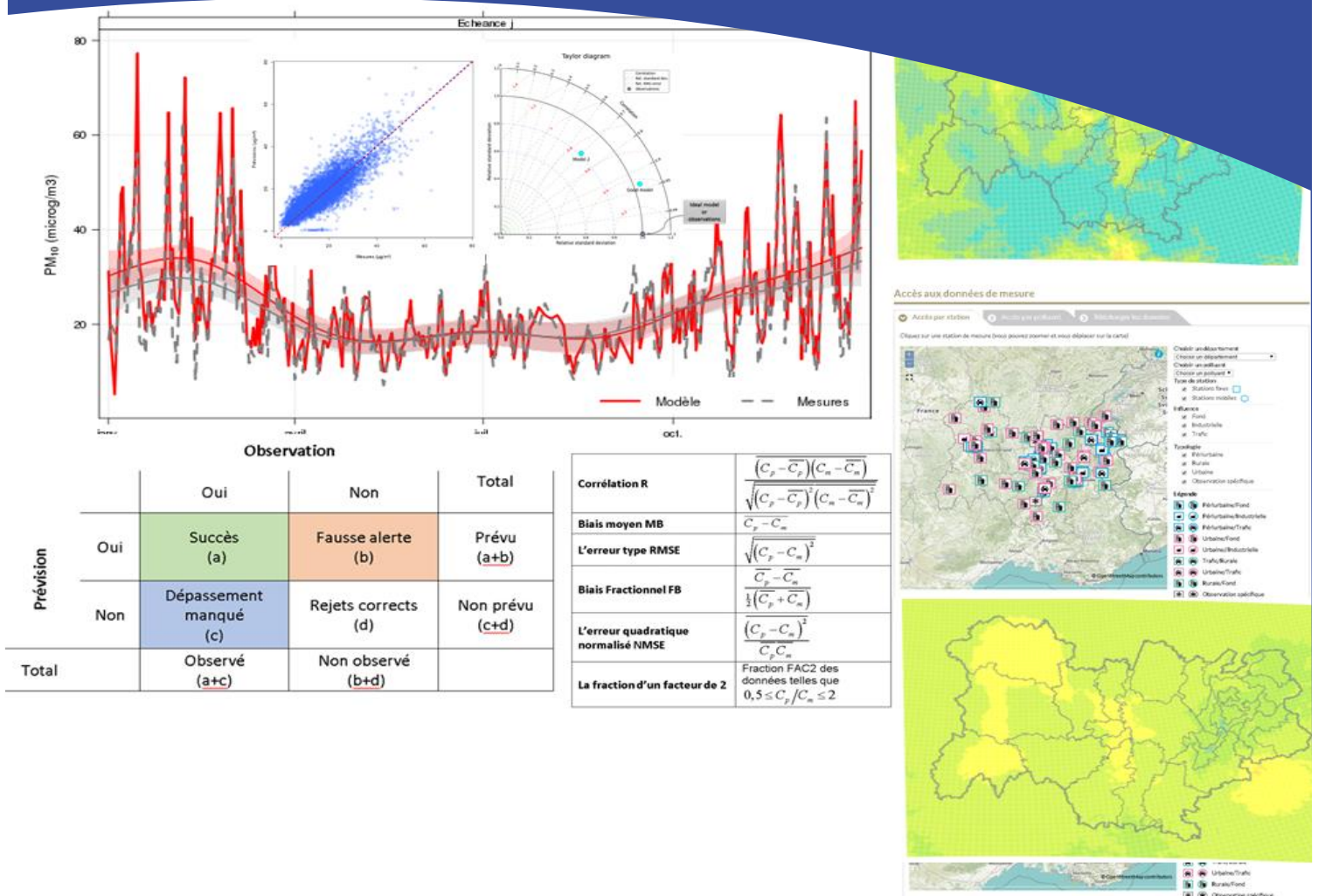


# Evaluation des performances du système de prévision

## Bilan statistique global et focus sur les épisodes de pollution

Année 2018



Auteur : Unité Prévision et Vigilance

Diffusion : Juillet 2019

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

# Conditions de diffusion

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

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

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

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

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

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Atmo Auvergne-Rhône-Alpes **(2019)**  
**Evaluation des performances du système de prévision d'Atmo AuRA.**

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

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

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

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



# Résumé

Le dispositif de gestion des épisodes de pollution atmosphérique est un dispositif d'urgence, qui a pour but de limiter l'exposition des populations si le dépassement d'un seuil réglementaire de concentration est prévu. Il permet d'informer la population, de délivrer des recommandations sanitaires et comportementales et de lancer des actions de réduction des émissions sur les différentes sources concernées (trafic routier, industries, secteurs agricole et domestique...). Initialement, ces dispositifs sont conçus pour contribuer à respecter les valeurs réglementaires annuelles. Mais les attentes de l'Etat, des collectivités et du grand public vis-à-vis des missions concernant la prévision de l'air ont rapidement évolué ces dernières années. En effet, la demande sociale s'accroît et les citoyens attendent une information de plus en plus individualisée, en lien avec leur mode de vie, leurs activités. Ainsi, dans les dernières décennies, plusieurs enjeux environnementaux, financiers et économiques, politiques et sanitaires sont associés explicitement à la prévision quotidienne de la qualité de l'air. Il est par conséquent indispensable de disposer d'outils adaptés à une forte exigence d'expertise et à la diffusion d'une prévision quotidienne fiable et de bonne qualité. Cela nécessite une évaluation correcte et permanente de des systèmes de prévision de qualité de l'air. Dans ce cadre, des nouveaux textes règlementaires sont apparus. Notamment l'article 13 de l'arrêté du 19 avril 2017 qui insiste sur la nécessité d'étudier la performance du système de prévision quotidienne et d'harmoniser les critères d'évaluation des prévisions de qualité de l'air à l'échelle nationale. Dans ce contexte et à partir de 2017, chaque AASQA s'engage à évaluer son système de prévision en étudiant ses performances statistiques selon des critères préconisés par un référentiel technique national. Cette évaluation fait l'objet d'un rapport annuel adressé aux autorités au plus tard le 30 juin de l'année suivante. Comme il n'existe pas de méthode d'évaluation adaptée aux modèles de prévision de la qualité de l'air, un groupe de travail national piloté par l'INERIS a été mis en place pour en définir une. Le travail d'élaboration de ce référentiel national est encore en cours.

Ce rapport étudie la performance de la chaîne de prévision en utilisant des indicateurs statistiques permettant de comparer les résultats de modélisation aux observations enregistrées par le réseau de mesures d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. L'évaluation des performances du système de prévision est réalisée avec les résultats de la modélisation avant et après l'expertise humaine de prévisionniste.

**Les résultats de notre système de prévision sont considérés comme assez satisfaisants voire même bons pour les concentrations journalières des PM<sub>10</sub> et maximales horaires pour l'O<sub>3</sub> et le NO<sub>2</sub>. Les performances statistiques des résultats ajustés et non ajustés par les prévisionnistes sont globalement similaires. Cependant, on constate que l'expertise humaine a apporté une nette amélioration dans les statistiques de prévision des seuils des dépassements. L'analyse menée dans cette étude en prenant en compte les critères d'activation d'une vigilance de pollution a montré que les performances du système de prévision dépendent du bassin d'air et de nombre des épisodes total. A l'échelle régionale, c'est-à-dire tous bassins d'air confondus, le taux de détection et le ratio de fausses alarmes ont été respectivement de 62% et 56% pour J0 et ont été respectivement de 40% et de 63% pour J+1.**



# Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Présentation du système de prévision</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Evaluation statistique</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1. Mesures utilisées pour la validation statistique</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2. Evaluation statistique générale</b> .....	<b>8</b>
3.2.1. Nuages de points .....	9
3.2.2. Evolutions temporelles des concentrations.....	12
3.2.3. Indicateurs statistiques.....	17
<b>4. Evaluation par dichotomie</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1. Evaluation statistique pour les valeurs du seuil</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2. Evaluation statistique avec les critères d'activation</b> .....	<b>33</b>
<b>5. Conclusion</b> .....	<b>36</b>
<b>6. Références bibliographiques</b> .....	<b>37</b>

# 1. Introduction

Le système de prévisions d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a pour objectif de mettre à disposition quotidiennement des cartes des polluants O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub> pour le jour même et jusqu'au surlendemain (J+2). L'ensemble est disponible en ligne sur le site web d'Atmo AURA (<https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/>), l'application AirToGo et différentes API. La chaîne de prévision est composée de plusieurs maillons : météorologie, chimie/transport, statistique, expertise humaine,... Sa fiabilité est fortement liée à la qualité des paramètres d'entrée, notamment les caractéristiques du terme source (émissions) qui sont encore difficilement quantifiables par des mesures directes. En effet, les débits d'émission sont en général calculés par des méthodes génériques en utilisant des facteurs d'émissions qui ont une grande incertitude ou des cadastres d'émissions imprécis (Ionescu, 2010). De plus, le système n'intègre pas d'une manière explicite la topographie dans le calcul des écoulements, les reliefs sont pris en compte uniquement pour établir les profils de vitesse de vent. Il en résulte certaines difficultés à reproduire les écoulements et les processus thermiques dans les vallées.

Dans la littérature, différentes méthodes d'évaluation ont été utilisées afin d'étudier la performance des systèmes des prévisions. Ces méthodes sont classées en trois catégories :

- **Méthodes statistiques** (Hanna et al., 1993) : L'évaluation statistique consiste principalement à comparer les prédictions du modèle avec les observations en utilisant des critères statistiques prédéfinis. Elle fournit des informations concises sur la performance de la chaîne. Mais la prudence est requise dans les conclusions car le modèle peut produire de bons résultats aux points de mesures sans reproduire pour autant parfaitement la réalité physique. À noter que la faculté des systèmes de prévisions à reproduire les dépassements de seuils (événements rares) peut être étudiée par des méthodes statistiques spécifiques comme la méthode d'évaluation par dichotomie.
- **Méthodes scientifiques** (Nappo et al., 1998) : L'évaluation scientifique nécessite une connaissance approfondie de plusieurs disciplines (l'informatique, la physique, la chimie, la climatologie...). Cette évaluation permet d'examiner les algorithmes du modèle, les hypothèses utilisées dans le système de modélisation et la sensibilité du modèle aux paramètres d'entrée. Pour étudier la sensibilité du modèle à une variable, il faut fixer tous les autres paramètres d'entrée du modèle et la faire varier par un coefficient multiplicateur. On peut également étudier la sensibilité du modèle en changeant la méthode de calcul d'un paramètre ou d'un processus physique ou chimique. Par exemple, le dépôt sec est un processus important qui doit être traité dans les modèles régionaux de la qualité de l'air. Plusieurs modules ont été développés pour estimer le dépôt sec dans les modèles de dispersion atmosphérique (Padro et al., 1991; Pleim and Xiu, 1995; Wu et al., 2003; Zhang et al., 2002). L'étude scientifique permet d'identifier le module le plus adapté pour notre cas d'étude en analysant le comportement du modèle à chaque module.
- **Méthodes dites opérationnelles** (Chang et al., 1998) : l'évaluation opérationnelle examine principalement la « convivialité » du modèle, tels que le guide et l'interface d'utilisation, la traçabilité des erreurs, le diagnostic interne du modèle, l'affichage et l'export des résultats...

L'évaluation retenue ici est fondée principalement sur la méthode statistique. Cependant, certains graphiques sont utilisés pour l'évaluation scientifique de notre outil. L'évaluation statistique a été effectuée dans ce rapport en comparant les concentrations prédites aux concentrations mesurées aux stations (observées). Il s'agit d'une validation aux stations. Dans un premier temps, les critères statistiques retenus pour l'évaluation sont décrits. En effet, chaque indicateur statistique apporte un éclairage particulier.

**Ce rapport est structuré en trois parties. La 1<sup>ère</sup> partie présente le système de prévision. La 2<sup>ème</sup> partie porte sur l'évaluation statistique globale du système de prévision. La 3<sup>ème</sup> partie est consacrée à l'étude de la faculté (fiabilité, performance) du système de prévision à reproduire les dépassements des seuils en utilisant les méthodes d'évaluation par dichotomie.**

## 2. Présentation du système de prévision

La chaîne de prévision opérationnelle est un enchaînement de modèles imbriqués permettant d'obtenir des cartes de champs de concentrations à des échelles temporelle et spatiale définies sur un domaine d'étude régional. Ce dernier englobe l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes, dont l'emprise spatiale est de 447x342km<sup>2</sup> et la résolution horizontale de 1x1 km<sup>2</sup>. La Figure 1 illustre le synoptique général de la chaîne de modélisation d'Atmo AURA qui imbrique plusieurs étapes :

- Le calcul de l'évolution des champs météorologiques régionaux, qui utilise le modèle numérique WRF (National Center for Atmospheric Research). Les principales données d'entrée de ce modèle sont les prévisions à l'échelle globale (GFS), la topographie et l'occupation du sol. Le calcul des grandeurs météorologiques (vent, température, humidité...) par le modèle WRF à l'échelle régionale prend en compte d'une manière implicite les effets induits par le relief.
- La préparation du reste des données d'entrée nécessaires pour le modèle de dispersion utilisé par notre chaîne de modélisation. Ces données sont : les émissions, l'occupation des sols, les conditions aux limites et les conditions initiales,... . Les émissions, à savoir la répartition maillée des flux de polluants de tous les secteurs d'activité, sont calculées avec un module développé en interne. En dehors de la région Auvergne-Rhône-Alpes, les émissions anthropogéniques sont issues des données EMEP pour l'année de référence 2010.
- La dispersion et les transformations chimiques des polluants sont réalisées avec le modèle CHIMERE. Il s'agit d'un modèle Eulérien 3D de dispersion atmosphérique à méso-échelle, développé par l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace) en collaboration avec l'INERIS. CHIMERE calcule de manière déterministe les concentrations des espèces gazeuses et particulaires. Il permet de prévoir la pollution atmosphérique en prenant en compte l'évolution de nombreux processus physico-chimiques dans l'atmosphère.
- Le raffinement de la résolution spatiale via un module de descente d'échelle de 3km à 1km, fondé sur la méthode basique d'interpolation bilinéaire.
- Un calcul statistique de prévision des concentrations aux stations. Cette étape consiste à prévoir les concentrations en chaque site de mesure par une méthode statistique (forêts aléatoires). Ces prévisions aux stations sont utilisées dans la prochaine étape pour corriger les cartes de la prévision brute (résultats non corrigés issus directement du modèle déterministe CHIMERE).
- Le couplage des concentrations calculées aux stations et de la carte de prévision brute par une correction géostatistique (dite le Krigeage).

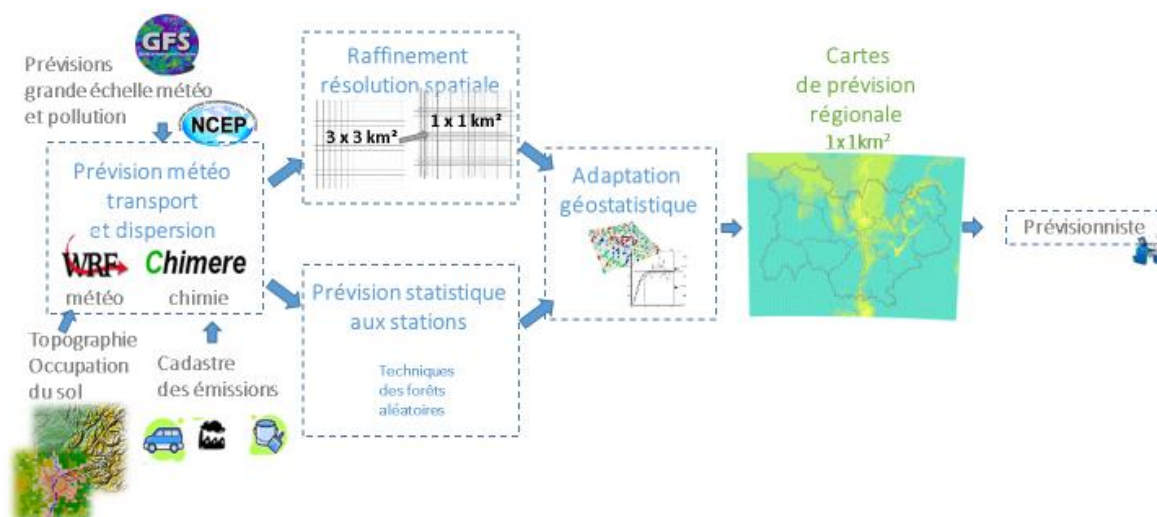


Figure 1 : Chaîne de prévision régionale d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

Pour exécuter l'ensemble de ces processus, plusieurs scripts ont été codés en Shell et en R pour manipuler et convertir les données d'entrées et post-traitées.

### 3. Evaluation statistique

La performance du système de prévision est évaluée en comparant les concentrations prédites  $C_p$  de  $PM_{10}$ ,  $NO_2$  et  $O_3$  aux concentrations mesurées (observées)  $C_m$ . Il convient de rappeler que les résultats de modélisation corrigés statistiquement peuvent être ajustés manuellement par les prévisionnistes.

Ces ajustements sont réalisés dans un outil cartographique développé en interne par Atmo Auvergne Rhône-Alpes. Ils sont réalisés sur la base de l'expertise du prévisionniste, en s'appuyant notamment sur la comparaison modèle/mesure des jours précédents, à la fois sur les modèles de prévision de météorologie et de qualité de l'air. La convergence ou la divergence de différents modèles sont également des paramètres pris en compte. Les ajustements peuvent dans certains cas entraîner des dépassements de seuils tels que définis dans les dispositifs de gestion des épisodes de pollution. Cette méthode permet d'assurer une cohérence entre les cartes de qualité de l'air diffusées au public et les dispositifs d'information ou d'alerte. D'autres régions ont fait le choix de diffuser des cartes issues de modèles non ajustées par le prévisionniste, ce qui signifie que les cartes de qualité de l'air ne reflètent pas forcément un dépassement des critères d'activation de dispositifs d'information ou d'alerte. Cette différence de pratiques est un des sujets qui sera abordé dans le cadre d'un groupe de travail national<sup>1</sup> portant sur la prévision de qualité de l'air. Les déterminants pour chaque prévisionniste lors de la mise en œuvre d'un ajustement sont tracés depuis janvier 2018. Un travail a été engagé en interne pour harmoniser cette pratique de correction en fixant les critères et les règles d'ajustement des cartes.

**Dans ce rapport, les scores statistiques calculés sont présentés pour les deux approches, avec et sans expertise humaine sachant que l'ajustement des cartes n'est pas systématique.**

#### 3.1. Mesures utilisées pour la validation statistique

Les mesures utilisées pour évaluer les résultats de la chaîne de modélisation sont issues du réseau stations fixes. Ces stations ont été classées par typologie (Urbaine, Rurale, Périurbain, Industrielle, Trafic) (cf. Annexe 1). Les stations de typologie industrielle et trafic ont été écartées de cette analyse statistique car elles sont largement influencées par les émissions locales et de proximité, alors que le modèle est dit de « fond ». Les mesures effectuées par l'observatoire sont mises à disposition du public. La répartition spatiale des stations et leurs mesures sont sur le site internet (<https://www.atmo-auvergnerrhonealpes.fr/donnees/accs-par-station>) (Figure 2).

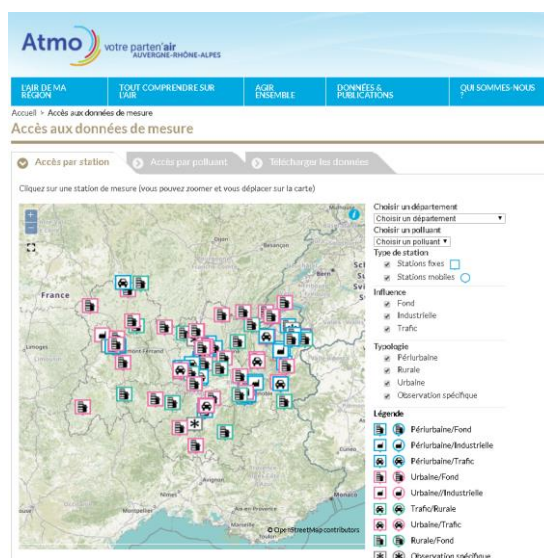


Figure 2: Accès aux données de mesure sur le site web d'Atmo AuRA

#### 3.2. Evaluation statistique générale

<sup>1</sup> Groupe de travail piloté par l'INERIS et constitué de représentants de toutes les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air françaises, dont les travaux débutent en juin 2018.



