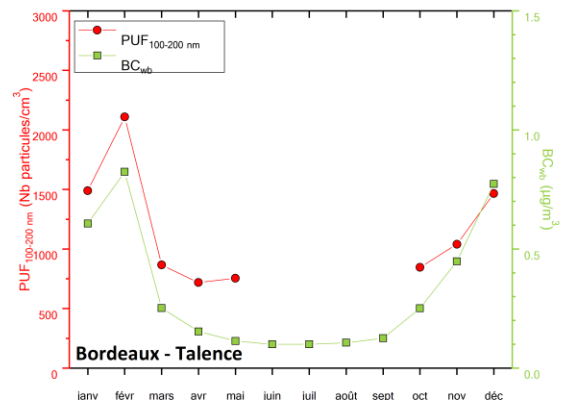


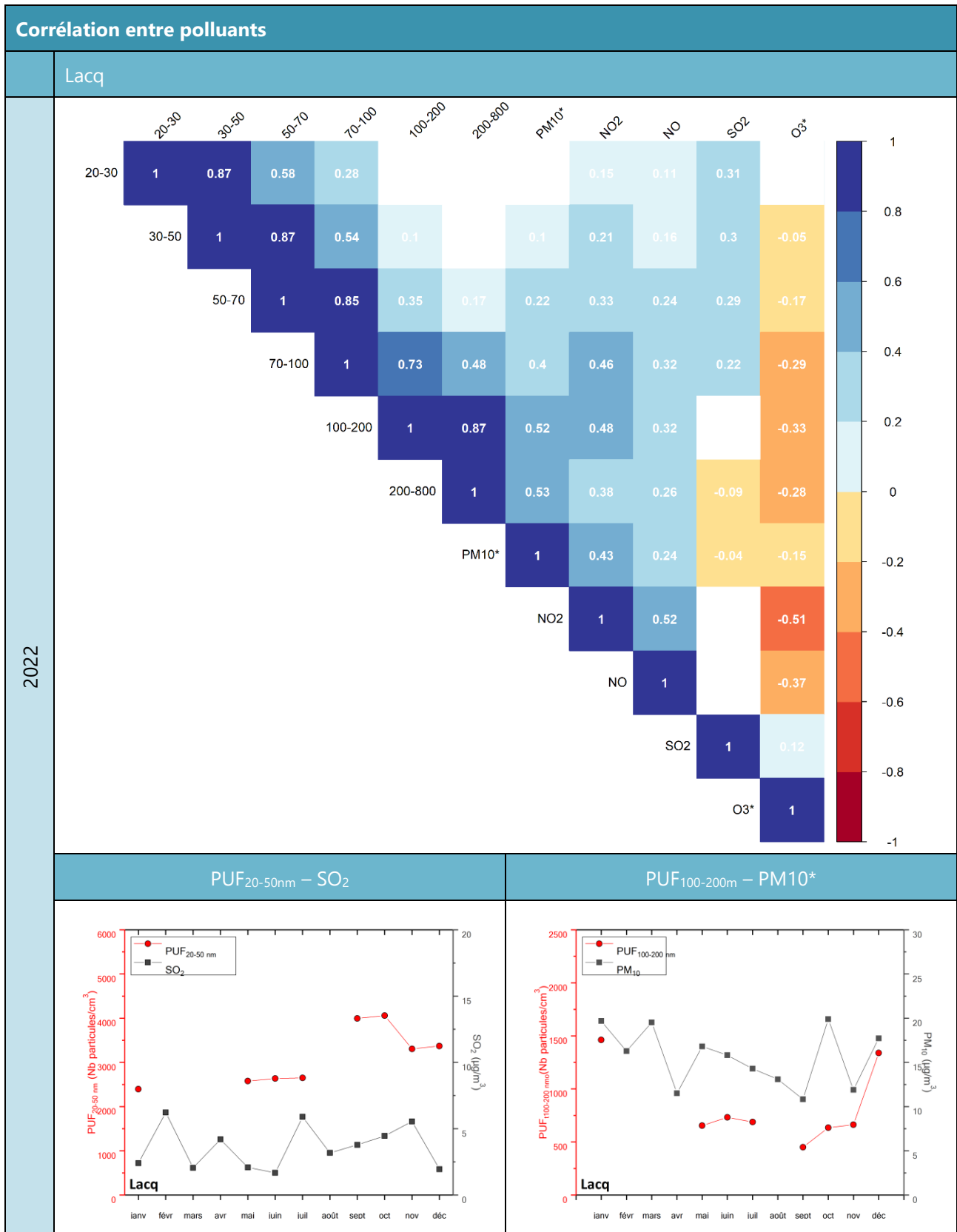
Figure 44 | Bordeaux-Talence, Corrélation avec les autres polluants

**Lacq**

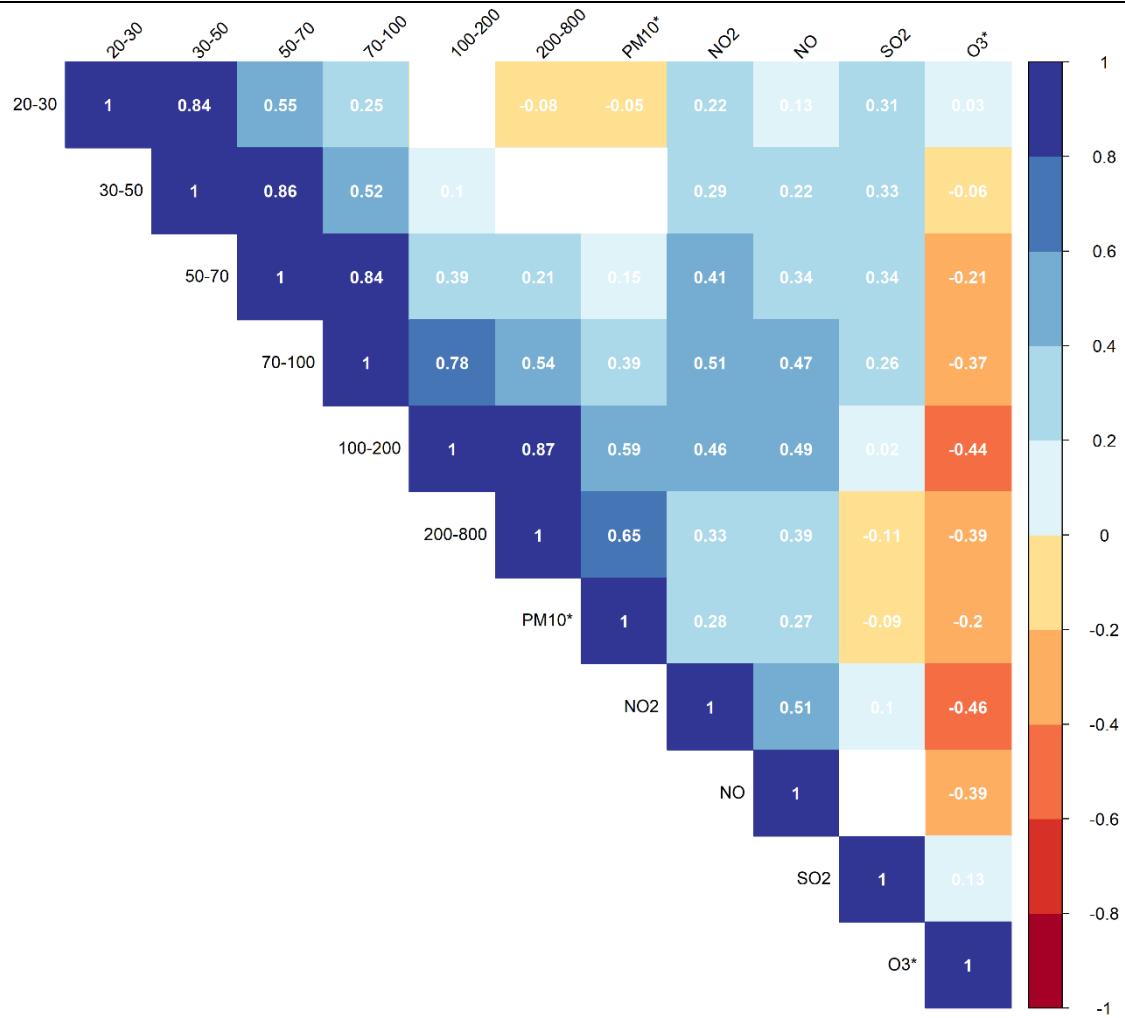
- Les corrélations sont plus faibles que pour le site de Bordeaux-Talence.
- Jusqu'à 70 nm :
  - Restant faible (corrélation ~ 0,3), la meilleure relation de ces particules se fait avec le SO<sub>2</sub>, polluant traceur de l'activité industrielle.
  - Il n'y a pas de corrélation entre ces particules 20-50 nm et les NO<sub>x</sub>, polluant traceur du trafic routier.
- A partir de 100 nm : Seules ces particules présentent une corrélation avec les PM<sub>10</sub> (corrélation > 0,5).

Dessous, l'évolution des moyennes mensuelles illustre les évolutions conjointes des particules aux autres polluants :

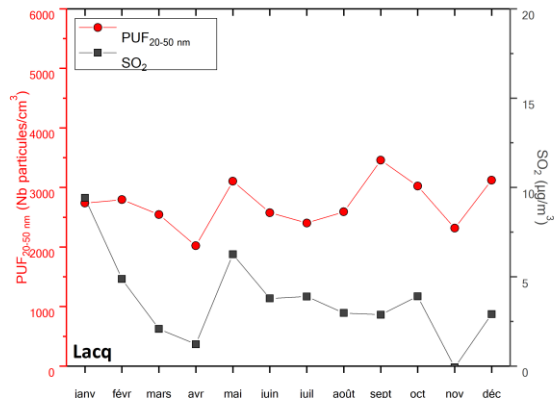
- PUF 30-50 nm avec SO<sub>2</sub>
- PUF 100-200 nm avec PM<sub>10</sub>



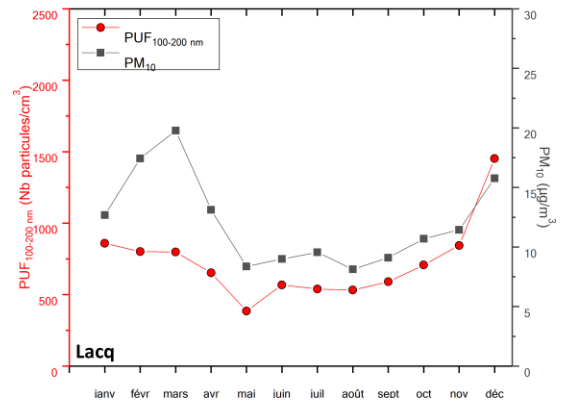
2021



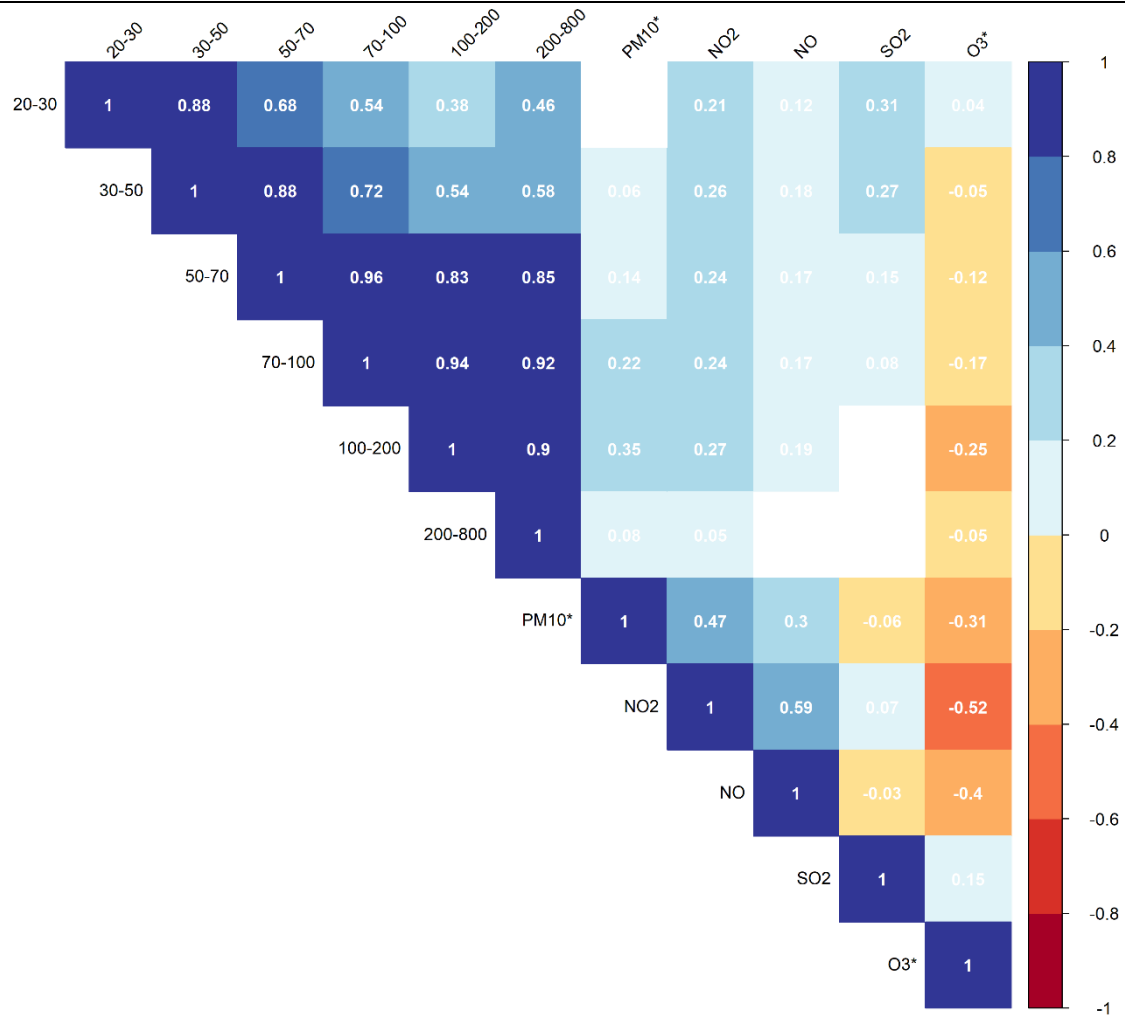
PUF<sub>20-50nm</sub> – SO<sub>2</sub>



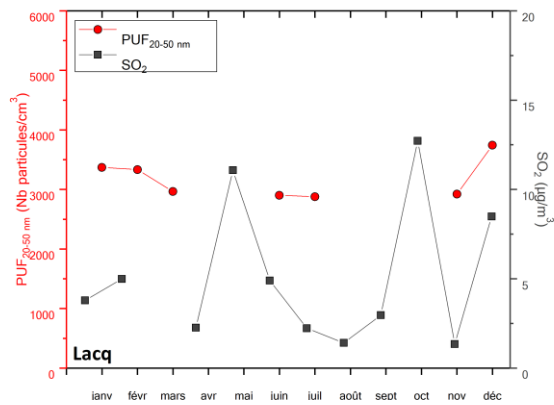
PUF<sub>100-200m</sub> – PM<sub>10</sub>\*



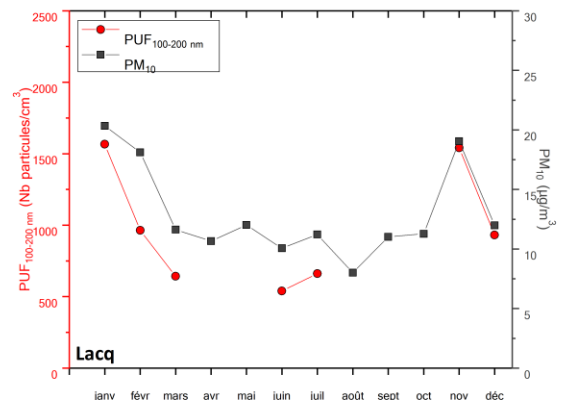
2020



PUF<sub>20-50nm</sub> – SO<sub>2</sub>



PUF<sub>100-200nm</sub> – PM10\*





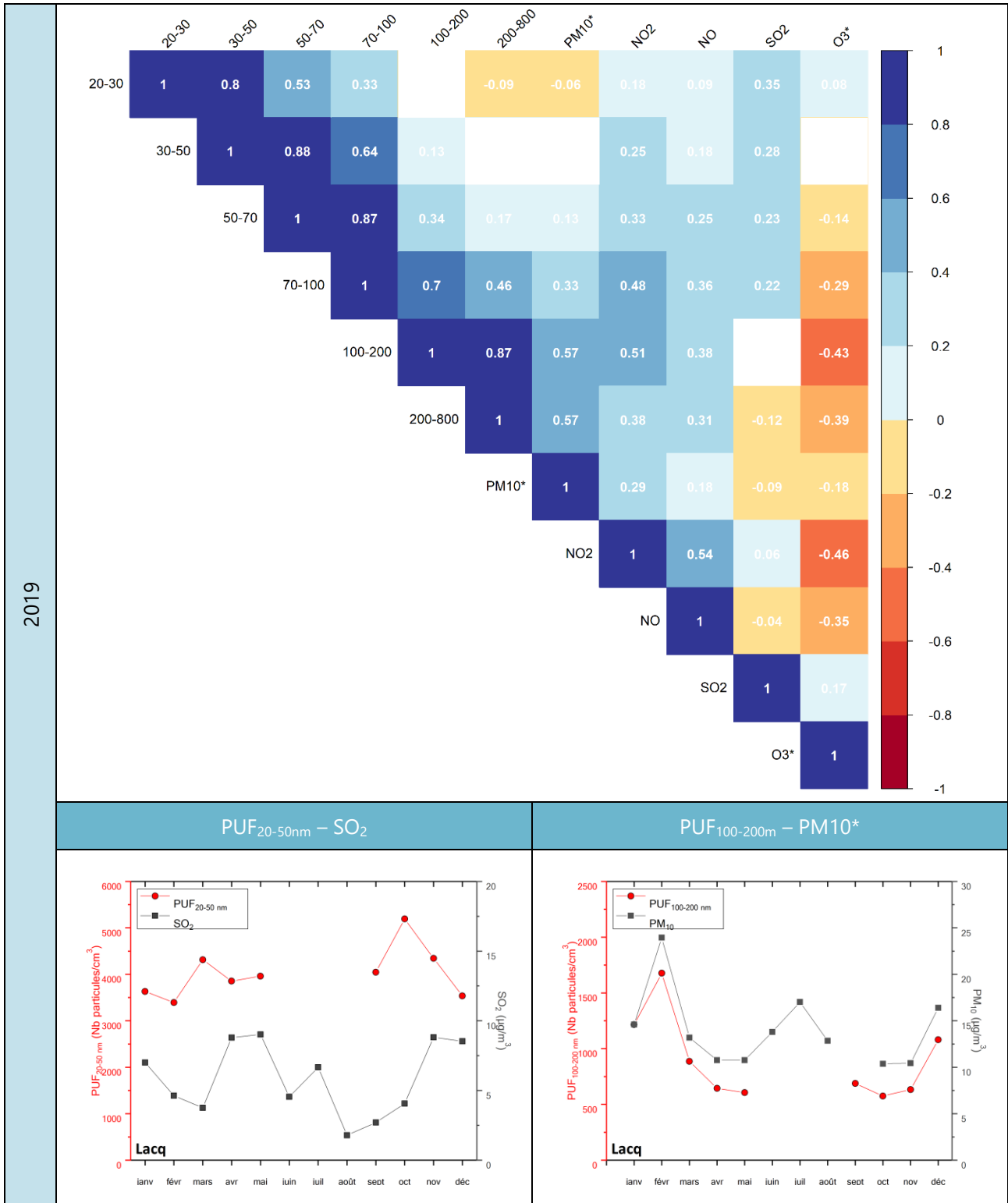


Figure 45 | Lacq, Corrélation avec les autres polluants)

\*polluant mesuré à la station Labastide-Cézéracq, située à environ 7,5 km de la station Lacq

## 6.1.8. Influence météorologique et origine de la pollution

Les conditions météorologiques influencent les niveaux mesurés à la station. Les roses de pollution permettent de localiser les différences de concentrations d'un polluant (représentées par l'échelle de couleurs) en fonction de la direction du vent et de la force du vent (cercles)<sup>3</sup>. Ainsi, les roses de pollution permettent d'identifier l'origine des masses d'air chargées en particules, mesurées au niveau de la station. Un pas de temps horaire a été étudié afin de mettre en évidence un lien potentiel entre ces différents paramètres.

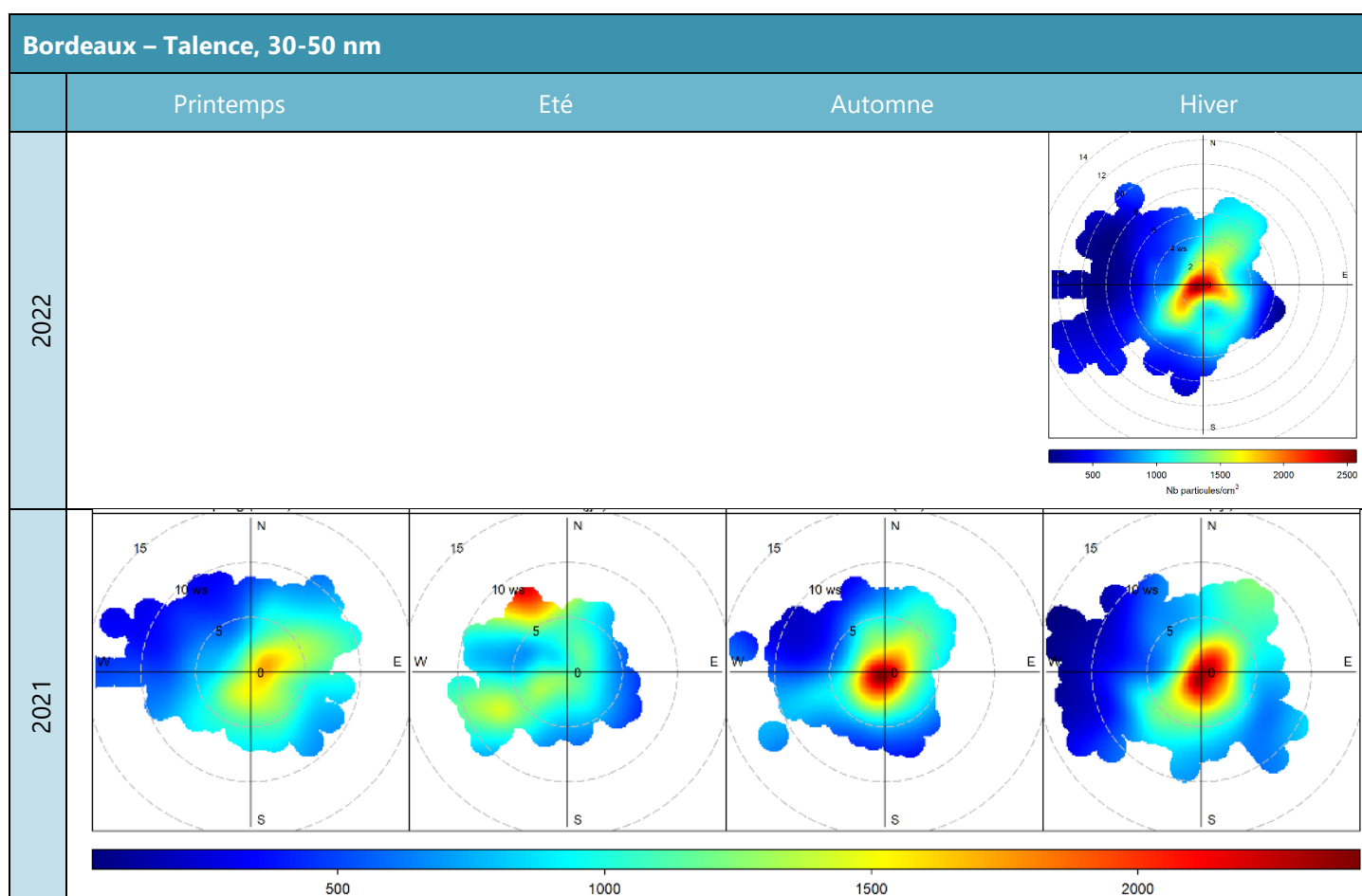
Les figures ci-dessous présentent les roses de pollution saisonnières pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022, pour les sites de Bordeaux-Talence et de Lacq. Seules les classes prépondérantes, 30-50 nm et 100-200 nm, sont présentées. Les roses de pollution ne prennent pas en compte les vents faibles, dont la vitesse est inférieure à 1 m.s<sup>-1</sup>.

En termes de qualité de l'air, si les niveaux plus forts sont obtenus avec des vitesses de vent élevées cela implique une source régionale, voire un import à plus longue distance de particules. Au contraire, s'ils sont centrés à 0-4 m/s, cela indique une augmentation de concentrations liée à des conditions météorologiques peu favorables à la dispersion des émissions locales de polluants, donc une origine de la pollution plus locale.

### Bordeaux-Talence

#### → Classes 30-50 nm

- Les nombres les plus importants de particules ont été détectés par vents faibles (vitesse inférieure à 3 m.s<sup>-1</sup>), indiquant une influence locale de ce polluant.
- En été, les masses d'air sont moins chargées en particules de ce diamètre



<sup>3</sup> Explication de la lecture des roses de pollution en annexe 3

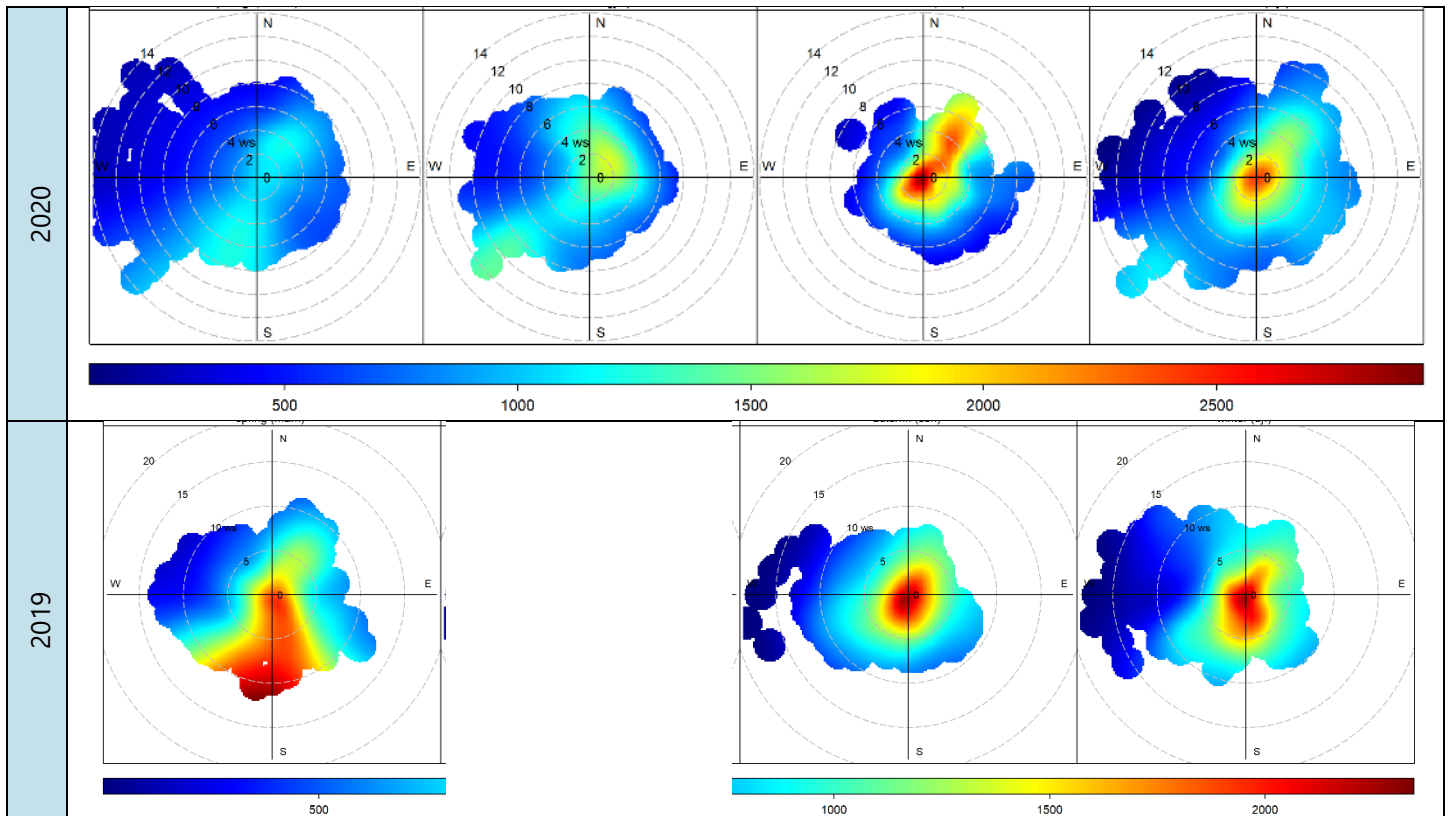
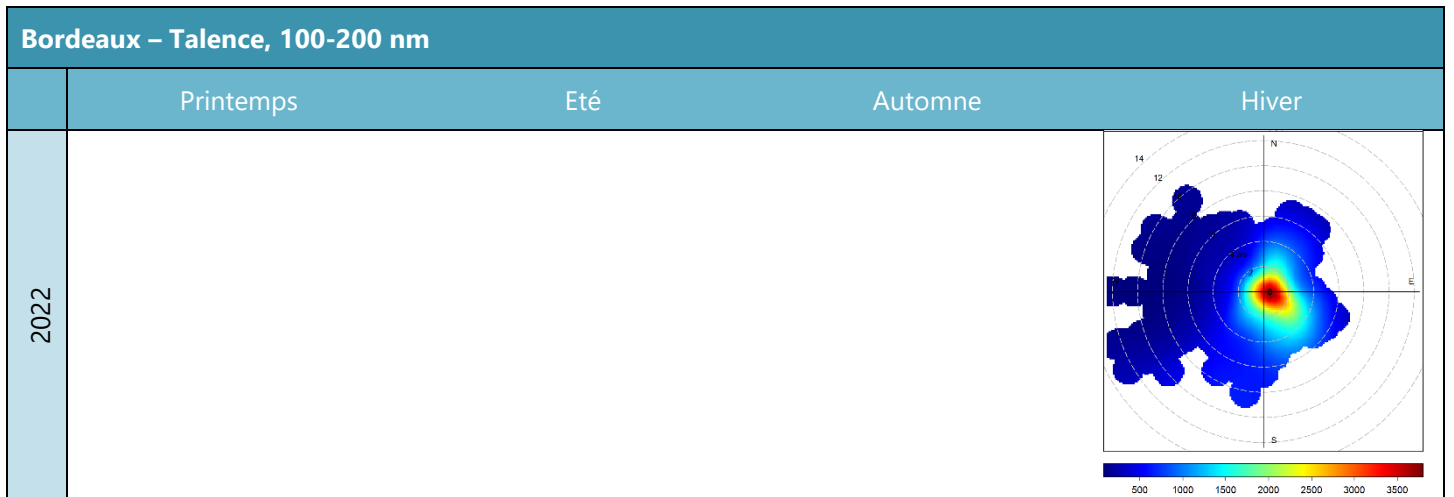


Figure 46 | Bordeaux-Talence, Roses de pollution pour les particules de la classe 30-50 nm

→ Classes 100-200 nm

- Les masses d'air les plus chargées en particules de ce diamètre se retrouvent à l'automne et en hiver.
- Ces masses d'air sont issues de sources locales, vitesse de vents inférieure à  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



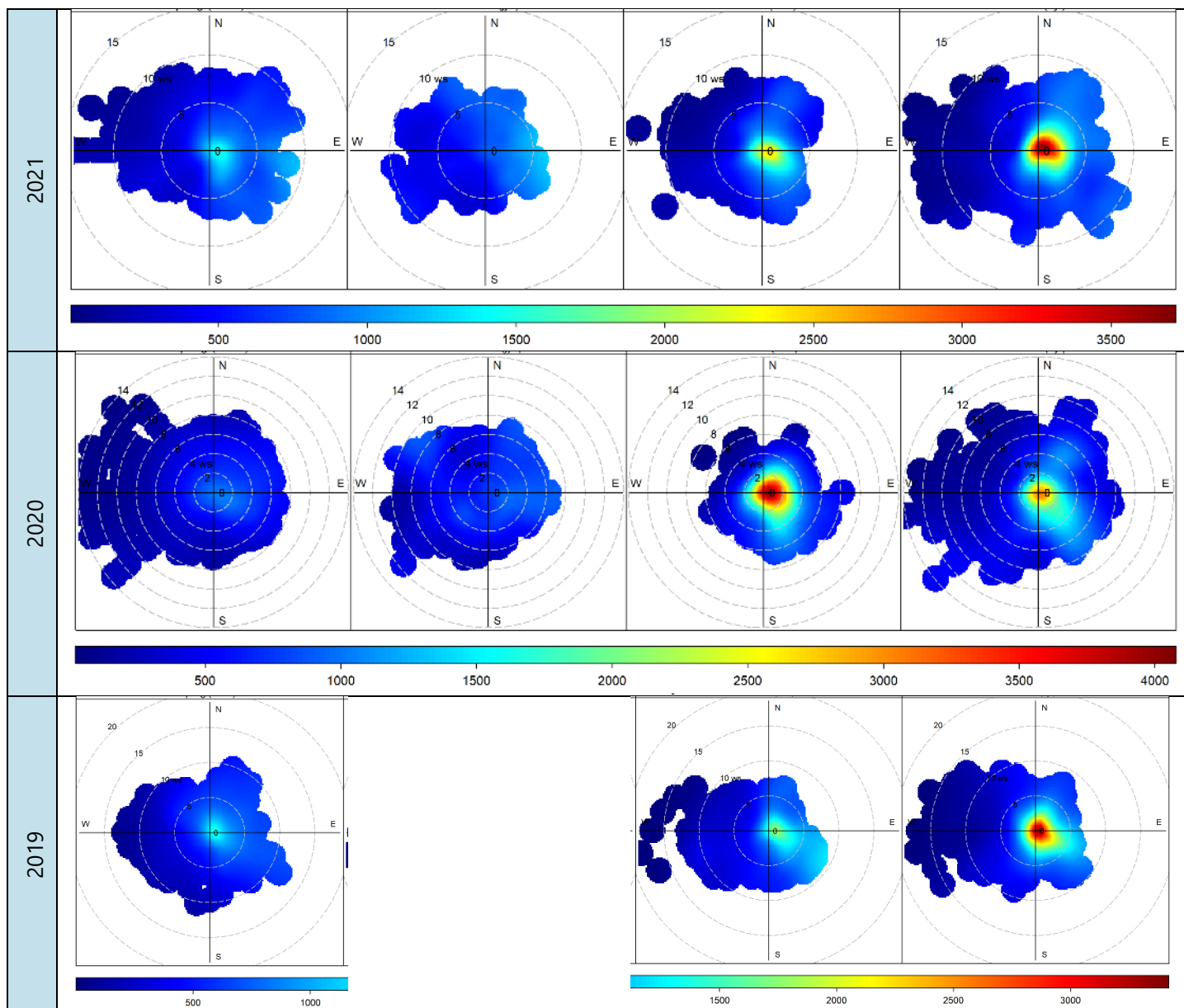


Figure 47 | Bordeaux-Talence, Roses de pollution pour les particules de la classe 100-200 nm

➔ Ces observations corroborent les hypothèses émises précédemment, à savoir l'influence du trafic tout au long de l'année (classe 30-50 nm) et celle du chauffage résidentiel en période froide (classe 100-200 nm).

#### Lacq

➔ Classes 30-50 nm

- Le plus grand nombre provient d'un secteur sud-ouest, sous les vents de la plateforme industrielle.