L'approche utilisée pour évaluer la qualité des prévisions consiste à comparer les concentrations estimées à celles mesurées uniquement aux stations. La comparaison modèle-mesure, évaluée par différents indicateurs statistiques, est réalisée pour chaque mesure. Pour évaluer la qualité globale de la simulation, ces indicateurs statistiques sont moyennés sur l'ensemble des capteurs de la région ou par zone, selon les bassins d'air utilisés pour la gestion des épisodes de pollution (les zones AIP dans ce document).

**Les statistiques sont estimées à partir de valeurs journalières pour tous les polluants : la moyenne journalière pour les particules PM<sub>10</sub>, et la valeur maximale horaire du jour pour l'ozone (O<sub>3</sub>) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), bien que faisant partie des polluants pris en compte pour les épisodes de pollution, n'est pas modélisé, l'évaluation n'est donc pas possible. Ce polluant, d'origine industrielle, a des taux faibles dans notre région, sauf en cas d'incidents/accidents par nature imprévisibles.**

**Seules les stations de typologie urbaine, périurbaine et rurale sont utilisées pour calculer les paramètres statistiques.**

**À noter que pour l'année 2018 et contrairement à l'année précédente le calcul statistique a été effectué à la fois à partir des données expertisées (résultats ajustés manuellement) et non expertisées par le prévisionniste (résultats krigés des modèles bruts).**

La comparaison peut être effectuée d'une manière qualitative en traçant le croisement des valeurs prédites en fonction de celles observées (Figure 3a et Figure 3b – graphiques de corrélation), ou en traçant les évolutions temporelles des concentrations (Figure 4a, Figure 4b, Figure 4c et Figure 4d). La prévision est considérée parfaite au sens de mesures lorsque toutes les estimations sont situées sur l'axe 1 :1 (trait rouge interrompu sur les Figure 3a et Figure 3b).

### 3.2.1. Nuages de points

Les Figure 3a et Figure 3b présentent deux matrices des nuages de points effectuées en croisant les résultats de prévision (ajustés ou non) avec les mesures aux stations. Ces figures montrent que notre chaîne de prévision a souvent une tendance globale à la sous-estimation. Ce comportement est plus marquant pour le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) que pour les PM<sub>10</sub>. La tendance globale de la sous-estimation est homogène pour l'ozone (O<sub>3</sub>), elle concerne toutes les gammes des valeurs (concentrations fortes et faibles). Pour les particules fines PM<sub>10</sub>, la sous-estimation concerne principalement les valeurs les plus élevées des concentrations. Ce comportement est plus remarquable pour les échéances J+1 et J+2 mais ce n'est pas le cas pour la prévision du jour même J0 car, comme illustre les deux figures 3a et 3b, la silhouette du nuage de points est bien symétrique par rapport à l'axe X=Y (trait rouge interrompu). Les figures 3a et 3b montrent que les résultats de prévision non ajustés sont globalement assez similaires à ceux expertisés par le prévisionniste. Néanmoins, l'intervention des prévisionnistes apporte une amélioration dans la tendance globale des prévisions d'ozone pour l'échéance J0 et des particules fines PM<sub>10</sub> pour les différentes échéances. Les résultats de NO<sub>2</sub> sont quasi-identiques car les prévisionnistes ajustent rarement les cartes de NO<sub>2</sub>. Les figures 3a et 3b montrent, dans certains cas, des données très éloignées du centre de masse du nuage de points. Il s'agit des valeurs aberrantes qui peuvent avoir une incidence importante sur le calcul des indicateurs statistiques.

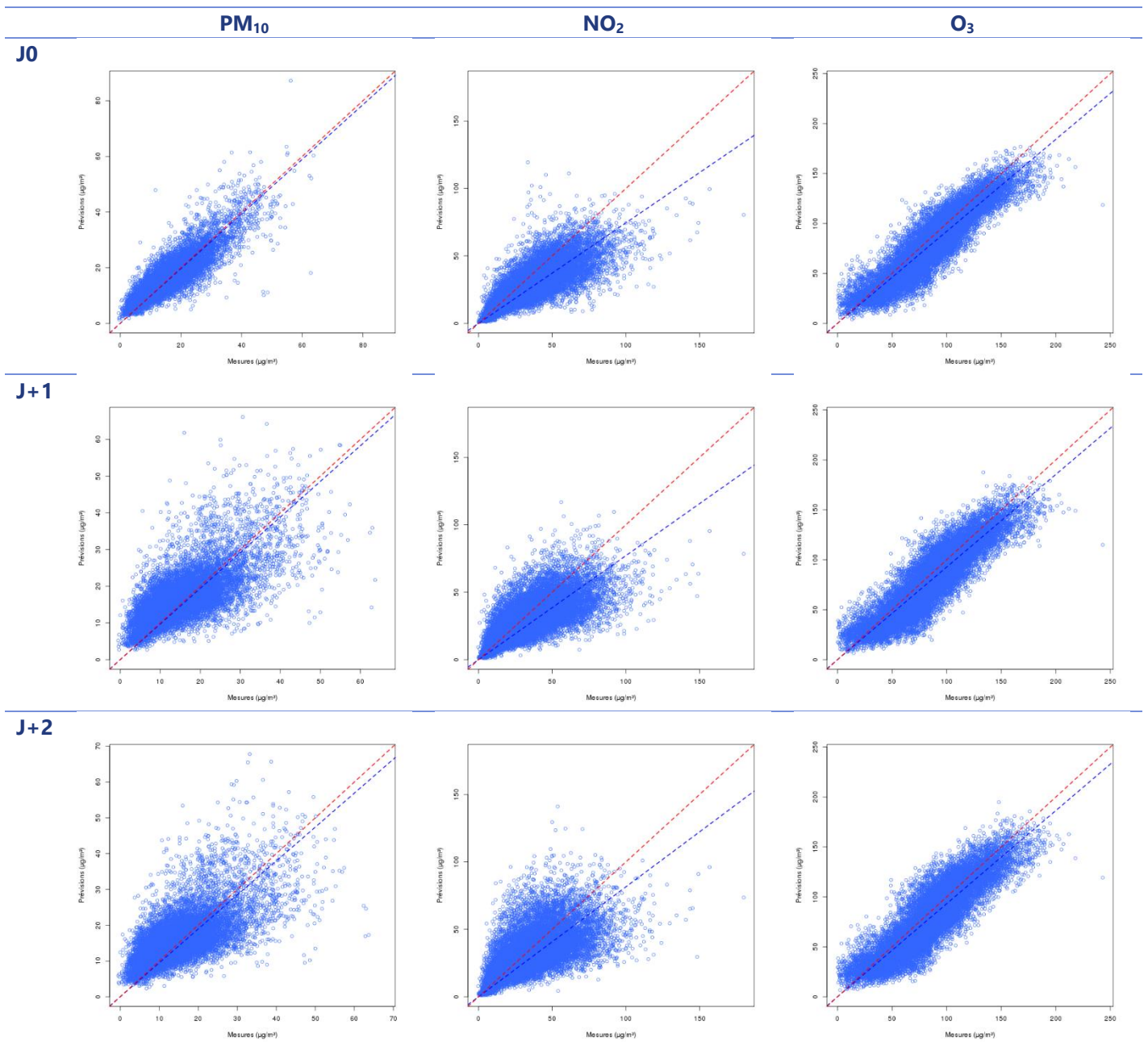


Figure 3a : Comparaison modèle-mesures : nuages des points pour chaque polluant et chaque échéance - Résultats sans ajustement du prévisionniste

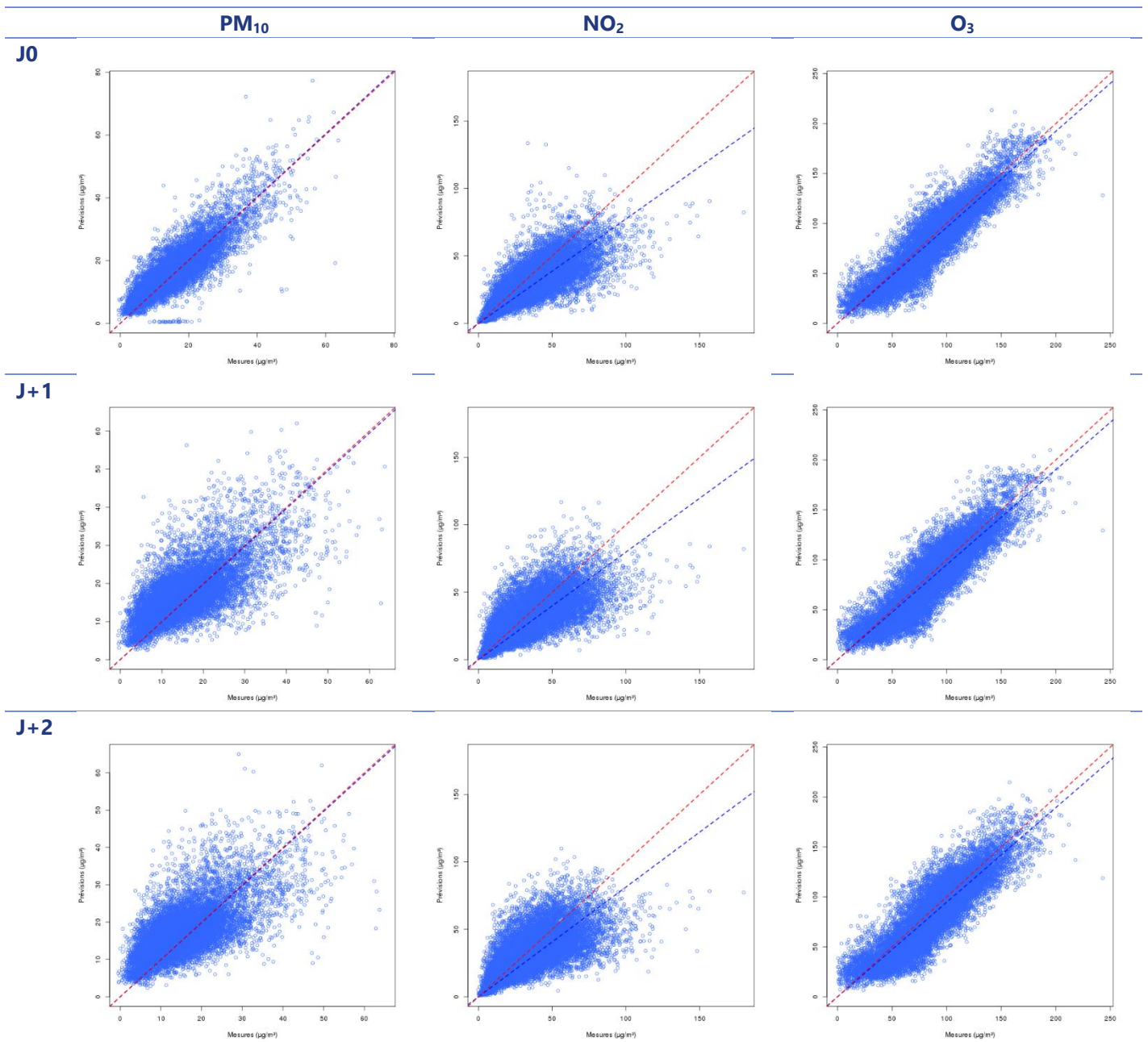


Figure 3b : Comparaison modèle-mesures : nuages des points pour chaque polluant et chaque échéance – Résultats avec ajustement du prévisionniste

### 3.2.2. Evolutions temporelles des concentrations

La deuxième approche visuelle permettant d'analyser la fiabilité du système de prévision est la superposition des évolutions temporelles modélisées à celles observées. Il n'est pas possible de tracer ces évolutions pour tous les polluants et pour toutes les stations compte tenu de leur nombre (plus de 80 par polluant). Deux stations ont été retenues pour illustrer les évolutions temporelles de concentrations : la station qui a le nombre de jours de dépassement le plus élevé pour les particules fines  $PM_{10}$  ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière) et celle qui a le nombre d'heures de dépassements le plus élevé pour l' $O_3$  ( $180\mu\text{g}/\text{m}^3$  en valeur horaire). Il s'agit de la station urbaine Bourg-En-Bresse pour l'ozone et celle de Passy pour les particules fines. De plus, la station de Passy se caractérise par un comportement assez atypique car elle se situe dans une vallée alpine problématique du point de vue de la qualité de l'air.

Les évolutions journalières de concentrations des stations Bourg-en-Bresse et Passy sont représentées respectivement sur les Figure 4a, Figure 4b, Figure 4c et Figure 4d. Chaque figure illustre les profils temporels des concentrations mesurées (en gris) et modélisées (en rouge) de  $PM_{10}$ ,  $NO_2$  et l' $O_3$  pour chaque station. Les Figure 4b, Figure 4d correspondent aux résultats après l'ajustement du prévisionniste. La variabilité temporelle des concentrations journalières de  $NO_2$  est beaucoup plus importante que celle des concentrations de  $PM_{10}$ . En effet, les concentrations de  $NO_2$  sont beaucoup plus influencées par les émissions du trafic routier, elles-mêmes caractérisées par une forte fluctuation temporelle.

Les Figures citées ci-dessus montrent que les prévisions quotidiennes (les valeurs moyennes pour les  $PM_{10}$  et les valeurs maximales pour le  $NO_2$  et l' $O_3$ ) sont globalement bonnes pour les différentes échéances et polluants. Néanmoins, la qualité des résultats est fortement sensible à la période de l'année pour certains polluants, notamment le  $NO_2$ . En effet, les écarts modèle-mesures sont relativement faible en été pour ce polluant par rapport le reste de l'année. Les prévisions (avec ou sans ajustement) sous-estiment largement les concentrations de  $NO_2$  à Bourg-En-Bresse en ratant la quasi-totalité des pics de concentrations de ce polluant.

**La comparaison sur les profils temporels des heures d'arrivée des pics de concentration, montre toutefois que ce paramètre fondamental est souvent bien reproduit par la chaîne de modélisation pour les trois polluants. Le système de prévision prévoit correctement la vitesse de transport (vitesse d'advection) qui contrôle les déplacements des masses d'air polluées.**

# Passy

Station : Passy

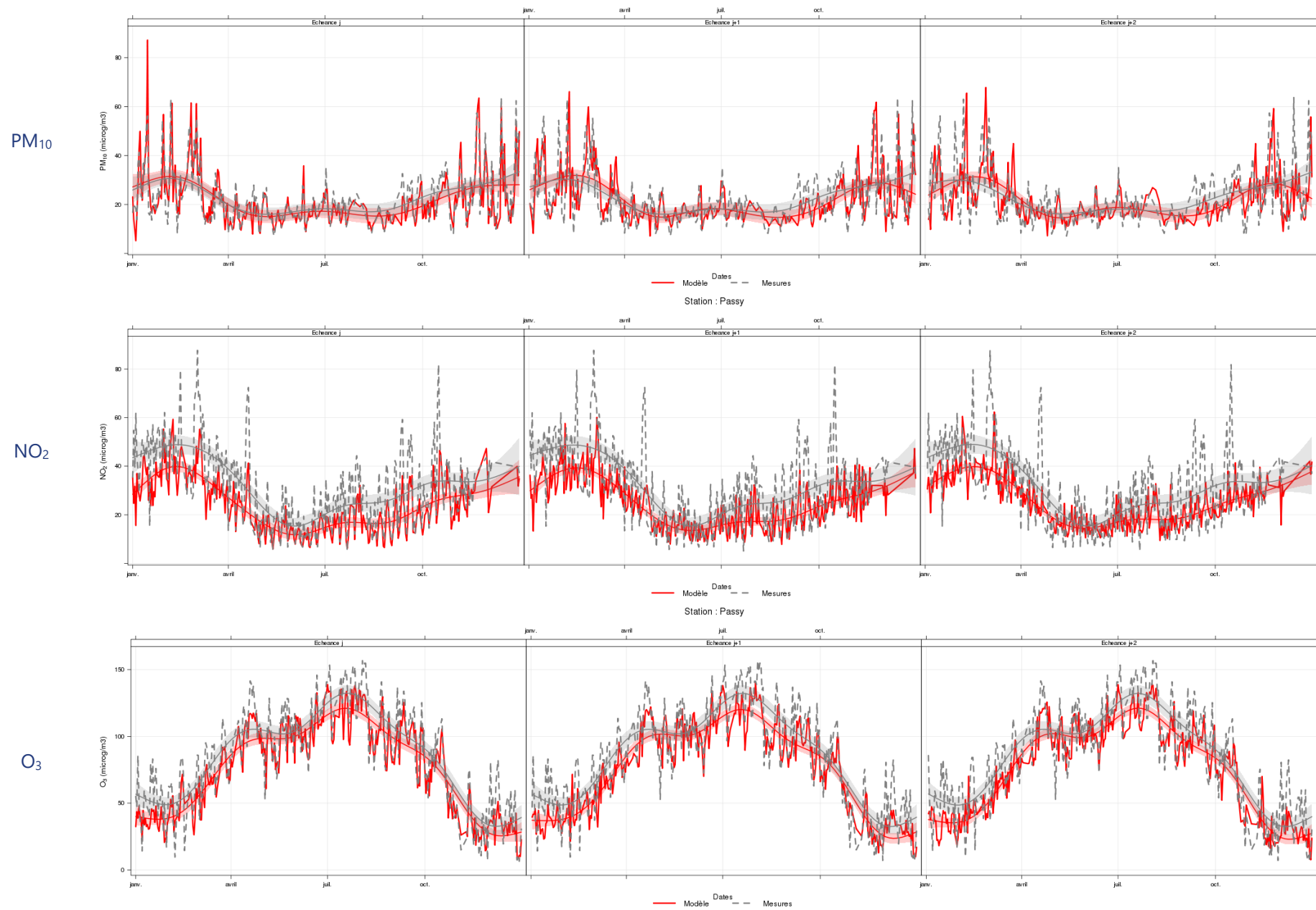
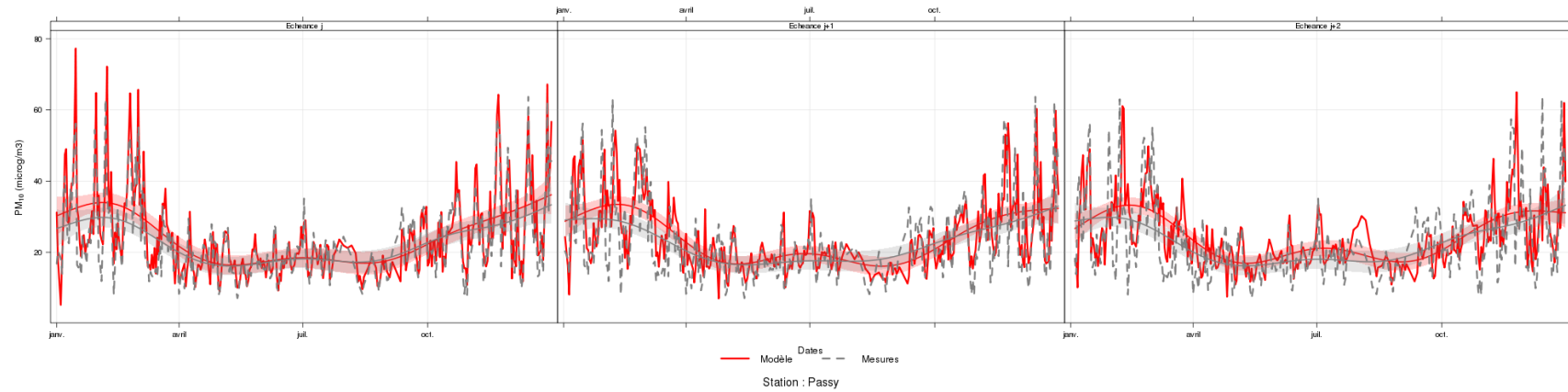


Figure 4a : Séries temporelles des concentrations journalières de PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> sur la station Passy – résultats non ajustés par le prévisionniste