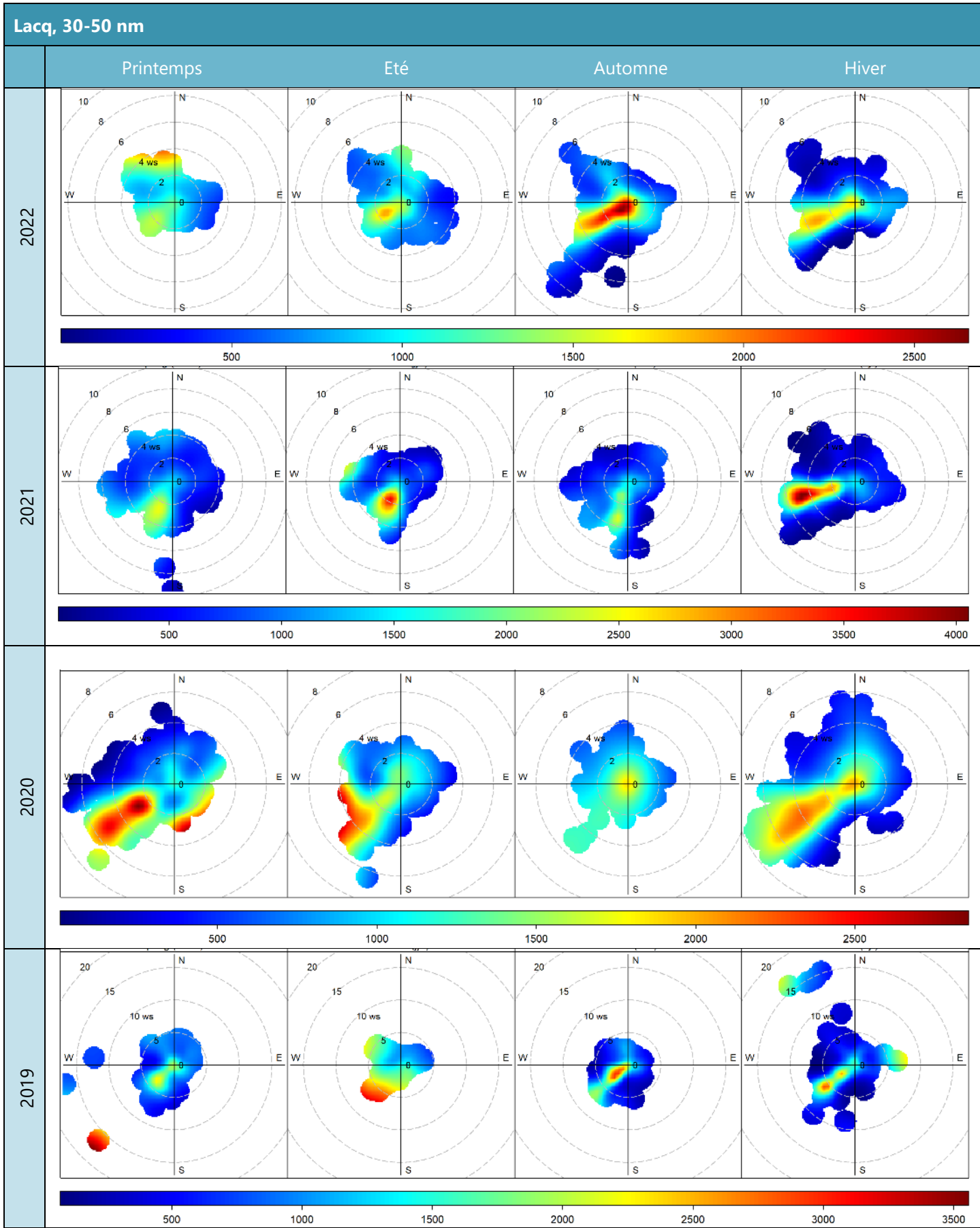
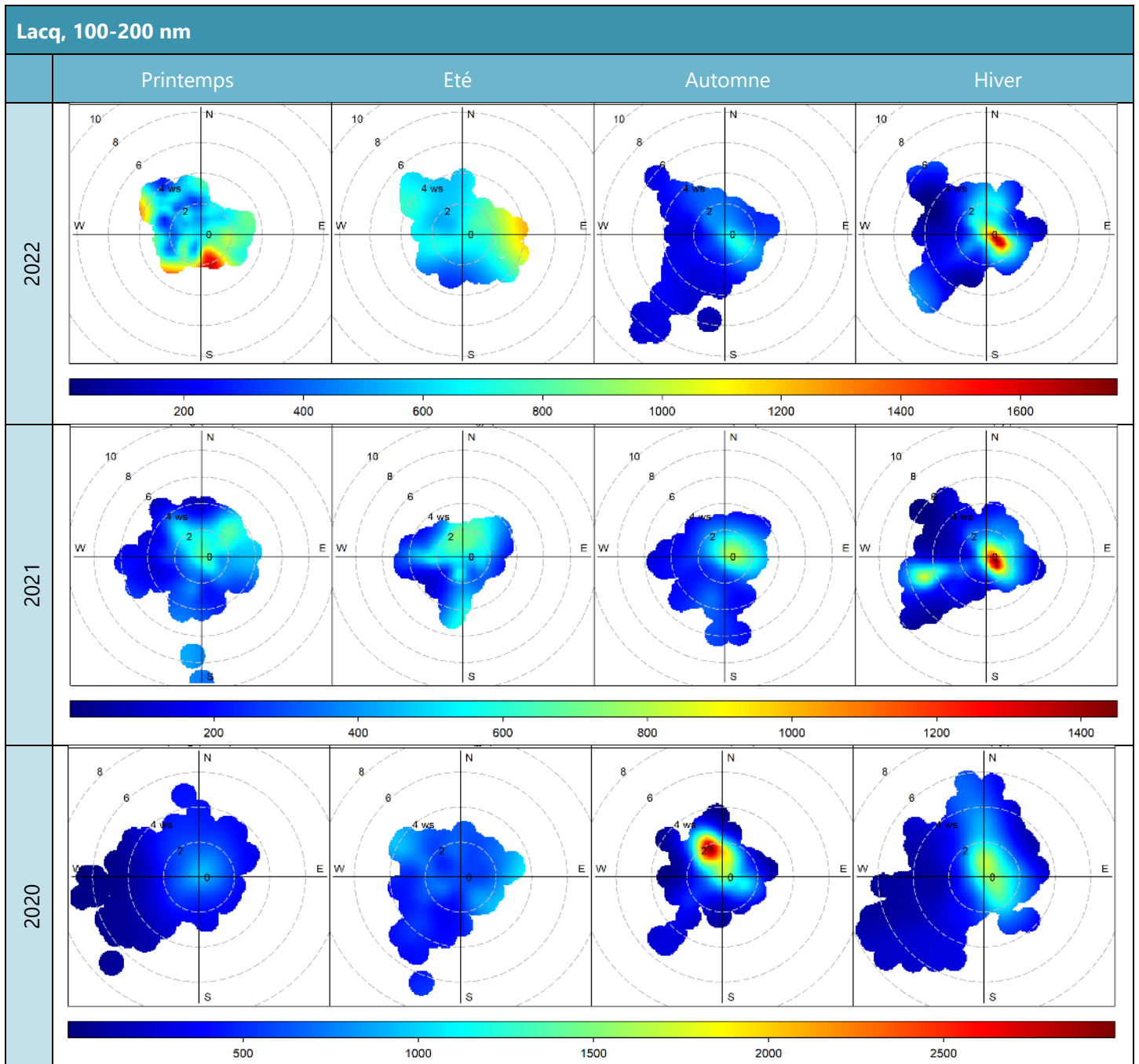


Figure 48 | Lacq, Roses de pollution pour les particules de la classe 30-50 nm

→ Classes 100-200 nm

- Les masses d'air sont plus chargées en période froide et peuvent être issues de masses d'air locales ou distantes (fort nombre lors de vents inférieurs à  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en hiver et inférieur à  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en automne),
- Ces particules ne proviennent pas spécifiquement de la zone industrielle.



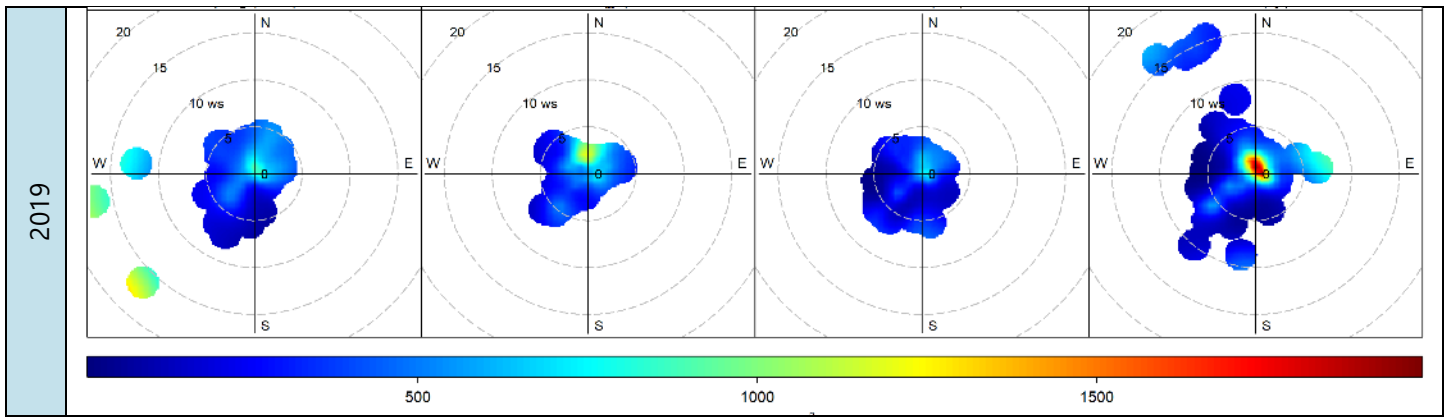


Figure 49 | Lacq, Roses de pollution pour les particules de la classe 100-200 nm

## 6.2. Particules fines et grossières [ $0,15\mu\text{m} < D_p < 15\mu\text{m}$ ]

Cette partie traite maintenant des mesures de particules effectuées à l'aide du Fidas. C'est un granulomètre, il comptabilise les particules allant d'un diamètre de  $0,15\mu\text{m}$  (soit  $150\text{nm}$ ) à un diamètre de  $15\mu\text{m}$ . L'appareil les classe en 64 catégories de particules, ce qui permet d'étudier finement la granulométrie des particules mesurées. Trois sites sont équipés de Fidas : Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard et Limoges-Berland.

### 6.2.1. Statistiques descriptives

Le diagramme en boîte, ou « boxplot » en anglais, est la représentation statistique d'une série de données d'observation. Cet outil graphique permet la représentation des informations de dispersion de la série de données étudiée : moyenne, médiane, valeurs extrêmes, premiers et troisièmes quartiles. L'explication de la lecture de ces diagrammes se trouve en annexe 4.

Les diagrammes ci-dessous présentent les nombres de particules par  $\text{cm}^3$  observé par les Fidas des stations de Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard et Limoges-Berland au cours des années 2019, 2020, 2021 et 2022, à l'échelle journalière. En raison du faible taux de fonctionnement de l'appareil (15 %), les résultats de Bordeaux-Talence 2022 ne sont pas présentés, car ceux-ci sont jugés non représentatifs de l'année écoulée.

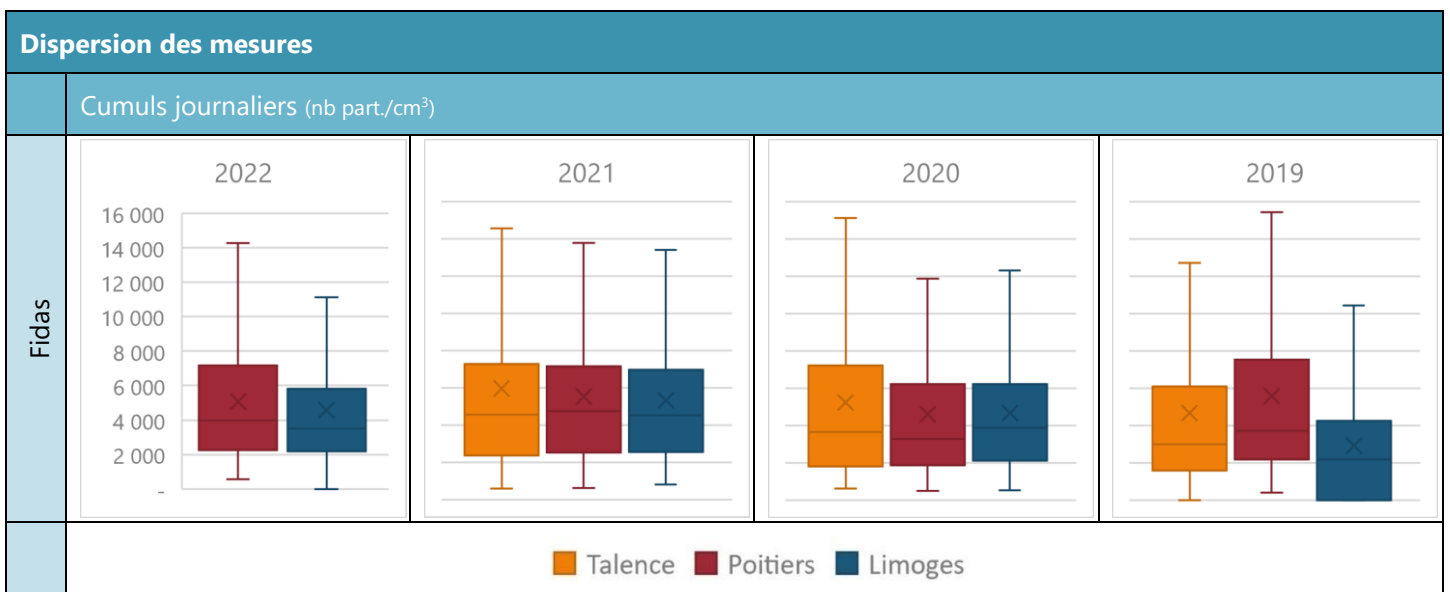


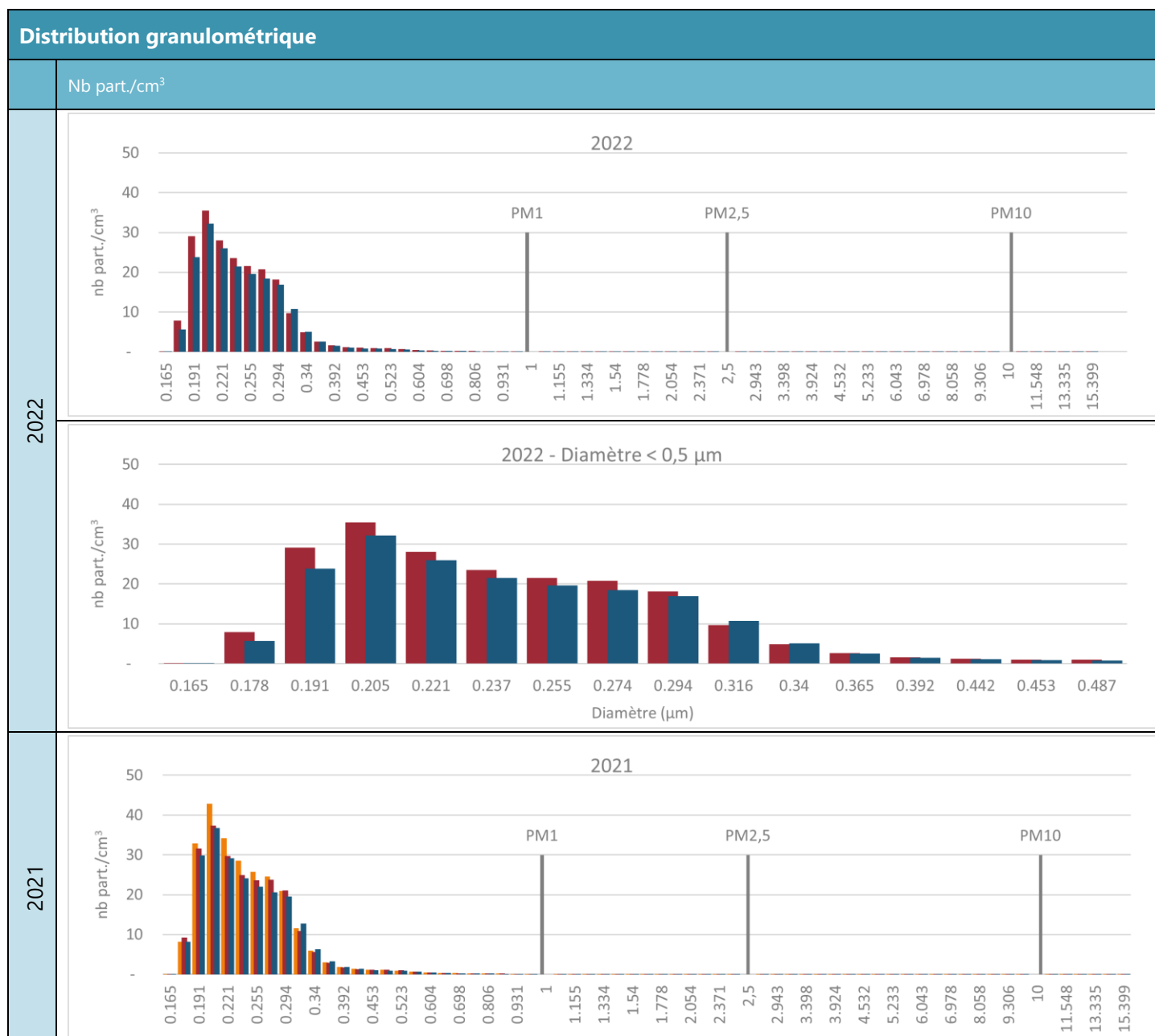
Figure 50 | Fidas, Dispersion des mesures

- Sur les 3 sites et les 4 années, la dispersion ainsi que les niveaux moyens et médians observés sont similaires.

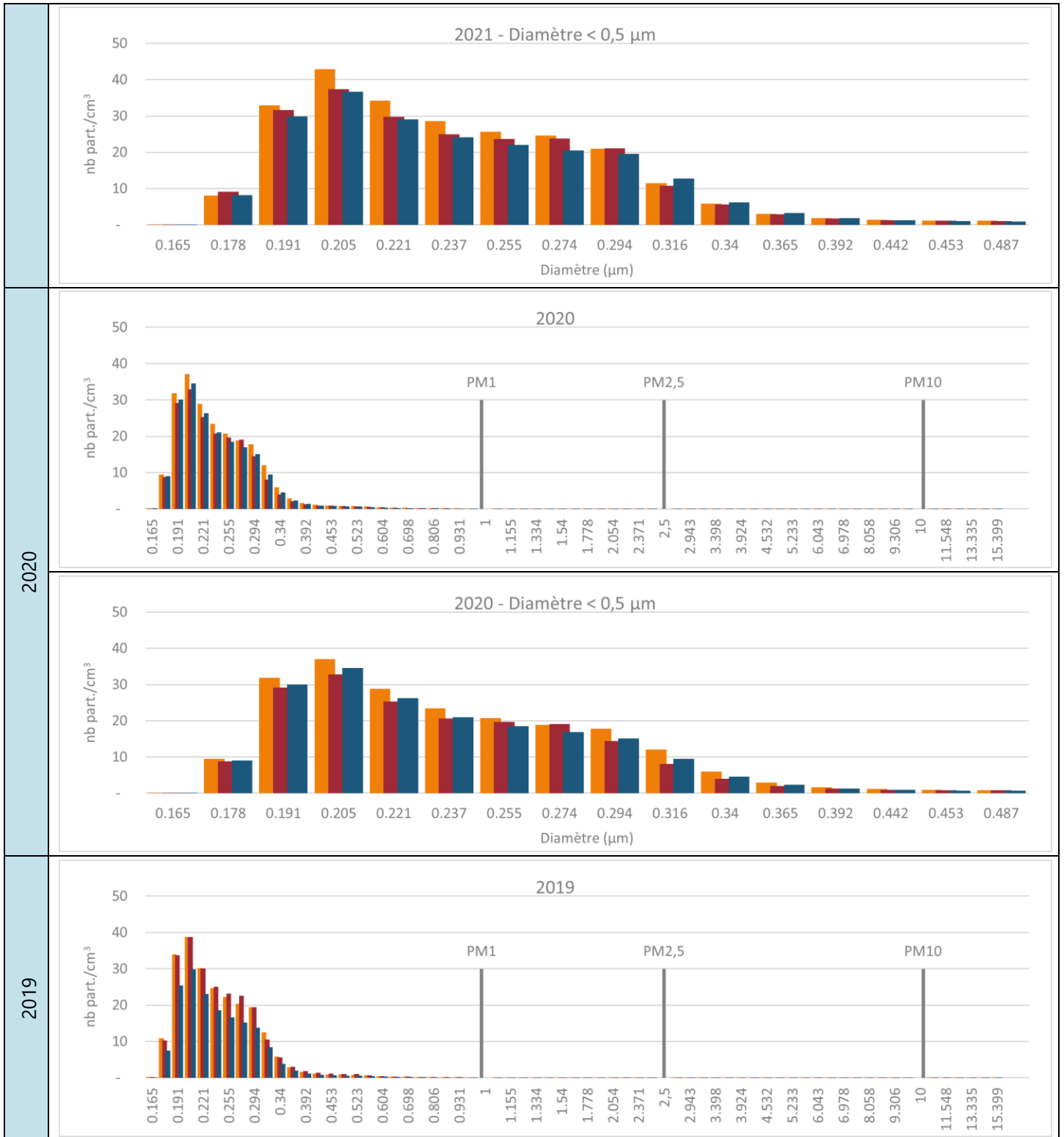
## 6.2.2. Distribution granulométrique

Les profils granulométriques représentent le nombre de particules comptabilisées par l'appareil pour chacune des classes de taille. Ces profils permettent d'observer la répartition du nombre de particules en fonction de leur diamètre.

Les figures suivantes représentent les profils granulométriques, observés par les Fidas installés sur les stations de Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard et Limoges Berland, pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022. Pour chaque site, 2 graphiques sont présentés, le premier illustrant l'intégralité du profil granulométrique, le second focalise sur les particules de diamètre inférieur à 0,5 µm.







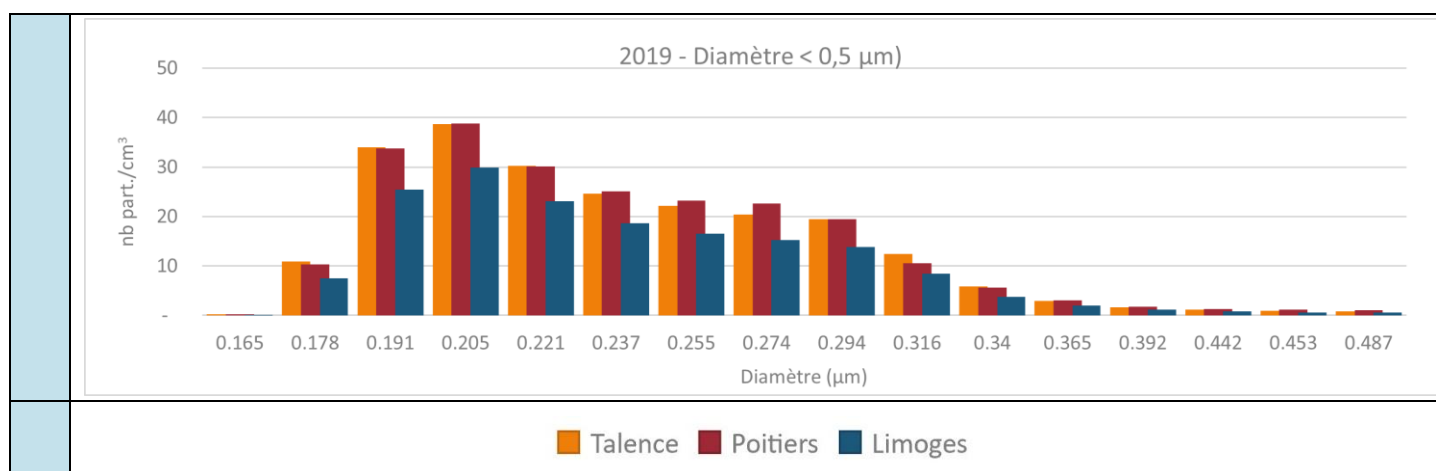


Figure 51 | Fidas, Distribution granulométrique

De ces graphiques, plusieurs observations sont à noter :

- ➔ La majorité des particules comptabilisées sur ces 3 sites ont des diamètres de taille inférieure à 0,5 µm.
- ➔ Les 3 sites présentent des profils granulométriques similaires avec des maxima pour les particules de diamètre 0,191 µm à 0,205 µm.
- ➔ Le site de Bordeaux-Talence présente des niveaux légèrement plus élevés en particules, Limoges-Berland les plus faibles.

Le tableau ci-dessous présente les parts des particules de diamètre inférieur à 0,4 µm [PM<sub>0,4</sub>] par rapport à l'ensemble des particules comptabilisées par l'appareil, de même pour les diamètres 0,5 [PM<sub>0,5</sub>], 0,8 [PM<sub>0,8</sub>], 1 [PM<sub>1</sub>], 2,5 [PM<sub>2,5</sub>] et 10 µm [PM<sub>10</sub>].

Distribution granulométrique (en %)								
Diametre (µm)		PM0,4	PM0,5	PM0,8	PM1	PM2,5	PM10	PMTOT
Talence	2022	-	-	-	-	-	-	-
	2021	96.7%	98.1%	99.4%	99.6%	99.9%	100.0%	100.0%
	2020	96.6%	97.9%	99.3%	99.5%	99.9%	100.0%	100.0%
	2019	96.6%	97.9%	99.3%	99.5%	99.9%	100.0%	100.0%
Poitiers	2022	96.2%	97.8%	99.3%	99.5%	99.9%	100.0%	100.0%
	2021	96.4%	98.0%	99.4%	99.6%	99.9%	100.0%	100.0%
	2020	96.4%	97.8%	99.2%	99.5%	99.9%	100.0%	100.0%
	2019	96.3%	97.8%	99.3%	99.5%	99.9%	100.0%	100.0%
Limoges	2022	96.5%	98.0%	99.3%	99.5%	99.9%	100.0%	100.0%
	2021	96.6%	98.1%	99.4%	99.6%	99.9%	100.0%	100.0%
	2020	96.9%	98.2%	99.4%	99.6%	99.9%	100.0%	100.0%
	2019	96.9%	98.1%	99.3%	99.5%	99.9%	100.0%	100.0%

- ➔ Pour les 3 sites et les quatre années, les PM<sub>0,4</sub> représentent plus de 96 % des particules mesurées par l'appareil, les PM<sub>1</sub> environ 99,5 %, les PM<sub>2,5</sub> environ 99,9% et les PM<sub>10</sub> la presque totalité.

### 6.2.3. Evolution annuelle

Pour chaque site équipé d'un Fidas, est représenté ci-dessous l'évolution annuelle des particules mesurées par classe, seules les PM<sub>0,5</sub> sont présentées.



Figure 52 | Fidas, Evolution annuelle

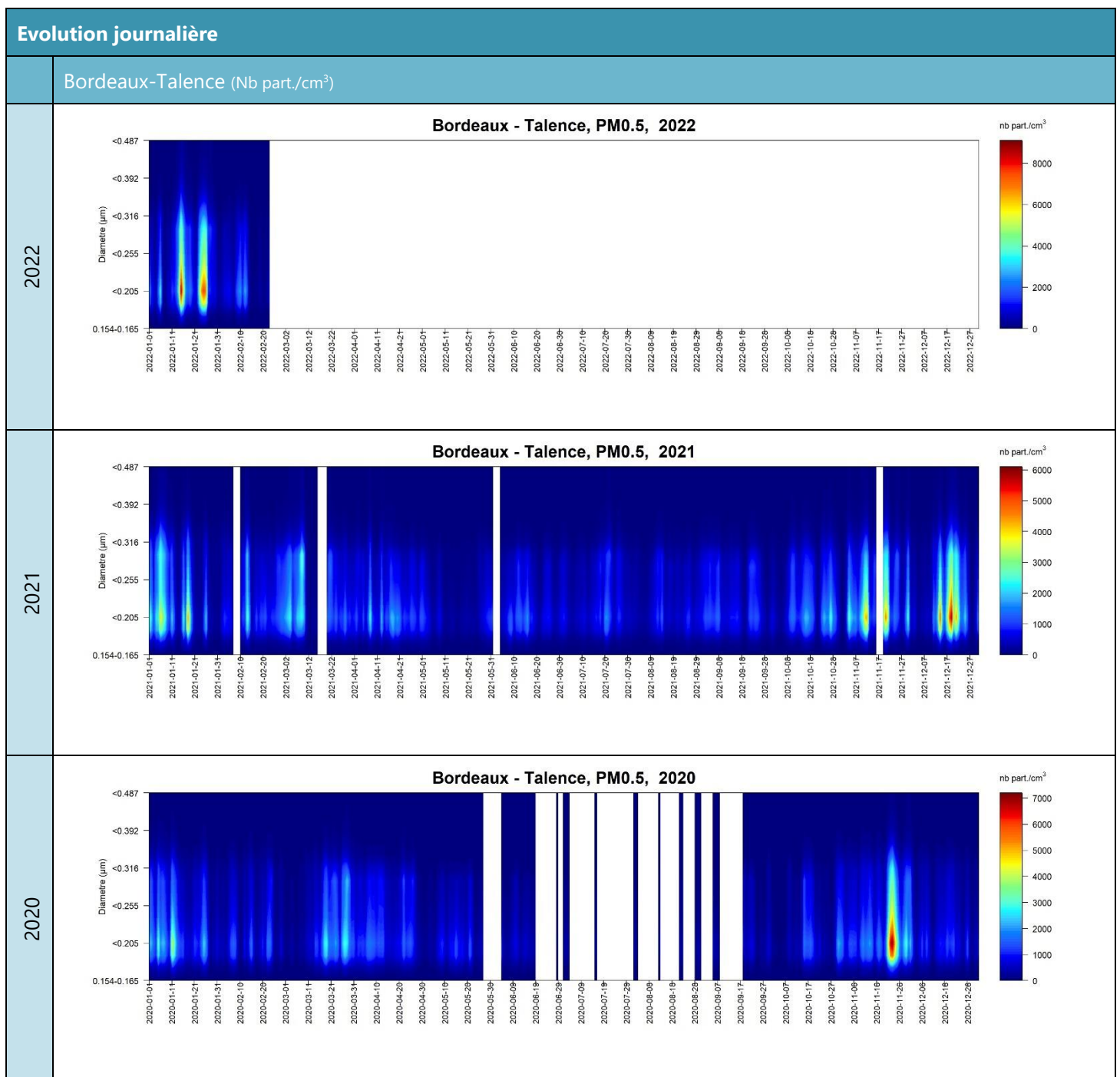
- Pour chacun des sites, la distribution granulométrique varie peu au cours de ces 4 années.
  - La répartition par classe reste similaire d'une année sur l'autre.
  - Les niveaux atteints sont du même ordre de grandeur.
  - Les 3 sites présentent des profils granulométriques semblables.

## 6.2.4. Evolution journalière

Les graphiques suivants représentent les évolutions journalières des 4 années étudiées, pour les particules de diamètre inférieur à 0,5  $\mu\text{m}$ . Cette représentation permet de visualiser, pour chaque journée, le nombre de particules mesurées pour chacune des classes. Ainsi, les zones rouges du graphique montrent les journées, ainsi que la classe de particules concernée par l'augmentation du nombre de particules, les zones bleues correspondent aux périodes et classes de particules faiblement impactées.

### Bordeaux-Talence

➔ L'augmentation du nombre de ces particules apparaît essentiellement pendant les mois de janvier, février, novembre et décembre, et concerne particulièrement les particules de diamètre 0,2 à 0,3  $\mu\text{m}$ , soit 200-300 nm. Ces particules sont liées à la combustion de bois pour le chauffage résidentiel.



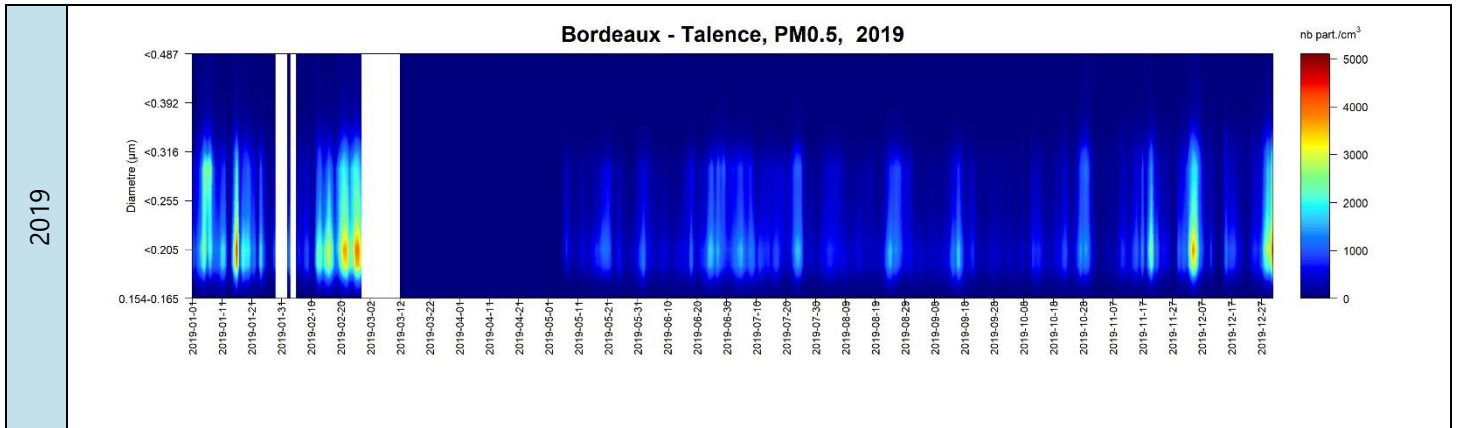
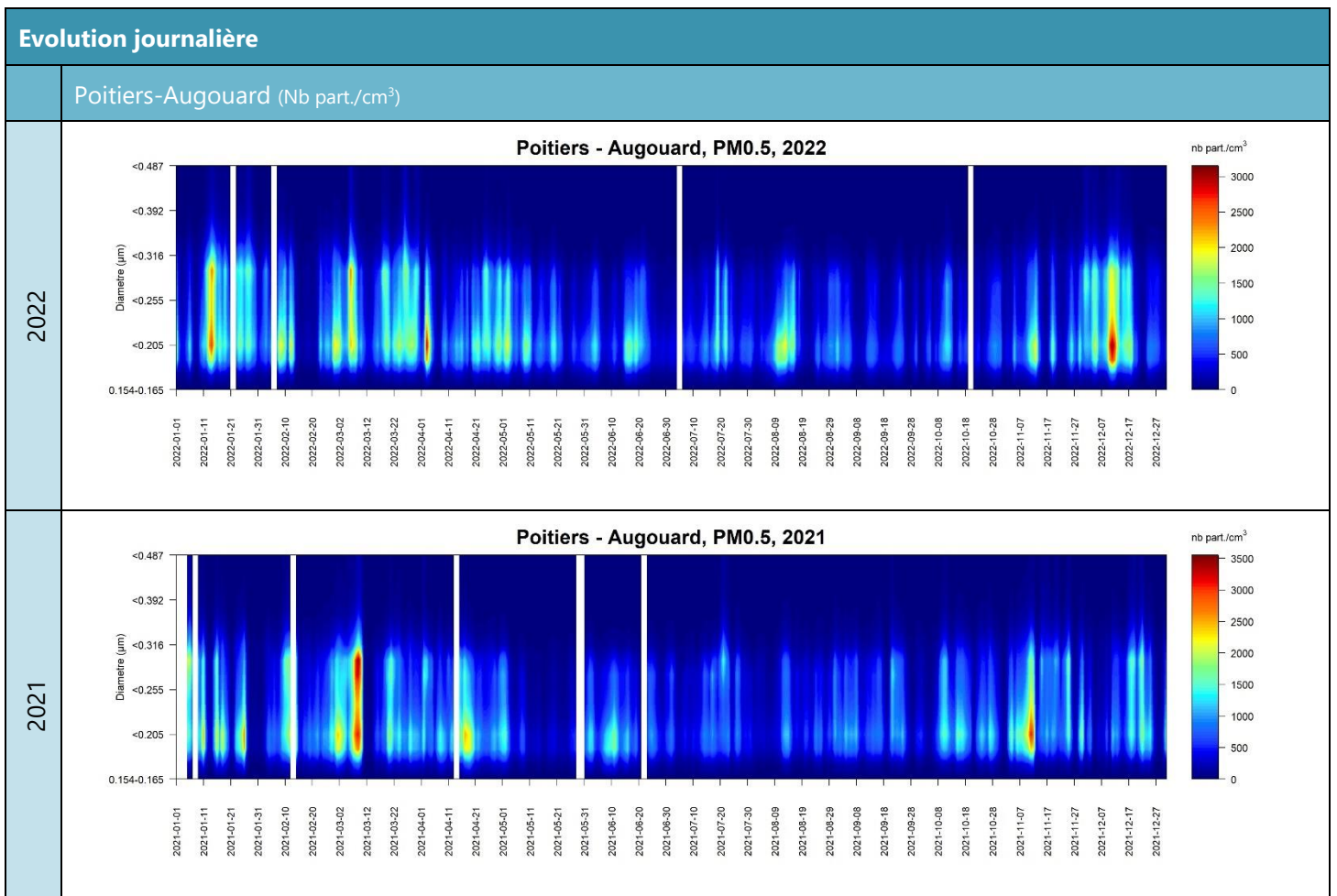


Figure 53 | Bordeaux-Talence - Fidas, Evolution journalière

### Poitiers-Augourd

→ Comme pour Bordeaux-Talence, on observe l'augmentation du nombre de ces particules essentiellement pendant les mois de janvier, février, novembre et décembre et concernant particulièrement les particules de diamètre 0,2 à 0,3 µm, soit 200-300 nm. Ces particules sont liées à la combustion de bois pour le chauffage résidentiel.



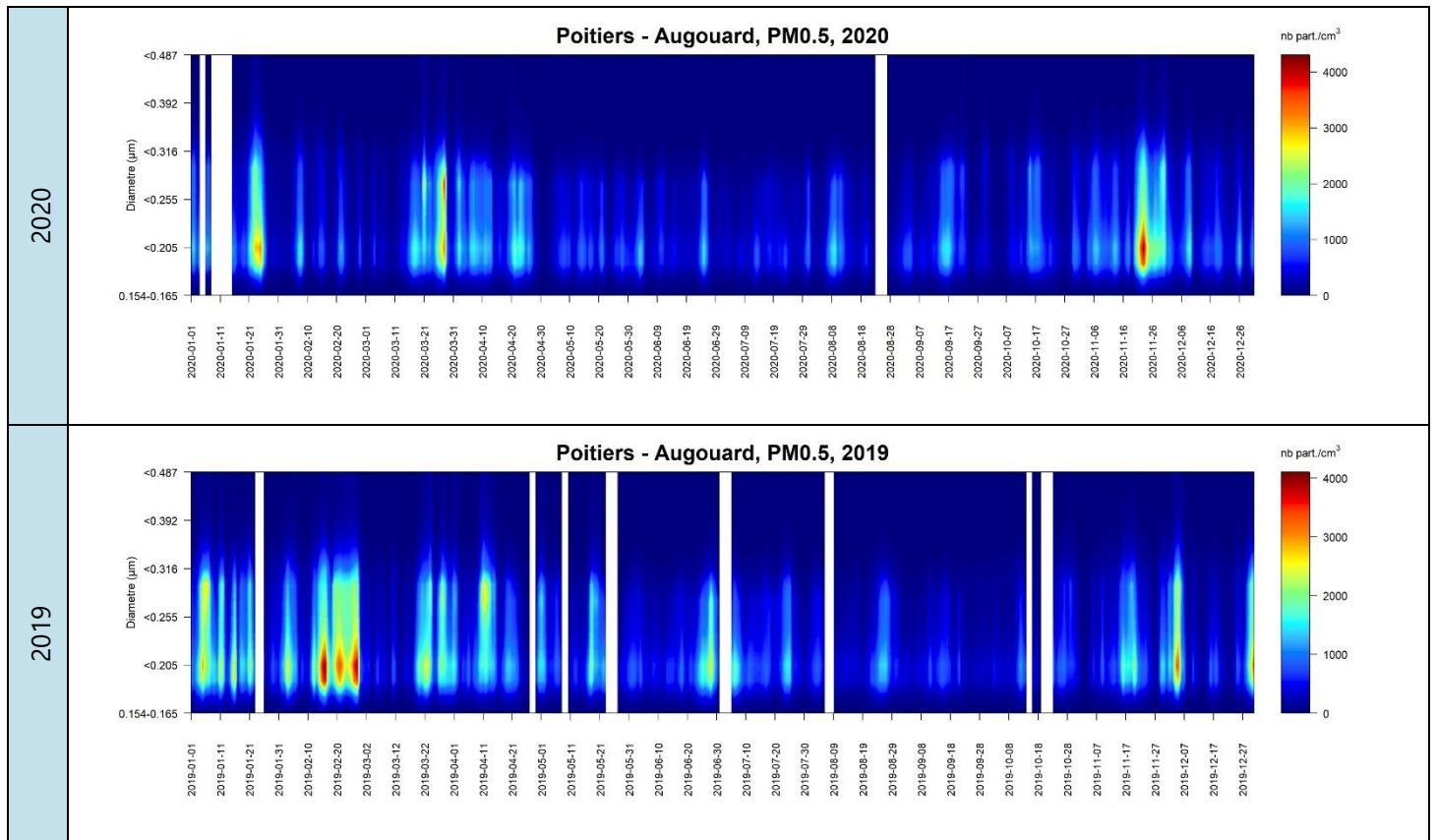
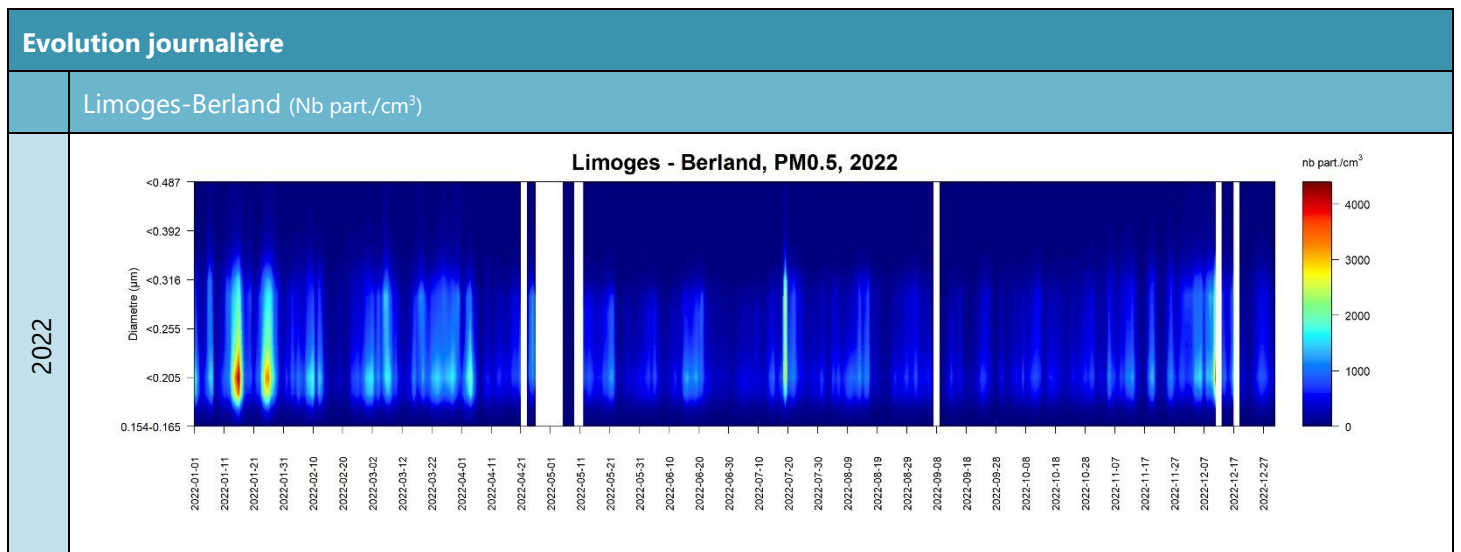