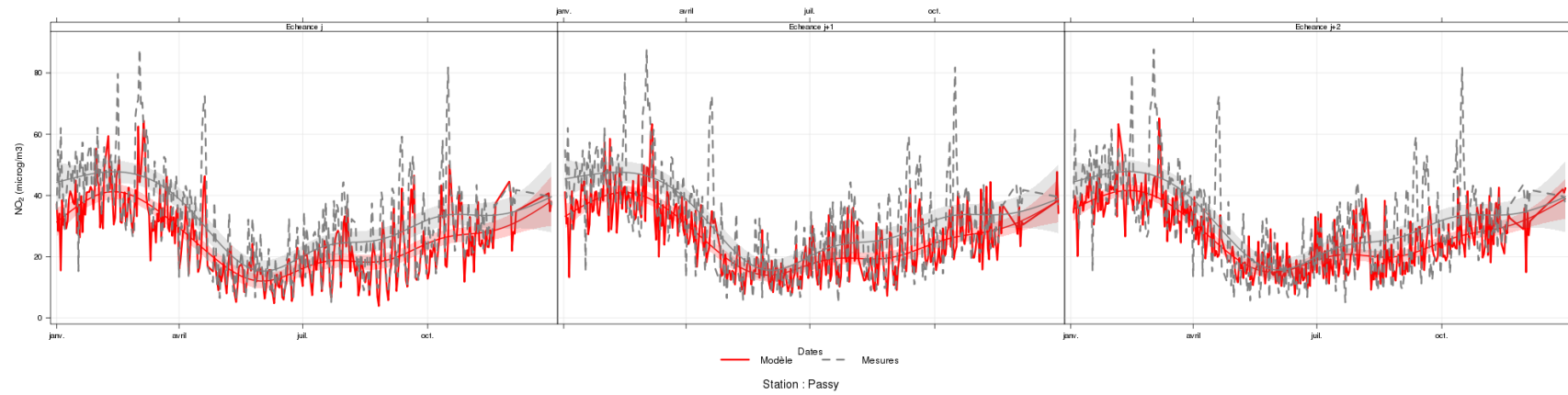
# Passy

Station : Passy

PM10



NO2



O3

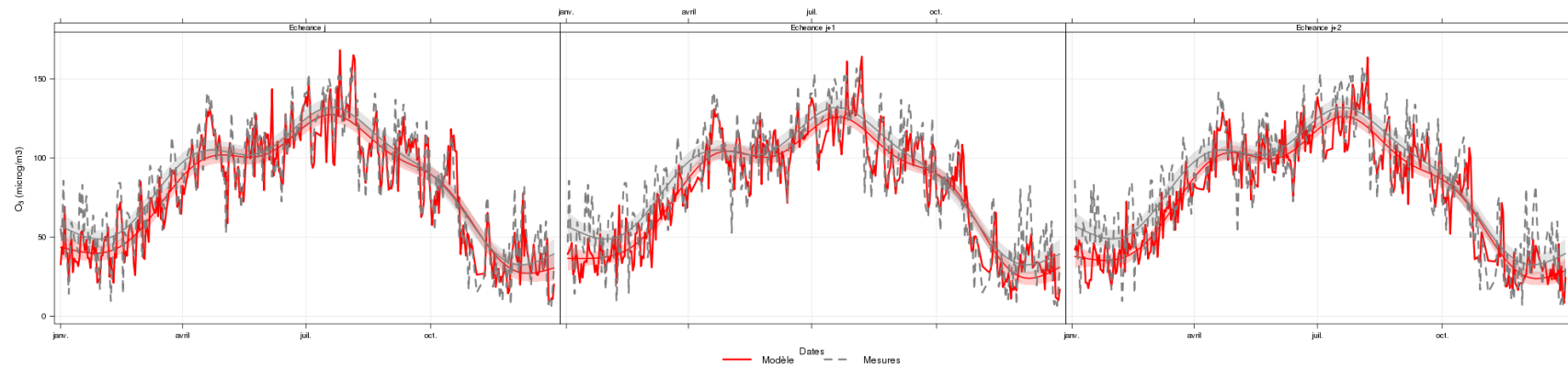
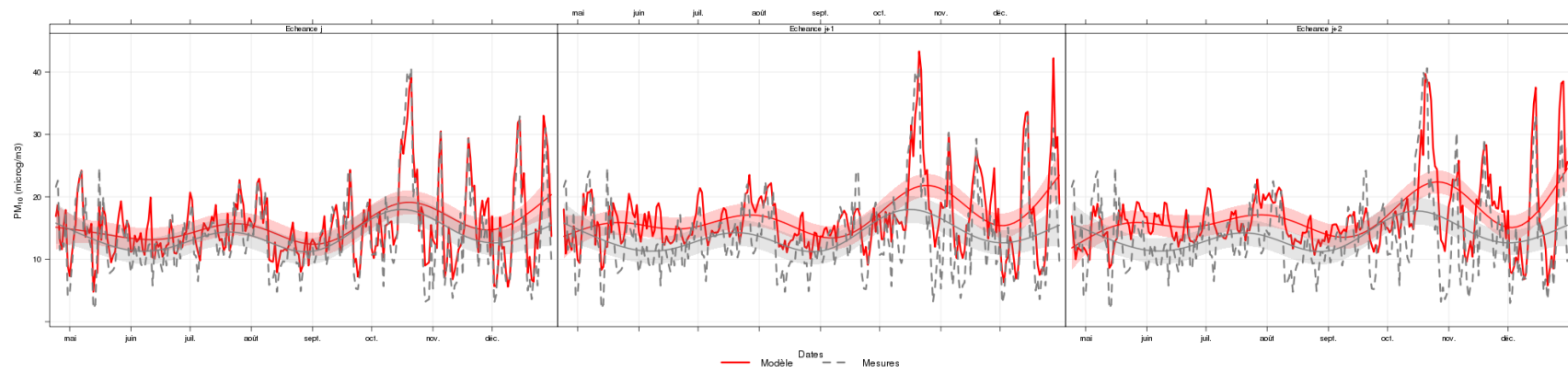


Figure 4b : Séries temporelles des concentrations journalières de PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> sur la station Passy – résultats ajustés par le prévisionniste

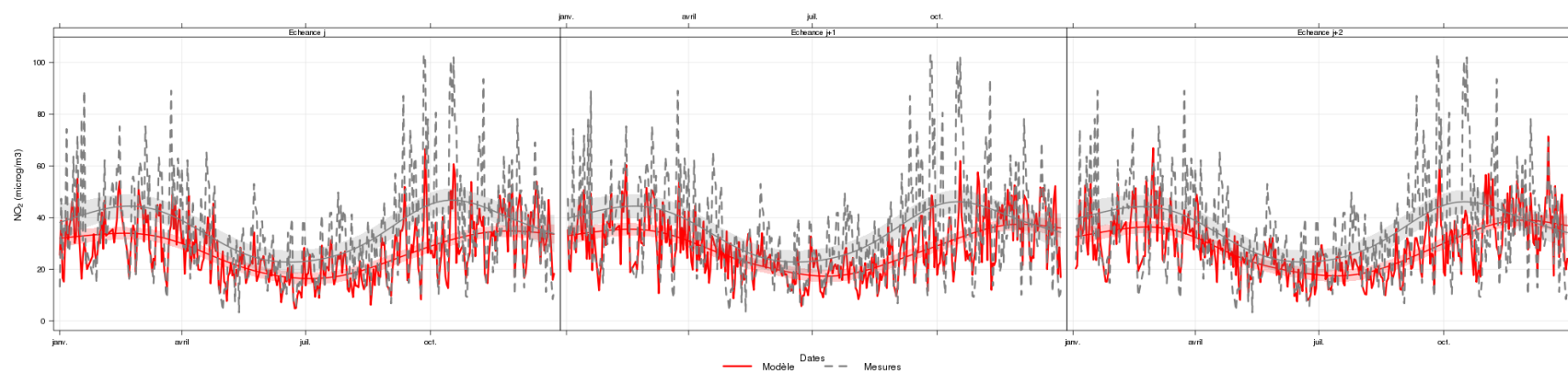
# Bourg-En-Bresse

Station : Bourg\_en\_Bresse

PM10



NO2



O3

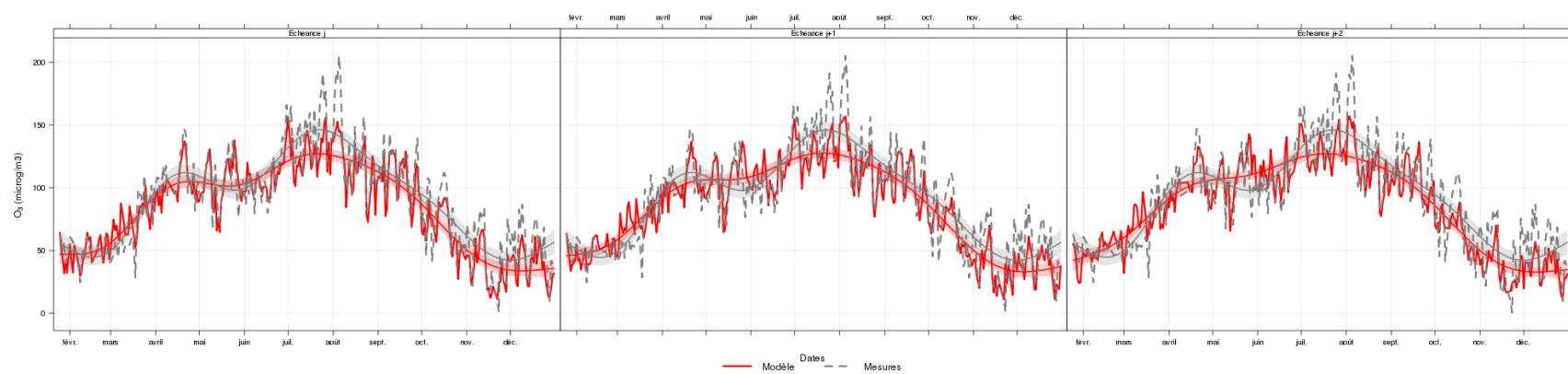


Figure 4c: Séries temporelles des concentrations journalières de PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> sur la station Bourg-En-Bresse - résultats non ajustés par le prévisionniste

# Bourg-En-Bresse

Station : Bourg\_en\_Bresse

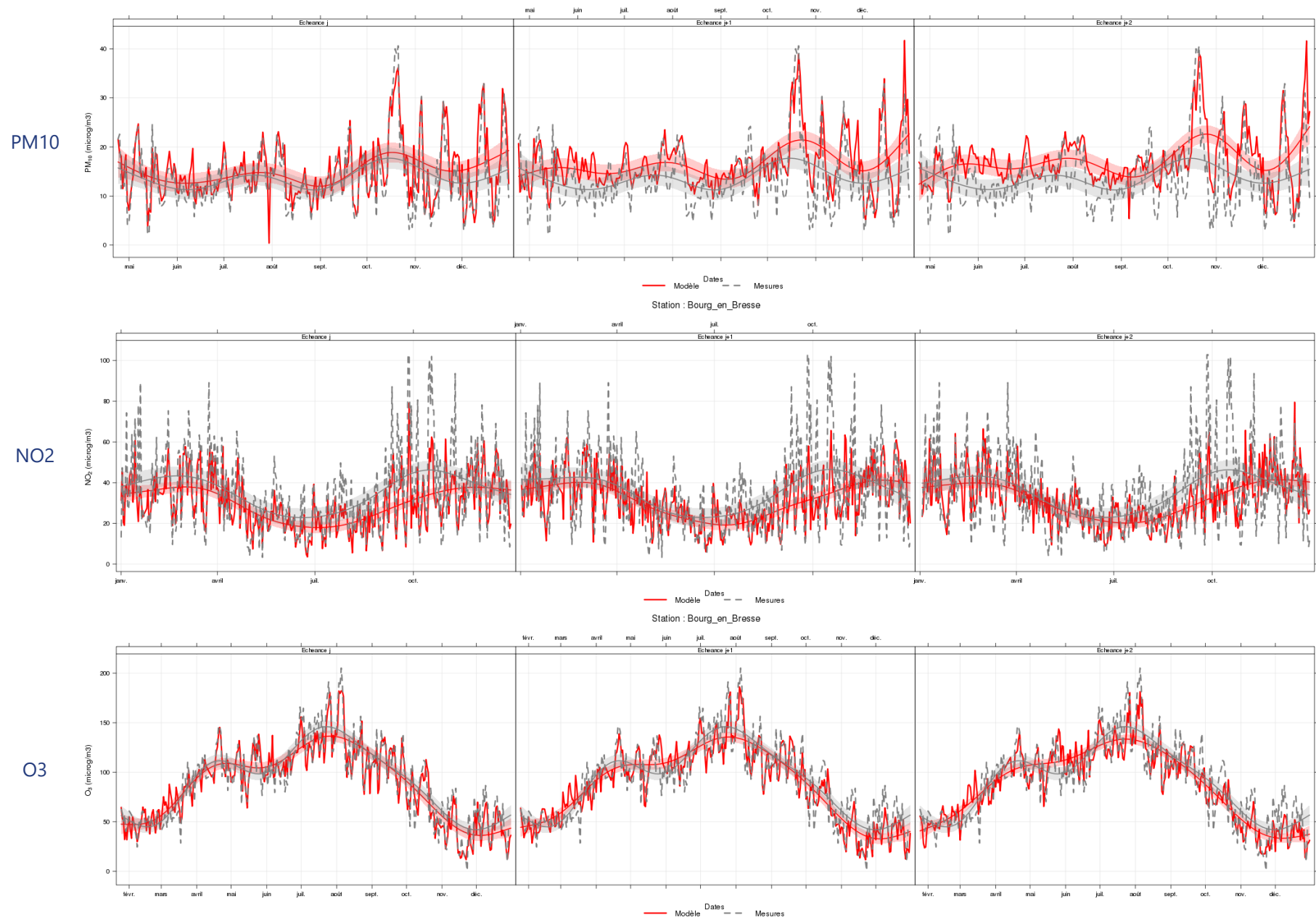


Figure 4d: Séries temporelles des concentrations journalières de PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> sur la station Bourg-En-Bresse – Résultats ajustés par le prévisionniste



La comparaison des prévisions avant et après l'expertise humaine montrent encore une fois un résultat quasi-identique et très similaire pour le NO<sub>2</sub>. L'ajustement des cartes par les prévisionnistes améliore nettement les résultats de prévisions pour l'ozone sur Bourg-En-Bresse notamment en été. Cependant, elle peut dégrader les résultats des particules PM<sub>10</sub> en augmentant les écarts modèle-mesures notamment pour les faibles valeurs. En comparant les Figure 4a, Figure 4b, il faut noter parfois une légère dégradation des résultats avec l'intervention des prévisionnistes. Néanmoins, l'expertise humaine a permis à une nette amélioration dans les résultats de l'ozone pendant la période estivale. En effet, le modèle sous-estime largement les concentrations d'ozone.

### 3.2.3. Indicateurs statistiques

Afin de quantifier les résultats des prévisions, il est nécessaire d'utiliser des indicateurs statistiques permettant d'étudier les écarts entre le modèle et les mesures. La bibliographie relate de nombreux travaux ayant abordé cette question récurrente de la quantification de la performance des prévisions et ont conduit à retenir certains paramètres statistiques. Il existe une multitude de paramètres statistiques pour ce type de quantification, notamment : le biais, l'erreur relative, l'erreur quadratique moyenne, la fraction dans un facteur de 2, le coefficient de performance, le coefficient de corrélation...

Sur la base de ces travaux bibliographiques, et conformément à « l'état de l'art », six indicateurs statistiques complémentaires ont été retenus pour évaluer la performance des prévisions (Tableau 1):

- **Le biais moyen (MB)** : permet d'estimer l'erreur globale du modèle en quantifiant l'écart entre les moyennes des valeurs observées et modélisées. Sur les Figure 3a et Figure 3b, ce biais correspond à la distance entre le barycentre du nuage de points et l'axe 1:1. La valeur optimale de ce critère est 0.
- **La racine carrée de l'erreur quadratique des estimations (RMSE)** : peut être assimilée à une erreur locale. Sur les Figure 3a et Figure 3b, l'erreur type correspond à la diffusion ou la distribution moyenne des points par rapport à la droite 1:1. La valeur optimale pour ce paramètre est également 0.
- **Le coefficient de corrélation (R)** : paramètre statistique qui permet d'évaluer la corrélation entre les variations de deux variables. La valeur du coefficient de corrélation varie entre -1 et 1. La valeur optimale correspondant à des variables parfaitement corrélées est 1.
- **Le biais fractionnel (FB)** : Le biais fractionnel correspond à un biais normalisé. Il quantifie l'erreur systématique, sa valeur optimale est 0.
- **L'erreur quadratique normalisé (NMSE)** : Elle quantifie l'erreur locale. En effet, une valeur faible de NMSE traduit la performance du modèle à reproduire la variabilité spatiale et temporelle des concentrations. Inversement, une valeur élevée de NMSE ne signifie pas forcément que le modèle n'est pas bon. À noter que les écarts locaux sur les pics ont un poids plus important sur ce critère.
- **La fraction d'un facteur de 2** : représente la fraction des valeurs calculées par le modèle pour lesquelles,  $0,5 \leq C_p/C_m \leq 2$  si le modèle était parfait, FAC2=1. Ce paramètre indique la capacité du modèle à ne pas dépasser une erreur limite.

Puisque les modèles de dispersion atmosphérique ne peuvent pas prédire parfaitement la réalité (les concentrations mesurées par les capteurs), Chang and Hanna (2004) proposent des fourchettes de valeurs associées aux indicateurs FB, NMSE et FAC2 pour évaluer ces modèles : leurs résultats sont considérés comme acceptables lorsque les critères sont vérifiés (Tableau 2). Malheureusement, il n'existe pas à notre connaissance de critères de qualité pour les indices R, Biais et RMSE.

Corrélation R	$\frac{(\overline{C_p} - \overline{C_m})(\overline{C_m} - \overline{C_p})}{\sqrt{(\overline{C_p} - \overline{C_p})^2 (\overline{C_m} - \overline{C_m})^2}}$	Biais Fractionnel FB	$\frac{\overline{C_p} - \overline{C_m}}{\frac{1}{2}(\overline{C_p} + \overline{C_m})}$
Biais moyen MB	$\overline{C_p} - \overline{C_m}$	L'erreur quadratique normalisé NMSE	$\frac{(\overline{C_p} - \overline{C_m})^2}{\overline{C_p} \overline{C_m}}$
L'erreur type RMSE	$\sqrt{(\overline{C_p} - \overline{C_m})^2}$	La fraction d'un facteur de 2	Fraction FAC2 des données telles que $0,5 \leq C_p/C_m \leq 2$

Tableau 1 : Paramètres statistiques utilisés habituellement pour évaluer les résultats des modèles de la qualité de l'air.

	R	Biais	RMSE	NMSE	FB	FAC2
Satisfaisant				NMSE < 4	≤ 0.3	≥ 0.5
Idéale	1	0	0	0	0	1

Tableau 2 : Critères d'évaluation de prévisions

### 3.2.3.1. Diagrammes de Taylor

Les diagrammes de Taylor (Figure 5) sont conçus pour réaliser rapidement une évaluation comparative de plusieurs modèles, visuellement. Il rassemble trois indicateurs statistiques : le coefficient de corrélation de Pearson (R) (trait interrompu en vert), l'erreur quadratique moyenne (RMS) (trait interrompu en rouge) et l'écart-type (trait interrompu en bleu). Chaque point du diagramme est placé afin que la distance par rapport à l'origine soit égale à l'écart-type de la simulation. La position azimutale (en projetant le point sur l'arc extérieur parallèlement au trait interrompu vert) du point reflète la valeur du coefficient de corrélation entre les mesures et les prévisions.