Figure 54 | Poitiers-Augourd - Fidas, Evolution journalière

### Limoges-Berland

→ Comme pour les 2 sites précédents, on observe l'augmentation du nombre de ces particules essentiellement pendant les mois de janvier, février, novembre et décembre et concernant particulièrement les particules de diamètre 0,2 à 0,3 µm, soit 200-300 nm. Ces particules sont liées à la combustion de bois pour le chauffage résidentiel.



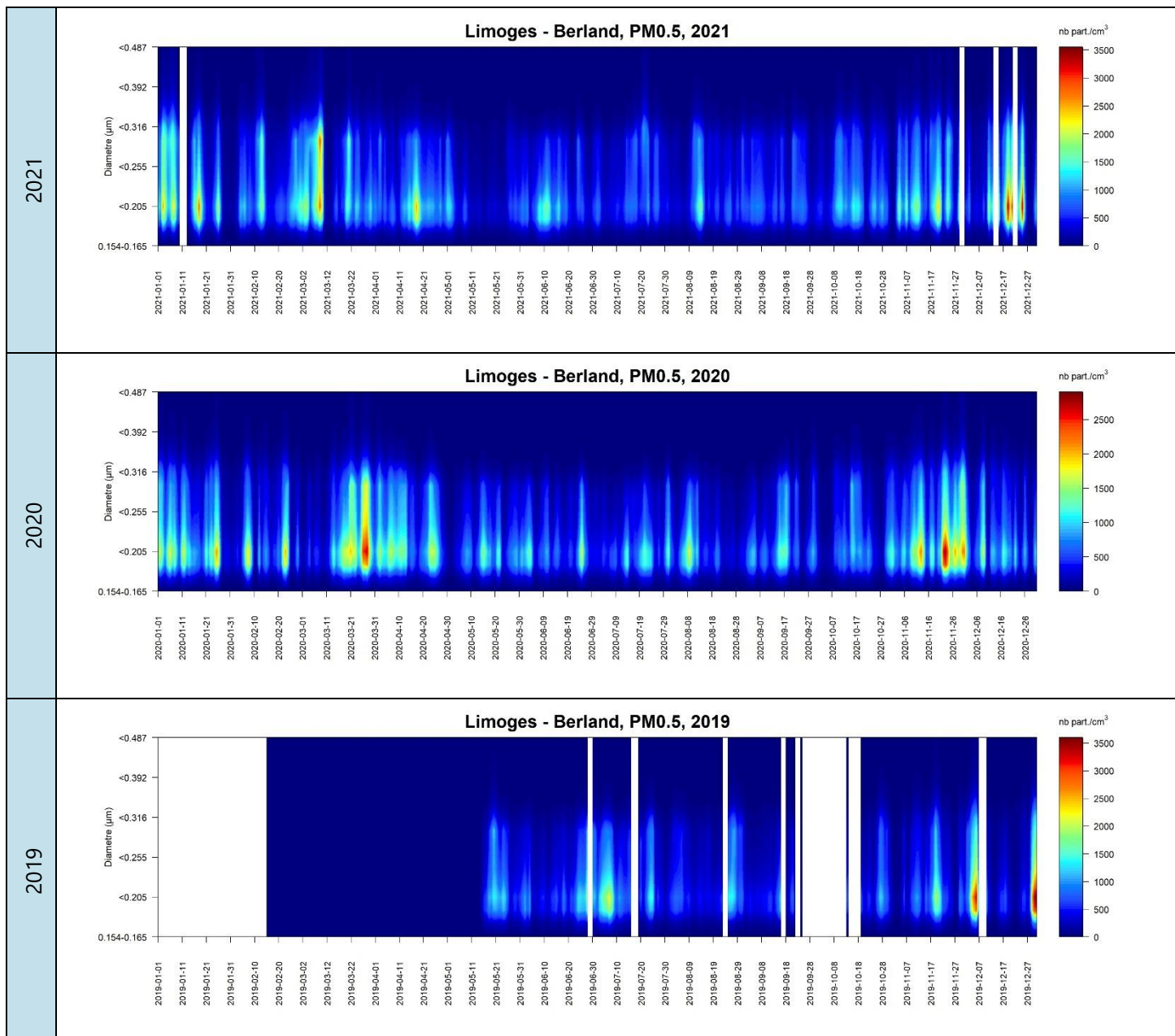


Figure 55 | Limoges-Berland - Fidas, Evolution journalière

## 6.2.5. Comparaison entre les appareils

### Comparaison entre Fidas et UFP3031

Le Fidas mesure les particules dont le diamètre est compris entre 0,15 µm et 15 µm et les distribue en 64 classes. Il est possible d'en extraire les particules de taille 0,2-0,8 µm, soit 200-800 nm, et de les confronter avec cette même classe provenant de l'UFP 3031. Cette comparaison est uniquement possible pour le site de Bordeaux-Talence, seule station équipée de ces 2 appareils.

## Comparaison Fidas - UFP3031

Bordeaux-Talence, diamètre 200-800 nm

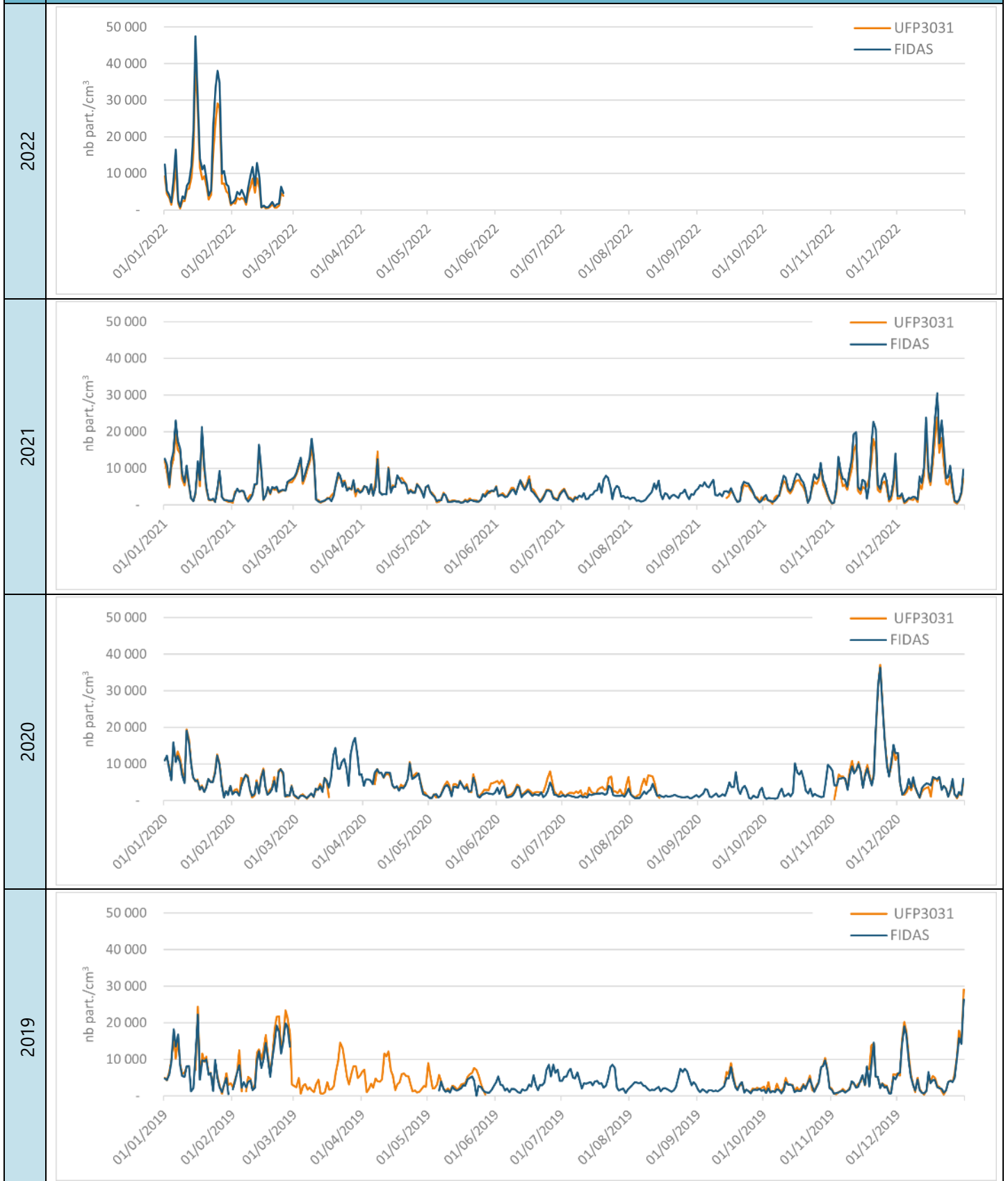


Figure 56 | Bordeaux-Talence, Comparaison des appareils Fidas et UFP3031

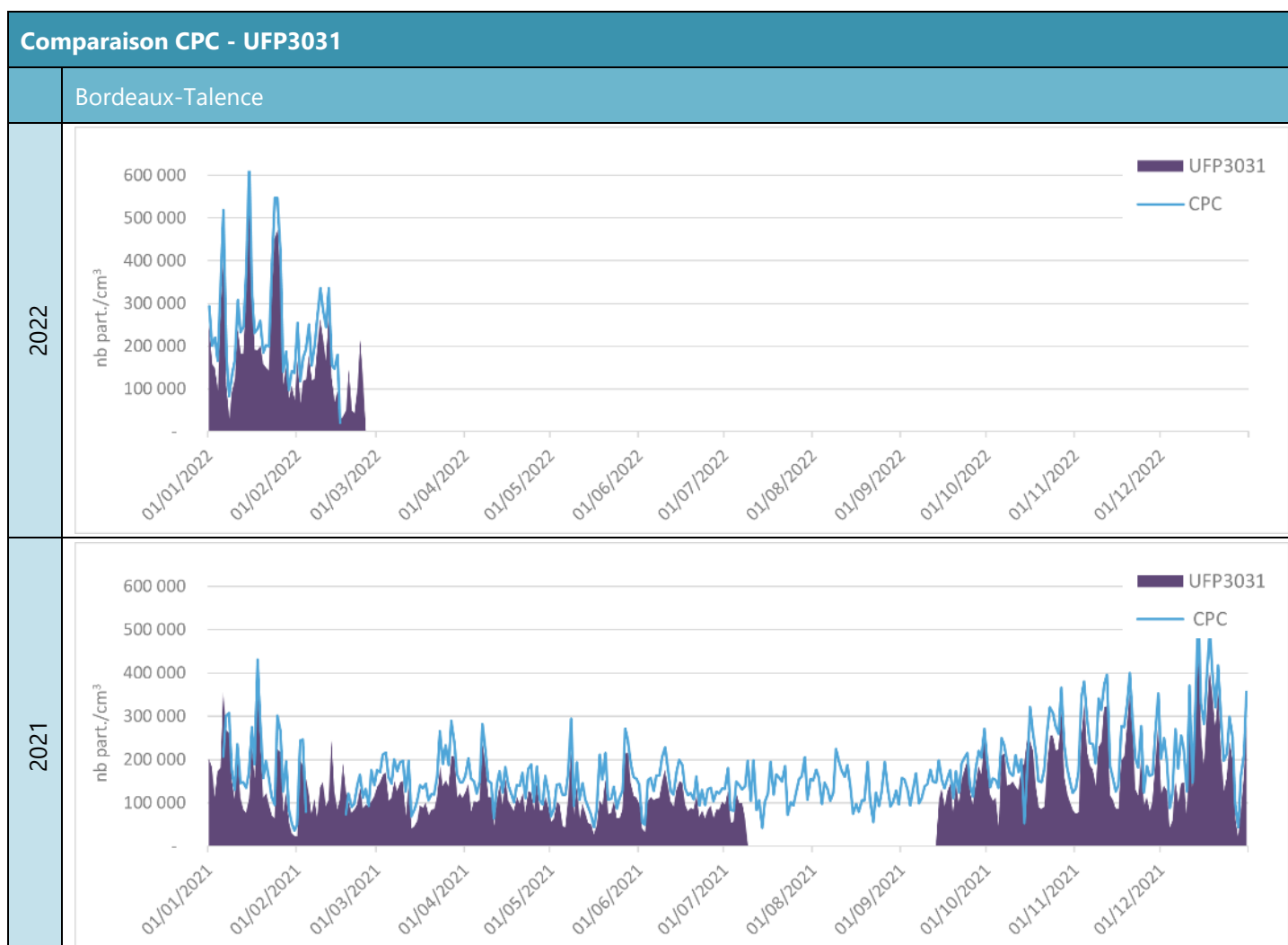


- Pour les 4 années, les évolutions journalières mesurées par le Fidas et par le UFP 3031, classe 200-800 nm sont similaires. Les niveaux atteints sont équivalents et les fluctuations temporelles sont en phase et présentent les mêmes évolutions journalières.

### Comparaison entre CPC et UFP3031

Le CPC mesure les particules dont le diamètre est compris entre 7 nm et 1 µm. Il est possible de le confronter avec la classe 200-800 nm provenant du UFP 3031. Cette comparaison est uniquement possible pour le site de Bordeaux-Talence, seule station équipée de ces 2 appareils.

- Pour les 4 années, les évolutions journalières mesurées par le CPC et par le UFP 3031, classe 200-800 nm sont similaires. Les niveaux atteints par le CPC sont plus élevés que les niveaux du UFP3031, cela peut s'expliquer par la classe de particules mesurée plus large (jusqu'à 1 µm pour le CPC et 800 nm pour le UFP 3031). Les fluctuations temporelles sont en phase et présentent les mêmes évolutions journalières.



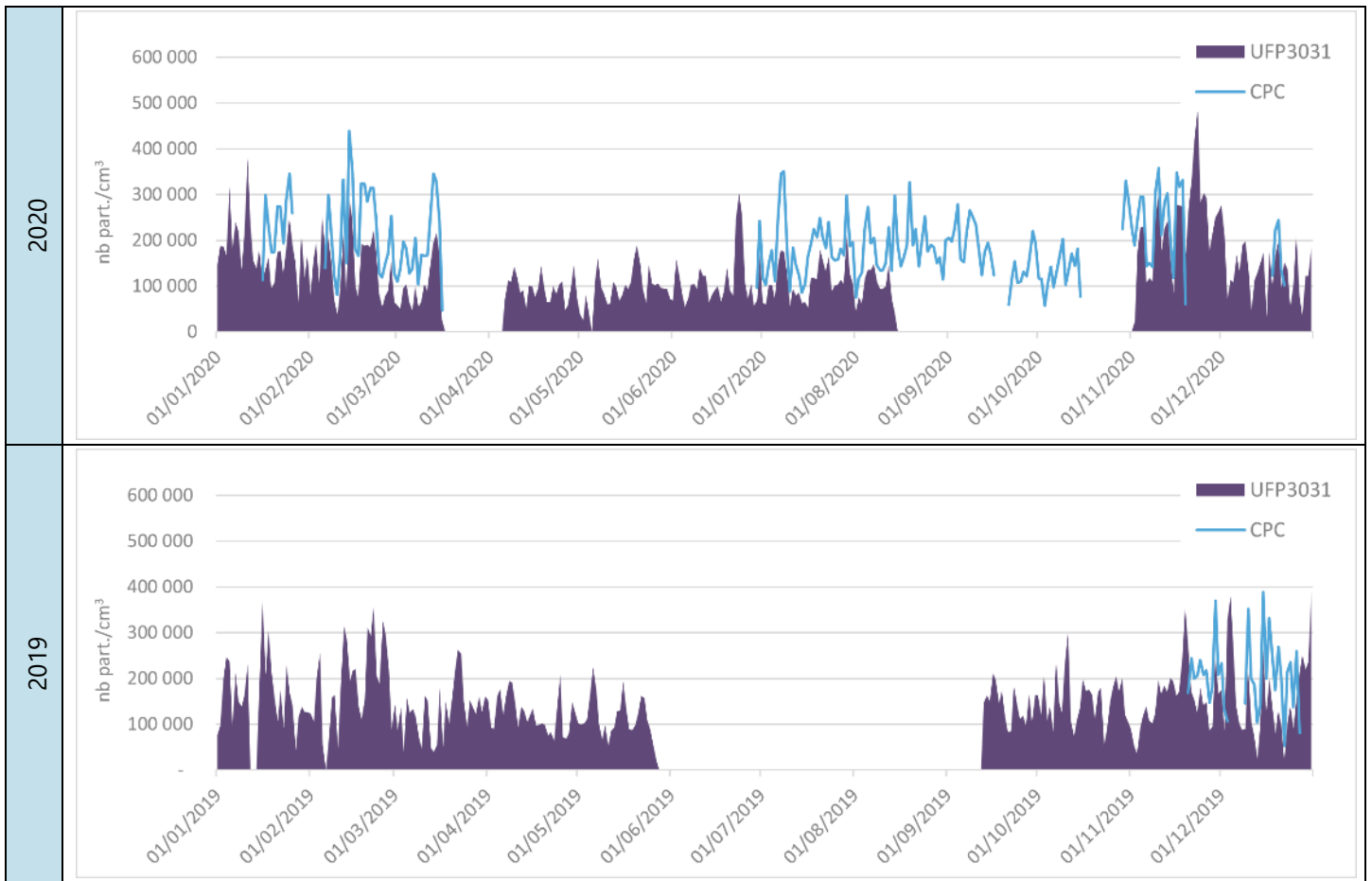


Figure 57 | Bordeaux-Talence, Comparaison des appareils CPC et UFP3031

## 7. Conclusions

Depuis plusieurs années, les particules fines et ultrafines sont suivies sur quatre sites de la région Nouvelle-Aquitaine, dont trois sont aujourd'hui des stations de référence « particules ». Trois sont des stations urbaines de fond, la quatrième est une station rurale proche sous influence industrielle.

Plusieurs grandeurs sont suivies en continu sur ces sites :

- La granulométrie des particules fines et ultrafines suivant six classes de taille entre 20 et 800 nm sur les stations de Bordeaux-Talence et de Lacq,
- La granulométrie des particules fines et grossières suivant 64 classes de tailles entre 150 nm et 15  $\mu\text{m}$  sur les stations de Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard et Limoges-Berland,
- Le comptage des particules  $\text{PM}_{10}$  sur Bordeaux-Talence et Poitiers-Augouard.

→ En fond urbain, deux sources majoritaires de particules ont été identifiées :

- **Le trafic routier**, émettant des particules de diamètre inférieur à 50 nm

Ces particules ultrafines présentent une bonne corrélation avec les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) ainsi qu'avec le  $\text{BC}_{\text{ff}}$ , particules provenant de la combustion de combustibles fossiles. Les concentrations de ces classes sont plus importantes en jours ouvrés que le week-end, des pics de concentrations sont également observables le matin et le soir. Ces évolutions hebdomadaires et journalières sont typiques des polluants d'origine routière.

- **La combustion de la biomasse**, identifiable à travers les particules de diamètre 100 à 200 nm

Ces particules sont très bien corrélées avec les  $\text{PM}_{10}$ , les  $\text{PM}_{2,5}$  ainsi qu'avec les particules provenant de la combustion de biomasse ( $\text{BC}_{\text{wb}}$ ). Les variations saisonnières sont importantes : les niveaux de ces particules sont nettement plus hauts en hiver qu'en été. Pendant la saison froide, les concentrations nocturnes restent élevées, typiques de l'utilisation du chauffage au bois. Les roses de pollution illustrent bien le constat précédent : les vents sont peu chargés en été, les masses d'air de la période froide sont nettement plus concentrées en particules 100-200 nm. Celles-ci proviennent de sources locales ainsi que de l'ensemble des directions. La classe 100-200 nm est caractéristique des émissions liées au chauffage bois.

→ En proximité industrielle, les deux sources majoritaires identifiées en fond urbain sont présentes mais une troisième a clairement été identifiée : la plateforme industrielle de Lacq.

En effet, l'étude des vents a permis de mettre en évidence des masses d'air chargées en particules ultrafines, de diamètre inférieur à 50 nm, de provenance sud-ouest, pointant directement la zone industrielle. De plus, même si à l'échelle annuelle, il ne semble y avoir aucune corrélation entre le traceur de l'activité industrielle du secteur, le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), et cette classe de taille de particules ; à l'échelle horaire, des correspondances entre ces deux paramètres ont clairement été identifiées. En effet, ces particules pourraient être liées à la formation d'aérosols secondaires tels que les sulfates à partir du  $\text{SO}_2$ .

→ Avec le granulomètre Fidas, permettant de distribuer les particules de diamètre compris entre 150 nm à 15  $\mu\text{m}$ , nous observons que la majorité des particules ont des diamètres de taille inférieure à 0,5  $\mu\text{m}$ . En effet, 96 % des particules (en nombre) ont un diamètre inférieur à 0,4  $\mu\text{m}$ , 99 % ont un diamètre inférieur à 1  $\mu\text{m}$  et 99,9 % ont un diamètre inférieur à 2,5  $\mu\text{m}$ . Les 3 sites (Bordeaux-Talence, Poitiers-Augouard et Limoges-Berland, stations urbaines de fond) présentent des profils granulométriques similaires, avec des maxima pour les particules de diamètre compris entre 0,191  $\mu\text{m}$  à 0,205  $\mu\text{m}$ .

# Table des figures

Figure 1   Matériel et méthodes de mesure.....	10
Figure 2   Distribution en nombre et en volume des particules atmosphériques en fonction du diamètre (Seinfeld and Pandis, 1998).....	12
Figure 3   UFP 3031, Photographie et principe de fonctionnement.....	14
Figure 4   Fidas, Photographie du granulomètre.....	15
Figure 5   CPC, Photographie et principe de fonctionnement.....	15
Figure 6   Localisation des mesures de particules fines et ultrafines, Carte régionale.....	16
Figure 7   Bordeaux-Talence, Localisation et environnement de la station.....	17
Figure 8   Poitiers-Augouard, Localisation et environnement de la station.....	18
Figure 9   Limoges-Berland, Localisation et environnement de la station.....	19
Figure 10   Lacq, Localisation et environnement de la station.....	20
Figure 11   Taux de fonctionnement annuel.....	21
Figure 12   Bordeaux-Talence, Taux de fonctionnement mensuel.....	21
Figure 13   Poitiers-Augouard, Taux de fonctionnement mensuel.....	21
Figure 14   Limoges-Berland, Taux de fonctionnement mensuel.....	22
Figure 15   Lacq, Taux de fonctionnement mensuel.....	22
Figure 16   Bordeaux-Mérignac, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles).....	23
Figure 17   Bordeaux-Mérignac, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières).....	25
Figure 18   Poitiers-Biard, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles).....	25
Figure 19   Poitiers-Biard, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières).....	27
Figure 20   Limoges-Bellegarde, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles).....	27
Figure 21   Limoges-Bellegarde, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières).....	29
Figure 22   Pau-Uzein, Précipitations et températures minimales et maximales (données annuelles).....	29
Figure 23   Pau-Uzein, Précipitations et températures minimales et maximales (données journalières).....	31
Figure 24   Bordeaux-Mérignac, Roses des vents annuelles (données horaires).....	32
Figure 25   Bordeaux-Mérignac, Roses des vents saisonnières (données horaires).....	33
Figure 26   Poitiers-Biard, Roses des vents annuelles (données horaires).....	34
Figure 27   Poitiers-Biard, Roses des vents saisonnières (données horaires).....	35
Figure 28   Limoges-Bellegarde, Roses des vents annuelles (données horaires).....	36
Figure 29   Limoges-Bellegarde, Roses des vents saisonnières (données horaires).....	37
Figure 30   Pau-Uzein, Roses des vents annuelles (données horaires).....	38
Figure 31   Pau-Uzein, Roses des vents saisonnières (données horaires).....	39
Figure 32   Bordeaux-Talence, Dispersion des mesures.....	41
Figure 33   Lacq, Dispersion des mesures.....	42
Figure 34   Bordeaux-Talence, Distribution moyenne par taille de PUF (données horaires).....	43
Figure 35   Pau-Uzein, Distribution moyenne par taille de PUF (données horaires).....	44
Figure 36   Profils annuels moyens, Comparaison des sites Bordeaux-Talence et Lacq (représentation « radar »).....	46
Figure 37   Profils annuels moyens, Comparaison des sites Bordeaux-Talence et Lacq par classe de particules (représentation « radar »).....	47
Figure 38   Bordeaux-Talence, Evolution mensuelle.....	49
Figure 39   Lacq, Evolution mensuelle.....	50
Figure 40   Profils journaliers moyens, Semaine.....	52
Figure 41   Profils journaliers moyens, Week end.....	55
Figure 42   Bordeaux-Talence, Evolution journalière.....	56
Figure 43   Lacq, Evolution journalière.....	57

Figure 44	Bordeaux-Talence, Corrélation avec les autres polluants	61
Figure 45	Lacq, Corrélation avec les autres polluants)	65
Figure 46	Bordeaux-Talence, Roses de pollution pour les particules de la classe 30-50 nm	67
Figure 47	Bordeaux-Talence, Roses de pollution pour les particules de la classe 100-200 nm	68
Figure 48	Lacq, Roses de pollution pour les particules de la classe 30-50 nm	69
Figure 49	Lacq, Roses de pollution pour les particules de la classe 100-200 nm	71
Figure 50	Fidas, Dispersion des mesures	71
Figure 51	Fidas, Distribution granulométrique	74
Figure 52	Fidas, Evolution annuelle	75
Figure 53	Bordeaux-Talence - Fidas, Evolution journalière	77
Figure 54	Poitiers-Augouard - Fidas, Evolution journalière	78
Figure 55	Limoges-Berland - Fidas, Evolution journalière	79
Figure 56	Bordeaux-Talence, Comparaison des appareils Fidas et UFP3031	80
Figure 57	Bordeaux-Talence, Comparaison des appareils CPC et UFP3031	82
Figure 58	Année 2022, Comparaison aux normales Météo France	90
Figure 59	Année 2021, Comparaison aux normales Météo France	91
Figure 60	Année 2020, Comparaison aux normales Météo France	92
Figure 61	Année 2019, Comparaison aux normales Météo France	94
Figure 62	Diagramme en boîte (Boxplot), Schéma explicatif du diagramme en boîte	96

# Annexes

## ANNEXE 1 : Bibliographie

- Anastasio, C., Martin, S.T., 2001. Atmospheric nanoparticles. *Rev. Mineral. Geochem.* 44, 293–349. <https://doi.org/10.2138/rmg.2001.44.08>
- Berico, M., Luciani, A., Formignani, M., 1997. Atmospheric aerosol in an urban area—measurements of TSP and PM10 standards and pulmonary deposition assessments. *Atmos. Environ.* 31, 3659–3665. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00204-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00204-5)
- Berresheim, H., Wine, P., Davis, D., 1995. Sulfur in the atmosphere. *Compos. Chem. Clim. Atmosphere* 251–307.
- Bodhaine, B.A., 1995. Aerosol absorption measurements at Barrow, Mauna Loa and the south pole. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 100, 8967–8975.
- Buseck, P.R., Adachi, K., 2008. Nanoparticles in the atmosphere. *Elements* 4, 389–394. <https://doi.org/10.2113/gselements.4.6.389>
- Chevrier, F., 2016. Chauffage au bois et qualité de l'air en Vallée de l'Arve: définition d'un système de surveillance et impact d'une politique de rénovation du parc des appareils anciens (Thèse). Université Grenoble Alpes, Grenoble.
- Delfino, R.J., Sioutas, C., Malik, S., 2005. Potential Role of Ultrafine Particles in Associations between Airborne Particle Mass and Cardiovascular Health. *Environ. Health Perspect.* 113, 934–946.
- Docherty, K.S., Lewandowski, M., Jimenez, J.L., 2015. Effect of Vaporizer Temperature on Ambient Non-Refractory Submicron Aerosol Composition and Mass Spectra Measured by the Aerosol Mass Spectrometer. *Aerosol Sci. Technol.* 49, 485–494.
- Donaldson, K., Stone, V., Seaton, A., MacNee, W., 2001. Ambient particle inhalation and the cardiovascular system: potential mechanisms. *Environ. Health Perspect.* 109, 523–527.
- El Haddad, I., Marchand, N., Dron, J., Temime-Roussel, B., Quivet, E., Wortham, H., Jaffrezo, J.L., Baduel, C., Voisin, D., Besombes, J.L., 2009. Comprehensive primary particulate organic characterization of vehicular exhaust emissions in France. *Atmos. Environ.* 43, 6190–6198.
- Favez, O., Haddad, I.E., Piot, C., Boréave, A., Abidi, E., Marchand, N., Jaffrezo, J.-L., Besombes, J.-L., Personnaz, M.-B., Sciare, J., 2010. Inter-comparison of source apportionment models for the estimation of wood burning aerosols during wintertime in an Alpine city (Grenoble, France). *Atmospheric Chem. Phys.* 10, 5295–5314.
- Gehring, U., Wijga, A.H., Brauer, M., Fischer, P., de Jongste, J.C., Kerkhof, M., Oldenwening, M., Smit, H.A., Brunekreef, B., 2010. Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 181, 596–603.
- Hansen, A.D.A., Conway, T.J., Strele, L.P., Bodhaine, B.A., Thoning, K.W., Tans, P., Novakov, T., 1989. Correlations among combustion effluent species at Barrow, Alaska: Aerosol black carbon, carbon dioxide, and methane. *J. Atmospheric Chem.* 9, 283–299.
- Heeb, N.V., Forss, A.-M., Brühlmann, S., Lüscher, R., Saxer, C.J., Hug, P., 2006. Three-way catalyst-induced formation of ammonia—velocity- and acceleration-dependent emission factors. *Atmos. Environ.* 40, 5986–5997.
- Heintzenberg, J., 1989. Fine particles in the global troposphere A review. *Tellus B* 41B, 149–160. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.1989.tb00132.x>
- Heintzenberg, J., Covert, D.C., Van Dingenen, R., 2000. Size distribution and chemical composition of marine aerosols: a compilation and review. *Tellus B* 52, 1104–1122. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.2000.00136.x>
- Herich, H., Hueglin, C., Buchmann, B., 2011. A 2.5 year's source apportionment study of black carbon from wood burning and fossil fuel combustion at urban and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Meas. Tech.* 4, 1409–1420.
- Jimenez, J.L., Canagaratna, M.R., Donahue, N.M., Prevot, A.S.H., Zhang, Q., Kroll, J.H., DeCarlo, P.F., Allan, J.D., Coe, H., Ng, N.L., Aiken, A.C., Docherty, K.S., Ulbrich, I.M., Grieshop, A.P., Robinson, A.L., Duplissy, J., Smith, J.D., Wilson, K.R., Lanz, V.A., Hueglin, C., Sun, Y.L., Tian, J., Laaksonen, A., Raatikainen, T., Rautiainen, J., Vaattovaara, P., Ehn, M., Kulmala, M., Tomlinson, J.M., Collins, D.R., Cubison, M.J., Dunlea, J., Huffman, J.A., Onasch, T.B., Alfarra, M.R., Williams, P.I., Bower, K., Kondo, Y., Schneider, J., Drewnick, F., Borrmann, S., Weimer, S., Demerjian,

- K., Salcedo, D., Cottrell, L., Griffin, R., Takami, A., Miyoshi, T., Hatakeyama, S., Shimono, A., Sun, J.Y., Zhang, Y.M., Dzepina, K., Kimmel, J.R., Sueper, D., Jayne, J.T., Herndon, S.C., Trimborn, A.M., Williams, L.R., Wood, E.C., Middlebrook, A.M., Kolb, C.E., Baltensperger, U., Worsnop, D.R., 2009. Evolution of Organic Aerosols in the Atmosphere. *Science* 326, 1525–1529. <https://doi.org/10.1126/science.1180353>
- Kiehl, J., Rodhe, H., 1995. Modeling geographical and seasonal forcing due to aerosols. *Aerosol Forcing Clim.* 281–296.
- Kirchstetter, T.W., Novakov, T., Hobbs, P.V., 2004. Evidence that the spectral dependence of light absorption by aerosols is affected by organic carbon. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 109.
- Kocbach, A., Li, Y., Yttri, K.E., Cassee, F.R., Schwarze, P.E., Namork, E., 2006. Physicochemical characterisation of combustion particles from vehicle exhaust and residential wood smoke. Part. *Fibre Toxicol.* 3, 1.
- Korhonen, P., Kulmala, M., Laaksonen, A., Viisanen, Y., McGraw, R., Seinfeld, J.H., 1999. Ternary nucleation of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, and H<sub>2</sub>O in the atmosphere. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 104, 26349–26353. <https://doi.org/10.1029/1999JD900784>
- Kulmala, M., Vehkamäki, H., Petäjä, T., Dal Maso, M., Lauri, A., Kerminen, V.M., Birmili, W., McMurry, P.H., 2004. Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *J. Aerosol Sci.* 35, 143–176. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2003.10.003>
- Laschober, C., Limbeck, A., Rendl, J., Puxbaum, H., 2004. Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen-tunnel (Vienna, Austria). *Atmos. Environ.* 38, 2187–2195.
- LCSQA, 2015. Impact de la combustion de la biomasse sur les concentrations de PM<sub>10</sub> dans les 10 agglomérations du programme CARA au cours de l’hiver 2014-2015.
- Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., Crutzen, P.J., Dentener, F.J., Fischer, H., Feichter, J., Flatau, P.J., Heland, J., Holzinger, R., Korrmann, R., Lawrence, M.G., Levin, Z., Markowicz, K.M., Mihalopoulos, N., Minikin, A., Ramanathan, V., de Reus, M., Roelofs, G.J., Scheeren, H.A., Sciare, J., Schlager, H., Schultz, M., Siegmund, P., Steil, B., Stephanou, E.G., Stier, P., Traub, M., Warneke, C., Williams, J., Ziereis, H., 2002. Global Air Pollution Crossroads over the Mediterranean. *Science* 298, 794–799. <https://doi.org/10.1126/science.1075457>
- Logan, J.A., 1983. Nitrogen oxides in the troposphere: Global and regional budgets. *J. Geophys. Res. Oceans* 88, 10785–10807. <https://doi.org/10.1029/JC088iC15p10785>
- Morawska, L., Bofinger, N.D., Kocis, L., Nwankwoala, A., 1998. Submicrometer and supermicrometer particles from diesel vehicle emissions. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2033–2042.
- Mozurkewich, M., 1993. The dissociation constant of ammonium nitrate and its dependence on temperature, relative humidity and particle size. *Atmospheric Environ. Part Gen. Top.* 27, 261–270. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(93\)90356-4](https://doi.org/10.1016/0960-1686(93)90356-4)
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J., 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ. Health Perspect.* 113, 823–839.
- Putaud, J.P., Van Dingenen, R., Alastuey, A., Bauer, H., Birmili, W., Cyrys, J., Flentje, H., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hansson, H.C., Harrison, R.M., Herrmann, H., Hitenberger, R., Hüglin, C., Jones, A.M., Kasper-Giebl, A., Kiss, G., Kouss, A., Kuhlbusch, T.A.J., Löschau, G., Maenhaut, W., Molnar, A., Moreno, T., Pekkanen, J., Perrino, C., Pitz, M., Puxbaum, H., Querol, X., Rodriguez, S., Salma, I., Schwarz, J., Smolik, J., Schneider, J., Spindler, G., ten Brink, H., Tursic, J., Viana, M., Wiedensohler, A., Raes, F., 2004a. A European aerosol phenomenology – 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. *Atmos. Environ.* 44, 1308–1320. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.12.011>
- Putaud, J.P., Van Dingenen, R., Dell’Acqua, A., Raes, F., Matta, E., Decesari, S., Facchini, M.C., Fuzzi, S., 2004b. Size-segregated aerosol mass closure and chemical composition in Monte Cimone (I) during MINATROC. *Atmos Chem Phys* 4, 889–902. <https://doi.org/10.5194/acp-4-889-2004>
- Raes, F., Dingenen, R.V., Vignati, E., Wilson, J., Putaud, J.-P., Seinfeld, J.H., Adams, P., 2000. Formation and cycling of aerosols in the global troposphere. *Atmos. Environ.* 34, 4215–4240.
- Ristovski, Z.D., Morawska, L., Bofinger, N.D., Hitchins, J., 1998. Submicrometer and supermicrometer particulate emission from spark ignition vehicles. *Environ. Sci. Technol.* 32, 3845–3852.
- Sandradewi, J., Prévôt, A.S.H., Szidat, S., Perron, N., Alfarra, M.R., Lanz, V.A., Weingartner, E., Baltensperger, U., 2008a. Using aerosol light absorption measurements for the quantitative determination of wood burning and traffic emission contributions to particulate matter. *Environ. Sci. Technol.* 42, 3316–3323.