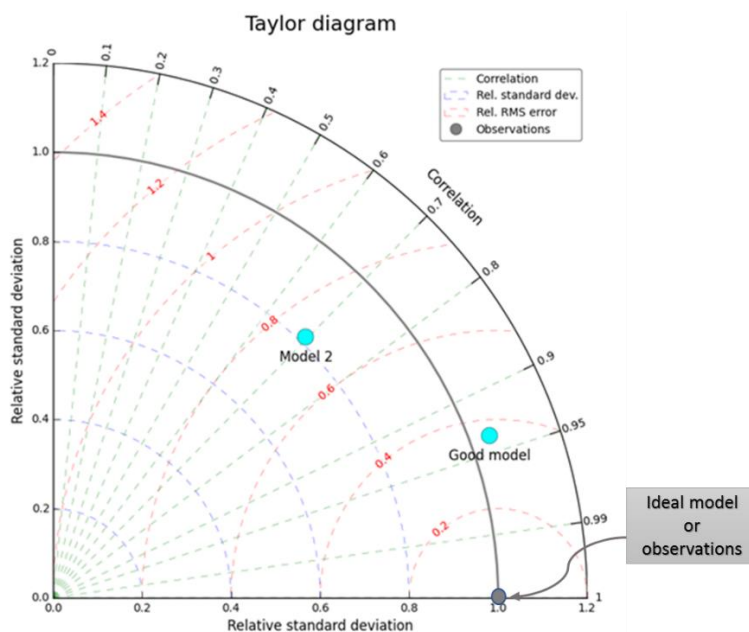


Figure 5: Diagramme de Taylor – principe d'utilisation

Ces diagrammes contribuent à évaluer la performance de notre système de prévision (avec et sans l'expertise humaine) pour chaque polluant et pour chaque échéance. Il s'agit d'une démarche complémentaire à l'analyse des profils temporels présentée ci-dessus.

La Figure 6 représente les diagrammes de Taylor calculés pour les différents polluants et les différentes échéances de prévision (J0, J+1, J+2), pour l'ensemble de l'année 2018. Ce calcul a été effectué à la fois pour les résultats ajustés (points rouges) et non ajustés (points gris) par les prévisionnistes.

Ces diagrammes montrent encore une fois que les résultats avec et sans ajustement sont globalement similaires. On observe que la dispersion des données prévues pour le NO<sub>2</sub> est moins importante que celles des données mesurées. Le RMS (distance par rapport à l'observation) est moins bon pour le NO<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub> que pour les particules fines. Cela peut s'expliquer en partie par l'ordre de grandeur des concentrations de ces deux polluants qui sont souvent plus élevées que les PM<sub>10</sub>. La Figure 6 montre que les résultats de prévision sont plus fiables pour J0 (prévision pour le jour-même) que pour le lendemain (J1) et le surlendemain (J+2) pour tous les polluants. De plus, ces diagrammes confirment que statistiquement, les prévisions sont plus fiables pour les particules PM<sub>10</sub> que pour les deux autres polluants.

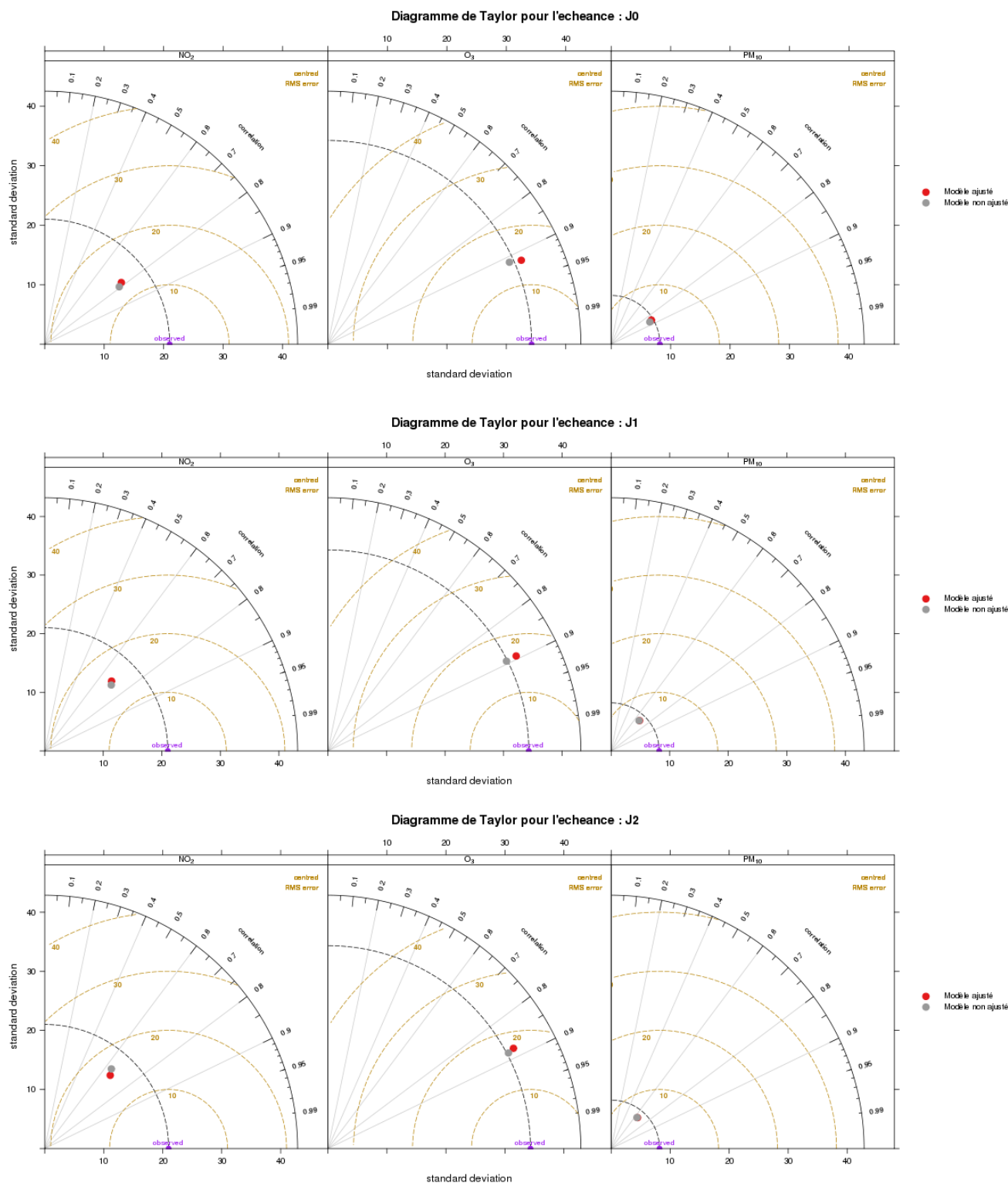


Figure 6 : Diagramme de Taylor – Performance des prévisions par échéance et par polluant

### 3.2.3.2. Résultats des indicateurs statistiques

#### a. Sensibilité globale en fonction de la période de l'année

Les performances statistiques de la chaîne de prévision sur l'année 2018 relatives aux polluants PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> sont indiquées dans les Tableau 3a et Tableau 3b. Chaque paramètre est calculé pour chaque échéance en utilisant toutes les données de 2018 pour les différents polluants. Le calcul des indicateurs statistiques a été effectué à la fois pour les résultats non ajustés et ajustés par les prévisionnistes.

Le fait que le biais moyen global soit positif pour les particules PM<sub>10</sub> signifie que la chaîne de prévision surestime la moyenne des concentrations pour ce polluant pour toutes les échéances de prévision. Cette légère

tendance à la surestimation des PM<sub>10</sub> peut paraître incohérente avec les tendances globales illustrées sur les Figure 3a et Figure 3b. En réalité, c'est la surestimation des faibles valeurs qui fait passer le biais au-dessus de zéro.

Le biais moyen global et le RMSE sont beaucoup plus faibles pour les PM<sub>10</sub> que pour les autres polluants (Tableau 3a et Tableau 3b). Statistiquement, cela signifie que la chaîne de prévision reproduit mieux les concentrations de particules fines PM<sub>10</sub> que celles des autres polluants. Mais cela peut s'expliquer en partie par l'ordre de grandeur des concentrations de ces deux polluants qui sont souvent plus élevées que les PM<sub>10</sub>. Le RMSE montre que les résultats de prévisions sont relativement dispersés autour des mesures, de l'ordre de 6 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>. Cette dispersion est deux à trois fois plus importante pour les autres polluants.

À l'exception de NO<sub>2</sub>, les performances statistiques de la chaîne de prévision sont meilleures pour l'échéance J0 que pour J+1 et J+2, ce qui est cohérent avec le principe de fonctionnement de la chaîne (plus on s'éloigne dans le temps, plus l'incertitude augmente). Néanmoins, la performance est très similaire pour les deux échéances J+1 et J+2.

Échéances	PM10			NO2			O3		
	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R
J0	0,55	4,14	0,87	-7,18	14,74	0,79	-6,50	15,65	0,91
J+1	1,22	6,32	0,68	-5,23	15,74	0,71	-5,81	16,81	0,89
J+2	0,99	6,57	0,64	-3,07	16,91	0,64	-5,37	17,45	0,88
Échéances	PM10			NO2			O3		
	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE
J0	0,97	0,03	0,07	0,91	-0,22	0,22	0,97	-0,08	0,03
J+1	0,90	0,08	0,15	0,87	-0,16	0,23	0,97	-0,07	0,04
J+2	0,89	0,06	0,17	0,86	-0,09	0,25	0,96	-0,06	0,04

Tableau 3a: Performances statistiques globales par échéance, de trois polluants PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, sur l'ensemble de l'année 2018 – résultats non ajustés

Échéances	PM10			NO2			O3		
	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R
J0	0,87	4,38	0,86	-6,02	14,49	0,78	-3,17	14,56	0,92
J+1	1,58	6,36	0,68	-4,02	15,82	0,69	-4,06	16,84	0,89
J+2	1,82	6,68	0,65	-3,07	16,15	0,67	-4,16	17,70	0,88
Échéances	PM10			NO2			O3		
	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE
J0	0,96	0,05	0,07	0,91	-0,19	0,20	0,97	-0,04	0,03
J+1	0,89	0,10	0,15	0,87	-0,12	0,22	0,96	-0,05	0,04
J+2	0,88	0,11	0,16	0,87	-0,09	0,23	0,96	-0,05	0,04

Tableau 3b: Performances statistiques globales par échéance, de trois polluants PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, sur l'ensemble de l'année 2018 – résultats ajustés

**Les résultats globaux de la chaîne de prévision sont assez satisfaisants pour tous les polluants et toutes les échéances. En effet, les critères statistiques fournis par Chang and Hanna (2004) sont largement respectés. Les biais moyens associés au NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> sont relativement élevés car ils sont calculés à partir des données maximales horaires sur la journée. Cela traduit la plus grande difficulté de la chaîne de prévision à prévoir des valeurs extrêmes, par nature très variables, que des valeurs moyennes.**

Les indicateurs statistiques présentés dans les tableaux ci-dessus montrent que les deux prévisions avant et après l'expertise humaine ont globalement la même performance statistique. A l'exception du biais moyen MB, la variabilité observée des autres indicateurs statistiques est de l'ordre de 1/10ème. L'évolution croissante des biais moyens après l'ajustement des cartes par le prévisionniste reflète l'anticipation des prévisionnistes à augmenter les concentrations des polluants sur les cartes. Sur les 9 cas (3 échéances x 3 polluants), l'expertise humaine sur les cartes a amélioré le biais moyen 5 fois contre 3 dégradations.

Afin de compléter cette analyse, le même calcul a été effectué sur des fenêtres temporelles prédéfinies afin de donner plus de poids aux valeurs élevées. Il s'agit de la période hivernale (du 01/01/2018 au 15/03/2018 et du

01/11/2018 au 31/12/2018) pour les statistiques relatives aux particules fines PM<sub>10</sub>, et de la période estivale (du 01/06/2018 au 30/09/2018) pour l’ozone (O<sub>3</sub>), comme recommandé par plusieurs études scientifiques. La période hivernale de l’année est concernée principalement par des épisodes de pollution dues aux particules fines et la période estivale est concernée par des épisodes d’ozone.

Les concentrations en PM<sub>10</sub> sont souvent plus élevées en hiver. En effet, les émissions associées aux particules sont plus importantes pendant la période hivernale et les conditions météorologiques sont favorables à l’accumulation des polluants dans les basses couches de l’atmosphère. Les conditions estivales sont davantage propices à la production d’ozone, compte tenu du fort ensoleillement et des températures élevées favorisant la photochimie. Les statistiques illustrées dans le Tableau 4a mettent en évidence une nette amélioration des scores pour l’ozone. Par exemple, les biais moyens pour la période estivale sont deux à trois fois plus faibles que ceux calculés sur toute l’année. Pour les particules PM<sub>10</sub>, seules les corrélations sont meilleures pour les statistiques hivernales (Tableau b).

**Ces différents résultats permettent de conclure que la chaîne de prévision est bien plus performante pour prévoir les concentrations d’O<sub>3</sub> lors de la période estivale, qui est la plus critique pour ce polluant. Pour les particules PM<sub>10</sub>, le bilan est plus contrasté : les tendances globales des évolutions des concentrations sont bien mieux reproduites en hiver que sur l’ensemble de l’année (corrélation) mais les écarts ponctuels avec les mesures se creusent, traduisant une difficulté de la chaîne de prévision à bien reproduire les plus fortes concentrations de particules PM<sub>10</sub>.**

Échéances	O3 – résultats non ajustés					
	MB	RMSE	R	FAC2	FB	NMSE
J0	<b>-3,59</b>	<b>14,82</b>	0,83	<b>1,00</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,02</b>
J+1	<b>-2,05</b>	<b>16,14</b>	0,78	<b>1,00</b>	<b>-0,02</b>	<b>0,02</b>
J+2	<b>-0,62</b>	<b>16,99</b>	0,75	<b>1,00</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,02</b>
Échéances	O3 – résultats ajustés					
	MB	RMSE	R	FAC2	FB	NMSE
J0	<b>1,00</b>	14,70	0,83	<b>1,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>
J+1	<b>1,92</b>	<b>16,57</b>	0,78	<b>1,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>
J+2	<b>1,86</b>	17,85	0,74	<b>1,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>

Tableau 4a : Performances statistiques globales par échéance de l’O<sub>3</sub>, sur la période estivale (de 01/06/2018 au 30/09/2018).

Échéances	PM10 – résultats non ajustés					
	MB	RMSE	R	FAC2	FB	NMSE
J0	0,99	4,75	<b>0,89</b>	0,96	0,06	0,08
J+1	1,69	7,60	<b>0,71</b>	0,88	0,10	0,19
J+2	1,40	7,95	<b>0,68</b>	0,86	0,08	0,21
Échéances	PM10 – résultats ajustés					
	MB	RMSE	R	FAC2	FB	NMSE
J0	1,56	5,10	<b>0,89</b>	0,94	0,09	0,09
J+1	2,13	7,62	<b>0,72</b>	0,87	0,12	0,18
J+2	2,32	7,95	<b>0,69</b>	0,84	0,13	0,20

Tableau 4b : Performances statistiques globales par échéance, des particules fines PM<sub>10</sub> sur la période hivernale (de 01/01 au 15/03/2018 et du 01/11 au 31/12/2018).

#### b. Sensibilité selon la typologie de sites

Les Tableau 5a et Tableau 5b illustrent les performances de la chaîne de prévision en fonction de la typologie des stations de mesures. Les meilleures performances statistiques (en vert dans les Tableau 5a et Tableau 5b) sont globalement associées aux stations rurales. Cependant, les plus mauvais résultats sont souvent associés aux sites de proximité pour lesquels il y a une forte influence de sources locales et donc une très importante

variabilité spatio-temporelle des émissions autour des sites de mesures. Les bonnes performances observées sur les sites ruraux peuvent s'expliquer par l'aptitude de la chaîne de modélisation à reproduire les faibles concentrations. Globalement, les indicateurs statistiques calculés dans les Tableau 5a et Tableau 5b indiquent un très bon accord entre les prévisions et les mesures. Seuls, les indicateurs statistiques des prévisions de NO<sub>2</sub> sur les sites trafics dépassent légèrement la fourchette des valeurs considérées comme acceptables (valeurs en rouge).

**L'intercomparaison entre les résultats ajustés et non ajustés par les prévisionnistes a montré que l'expertise humaine améliore nettement les prévisions de l'ozone et de NO<sub>2</sub> quel que soit la typologie des stations. Néanmoins, cette amélioration ne concerne que les stations de type industrielle et trafic pour les particules fines PM<sub>10</sub>.**

Typologie	PM10			NO2			O3		
	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R
Périurbaine	<b>1,38</b>	<b>5,98</b>	0,71	-3,75	14,50	0,64	-6,64	17,65	<b>0,90</b>
Urbaine	<b>0,98</b>	<b>5,92</b>	0,72	-6,19	17,28	0,62	-6,00	16,91	0,89
Rurale	-0,29	<b>4,40</b>	<b>0,74</b>	-1,96	<b>5,54</b>	<b>0,76</b>	-3,96	<b>13,93</b>	0,89
Industrielle	-0,72	7,53	0,61	5,04	18,36	0,56	-5,70	17,67	0,87
Trafic	-2,47	7,51	0,66	<b>-41,44</b>	<b>51,48</b>	0,41	-	-	-
Typologie	PM10			NO2			O3		
	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE
Périurbaine	<b>0,92</b>	<b>0,08</b>	<b>0,12</b>	<b>0,88</b>	-0,12	0,22	0,96	-0,08	0,04
Urbaine	<b>0,92</b>	<b>0,06</b>	0,13	<b>0,88</b>	-0,17	<b>0,21</b>	0,96	-0,07	0,04
Rurale	<b>0,91</b>	-0,03	<b>0,15</b>	<b>0,88</b>	-0,20	0,33	<b>1,00</b>	-0,04	<b>0,02</b>
Industrielle	0,86	-0,04	0,22	<b>0,83</b>	0,13	0,22	0,97	-0,07	0,04
Trafic	<b>0,94</b>	-0,13	0,16	<b>0,44</b>	<b>-0,72</b>	0,92	-	-	-

Tableau 5a : Performances statistiques par typologie associées à la chaîne de prévision en 2018 – résultats non ajustés

Typologie	PM10			NO2			O3		
	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R
Périurbaine	1,78	6,04	0,71	<b>-2,42</b>	<b>14,22</b>	0,64	<b>-4,87</b>	<b>17,60</b>	<b>0,90</b>
Urbaine	1,56	6,04	<b>0,72</b>	<b>-5,52</b>	<b>16,92</b>	<b>0,63</b>	<b>-3,82</b>	<b>16,66</b>	0,89
Rurale	<b>-0,10</b>	<b>4,60</b>	0,71	<b>-1,66</b>	<b>5,48</b>	<b>0,74</b>	<b>-2,37</b>	<b>13,54</b>	0,89
Industrielle	<b>-0,20</b>	<b>7,23</b>	<b>0,63</b>	<b>4,74</b>	<b>17,83</b>	<b>0,57</b>	<b>-3,85</b>	<b>17,43</b>	0,87
Trafic	<b>-2,00</b>	<b>7,27</b>	<b>0,67</b>	-42,08	51,88	0,41	-	-	-
Typologie	PM10			NO2			O3		
	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE
Périurbaine	0,91	0,10	<b>0,12</b>	0,88	<b>-0,08</b>	<b>0,21</b>	0,96	<b>-0,06</b>	0,04
Urbaine	0,91	0,09	0,13	<b>0,89</b>	<b>-0,15</b>	<b>0,20</b>	0,96	<b>-0,05</b>	0,04
Rurale	0,90	<b>-0,01</b>	0,16	0,88	<b>-0,17</b>	<b>0,31</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,02</b>
Industrielle	0,86	<b>-0,01</b>	<b>0,20</b>	<b>0,84</b>	<b>0,12</b>	<b>0,21</b>	0,97	<b>-0,04</b>	0,04
Trafic	<b>0,94</b>	<b>-0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,74</b>	0,95	-	-	-

Tableau 5b : Performances statistiques par typologie associées à la chaîne de prévision en 2018 – résultats ajustés

### c. Sensibilité selon le territoire de la région

Dans ce paragraphe, le focus est mis sur la performance de la chaîne de prévision par bassin d'air au sens des dispositifs de gestion des épisodes de pollution. Les résultats statistiques par zone d'activation de dispositif sont présentés dans les tableaux Tableau 6a et Tableau 6b. Les meilleures performances statistiques (en vert dans les tableaux Tableau 6a et Tableau 6b) mettent en évidence les meilleures prévisions dans le Cantal notamment pour l'ozone (O<sub>3</sub>). **Globalement, les résultats de la chaîne de prévision sont acceptables sur toutes les zones à l'exception de la vallée Maurienne-Tarentaise et de l'Est Drôme où le biais fractionnel pour le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> n'est pas conforme aux critères de validité (en rouge dans les tableaux Tableau 6a et Tableau 6b => non-conformité).** En effet, le biais fractionnel doit être inférieur à 0.3 en valeur

absolue. Les tableaux Tableau 6a et Tableau 6b montrent que les résultats ajustés et non ajustés par les prévisionnistes sont assez similaires pour tous les bassins d'air. Cependant, l'analyse des indicateurs statistiques montre que l'expertise humaine améliore nettement les prévisions de l'ozone et de NO<sub>2</sub> et dégrade légèrement les prévisions des particules fines sur la plupart des bassins d'air. **Les prévisions d'ozone O<sub>3</sub> sont bien meilleures que celles du dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> et des particules fines sur toutes les zones.**

Zone de gestion des épisodes de pollution	PM10			NO2			O3		
	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R
Bassin Grenoblois	0,39	5,88	0,69	-5,86	14,90	0,66	-7,55	19,55	0,89
Bassin lyonnais Nord-Isère	1,64	6,26	0,71	-3,72	17,52	0,71	-6,30	16,41	0,91
Ouest Ain	3,11	5,73	0,70	-1,61	17,09	0,44	-8,49	17,82	0,92
Zone des Coteaux	-	-	-	-	-	-	-7,34	15,75	0,91
Contreforts du Massif Central	1,21	4,38	0,74	-7,06	15,92	0,57	-6,20	15,44	0,88
Bassin Stéphanois	2,30	5,84	0,75	-7,07	16,04	0,65	-3,87	15,17	0,90
Zone urbaine des Pays de Savoie	0,43	5,82	0,71	-6,99	17,12	0,60	-4,95	17,24	0,90
Vallée Maurienne-Tarentaise	-1,72	5,91	0,67	-8,53	14,13	0,67	-6,21	16,35	0,89
Vallée de l'Arve	-0,35	7,31	0,70	-9,01	17,01	0,69	-10,71	20,26	0,87
Bassin Lémanique	-0,32	5,83	0,73	-6,15	16,30	0,63	-7,77	16,61	0,92
Zone Alpine Haute-Savoie	-1,51	4,95	0,69	-3,31	7,32	0,69	-5,35	14,61	0,90
Vallée du Rhône	1,75	6,03	0,69	-1,48	12,36	0,67	-6,09	16,00	0,92
Est Drôme	-0,46	4,25	0,66	-1,32	2,98	0,48	-3,09	13,72	0,88
Puy de Dôme	1,61	5,17	0,79	-7,92	18,89	0,59	-5,02	15,07	0,87
Allier	0,75	4,15	0,71	-0,60	3,07	0,64	-3,42	13,39	0,87
Haute Loire	0,45	4,61	0,73	-4,57	13,84	0,62	3,19	14,53	0,83
Cantal	-0,10	4,03	0,78	-	-	-	-0,44	10,99	0,83
Zone de gestion des épisodes de pollution	PM10			NO2			O3		
	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE
Bassin Grenoblois	0,92	0,02	0,12	0,89	-0,19	0,23	0,92	-0,10	0,06
Bassin lyonnais Nord-Isère	0,94	0,09	0,11	0,89	-0,10	0,22	0,97	-0,07	0,04
Ouest Ain	0,87	0,21	0,15	0,79	-0,06	0,34	0,97	-0,10	0,04
Zone des Coteaux	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,08	0,03
Contreforts du Massif Central	0,94	0,09	0,12	0,90	-0,20	0,21	0,98	-0,08	0,04
Bassin Stéphanois	0,88	0,15	0,14	0,91	-0,19	0,19	0,98	-0,05	0,03
Zone urbaine des Pays de Savoie	0,92	0,03	0,13	0,89	-0,19	0,22	0,95	-0,06	0,05
Vallée Maurienne-Tarentaise	0,93	-0,11	0,15	0,79	-0,35	0,36	0,97	-0,08	0,05
Vallée de l'Arve	0,94	-0,02	0,15	0,85	-0,27	0,26	0,93	-0,13	0,06
Bassin Lémanique	0,95	-0,02	0,11	0,91	-0,17	0,20	0,97	-0,10	0,05
Zone Alpine Haute-Savoie	0,94	-0,11	0,14	0,89	-0,23	0,27	0,99	-0,06	0,03
Vallée du Rhône	0,93	0,10	0,11	0,93	-0,04	0,13	0,97	-0,07	0,04
Est Drôme	0,89	-0,05	0,22	0,75	-0,36	0,69	1,00	-0,03	0,02
Puy de Dôme	0,89	0,11	0,13	0,84	-0,21	0,25	0,99	-0,06	0,03
Allier	0,92	0,07	0,15	0,88	-0,10	0,26	1,00	-0,04	0,02
Haute Loire	0,91	0,04	0,14	0,87	-0,16	0,22	0,98	0,04	0,03
Cantal	0,86	-0,01	0,17	-	-	-	1,00	0,00	0,01

Tableau 6a: performance statistique de la chaîne de prévision par zone. Ces indicateurs sont calculés en utilisant les prévisions de toutes les échéances J0, J+1, J+2, sur l'ensemble de l'année 2018 – résultats non ajustés

Zone de gestion des épisodes de pollution	PM10			NO2			O3		
	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R	MB	RMSE	R
Bassin Grenoblois	0,97	6,07	0,68	-5,78	14,17	0,69	-5,23	19,53	0,89
Bassin lyonnais Nord-Isère	1,92	6,24	0,71	-4,37	17,97	0,69	-3,65	16,07	0,91
Ouest Ain	3,18	5,76	0,71	0,49	16,23	0,51	-5,95	16,79	0,92
Zone des Coteaux							-5,72	15,00	0,91
Contreforts du Massif Central	2,25	4,80	0,74	-6,99	16,58	0,50	-3,79	15,09	0,88
Bassin Stéphanois	2,51	6,12	0,72	-2,18	14,75	0,64	-3,13	15,29	0,90
Zone urbaine des Pays de Savoie	1,18	5,89	0,72	-5,47	16,02	0,64	-3,76	17,48	0,90
Vallée Maurienne-Tarentaise	-1,50	5,93	0,66	-10,15	15,24	0,67	-3,32	16,66	0,87
Vallée de l'Arve	1,44	7,21	0,73	-5,75	15,88	0,69	-8,18	19,70	0,86
Bassin Lémanique	0,50	5,98	0,73	-5,22	15,87	0,64	-6,12	16,26	0,92
Zone Alpine Haute-Savoie	-0,91	4,88	0,68	-2,88	7,36	0,66	-3,90	14,23	0,90
Vallée du Rhône	2,22	6,16	0,69	-0,46	12,40	0,67	-4,08	15,62	0,92
Est Drôme	-0,04	4,35	0,65	-1,10	2,91	0,47	-1,40	13,63	0,88
Puy de Dôme	2,05	5,46	0,78	-7,56	18,66	0,59	-2,91	14,32	0,88
Allier	1,04	4,29	0,70	-0,62	3,07	0,64	-1,67	13,34	0,87
Haute Loire	0,90	4,83	0,71	-4,15	13,64	0,62	4,75	15,25	0,83
Cantal	-0,46	4,61	0,71	-	-	-	0,33	10,81	0,84
Zone de gestion des épisodes de pollution	PM10			NO2			O3		
	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE	FAC2	FB	NMSE
Bassin Grenoblois	0,91	0,06	0,12	0,90	-0,18	0,21	0,92	-0,07	0,06
Bassin lyonnais Nord-Isère	0,93	0,10	0,11	0,88	-0,12	0,23	0,97	-0,04	0,04
Ouest Ain	0,86	0,21	0,15	0,79	0,02	0,29	0,97	-0,07	0,04
Zone des Coteaux	-	-	-	-	-	-	0,99	-0,06	0,03
Contreforts du Massif Central	0,92	0,17	0,13	0,89	-0,20	0,23	0,98	-0,05	0,03
Bassin Stéphanois	0,87	0,16	0,15	0,91	-0,06	0,14	0,98	-0,04	0,03
Zone urbaine des Pays de Savoie	0,92	0,07	0,13	0,91	-0,15	0,18	0,95	-0,05	0,05
Vallée Maurienne-Tarentaise	0,92	-0,10	0,15	0,72	-0,44	0,45	0,96	-0,04	0,05
Vallée de l'Arve	0,92	0,07	0,13	0,88	-0,16	0,20	0,92	-0,10	0,06
Bassin Lémanique	0,95	0,03	0,12	0,91	-0,14	0,19	0,97	-0,08	0,04
Zone Alpine Haute-Savoie	0,94	-0,07	0,13	0,88	-0,20	0,26	0,99	-0,05	0,03
Vallée du Rhône	0,92	0,12	0,12	0,93	-0,01	0,13	0,97	-0,05	0,03
Est Drôme	0,87	0,00	0,22	0,76	-0,29	0,61	1,00	-0,01	0,02
Puy de Dôme	0,87	0,14	0,14	0,84	-0,20	0,24	0,99	-0,03	0,03
Allier	0,90	0,09	0,15	0,87	-0,10	0,26	1,00	-0,02	0,02
Haute Loire	0,89	0,07	0,15	0,88	-0,14	0,21	0,98	0,06	0,03
Cantal	0,83	-0,05	0,23	-	-	-	1,00	0,00	0,01

Tableau 6b: performance statistique de la chaîne de prévision par zone. Ces indicateurs sont calculés en utilisant les prévisions de toutes les échéances J0, J+1, J+2, sur l'ensemble de l'année 2018 - résultats ajustés

## 4. Evaluation par dichotomie

### 4.1. Evaluation statistique pour les valeurs du seuil

Les scores présentés dans cette partie sont issus des méthodes d'évaluation de prévision par dichotomie. Ces méthodes sont fondées sur une table de contingence qui indique le nombre de « oui » et de « non » prévus et mesurés (Tableau 7). Les quatre combinaisons de prévisions et d'observations permettent de calculer des probabilités conjointes et conditionnelles. Le comptage des occurrences se fait par rapport un seuil prédéfini. Il s'agit, dans notre cas, des seuils de dépassement des valeurs réglementaires (seuil d'information ou d'alerte). Les seuils utilisés comme critères de dépassement sont listés ci-dessous :



Polluant	Seuil
O <sub>3</sub> du maximum horaire	180 µg.m <sup>-3</sup>
PM <sub>10</sub> moyenne journalière	50 µg.m <sup>-3</sup>
NO <sub>2</sub> maximum horaire	200 µg.m <sup>-3</sup>

Tableau 7 : Valeurs des seuils utilisées pour le calcul des critères statistiques

Dans cette partie est étudiée uniquement la capacité de la chaîne de prévision à reproduire les dépassements du seuil d'information aux stations pour chaque polluant (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). Il convient de rappeler que ces dépassements aux stations n'expliquent pas systématiquement les vigilances de pollution activées sur la région en 2018. En effet, l'épisode de pollution se caractérise par le dépassement d'un seuil de recommandation ou d'alerte avec le respect d'autres critères définis dans l'arrêté zonal N°PREF-DIA-BCI-2018-05-22-01<sup>2</sup>.

Le tableau de contingence (Tableau 8) compte les éléments suivants :

- Succès (ou hit) : événement prévu et observé
- Événement manqué (ou miss) : événement non prévu mais observé
- Fausse alerte (ou false alarm) : événement prévu mais non observé
- Rejets corrects (ou correct negative) : événement non prévu et non observé

		Observation		Total
		Oui	Non	
Prévision	Oui	Succès (a)	Fausse alerte (b)	Prévu (a+b)
	Non	Dépassement manqué (c)	Rejets corrects (d)	Non prévu (c+d)
Total		Observé (a+c)	Non observé (b+d)	

Tableau 8 : Table de contingence

Cette table permet de visualiser quel type d'erreur a été commis. Une bonne prévision devrait logiquement ne contenir que des succès et des rejets corrects, autrement dit tous les dépassements et non dépassements sont validés par les mesures. Inversement, une mauvaise prévision correspond à des dépassements ou non dépassements non validés par les mesures. Le nombre total d'événements prévus et observés est également étudié et est appelé distribution marginale. Une grande variété d'indicateurs statistiques sont calculés à partir des éléments de cette table de contingence. Dans cette étude, les 5 critères retenus sont (Tableau 9) :

La précision de la prévision (ACC)	$\frac{\text{nombre de prévisions correctes}(a + d)}{\text{nombre total de prévisions}(a + b + c + d)}$
Le biais (Biais)	$\frac{\text{nombre de dépassements prévus}(a + b)}{\text{nombre de dépassement observés}(a + c)}$
La probabilité de détection (POD)	$\frac{\text{nombre de bons dépassements}(a)}{\text{nombre de dépassements observés}(a + c)}$
Le ratio de fausses Alarmes (FAR)	$\frac{\text{nombre de faux dépassements}(b)}{\text{nombre de dépassements prévus}(a + b)}$
Le ratio de dépassements manqués (DM)	$\frac{\text{nombre de dépassements manqués}(c)}{\text{nombre de dépassements observés}(a + c)}$

Tableau 9 : Critères statistique pour la méthode dichotomie

- **La précision de la prévision (ACC)** : représente la fraction des prévisions correctes par rapport au nombre total de prévisions. Le meilleur score correspond à ACC = 100% ; il reflète une prévision

<sup>2</sup> [http://www.prefectures-regions.gouv.fr/auvergne-rhone-alpes/content/download/35211/238621/file/5-7-2018\\_recueil-84-2018-096-recueil-des-actes-administratifs-special.pdf](http://www.prefectures-regions.gouv.fr/auvergne-rhone-alpes/content/download/35211/238621/file/5-7-2018_recueil-84-2018-096-recueil-des-actes-administratifs-special.pdf)

- parfaite. Les dépassements et non dépassements sont traités symétriquement. L'indicateur est fortement influencé par la catégorie la plus importante généralement (« non observé »)
- **Le biais (Biais)** : représente la fraction de dépassements prévus par rapport à ceux observés. Cet indicateur n'évalue pas la correspondance des événements mais il peut être utilisé comme indicateur du comportement global du modèle. Une bonne prévision correspond à un biais unitaire.
  - **La probabilité de détection (POD)** : représente la fraction des dépassements correctement prévus par rapport aux dépassements observés. Le meilleur score est pour  $POD = 100\%$ . À noter que ce dernier est différent d'une prévision parfaite. Ce paramètre se focalise sur les dépassements et n'est pas « pénalisé » par les fausses alarmes. Il est très sensible aux dépassements corrects et manqués. Il doit donc être utilisé conjointement avec l'indicateur de fausses alarmes.
  - **Le ratio de fausses Alarmes (FAR)** : représente la fraction des fausses alertes par rapport au nombre total de dépassements prévus. Son meilleur score correspond à  $FAR = 0$ . Cet indicateur est sensible au nombre de fausses alarmes mais ignore les dépassements manqués. Il doit donc être utilisé avec les indicateurs POD et DM. À noter que le meilleur score est différent d'une prévision parfaite.
  - **Le ratio de dépassements manqués (DM)** : représente le taux de dépassements manqués dans les dépassements observés. Il s'agit d'un bon critère pour évaluer le taux d'échec dans les prévisions. Le meilleur score est pour  $MD=0$ , c'est-à-dire qu'on ne rate aucun dépassement observé. À noter que cet indicateur peut avoir la valeur zéro si on ne possède pas de dépassements observés.

Dans cette étude, le calcul des critères statistiques pour la méthode « dichotomie » a été effectué uniquement pour les particules fines ( $PM_{10}$ ) et l'ozone ( $O_3$ ). En effet, on ne dispose pas assez d'occurrences permettant de calculer ces indices pour le dioxyde d'azote ( $NO_2$ ). Avant de commencer le calcul des scores de performances pour les deux polluants retenus, le comptage d'occurrences pour les différents éléments de table de contingence a été effectué. Ce calcul a été effectué par rapport au seuil d'information et de recommandations de chaque polluant comme indiqué dans le Tableau 8. Les résultats sont présentés dans les Tableaux 10a, 10b, 10c et 10d pour les deux polluants  $PM_{10}$  et  $O_3$ .

**L'intercomparaison entre les résultats ajustés (Tableau 10b et Tableau 10d) et non ajustés (Tableau 10a et Tableau 10c) par les prévisionnistes a montré que l'ajustement des cartes améliore nettement le taux de détection des seuils d'information. Pour les deux polluants, l'expertise humaine a permis d'augmenter le nombre de « succès » et réduire le nombre des « dépassement manqués ». Néanmoins, elle a conduit à une augmentation du nombre des « fausses alertes » des prévisions.** Cette dégradation associée aux « fausses alertes » ne concerne que l'échéance J0 pour les particules fines. En effet, pour les autres échéances, le nombre des « fausses alertes » de résultats ajustés est deux fois voire trois fois plus faible que celui des résultats non ajustés par les prévisionnistes. Pour l'ozone, mises à part les « fausses alertes », les résultats ajustés sont toujours meilleurs que ceux non ajustés par les prévisionnistes.

	J0				J+1				J+2			
	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC
Allier	0	0	0	353	0	0	0	353	0	0	0	351
Bassin Grenoblois	0	<b>1</b>	0	1684	0	1	0	1682	0	0	0	1681
Bassin Lémanique	0	0	3	344	0	<b>0</b>	3	343	0	0	3	342
Bassin Lyonnais	0	<b>5</b>	4	2332	<b>1</b>	11	<b>3</b>	2322	0	15	4	2314
Bassin Stéphanois	0	1	2	1068	0	1	2	1065	0	1	2	1062
Cantal	0	0	0	332	0	0	0	330	0	0	0	329
Contreforts du Massif Central	0	0	0	355	0	0	0	355	0	0	0	354
Est Drôme	0	0	0	344	0	0	0	343	0	0	0	342
Haute Loire	0	0	0	354	0	0	0	353	0	0	0	352
Ouest Ain	0	0	0	539	0	0	0	539	0	0	0	540
Puy de Dôme	0	2	0	688	0	1	0	687	0	0	0	687
Vallée de l'Arve	8	<b>4</b>	5	665	2	8	11	660	0	8	13	659
Vallée du Rhône	0	<b>1</b>	1	977	0	1	1	974	0	0	1	973
Vallée Maurienne-Tarentaise	0	<b>0</b>	1	353	0	0	1	352	0	0	1	352
Zone Alpine Haute-Savoie	0	0	0	351	0	0	0	351	0	0	0	350
Zone urbaine des Pays de Savoie	0	<b>0</b>	2	1546	0	0	2	1542	0	0	2	1540
Total général	8	<b>14</b>	18	12285	3	23	23	12251	0	24	26	12228

Tableau 10a : Table de contingence ( $PM_{10}$ ) par zone AIP, RC : Rejets Corrects, DM : Dépassements Manqués, FA : Fausses Alarmes, S : Succès (résultats non ajustés)

	J0				J+1				J+2			
	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC
Allier	0	0	0	<b>358</b>	0	0	0	<b>356</b>	0	0	0	<b>355</b>
Bassin Grenoblois	0	4	0	<b>1706</b>	0	<b>0</b>	0	<b>1702</b>	0	0	0	<b>1699</b>
Bassin Lémanique	<b>1</b>	0	<b>2</b>	<b>349</b>	0	1	3	<b>346</b>	0	0	3	<b>346</b>
Bassin Lyonnais	0	8	4	<b>2359</b>	0	<b>8</b>	4	<b>2350</b>	0	<b>2</b>	4	<b>2352</b>
Bassin Stéphanois	0	1	2	<b>1083</b>	0	1	2	<b>1077</b>	0	<b>0</b>	2	<b>1075</b>
Cantal	0	0	0	<b>336</b>	0	0	0	<b>334</b>	0	0	0	<b>333</b>
Contreforts du Massif Central	0	0	0	<b>360</b>	0	0	0	<b>359</b>	0	0	0	<b>358</b>
Est Drôme	0	0	0	<b>349</b>	0	0	0	<b>347</b>	0	0	0	<b>346</b>
Haute Loire	0	0	0	<b>359</b>	0	0	0	<b>357</b>	0	0	0	<b>356</b>
Ouest Ain	0	0	0	<b>543</b>	0	0	0	<b>541</b>	0	0	0	<b>542</b>
Puy de Dôme	0	<b>1</b>	0	<b>699</b>	0	1	0	<b>695</b>	0	0	0	<b>694</b>
Vallée de l'Arve	<b>11</b>	5	<b>2</b>	<b>673</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>671</b>	0	<b>4</b>	13	<b>670</b>
Vallée du Rhône	0	3	1	<b>989</b>	0	1	1	<b>985</b>	0	0	1	<b>984</b>
Vallée Maurienne-Tarentaise	0	1	1	<b>357</b>	0	0	1	<b>356</b>	0	0	1	<b>356</b>
Zone Alpine Haute-Savoie	0	0	0	<b>355</b>	0	0	0	<b>353</b>	0	0	0	<b>352</b>
Zone urbaine des Pays de Savoie	0	2	2	<b>1564</b>	0	0	2	<b>1558</b>	0	0	2	<b>1556</b>
Total général	<b>12</b>	25	<b>14</b>	<b>12439</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>12387</b>	0	<b>6</b>	26	<b>12374</b>