- Sandradewi, J., Prévôt, A.S.H., Weingartner, E., Schmidhauser, R., Gysel, M., Baltensperger, U., 2008b. A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer. *Atmos. Environ.* 42, 101–112.
- Sciare J., Favez O., Sarda-Estève R., Oikonomou K., Cachier H., Kazan V., 2009. Long - term observations of carbonaceous aerosols in the Austral Ocean atmosphere: Evidence of a biogenic marine organic source. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 114.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, New York.
- Strickland, M.J., Klein, M., Correa, A., Reller, M.D., Mahle, W.T., Riehle-Colarusso, T.J., Botto, L.D., Flanders, W.D., Mulholland, J.A., Siffel, C., 2009. Ambient air pollution and cardiovascular malformations in Atlanta, Georgia, 1986–2003. *Am. J. Epidemiol.* 169, 1004–1014.
- Sun, H., Biedermann, L., Bond, T.C., 2007. Color of brown carbon: A model for ultraviolet and visible light absorption by organic carbon aerosol. *Geophys. Res. Lett.* 34.
- Terzano, C., Di Stefano, F., Conti, V., Graziani, E., Petroianni, A., 2010. Air pollution ultrafine particles: toxicity beyond the lung. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 14, 809–821.
- Whitby, K.T., 1978. The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atmospheric Environ.* 1967 12, 135–159. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(78\)90196-8](https://doi.org/10.1016/0004-6981(78)90196-8)
- Yu, J.Z., Huang, X.-F., Xu, J., Hu, M., 2005. When Aerosol Sulfate Goes Up, So Does Oxalate: Implication for the Formation Mechanisms of Oxalate. *Environ. Sci. Technol.* 39, 128–133. <https://doi.org/10.1021/es049559f>
- Zhang, Y., Seigneur, C., Seinfeld, J.H., Jacobson, M., Clegg, S.L., Binkowski, F.S., 2000. A comparative review of inorganic aerosol thermodynamic equilibrium modules: similarities, differences, and their likely causes. *Atmos. Environ.* 34, 117–137.



## ANNEXE 2 : Comparaisons aux normales Météo France

### Bilan climatique de l'année 2022<sup>4</sup>, exceptionnellement chaude, ensoleillée et peu arrosée

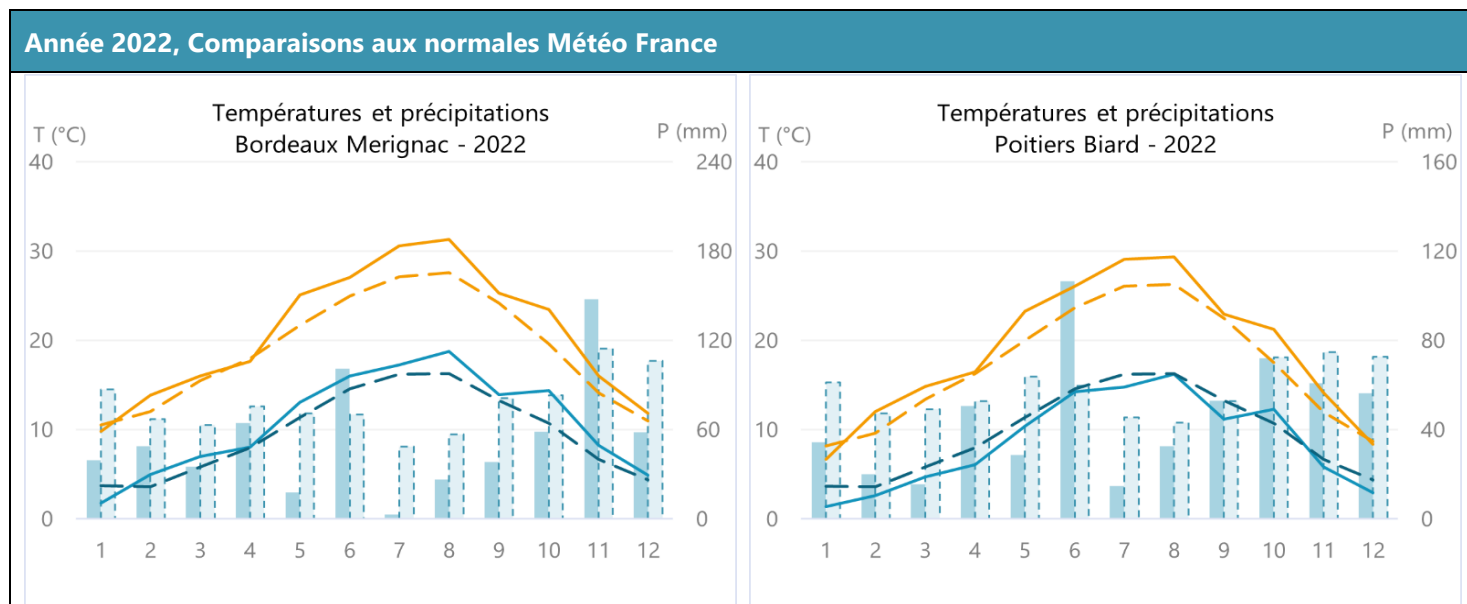
L'année 2022 a été l'année la plus chaude jamais enregistrée en France depuis le début du XXe siècle. Elle a débuté et s'est achevée par une extrême douceur et a été jalonnée d'épisodes de chaleur et de douceur remarquables, notamment un épisode de chaleur très précoce en mai, trois vagues de chaleur durant l'été et un épisode de chaleur tardif exceptionnel du 15 au 31 octobre. Les épisodes de froid ont été rares. Toutefois, après une fin d'hiver très douce, une offensive hivernale tardive a concerné le pays début avril avec des records de froid et des chutes de neige en plaine.

Les températures ont été supérieures à la normale<sup>5</sup> la majeure partie de l'année. Seul le mois de janvier a été inférieur à la normale. Le mois d'avril a été en moyenne proche des valeurs de saison avec une forte chute des températures en début de mois. Les températures ont ainsi été en moyenne 1 à 3 °C au-dessus des normales sur l'ensemble du territoire.

L'année 2022 a été globalement peu arrosée, tout particulièrement en mai et juillet qui ont enregistré un déficit record de précipitations. Juillet 2022, déficitaire de près de 85 % se classe même au second rang des mois les plus secs tous mois confondus depuis 1959. Seuls les mois de juin, septembre et novembre ont connu une pluviométrie excédentaire. Les cumuls de précipitations ont été déficitaires de 10 à 40 % sur la quasi-totalité du pays.

L'année 2022 a été l'année la plus ensoleillée que la France ait connue depuis le début des mesures et de nombreux records annuels sur la période 1991-2022 ont été battus.

Sont présentées ci-dessous les températures minimales et maximales, les précipitations 2022, ainsi que les normales de saison (N-, période 1991-2020) relevées par les stations météorologiques de Bordeaux-Mérignac, Poitiers-Biard, Limoges-Bellegarde et Pau-Uzein. Les minimales correspondent aux moyennes mensuelles des températures minimales journalières, les maximales : aux moyennes mensuelles des températures maximales journalières, et enfin les précipitations : au cumul des précipitations tombées pendant le mois.



<sup>4</sup> Extrait du Bulletin climatique de l'année 2022, bilan définitif du 12 janvier 2023, Météo France

<sup>5</sup> Référence 1991-2020

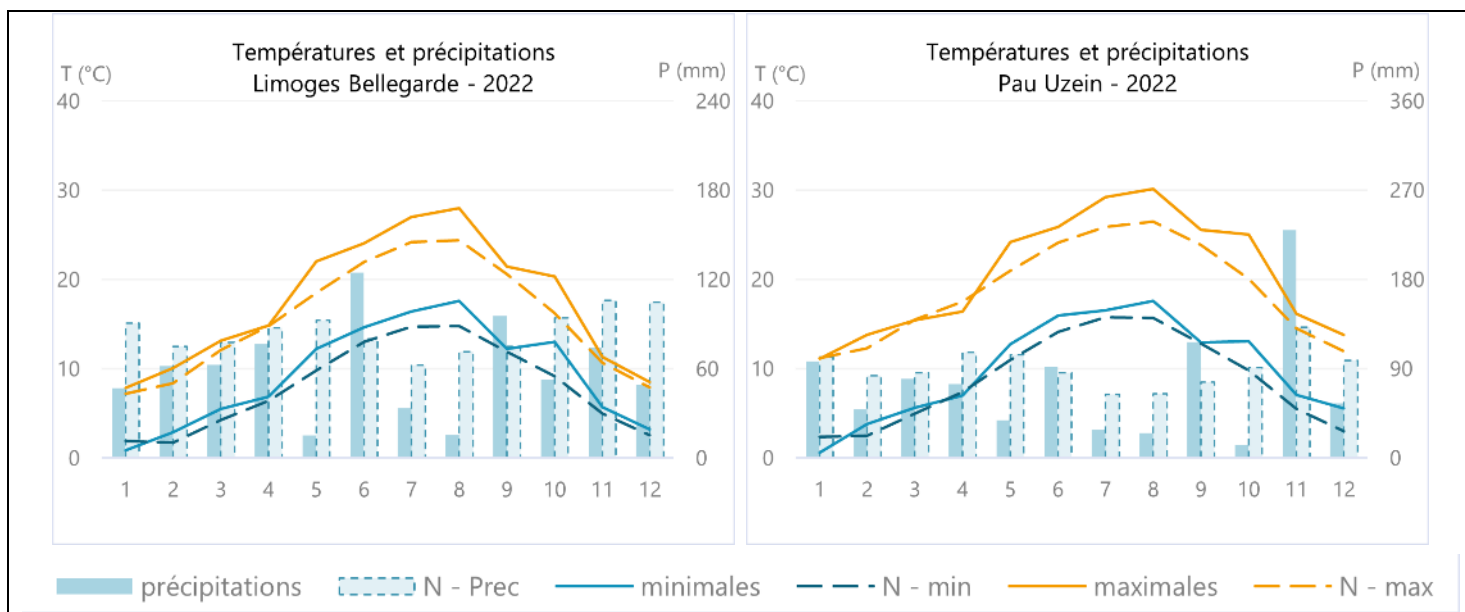


Figure 58 | Année 2022, Comparaison aux normales Météo France

### Bilan climatique de l'année 2021<sup>6</sup>, avec de forts contrastes

L'année 2021, est en moyenne plus conforme à la normale que les années précédentes, a été toutefois très contrastée. Tout au long de l'année, la douceur a alterné avec des périodes de froid assez marqué. Les mois de février, juin et septembre ont été particulièrement chaud. En revanche, en avril, les gelées ont été fréquentes et parfois sévères, le mois de mai a été remarquablement frais.

Les températures ont été très contrastées tout au long de l'année alternant entre pics de fraîcheur et de douceur. Des records de froid ont ainsi été enregistrés mi-janvier et mi-février. La fraîcheur a ensuite dominé durant le printemps avec de fortes gelées tardives en avril et un mois de mai en moyenne plus de 1°C en dessous de la normale. En revanche, des records de douceur ont été battus fin février et fin mars. La France a également connu un épisode de chaleur précoce mi-juin puis une première quinzaine de septembre très chaude.

Les précipitations ont été également très hétérogènes. Après un mois de janvier bien arrosé, les pluies ont été déficitaires jusqu'en avril. A l'inverse, la fin du printemps et le début de l'été ont été bien arrosés. Les pluies ont ensuite été déficitaires jusqu'à la fin de l'automne. Le début de l'hiver 2021-2022 a ensuite été marqué par le retour des précipitations très abondantes.

L'ensoleillement a été proche de la normale sur une grande partie du pays.

Sont présentées ci-dessous les températures minimales et maximales, les précipitations 2021, ainsi que les normales de saison (N-, période 1991-2020) relevées par les stations météorologiques de Bordeaux-Mérignac, Poitiers-Biard, Limoges-Bellegarde et Pau-Uzein. Les minimales correspondent aux moyennes mensuelles des températures minimales journalières, les maximales : aux moyennes mensuelles des températures maximales journalières, et enfin les précipitations : au cumul des précipitations tombées pendant le mois.

<sup>6</sup> Extrait du Bulletin climatique de l'année 2021 sur la France métropolitaine, bilan définitif du 20 janvier 2022, Météo France

## Année 2021, Comparaisons aux normales Météo France

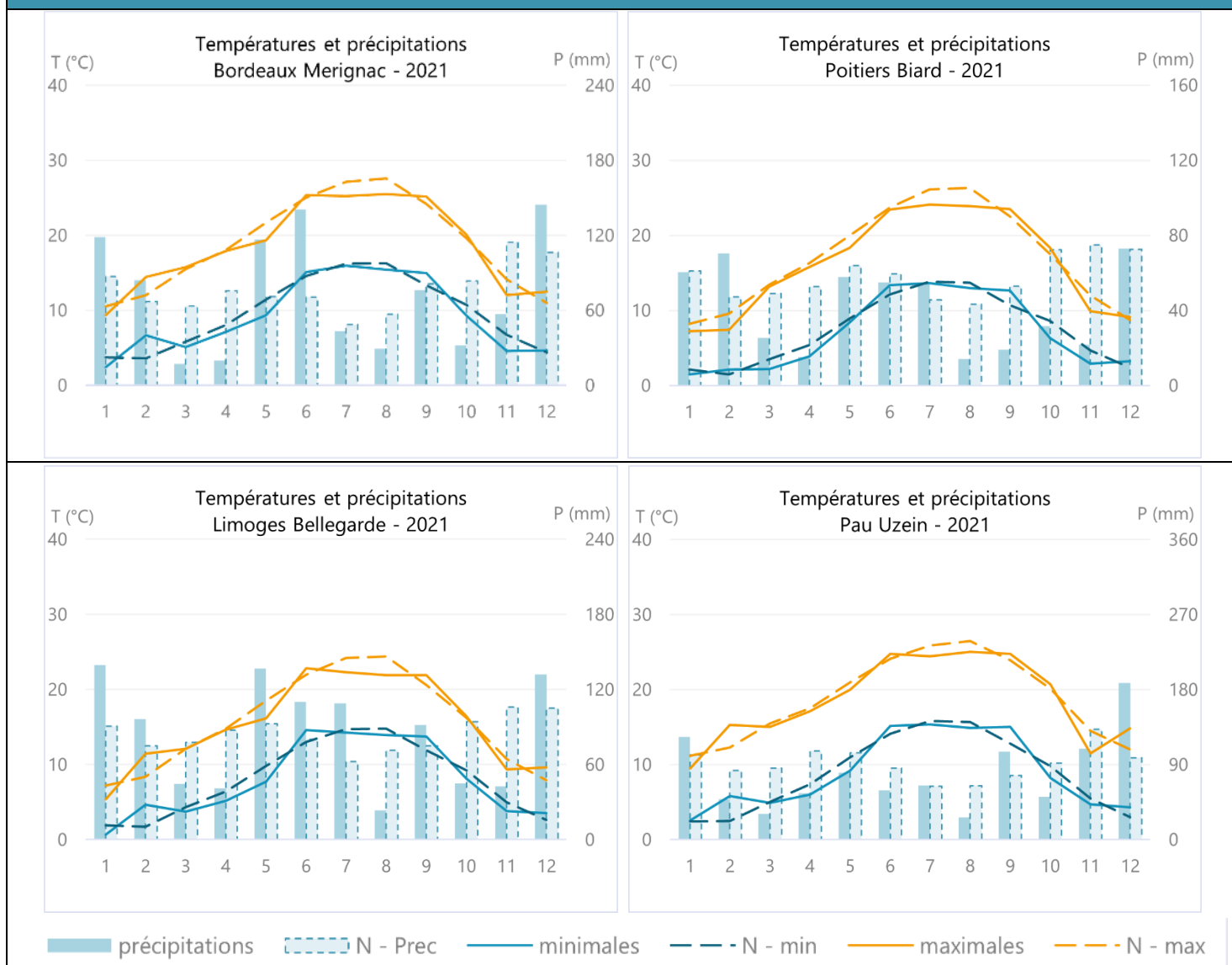


Figure 59 | Année 2021, Comparaison aux normales Météo France

### Bilan climatique de l'année 2020<sup>7</sup>, au 1er rang des années les plus chaudes en France

Dans la continuité de 2019, l'année 2020 s'est à nouveau caractérisée par la prédominance d'une grande douceur tout au long de l'année. Deux vagues de chaleur se sont produites durant l'été, suivies d'un épisode de chaleur tardif exceptionnel mi-septembre.

Les températures moyennes mensuelles sur la France sont restées supérieures aux normales<sup>8</sup> excepté en octobre. Le pays a connu plusieurs épisodes caniculaires, notamment lors de deux vagues de chaleur du 30 juillet au 1er août et du 6 au 13 août ainsi que de fortes chaleurs remarquablement tardives en septembre. L'année 2020 s'est ainsi classée au 1er rang des années les plus chaudes sur la période 1900-2020.

La pluviométrie a été géographiquement contrastée, excédentaire du Cotentin et de la Bretagne à la côte basque ainsi que sur l'est des Pyrénées mais souvent déficitaire de 10 à 30 % sur la moitié est du pays. Les précipitations ont été particulièrement déficitaires en juillet et en novembre. En revanche, les mois d'octobre et décembre ont été bien arrosés, particulièrement sur le sud de l'Aquitaine où les pluies ont généré des crues

<sup>7</sup> Extrait du Bulletin climatique de l'année 2020 sur la France métropolitaine, bilan définitif du 14 janvier 2021, Météo France

<sup>8</sup> Moyenne de référence 1981-2010

et inondations avec des cumuls mensuels records sur la période 1959-2020 sur le département des Landes. En moyenne sur l'année et sur l'ensemble du pays, la pluviométrie a été proche de la normale.

L'ensoleillement, proche de la normale<sup>9</sup> sur le sud du pays, a généralement été excédentaire de plus de 10 % sur une grande moitié nord.

Sont présentées ci-dessous les températures minimales et maximales, les précipitations 2020, ainsi que les normales de saison (N-, période 1991-2020) relevées par les stations météorologiques de Bordeaux-Mérignac, Poitiers-Biard, Limoges-Bellegarde et Pau-Uzein. Les minimales correspondent aux moyennes mensuelles des températures minimales journalières, les maximales : aux moyennes mensuelles des températures maximales journalières, et enfin les précipitations : au cumul des précipitations tombées pendant le mois.