Tableau 10b : Table de contingence ( $PM_{10}$ ) par zone AIP, RC : Rejets Corrects, DM : Dépassements Manqués, FA : Fausses Alarmes, S : Succès (résultats ajustés)

	J0				J+1				J+2			
	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC
Allier	0	<b>0</b>	1	716	0	<b>0</b>	1	715	0	<b>0</b>	1	712
Bassin Grenoblois	0	<b>0</b>	7	2104	0	<b>2</b>	7	2095	0	<b>3</b>	7	2087
Bassin Lémanique	0	0	0	334	0	0	0	333	0	0	0	332
Bassin Lyonnais	0	<b>0</b>	21	3196	0	<b>1</b>	21	3185	0	<b>1</b>	21	3176
Bassin Stéphanois	0	<b>0</b>	0	1076	0	<b>0</b>	0	1073	0	<b>0</b>	0	1070
Cantal	0	0	0	358	0	0	0	357	0	0	0	356
Contreforts du Massif Central	0	0	1	360	0	0	1	359	0	0	1	358
Est Drôme	0	0	1	346	0	<b>0</b>	1	345	0	<b>0</b>	1	344
Haute Loire	0	0	0	361	0	0	0	360	0	0	0	359
Ouest Ain	0	<b>0</b>	11	636	0	<b>0</b>	11	635	0	0	11	634
Puy de Dôme	0	<b>0</b>	1	1079	0	<b>0</b>	1	1075	0	0	1	1071
Vallée de l'Arve	0	0	0	691	0	0	0	689	0	0	0	687
Vallée du Rhône	0	<b>0</b>	7	1063	0	<b>0</b>	7	1060	0	<b>0</b>	7	1057
Vallée Maurienne-Tarentaise	0	0	0	269	0	0	0	268	0	0	0	267
Zone Alpine Haute-Savoie	0	0	0	356	0	0	0	356	0	0	0	355
Zone des Côteaux	0	<b>0</b>	4	343	0	0	4	343	0	<b>0</b>	4	341
Zone urbaine des Pays de Savoie	0	<b>0</b>	0	1728	0	<b>0</b>	0	1723	0	<b>0</b>	0	1719
Total général	0	<b>0</b>	54	15016	0	<b>3</b>	54	14971	0	<b>4</b>	54	14925

Tableau 10c: Table de contingence ( $O_3$ ) par zone AIP, RC : Rejets Corrects, DM : Dépassements Manqués, FA : Fausses Alarmes, S : Succès (résultats non ajustés)

	J0				J+1				J+2			
	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC	S	FA	DM	RC
Allier	0	3	1	<b>721</b>	0	2	1	<b>720</b>	0	1	1	<b>719</b>
Bassin Grenoblois	<b>2</b>	19	<b>5</b>	<b>2109</b>	<b>1</b>	18	<b>6</b>	<b>2103</b>	<b>2</b>	17	<b>5</b>	<b>2097</b>
Bassin Lémanique	0	0	0	<b>338</b>	0	0	0	<b>337</b>	0	0	0	<b>336</b>
Bassin Lyonnais	<b>11</b>	22	<b>10</b>	<b>3210</b>	<b>9</b>	22	<b>12</b>	<b>3200</b>	<b>4</b>	10	<b>17</b>	<b>3203</b>
Bassin Stéphanois	0	4	0	<b>1084</b>	0	2	0	<b>1083</b>	0	1	0	<b>1081</b>
Cantal	0	0	0	<b>362</b>	0	0	0	<b>361</b>	0	0	0	<b>360</b>
Contreforts du Massif Central	0	0	1	<b>364</b>	0	0	1	<b>363</b>	0	0	1	<b>362</b>
Est Drôme	0	0	1	<b>350</b>	0	1	1	<b>348</b>	0	1	1	<b>347</b>
Haute Loire	0	0	0	<b>365</b>	0	0	0	<b>364</b>	0	0	0	<b>363</b>
Ouest Ain	<b>3</b>	5	<b>8</b>	<b>639</b>	<b>3</b>	2	<b>8</b>	<b>641</b>	<b>2</b>	0	<b>9</b>	<b>642</b>
Puy de Dôme	0	1	1	<b>1090</b>	0	1	1	<b>1086</b>	0	0	1	<b>1083</b>
Vallée de l'Arve	0	0	0	<b>699</b>	0	0	0	<b>697</b>	0	0	0	<b>695</b>
Vallée du Rhône	<b>7</b>	3	<b>0</b>	<b>1072</b>	<b>4</b>	7	<b>3</b>	<b>1065</b>	<b>3</b>	5	<b>4</b>	<b>1064</b>
Vallée Maurienne-Tarentaise	0	0	0	<b>273</b>	0	0	0	<b>272</b>	0	0	0	<b>271</b>
Zone Alpine Haute-Savoie	0	0	0	<b>359</b>	0	0	0	<b>358</b>	0	0	0	<b>357</b>
Zone des Côteaux	<b>3</b>	1	<b>1</b>	<b>346</b>	0	0	4	<b>346</b>	0	1	4	<b>344</b>
Zone urbaine des Pays de Savoie	0	8	0	<b>1739</b>	0	7	0	<b>1736</b>	0	9	0	<b>1730</b>
Total général	<b>26</b>	66	<b>28</b>	<b>15120</b>	<b>17</b>	62	<b>37</b>	<b>15080</b>	<b>11</b>	45	<b>43</b>	<b>15054</b>

Tableau 10d: Table de contingence ( $O_3$ ) par zone AIP, RC : Rejets Corrects, DM : Dépassements Manqués, FA : Fausses Alarmes, S : Succès (résultats ajustés)

Sont maintenant présentés les scores de performance déduits des comptages illustrés ci-dessus. Tout d’abord, le calcul des scores globaux, utilisant l’ensemble de données disponibles par polluant (Tableau 11), prouvent que l’expertise humaine est bénéfique à l’amélioration des prévisions des valeurs de seuils. En effet, il est observé une nette amélioration de la probabilité de détection des dépassements et du ratio de dépassements manqués pour toutes les échéances. Ce tableau confirme la difficulté de la chaîne de prévision non ajustée à bien reproduire les fortes concentrations. Ce comportement est plus marquant pour l’ozone où la probabilité de détection des dépassements est nulle pour toutes les échéances.

Polluant	Résultats	J0					J+1					J+2				
		ACC	Biais	POD	FAR	RDM	ACC	Biais	POD	FAR	RDM	ACC	Biais	POD	FAR	RDM
PM <sub>10</sub>	Non ajustés	99,7	<b>0,8</b>	30,7	<b>63,6</b>	69,2	99,6	<b>1,0</b>	11,5	88,4	88,4	99,5	<b>0,9</b>	0	100	100
	Ajustés	99,7	1,4	<b>46,1</b>	67,6	<b>53,8</b>	99,6	0,1	<b>15,3</b>	<b>80</b>	<b>84,6</b>	<b>99,7</b>	0,2	0	100	100
O <sub>3</sub>	Non ajustés	<b>99,6</b>	0	0	-	100	<b>99,6</b>	0,1	0	100	100	<b>99,6</b>	0,1	0	100	100
	Ajustés	99,4	<b>1,7</b>	<b>48,1</b>	71,7	<b>51,8</b>	99,3	<b>1,5</b>	<b>31,5</b>	<b>78,5</b>	<b>68,5</b>	99,4	<b>1,0</b>	<b>20,4</b>	<b>80,4</b>	<b>79,6</b>

Tableau 11 : Critères statistiques de la méthode « dichotomie » calculés avec l’ensemble de données pour chaque polluant – résultats non ajustés et ajustés

Les Tableaux Tableau 12a, Tableau 12b et Tableau 12c illustrent respectivement les statistiques calculées par bassin d’air pour les différentes échéances J0, J+1, J+2.

**Ces tableaux montrent que les meilleures performances statistiques (indiqués en gras dans les Tableaux) sont globalement associées aux résultats ajustés.** On constate également que la chaîne de prévision a un taux de précision (ACC) très élevé pour les deux polluants et pour les différents bassins d’air. **Néanmoins, le ratio de dépassements manqués montre la difficulté de notre système de prévision à détecter les valeurs fortes sur certains bassins d’air** comme le bassin grenoblois. A noter que le « ratio de dépassements manqués » est très sensible au nombre total des dépassements. En effet, il peut être à 100% pour un seul dépassement observé et manqué. C’est souvent le cas pour les régions qui sont très peu concernées par les dépassements des seuils. La même analyse peut s’appliquer sur les fausses alarmes. Par exemple, sur l’Allier, pour l’échéance (j+1), il y a une seule fausse alarme et un seul dépassement manqué, ce qui conduit à un ratio maximal de fausses alarmes et de dépassements manqués (à 100%).

**Pour l’ensemble de la région, la probabilité de détection du seuil d’information est bien meilleure pour le jour même (Tableau 12a) que les autres échéances (Tableaux Tableau 12b et Tableau 12c).** Cette probabilité de détection est souvent moins bonne pour le lendemain et le surlendemain, sauf pour la vallée du Rhône en O<sub>3</sub> et la vallée de l’Arve pour les PM<sub>10</sub>, où elle reste acceptable (de l’ordre de 60% pour l’ozone en J+1 et 31% pour les particules fines PM<sub>10</sub>). A noter que la vallée de l’Arve est le territoire le plus concerné par des dépassements récurrents de seuils des particules fines en 2018.

L’étude du biais de prévision du seuil d’information pour le jour même montre que le nombre de dépassements prévus est souvent supérieur au nombre de dépassements observés, notamment sur l’Allier et le bassin lémanique pour l’ozone et sur la vallée du Rhône et le bassin lyonnais pour les particules fines. Cette tendance est moins marquante pour les autres échéances car il y a moins de « fausses alertes » sur les échéances J+1 et J+2.

Pol- luant	ZAIP	Résultats non ajustés					Résultats ajustés				
		ACC	Biais	POD	FAR	RDM	ACC	Biais	POD	FAR	RDM
<b>O<sub>3</sub></b>	Allier	<b>99,9</b>	0	0	-	100	99,4	<b>3,0</b>	0	100	100
	Bassin Grenoblois	<b>99,7</b>	0	0	-	100	98,9	<b>3,0</b>	<b>28,6</b>	90,5	<b>71,4</b>
	Bassin Lémanique	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Bassin Lyonnais	<b>99,3</b>	0	0	-	100	99,0	<b>1,6</b>	<b>52,4</b>	66,7	<b>47,6</b>
	Bassin Stéphanois	<b>100</b>	-	-	-	-	99,6	-	-	100	-
	Cantal	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Contreforts du Massif Central	99,7	0	0	-	100	99,7	0	0	-	100
	Est Drôme	99,7	0	0	-	100	99,7	0	0	-	100
	Haute Loire	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Ouest Ain	<b>98,3</b>	0	0	-	100	98,0	<b>0,7</b>	<b>27,3</b>	62,5	<b>72,7</b>
	Puy de Dôme	<b>99,9</b>	0	0	-	100	99,8	<b>1,0</b>	0	100	100
	Vallée de l'Arve	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Vallée du Rhône	99,3	0	0	-	100	<b>99,7</b>	<b>1,4</b>	<b>100</b>	30	0
	Vallée Maurienne-Tarentaise	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Zone Alpine Haute-Savoie	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Zone des Côteaux	98,8	0	0	-	100	<b>99,4</b>	<b>1,0</b>	<b>75,0</b>	25,0	<b>25,0</b>
	Zone urbaine des Pays de Savoie	<b>100</b>	-	-	-	-	99,5	-	-	100	-
<b>PM<sub>10</sub></b>	Allier	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Bassin Grenoblois	<b>99,9</b>	-	-	100	-	99,8	-	-	100	-
	Bassin Lémanique	99,1	0	0	-	100	<b>99,4</b>	<b>0,3</b>	<b>33,3</b>	0	<b>66,7</b>
	Bassin Lyonnais	<b>99,6</b>	<b>1,3</b>	0	100	100	99,5	2	0	100	100
	Bassin Stéphanois	99,7	0,5	0	100	100	99,7	0,5	0	100	100
	Cantal	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Contreforts du Massif Central	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Est Drôme	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Haute Loire	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Ouest Ain	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Puy de Dôme	99,7	-	-	100	-	<b>99,9</b>	-	-	100	-
	Vallée de l'Arve	98,7	<b>0,9</b>	61,5	33,3	38,5	<b>99,0</b>	1,2	<b>84,6</b>	31,3	<b>15,4</b>
	Vallée du Rhône	<b>99,8</b>	<b>1</b>	0	100	100	99,6	3,0	0	100	100
	Vallée Maurienne-Tarentaise	<b>99,7</b>	0	0	-	100	99,4	<b>1</b>	0	100	100
	Zone Alpine Haute-Savoie	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
Zone urbaine des Pays de Savoie	<b>99,9</b>	0	0	-	100	99,7	<b>1</b>	0	100	100	

Tableau 12a : statistiques par zone AIP- résultats non ajustés & ajustés pour l'O<sub>3</sub> et les PM<sub>10</sub> – échéance 0

Pol- luant	ZAIP	Résultats non ajustés					Résultats ajustés				
		ACC	Biais	POD	FAR	RDM	ACC	Biais	POD	FAR	RDM
<b>O<sub>3</sub></b>	Allier	<b>99,9</b>	0	0	-	100	99,6	2,0	0	100	100
	Bassin Grenoblois	<b>99,6</b>	<b>0,3</b>	0	100	100	98,9	2,7	<b>14,3</b>	<b>94,7</b>	<b>85,7</b>
	Bassin Lémanique	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Bassin lyonnais	<b>99,3</b>	0	0	100	100	99,0	<b>1,5</b>	<b>42,9</b>	<b>71,0</b>	<b>57,1</b>
	Bassin Stéphanois	<b>100</b>	-	-	-	-	99,8	-	-	100	-
	Cantal	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Contreforts du Massif Central	99,7	0	0	-	100	99,7	0	0	-	100
	Est Drôme	<b>99,7</b>	0	0	-	100	99,4	<b>1,0</b>	0	100	100
	Haute Loire	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Ouest Ain	98,3	0	0	-	100	<b>98,5</b>	<b>0,5</b>	<b>27,3</b>	40	<b>72,7</b>
	Puy de Dôme	<b>99,9</b>	0	0	-	100	99,8	<b>1,0</b>	0	100	100
	Vallée de l'Arve	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Vallée du Rhône	<b>99,3</b>	0	0	-	100	99,1	<b>1,6</b>	<b>57,1</b>	63,6	<b>42,9</b>
	Vallée Maurienne-Tarentaise	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Zone Alpine Haute-Savoie	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Zone des Côteaoux	98,8	0	0	-	100	<b>98,9</b>	0	0	-	100
Zone urbaine des Pays de Savoie	<b>100</b>	-	-	-	-	99,6	-	-	100	-	
<b>PM<sub>10</sub></b>	Allier	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Bassin Grenoblois	99,9	-	-	100	-	<b>100</b>	-	-	-	-
	Bassin Lémanique	<b>99,1</b>	0	0	-	100	98,9	<b>0,3</b>	0	100	100
	Bassin lyonnais	99,4	3	25,0	<b>91,7</b>	75,0	<b>99,5</b>	<b>2</b>	0	100	100
	Bassin Stéphanois	99,7	0,5	0	100	100	99,7	0,5	0	100	100
	Cantal	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Contreforts du Massif Central	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Est Drôme	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Haute Loire	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Ouest Ain	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Puy de Dôme	99,9	-	-	100	-	99,9	-	-	100	-
	Vallée de l'Arve	97,2	<b>0,8</b>	15,4	80	84,6	<b>98,1</b>	0,6	<b>30,8</b>	<b>50</b>	<b>69,2</b>
	Vallée du Rhône	99,8	1	0	100	100	99,8	1	0	100	100
	Vallée Maurienne-Tarentaise	99,7	0	0	-	100	99,7	0	0	-	100
	Zone Alpine Haute-Savoie	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Zone urbaine des Pays de Savoie	99,9	0	0	-	100	99,9	0	0	-	100

Tableau 12b: Statistiques par zone AIP- résultats non ajustés & ajustés pour l'O<sub>3</sub> et les PM<sub>10</sub> – échéance 1

Pol- luant	ZAIP	Résultats non ajustés					Résultats ajustés				
		ACC	Biais	POD	FAR	RDM	ACC	Biais	POD	FAR	RDM
<b>O<sub>3</sub></b>	Allier	<b>99,9</b>	0	0	-	100	99,7	<b>1,0</b>	0	100	100
	Bassin Grenoblois	<b>99,5</b>	<b>0,4</b>	0	100	100	99,0	2,7	<b>28,6</b>	<b>89,5</b>	<b>71,4</b>
	Bassin Lémanique	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Bassin Lyonnais	<b>99,3</b>	0	0	100	100	99,2	<b>0,7</b>	<b>19,0</b>	<b>71,4</b>	<b>81,0</b>
	Bassin Stéphanois	<b>100</b>	-	-	-	-	99,9	-	-	100	-
	Cantal	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Contreforts du Massif Central	99,7	0	0	-	100	99,7	0	0	-	100
	Est Drôme	<b>99,7</b>	0	0	-	100	99,4	<b>1,0</b>	0	100	100
	Haute Loire	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Ouest Ain	98,3	0	0	-	100	<b>98,6</b>	<b>0,2</b>	<b>18,2</b>	0	<b>81,8</b>
	Puy de Dôme	99,9	0	0	-	100	99,9	0	0	-	100
	Vallée de l'Arve	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Vallée du Rhône	<b>99,3</b>	0	0	-	100	99,2	<b>1,1</b>	<b>42,9</b>	62,5	<b>57,1</b>
	Vallée Maurienne-Ta- rentaise	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Zone Alpine Haute-Sa- voie	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Zone des Côteaux	<b>98,8</b>	0	0	-	100	98,6	<b>0,3</b>	0	100	100
Zone urbaine des Pays de Savoie	100	-	-	-	-	99,5	-	-	100	-	
<b>PM<sub>10</sub></b>	Allier	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Bassin Grenoblois	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Bassin Lémanique	99,1	0	0	-	100	99,1	0	0	-	100
	Bassin Lyonnais	99,2	3,8	0	100	100	<b>99,7</b>	<b>0,5</b>	0	100	100
	Bassin Stéphanois	99,7	0,5	0	100	100	<b>99,8</b>	0	0	-	100
	Cantal	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Contreforts du Massif Central	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Est Drôme	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Haute Loire	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Ouest Ain	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Puy de Dôme	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
	Vallée de l'Arve	96,9	<b>0,6</b>	0	100	100	<b>97,5</b>	0,3	0	100	100
	Vallée du Rhône	99,9	0	0	-	100	99,9	0	0	-	100
	Vallée Maurienne-Ta- rentaise	99,7	0	0	-	100	99,7	0	0	-	100
Zone Alpine Haute-Sa- voie	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-	
Zone urbaine des Pays de Savoie	99,9	0	0	-	100	99,9	0	0	-	100	

Tableau 12c: Statistiques par zone AIP- résultats non ajustés & ajustés pour l'O<sub>3</sub> et les PM<sub>10</sub> – échéance 2



## 4.2. Evaluation statistique avec les critères d'activation

Le précédent paragraphe étudie la capacité de la chaîne de prévision à reproduire les dépassements du seuil d'information **aux stations pour chaque polluant (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)**. Dans ce paragraphe, l'étude porte uniquement sur les journées d'épisodes de pollution, au sens de l'arrêté zonal N°PREF-DIA-BCI-2018-05-22-01. En effet, l'activation d'une vigilance de pollution n'est pas déterminée par des dépassements ponctuels des valeurs du seuil dans une station de mesure mais elle se caractérise par d'autres critères définis dans l'arrêté cité précédemment. L'activation d'une vigilance de pollution dans un bassin d'air doit satisfaire d'au moins un de deux critères suivants :

- a. Critère de déclenchement associé à la superficie : quand au moins 25 km<sup>2</sup> du même bassin d'air est concernée par un dépassement du seuil d'information et de recommandations ou/et du seuil d'alerte.
- b. Critère de déclenchement associé à la population :
  - o Dans les bassins d'air de plus de 500 000 habitants (dans les zones Puy-de-Dôme, bassin grenoblois, bassin lyonnais nord-Isère et vallée du Rhône) : lorsqu'au moins 10% de la population du bassin d'air est concernée par un dépassement de seuils.
  - o Dans les bassins d'air de moins de 500 000 habitants : lorsqu'au moins une population de 50 000 habitants au total est concernée par un dépassement de seuils.

Dans ce paragraphe, l'évaluation de performance de notre système de prévision consiste à calculer les occurrences de dépassements au sens des critères d'activation d'une vigilance de pollution. Chaque jour de l'année correspond exclusivement à un des événements suivants :

1. Pas de dépassement prévu, pas de dépassement constaté
2. Dépassement prévu et constaté.
3. Dépassement prévu et non confirmé a posteriori
4. Dépassement avéré mais non prévu

L'évaluation des prévisions des épisodes de pollution consiste à calculer uniquement les occurrences des éléments type (2,3,4) pour chaque bassin d'air. Ces résultats sont présentés dans les tables de contingence (Tableaux Tableau 13a et Tableau 13b). Le comptage est effectué sans distinguer le type de polluant (PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>) ni le type d'épisode (recommandation ou alerte). L'étude de performance est réalisée pour les prévisions du jour-même (J0) et les prévisions de lendemain (J+1). Ce comptage nous a permis de déduire la probabilité de détection (POD) et le ratio de fausses alertes (FAR) de notre système de prévision pour chaque bassin d'air (Tableaux Tableau 13a et Tableau 13b). Il convient de rappeler que le calcul de pourcentage n'a pas de sens lorsque le nombre de dépassements est très faible. A noter que, la prévision est dite parfaite si le taux de détection est de 100 % et le ratio de fausses alarmes de 0%.

Le tableau Tableau 13a présente les résultats par bassin d'air pour les prévisions du jour pour le jour-même (J0). Les bassins d'air sont regroupés par classe suivant le nombre total de dépassements observés. Quatre zones urbaines et deux zones rurales (la zone des coteaux et Ouest Ardèche) ont connu en 2018 plus de 5 journées de dépassement avéré. Sur les quatre zones urbaines, le taux de détection des épisodes en 2018 varie de 56 à 71% et le ratio de fausses alarmes de 38% à 56%. Le bassin lyonnais qui est le seul bassin avec plus de 10 journées de dépassement présente des statistiques correctes : 63% de probabilité de détection, 38% de fausses alarmes. **A l'échelle régionale, c'est-à-dire tous bassins d'air confondus, le taux de détection a été en 2018 de 62% et le ratio de fausses alarmes de 56%**

Le Tableau Tableau 13b présente les mêmes indicateurs pour la prévision réalisée du jour pour le lendemain (J+1). Les performances de la chaîne de prévision sont meilleures pour l'échéance J0 que pour J+1 (plus on s'éloigne dans le temps, plus l'incertitude augmente). Le taux de détection est plus faible et varie de 33% à 57 % pour les bassins d'air ayant enregistré plus de 5 journées réunissant les critères d'activation d'une vigilance. La vallée du Rhône et le bassin lyonnais nord-Isère sont les territoires sur lesquels les épisodes sont le mieux anticipés. En revanche, pour l'Ouest Ain et la zone des coteaux, la prévision du dépassement pour le lendemain est plus faible. En 2018, ce sont exclusivement des dépassements de seuil d'information pour l'ozone qui sont concernés. **A l'échelle régionale, c'est-à-dire tous bassins d'air confondus, le taux de détection a été en 2018 de 40% et le ratio de fausses alarmes de 63% pour la prévision de lendemain.**

	Dépassements de seuil				Indicateurs (en %)	
	Total	Non prévus	Prévus et confirmés	Prévus et non confirmés	POD	FAR
<b>Bassin Lyon Nord-Isère</b>	16	6	10	6	63	<b>38</b>
<b>Ouest Ain</b>	9	4	5	5	56	50
<b>Bassin Grenoblois</b>	7	2	5	6	<b>71</b>	55
<b>Vallée du Rhône</b>	7	3	4	5	57	56
<b>Ouest Ardèche</b>	6	2	4	3	67	43
<b>Zone des Coteaux</b>	6	3	3	3	50	50
<b>Zone Alpine Savoie</b>	4	2	2	1	50	33
<b>Zone Alpine Ain</b>	4	3	1	2	25	67
<b>Bassin Stéphanois</b>	3	1	2	2	67	50
<b>Vallée de l'Arve</b>	3	0	3	6	100	67
<b>Zone Alpine Isère</b>	3	0	3	1	100	25
<b>Contreforts Massif Central</b>	2	0	2	1	100	33
<b>Est Drôme</b>	2	1	1	2	50	67
<b>Allier</b>	1	1	0	4	0	100
<b>Puy-de-Dôme</b>	2	0	2	0	100	0
<b>Bassin Lémanique</b>	1	0	1	7	100	88
<b>Zone urbaine des Pays de Savoie</b>	1	1	0	6	0	100
<b>Cantal</b>	0	0	0	0	-	0
<b>Vallée Maurienne Tarentaise</b>	0	0	0	2	-	100
<b>Zone Alpine Haute-Savoie</b>	0	0	0	0	-	0
<b>Haute-Loire</b>	0	0	0	0	-	0
<b>Région Auvergne Rhône-Alpes</b>	<b>77</b>	<b>29</b>	<b>48</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>56</b>

Tableau 13a : Table de « contingence » et statistiques par Zone AIP – dépassements au sens de critères d'activation – échéance J0 (le jour même)

	Dépassements de seuil				Indicateurs (en %)	
	Total	Non prévus	Prévus et confirmés	Prévus et non confirmés	POD	FAR
<b>Bassin Lyon Nord-Isère</b>	16	7	9	6	56	40
<b>Ouest Ain</b>	9	6	3	4	33	<b>57</b>
<b>Bassin Grenoblois</b>	7	4	3	4	43	<b>57</b>
<b>Vallée du Rhône</b>	7	3	4	5	<b>57</b>	56
<b>Ouest Ardèche</b>	6	3	3	4	50	<b>57</b>
<b>Zone des Coteaux</b>	6	4	2	0	33	0
<b>Zone Alpine Savoie</b>	4	4	0	2	0	100
<b>Zone Alpine Ain</b>	4	4	0	3	0	100
<b>Bassin Stéphanois</b>	3	1	2	2	67	50
<b>Vallée de l'Arve</b>	3	3	0	1	0	100
<b>Zone Alpine Isère</b>	3	0	3	2	100	40
<b>Contreforts Massif Central</b>	2	1	1	1	50	50
<b>Est Drôme</b>	2	2	0	2	0	100
<b>Allier</b>	1	1	0	2	0	100
<b>Puy-de-Dôme</b>	2	1	1	1	50	50
<b>Bassin Lémanique</b>	1	1	0	7	0	100
<b>Zone urbaine des Pays de Savoie</b>	1	1	0	6	0	100
<b>Cantal</b>	0	0	0	0	-	0
<b>Vallée Maurienne Tarentaise</b>	0	0	0	0	-	0
<b>Zone Alpine Haute-Savoie</b>	0	0	0	0	-	0
<b>Haute-Loire</b>	0	0	0	0	-	0
<b>Région Auvergne Rhône-Alpes</b>	<b>77</b>	<b>46</b>	<b>31</b>	<b>52</b>	<b>40</b>	<b>63</b>

Tableau 13b : Table de « contingence » et statistiques par Zone AIP – dépassements au sens de critères d'activation – échéance J1 (le lendemain)

Cette étude de performance a été complétée par une autre analyse détaillée présentée par département (Annexe 2). Cette analyse a montré que les dépassements prévus non confirmés associaient souvent à la mise en vigilance des dépassements ponctuels ou des valeurs proches du seuil.

## 5. Conclusion

Selon les valeurs de références proposées par Chang et Hanna (2004) pour l'évaluation des performances des modèles de dispersion atmosphérique, les résultats de notre système de prévision sont considérés comme assez satisfaisants voire même bons pour les concentrations journalières des  $PM_{10}$  et maximales pour l' $O_3$  et le  $NO_2$ . Les valeurs des indicateurs sont toutes dans la plage acceptable et même proches des valeurs « idéales ». Le calcul de ces indicateurs statistiques a été fondé sur les résultats prenant en compte tous les sites de mesures (voir liste annexe A). À noter que la performance de notre chaîne de prévision est meilleure pour l'ozone sur la période estivale et moins bonne pour les  $PM_{10}$  pendant la période hivernale, par rapport à l'année entière.

Les performances statistiques des résultats ajustés et non ajustés par les prévisionnistes sont globalement similaires. Cependant, on constate que l'expertise humaine a rapporté une nette amélioration dans les statistiques de prévision des dépassements de seuils (épisodes de pollution). En effet, il est observé l'amélioration de 4 critères statistiques de la méthode « dichotomie » parmi 5.

L'analyse menée dans cette étude en prenant en compte les critères d'activation d'une vigilance de pollution (épisode de pollution) a montré que les performances du système de prévision dépendent du bassin d'air et du nombre des épisodes total. A l'échelle régionale, c'est-à-dire tous bassins d'air confondus, le taux de détection et le ratio de fausses alarmes ont été respectivement de 62% et 56% pour J0 et de 40% et de 63% pour J+1.

## 6. Références bibliographiques

- Chang, J.C., Fernau, M.E., Scire, J.S., Strimaitis, D.G., 1998. A Critical Review of Four Types of Air Quality Models Pertinent to MMS Regulatory and Environmental Assessment Missions, 176p.
- Chang, J.C., Hanna, S.R., 2004. Air quality model performance evaluation. *Meteorol. Atmospheric Phys.* 87, pp.167–196.
- Hanna, S.R., Chang, J.C., Strimaitis, D.G., 1993. Hazardous gas model evaluation with field observations. *Atmospheric Environ. Part Gen. Top.* 27, pp.2265–2285.
- Ionescu, A., 2010. Retour aux sources de pollution atmosphérique: point de vue des scientifiques français. *Pollut. Atmos.* 3.
- Nappo, C.J., Eckman, R.M., Rao, K.S., Herwehe, J.A., Gunter, R.L., 1998. Second Order Closure Integrated PUFF (SCIPUFF) model verification and evaluation study - NOAA Technical Memorandum ERL ARL-227.
- Padro, J., den Hartog, G., Neumann, H.H., 1991. An investigation of the ADOM dry deposition module using summertime O<sub>3</sub> measurements above a deciduous forest. *Atmospheric Environ. Part Gen. Top.* 25, pp.1689–1704.
- Pleim, J.E., Xiu, A., 1995. Development and Testing of a Surface Flux and Planetary Boundary Layer Model for Application in Mesoscale Models. *J. Appl. Meteorol.* 34, pp.16–32.
- Wu, Y., Brashers, B., Finkelstein, P.L., Pleim, J.E., 2003. A multilayer biochemical dry deposition model. 1. Model formulation. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 108, ACH 1-1-ACH 1-12.
- Zhang, L., Moran, M.D., Makar, P.A., Brook, J.R., Gong, S., 2002. Modelling gaseous dry deposition in AURAMS: a unified regional air-quality modelling system. *Atmos. Environ., Seventh International Conference on Atmospheric Science and Applications to Air Quality (ASAAQ)* 36, pp.537–560.

## ANNEXE 1

### Liste des stations fixes utilisées dans le traitement statistique.

Typologie	Nom de la station	Zone AIP
<b>Observation Spécifique</b>	Sommet Puy de Dôme	Puy de Dôme
<b>Périurbaine</b>	Montluçon Hippodrome	Allier
	Champ sur Drac	Bassin Grenoblois
	Vif	Bassin Grenoblois
	Grésivaudan	Bassin Grenoblois
	Saint Etienne Nord	Bassin Stéphanois
	Talaudière	Bassin Stéphanois
	Aurillac aérodrome	Cantal
	Le Puy Val	Haute Loire
	Côtière Ain	Ouest Ain
	Clermont Royat	Puy de Dôme
	Marnaz	Vallée de l'Arve
	Valence Sud	Vallée du Rhône
	Ternay	Bassin Lyonnais nord Isère
	Genas	Bassin Lyonnais nord Isère
	Saint-Exupéry	Bassin Lyonnais nord Isère
	Sud Roussillonnais Sablons	Bassin Lyonnais nord Isère
<b>Rurale</b>	Drôme Rurale Sud	Est Drome
	Ecrins	Hors Zone AIP
	Paray-le-Frésil	Allier
	Busset	Allier
	Rageade	Cantal
	Col Oreillon	Contreforts du Massif Central
	Sembadel	Haute Loire
	Plateau Bonnevaux	Bassin Lyonnais nord Isère
	St Germain sur Rhône	Zone Alpine Haute-Savoie
	Haut Beaujolais	Zone des Coteaux
<b>Urbaine</b>	Montluçon Chateau	Allier
	Moulins	Allier
	Fontaine les Balmes	Bassin Grenoblois
	Voiron Urbain	Bassin Grenoblois
	Saint Martin Hères	Bassin Grenoblois
	Grenoble les Frênes	Bassin Grenoblois
	Annemasse	Bassin Lémanique
	Saint Etienne Sud	Bassin Stéphanois
	Saint Chamond	Bassin Stéphanois
	Aurillac Mairie	Cantal
	Roanne	Contreforts du Massif Central
	Le Puy Causans	Haute Loire
	Le Puy Centre	Haute Loire
	Bourg-en-Bresse	Ouest Ain
	Clermont Montferrand	Puy de Dôme
Clermont Lecoq	Puy de Dôme	

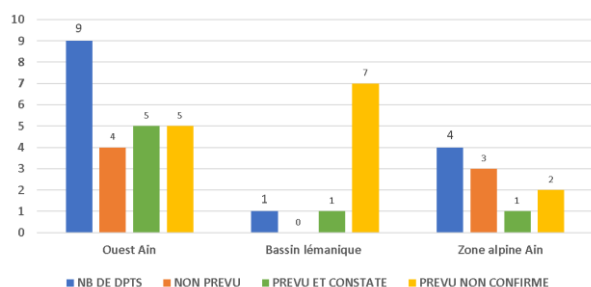
	Issoire	Puy de Dôme
	Riom	Puy de Dôme
	Chamonix	Vallée de l'Arve
	Passy	Vallée de l'Arve
	Sallanches	Vallée de l'Arve
	Magland	Vallée de l'Arve
	Valence urbain Centre	Vallée du Rhône
	Romans sur Isère	Vallée du Rhône
	Aubenas belvédère	Vallée du Rhône
	Saint Jean de Maurienne	Vallée Maurienne-Tarentaise
	Lyon Saint Just	Bassin lyonnais nord Isère
	Lyon Gerland	Bassin lyonnais nord Isère
	Vaulx en Velin	Bassin lyonnais nord Isère
	Villefranche Village	Bassin lyonnais nord Isère
	Lyon Centre	Bassin lyonnais nord Isère
	Roussillon	Bassin lyonnais nord Isère
	Vienne Centre	Bassin lyonnais nord Isère
	Bourgoin Jallieu	Bassin lyonnais nord Isère
	Albertville	Zone urbaine des Pays de Savoie
	Annecy Loverchy	Zone urbaine des Pays de Savoie
	Annecy Novel	Zone urbaine des Pays de Savoie
	Chambéry Pasteur	Zone urbaine des Pays de Savoie
	Chambéry le Haut	Zone urbaine des Pays de Savoie

## ANNEXE 2 Détails par zone du bilan des prévisions 2018

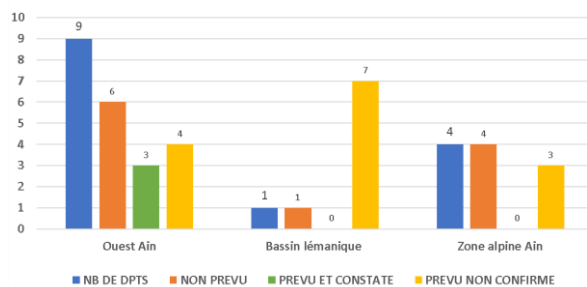
### AIN

#### Prévision des épisodes des pollution

##### Prévision du jour pour le jour même (J0)



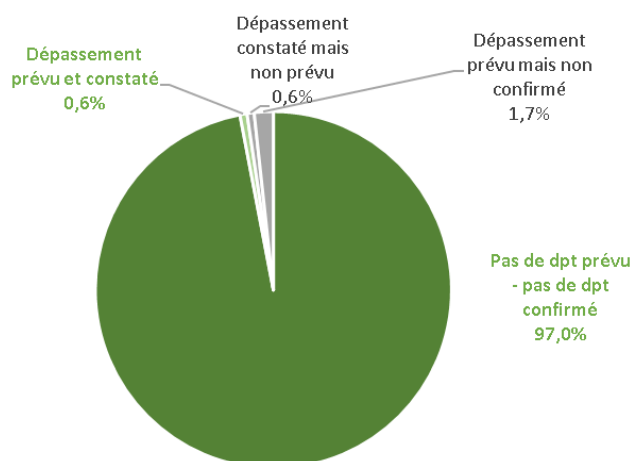
##### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



Sur l'ouest de l'Ain, au total, 9 journées ont rempli les critères d'activation en 2018. Le taux de bonnes détections de ces évènements fut de 55% en prévision pour le jour même (J0) et seulement de 33% pour le lendemain (J+1). Pour le bassin lémanique, le nombre de prévisions de dépassement non confirmées a posteriori est important en regard des dépassements avérés, il s'agit notamment de l'épisode ozone du 2 au 7 août 2018 où des dépassements ponctuels ont été constatés mais le critère de 25km<sup>2</sup> n'a pas été atteint. Une seule journée a rempli les critères d'activation à l'automne. Celle-ci a été correctement prévu le jour J0 (mais non anticipée la veille). La zone alpine de l'Ain est plus délicate dans la mesure où aucune station de mesures n'y est installée. La prévision repose donc uniquement sur la modélisation. Sur les 4 journées ayant rempli les critères d'activation, seule une a été correctement prévue (pour le jour même J0).

#### Prévision quotidienne

##### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)



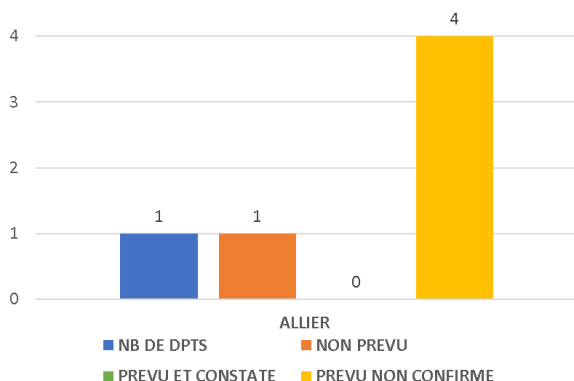
Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
97,6% de prévisions sont correctes.