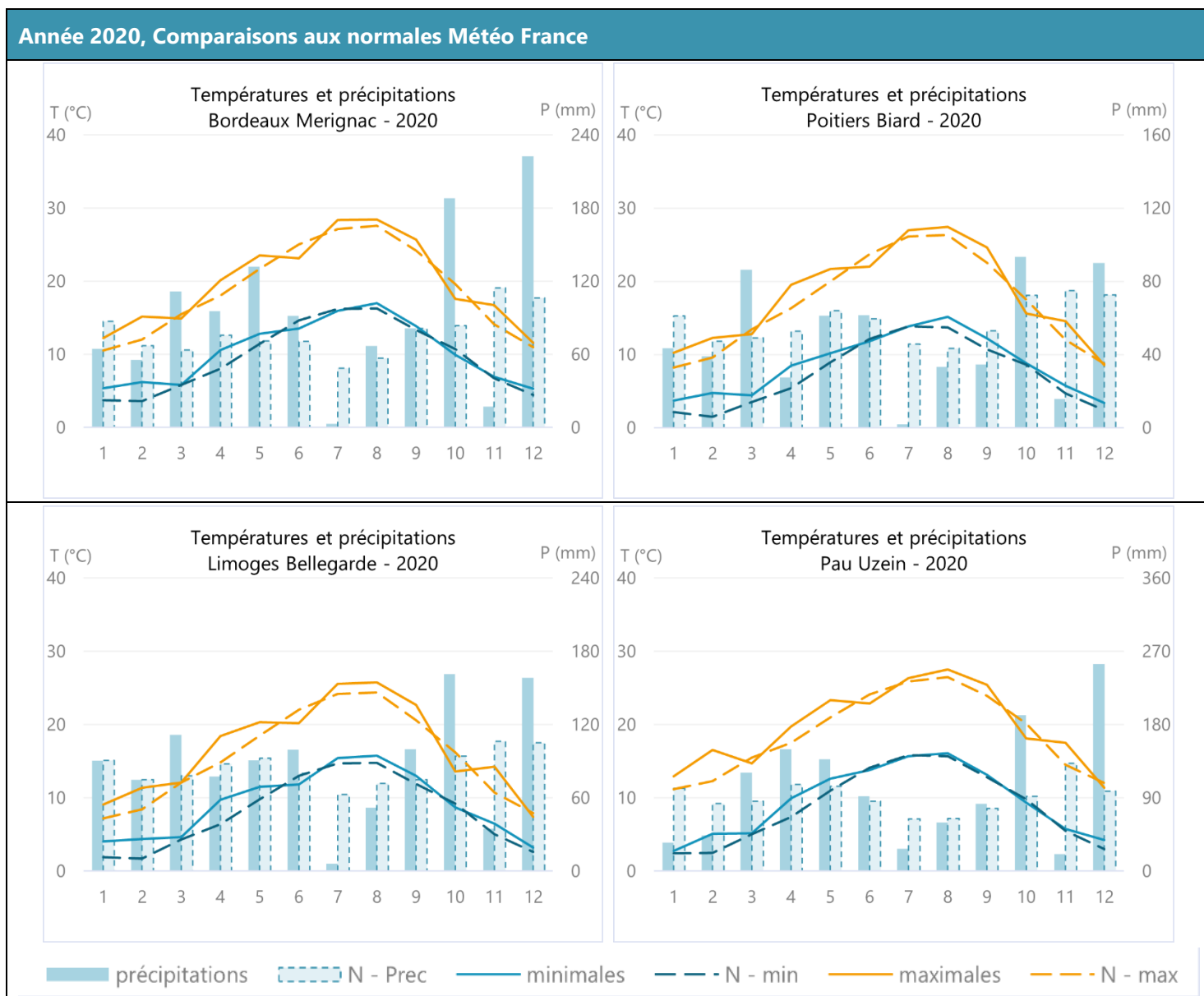


Figure 60 | Année 2020, Comparaison aux normales Météo France

<sup>9</sup> Moyenne de référence 1991-2010

## Bilan climatique de l'année 2019<sup>10</sup>, au 3ème rang des années les plus chaudes en France

2019 s'est caractérisée par un soleil généreux et la prédominance de la douceur tout au long de l'année avec deux vagues de chaleur d'une intensité exceptionnelle durant l'été. La pluviométrie a été très contrastée. Déficitaire jusqu'à fin septembre, elle a atteint le dernier trimestre un excédent proche de 60 % avec des pluies très abondantes sur le sud du pays-

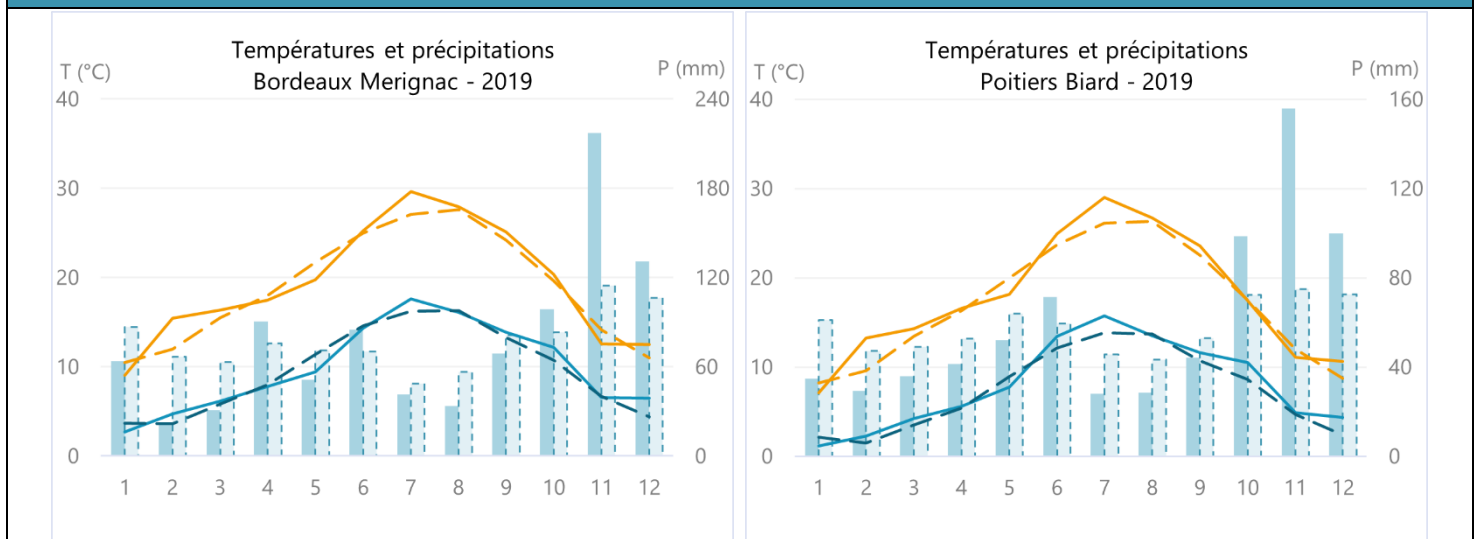
Les températures sont restées en moyenne plus élevées que la normale, excepté en janvier et en mai. Deux épisodes de canicule ont concerné la France du 25 au 30 juin puis du 21 au 26 juillet. De nombreux records absolus ont été battus sur l'ensemble du pays. La température moyenne annuelle de 13,7 °C a dépassé la normale<sup>11</sup> de 1,1 °C, plaçant l'année 2019 au 3ème rang des années les plus chaudes depuis le début du XXe siècle, derrière 2018 et 2014.

La pluviométrie a été proche de la normale en moyenne sur la France et sur l'année mais très contrastée. Suite à un dernier trimestre 2019 très pluvieux, la façade ouest de l'Hexagone a été bien arrosée avec un excédent de 10 à 40 %. De janvier à septembre, les précipitations sont restées déficitaires. Ce déficit pluviométrique associé à des températures estivales très élevées a provoqué un assèchement remarquable des sols superficiels du Grand-Est au Massif central ainsi que sur le pourtour méditerranéen en fin d'été et début d'automne. Les passages perturbés qui se sont succédé d'octobre à décembre avec des précipitations très abondantes ont contribué au retour à la normale de la pluviométrie annuelle.

L'ensoleillement annuel, généralement proche de la normale<sup>12</sup> sur le sud de la France, a été excédentaire de plus de 10 % sur une grande partie de la moitié nord.

Sont présentées ci-dessous les températures minimales et maximales, les précipitations 2019, ainsi que les normales de saison (N-, période 1991-2020) relevées par les stations météorologiques de Bordeaux-Mérignac, Poitiers-Biard, Limoges-Bellegarde et Pau-Uzein. Les minimales correspondent aux moyennes mensuelles des températures minimales journalières, les maximales : aux moyennes mensuelles des températures maximales journalières, et enfin les précipitations : au cumul des précipitations tombées pendant le mois.

### Année 2019, Comparaisons aux normales Météo France



<sup>10</sup> Extrait du Bulletin climatique de l'année 2019 sur la France métropolitaine, bilan définitif du 12 janvier 2023, Météo France

<sup>11</sup> Moyenne de référence 1981-2010

<sup>12</sup> Moyenne de référence 1991-2010

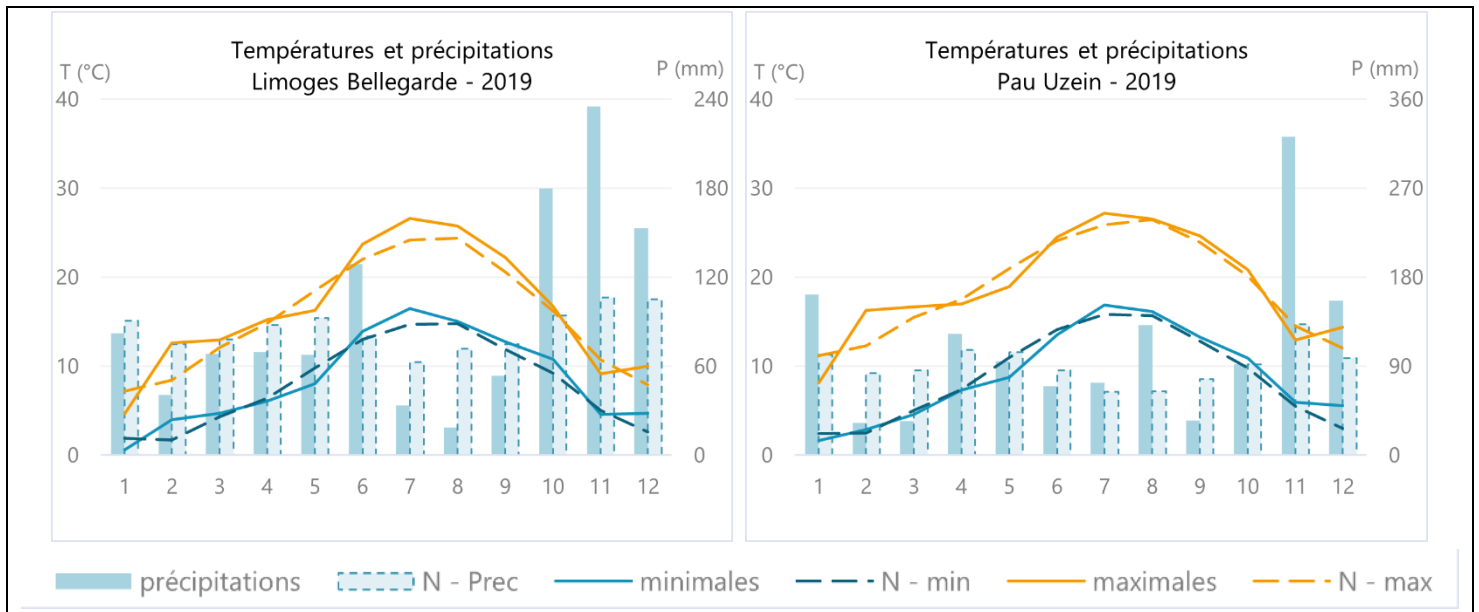
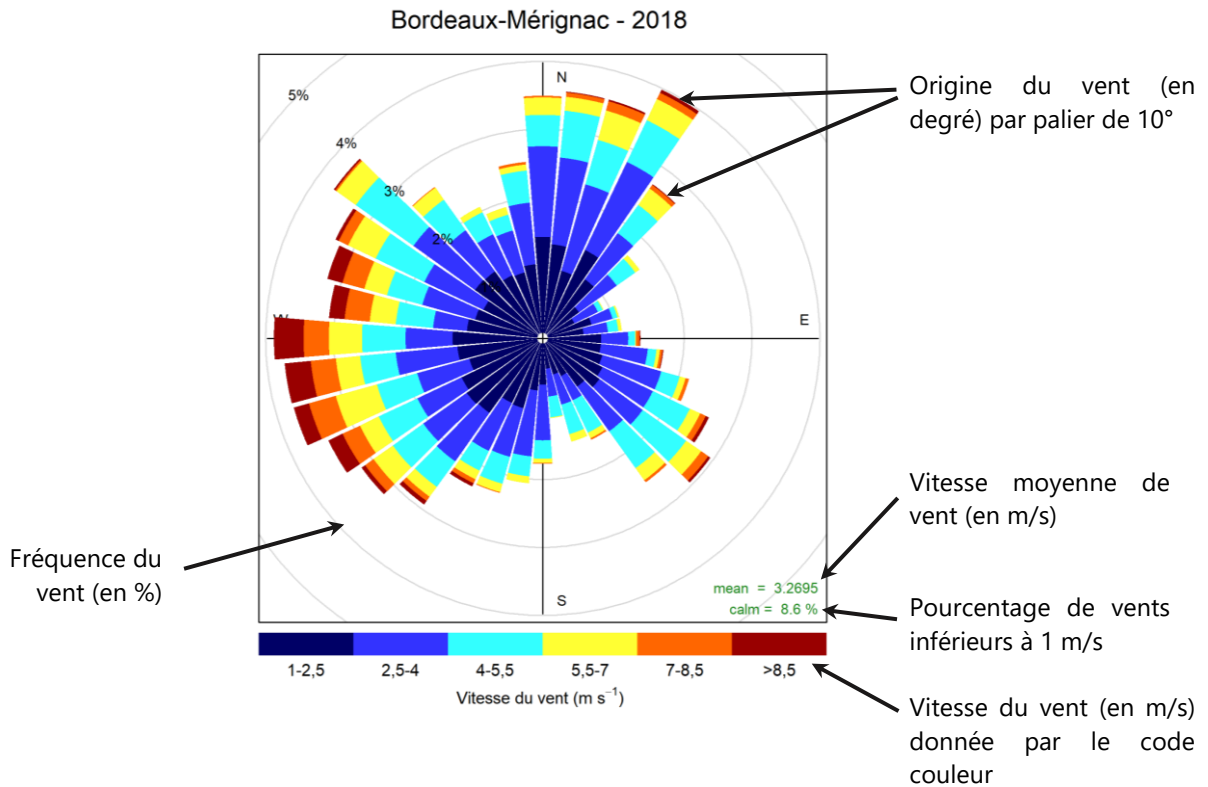


Figure 61 | Année 2019, Comparaison aux normales Météo France

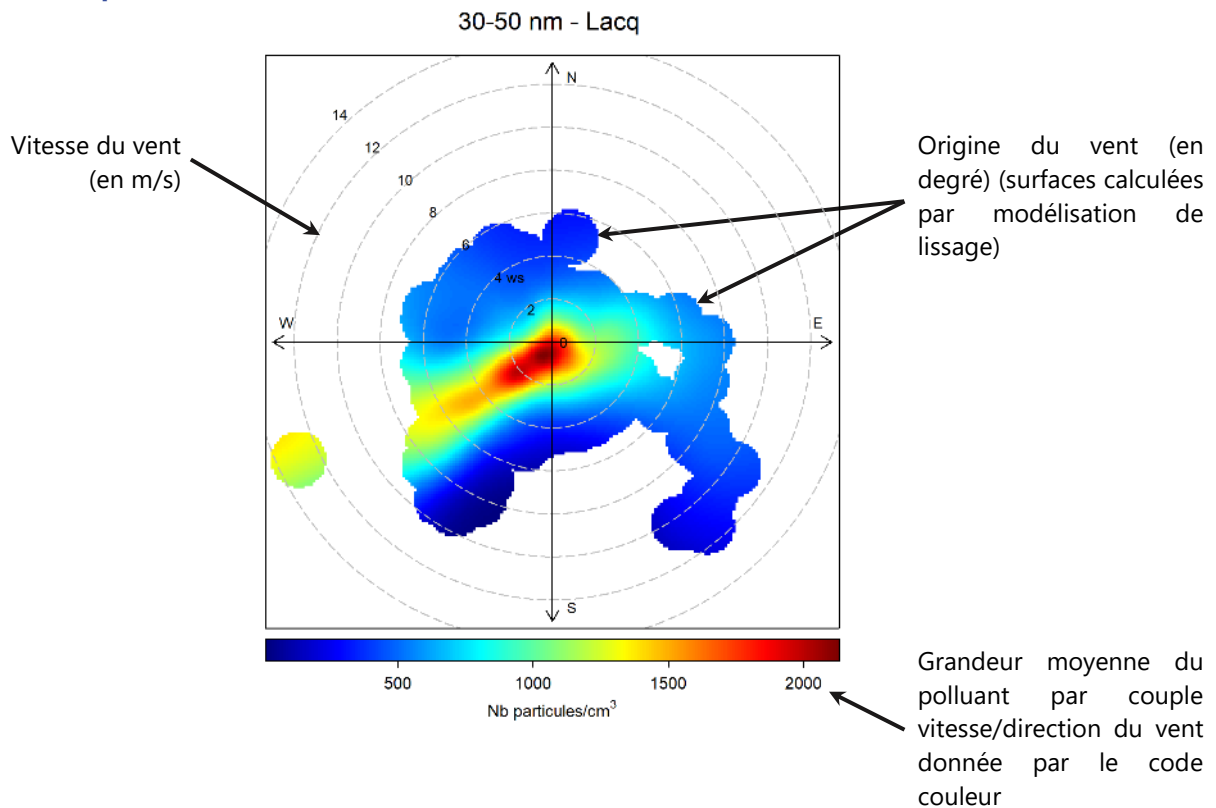
## ANNEXE 3 : Lecture des roses des vents et des roses de pollution

Les roses des vents et de pollution sont réalisées grâce au package Openair du logiciel R.

### ➤ Rose des vents :



### ➤ Rose de pollution :



## ANNEXE 4 : Représentation statistique des données à l'aide de « boxplot »

Le diagramme en boîte, ou « boxplot » en anglais, est la représentation statistique d'une série de données d'observation. Cet outil graphique permet la représentation des informations de dispersion de la série de données étudiée : moyenne, médiane, valeurs extrêmes, premier et troisième quartile.

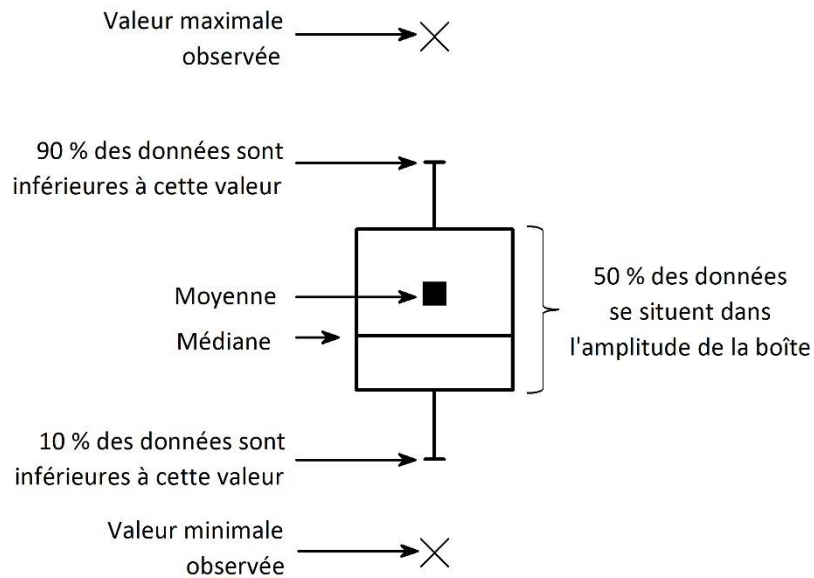


Figure 62 | Diagramme en boîte (Boxplot), Schéma explicatif du diagramme en boîte



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