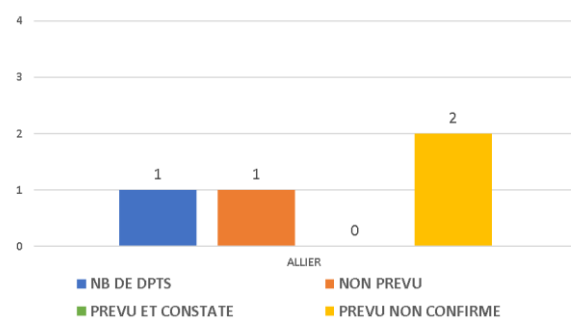
## ALLIER

### Prévision des épisodes de pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



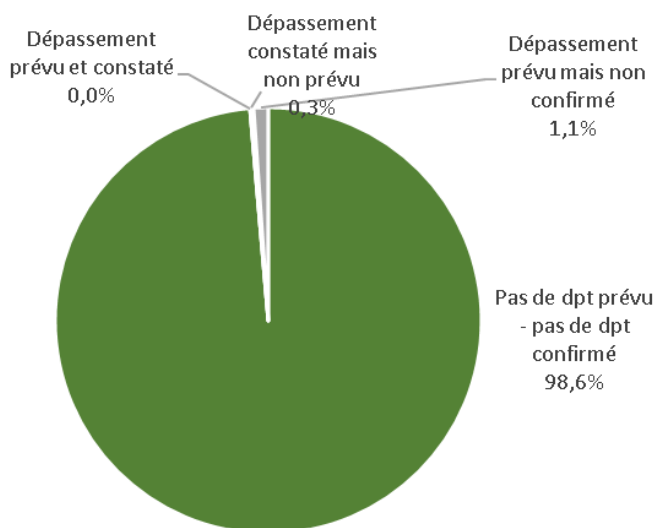
#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



Le département de l'Allier constitue un seul bassin d'air. Un seul dépassement de seuil a eu lieu au sens des critères d'activation de l'arrêté préfectoral : il a eu lieu le 4 août 2018 lors de l'épisode ozone qui a touché une grande partie de la région du 2 au 7 août. Quatre dépassements prévus n'ont pas été confirmés a posteriori les 5, 6 et 7 août ainsi que le 22 février.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

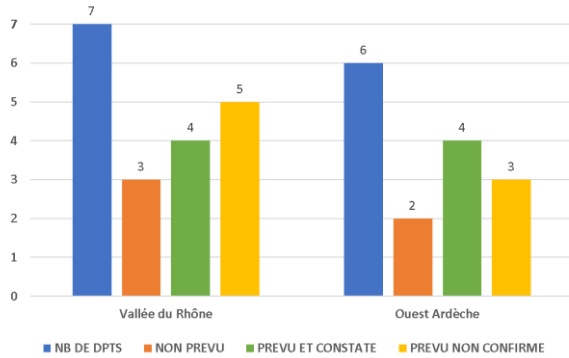


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
98,6% de prévisions sont correctes.

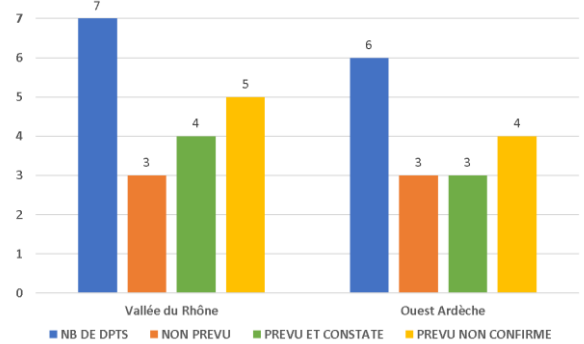
## ARDECHE

### Prévision des épisodes de pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)

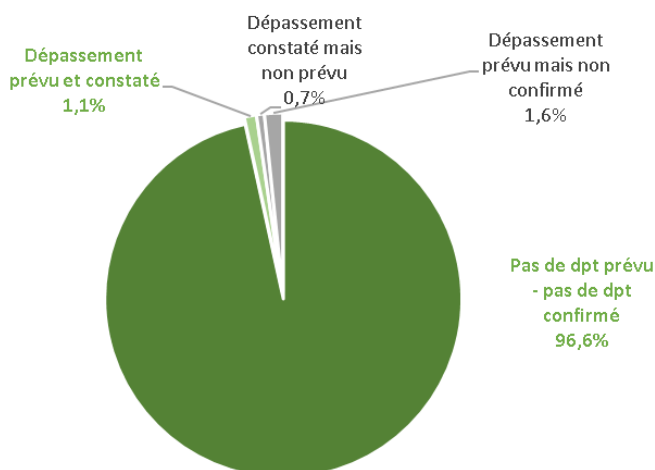


En 2018, la Vallée du Rhône a connu 7 journées remplissant les critères d'activation d'une vigilance. Le taux de bonnes détections de ces événements fut homogène pour J0 et J+1 (57%).

Dans l'ouest Ardèche, les 6 journées ayant rempli les critères d'activation se sont déroulées durant l'épisode de canicule (25/07 au 05/08). Le taux de détection à J0 et J+1 fut respectivement de 66% et 50%.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

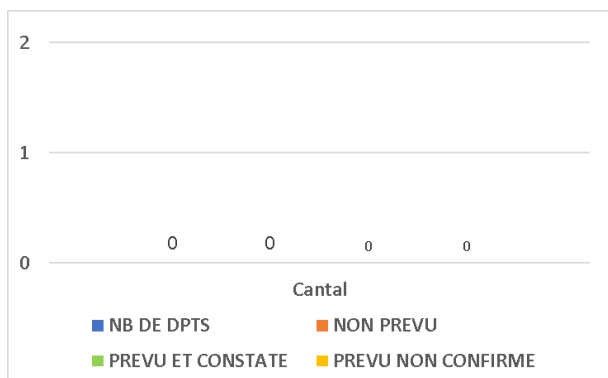


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
97,7 % de prévisions sont correctes.

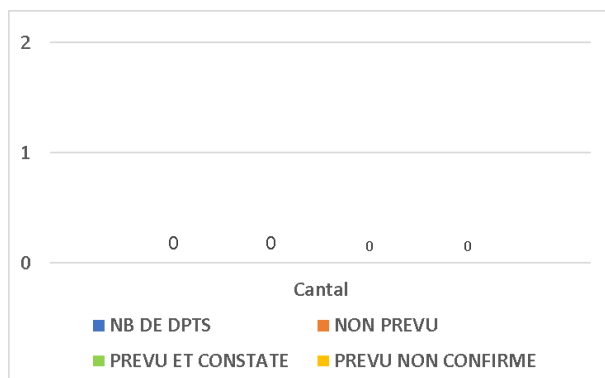
## CANTAL

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



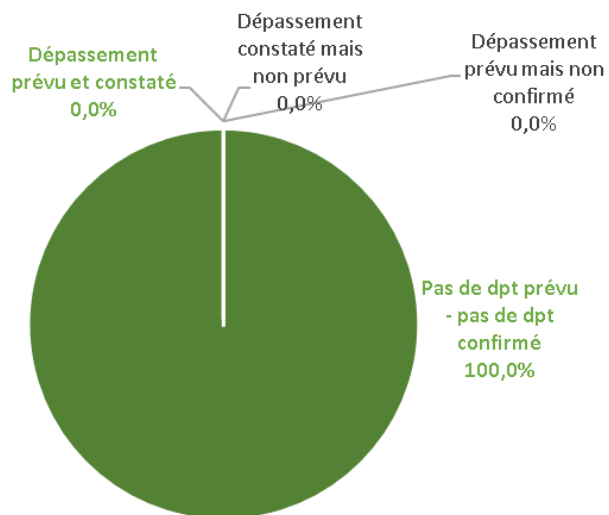
#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



Le département du Cantal constitue un seul bassin d'air. Il n'y a pas eu de dépassement de seuil en 2018.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

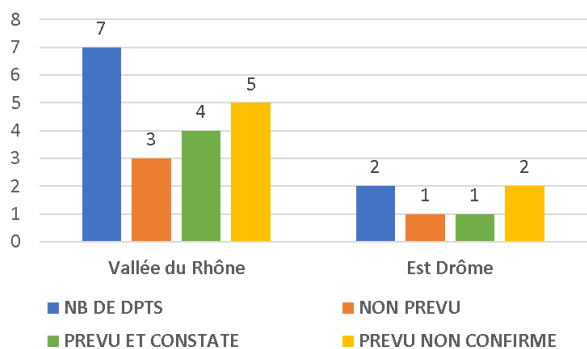


Sur toute l'année, à l'échelle du département, 100% de prévisions sont correctes.

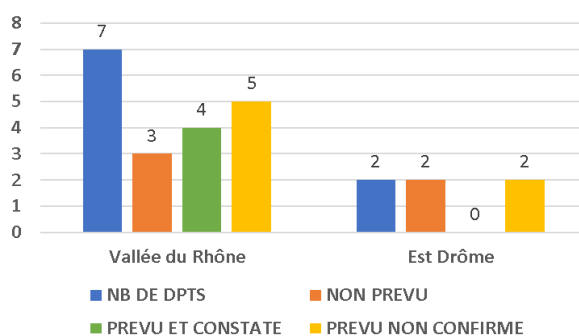
## DROME

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)

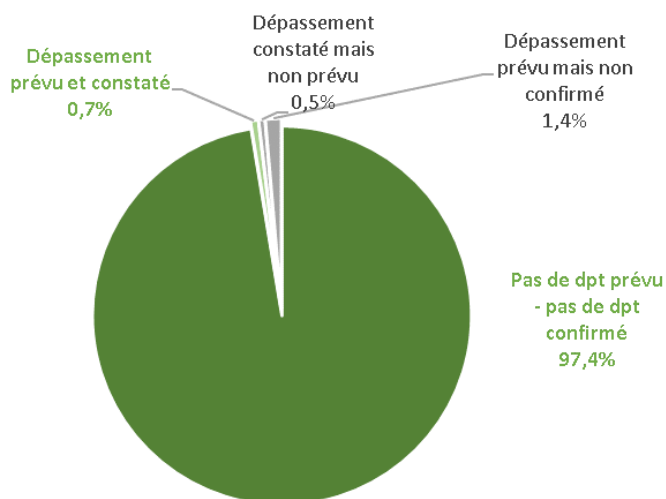


En 2018, la Vallée du Rhône a connu 7 journées remplissant les critères de vigilance. Le taux de bonnes détections de ces évènements fut homogène pour J0 et J+1 (57%).

La zone Est-Drôme n'a connu que 2 journées nécessitant une mise en vigilance (4 et 5/08). Celle-ci fut mise en place à partir de la deuxième journée de l'épisode (taux de détection de 50% à J0).

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

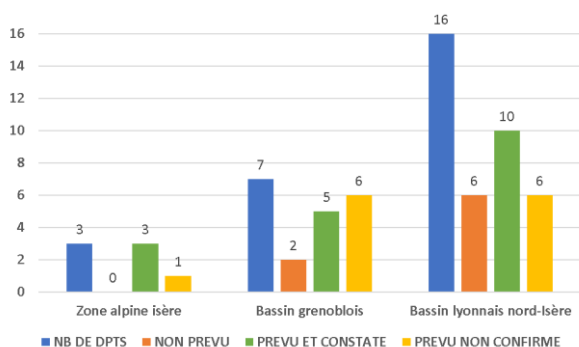


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
98,1 % de prévisions sont correctes.

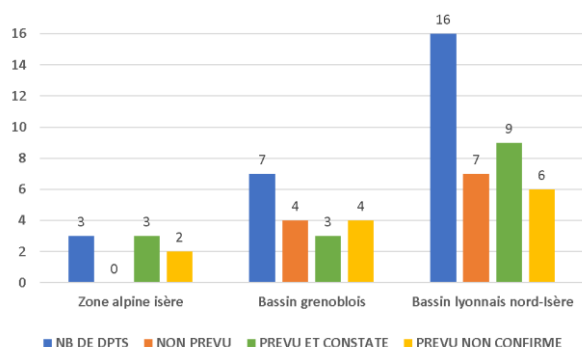
## ISERE

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)

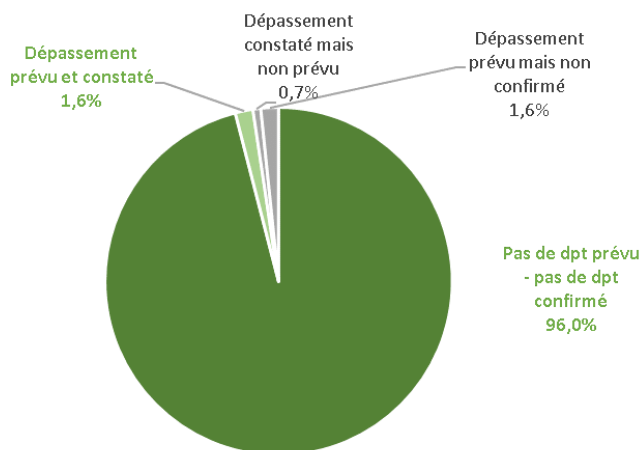


Pour le bassin grenoblois, au total, 7 journées ont rempli les critères d'activation en 2018. Le taux de bonnes détections de ces évènements fut de 71% en prévision pour le jour même (J0) et de 42% pour le lendemain (J+1). Le Bassin lyonnais nord Isère fut le plus touché avec 16 journées remplissant les critères d'activation. En prévision pour le jour-même, le taux de bonnes détections atteint 63% et 56% est anticipé la veille. La qualité de prévision fut donc assez homogène aux deux échéances. Le système de prévision a quasiment la même performance en J0 et J+1.

La zone alpine de l'Isère est plus délicate dans la mesure où il n'y a aucune station de mesures. La prévision y fut très bonne dans la mesure où les 3 journées nécessitant une vigilance ont été anticipées (dès la veille).

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

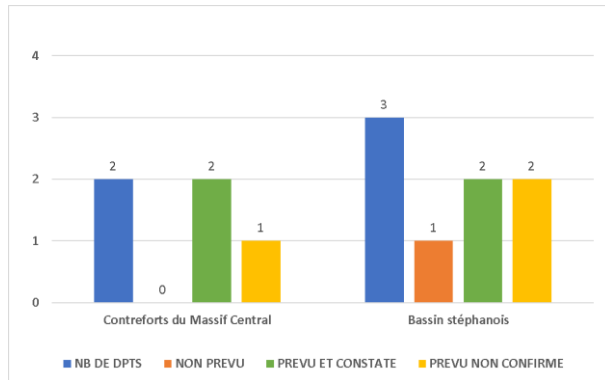


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
97,6 % de prévisions sont correctes.

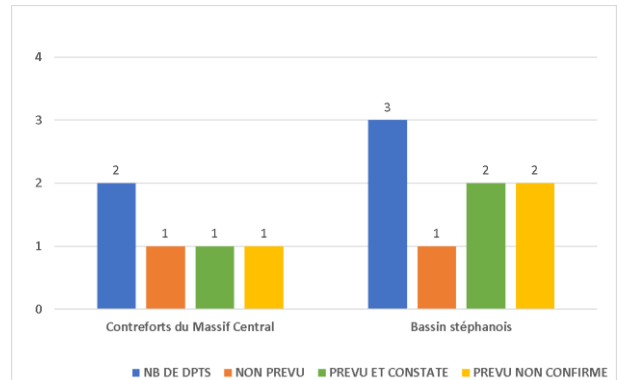
## LOIRE

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



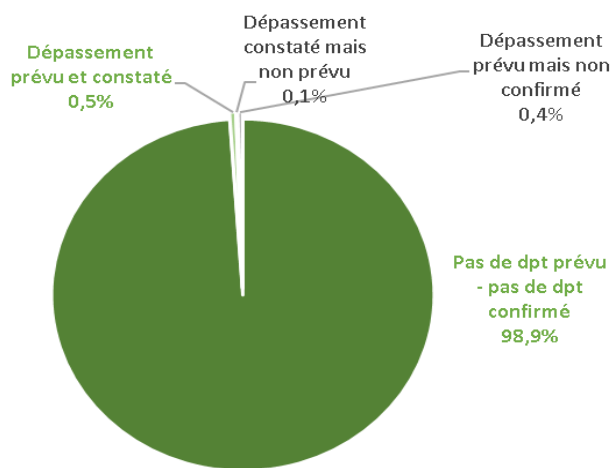
#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



En 2018, les Contreforts du Massif Central ne connurent que 2 journées remplissant les conditions d'activation. Celles-ci furent correctement prévues le jour même (J0), mais une seule a été anticipée dès la veille. Concernant le bassin stéphanois, les 2 journées de dépassements furent correctement détectées dès la veille lors de l'épisode caniculaire du mois d'août. Néanmoins, un dépassement au sens de critère d'activation a été manqué le 28 février.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

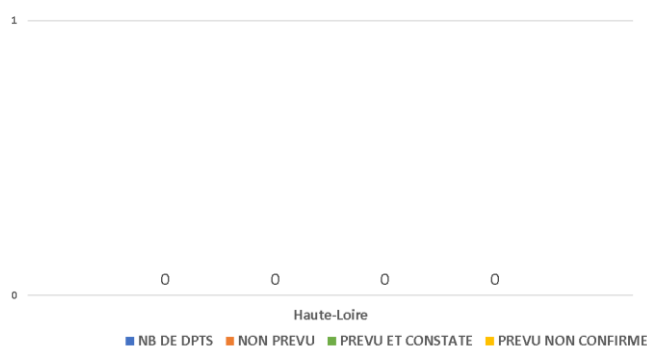


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
99,4% de prévisions sont correctes.

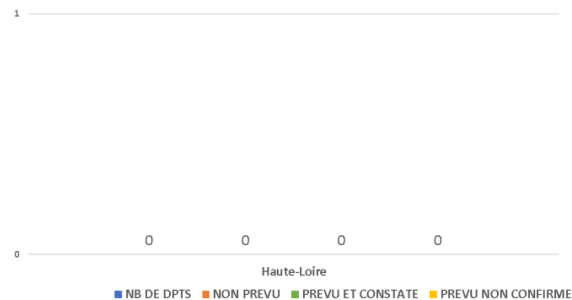
## HAUTE-LOIRE

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



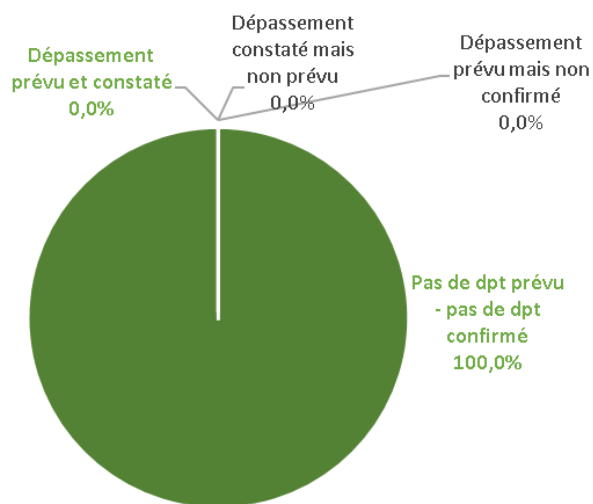
#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



Le département de Haute-Loire constitue un seul bassin d'air. Il n'y a pas eu de dépassement de seuil en 2018.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

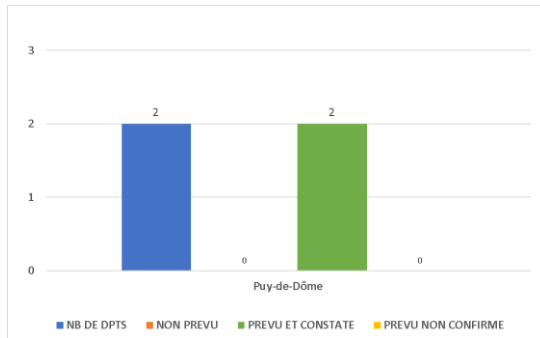


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
100% de prévisions sont correctes.

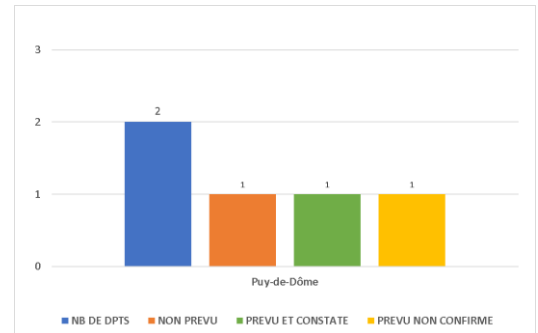
## PUY DE DOME

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



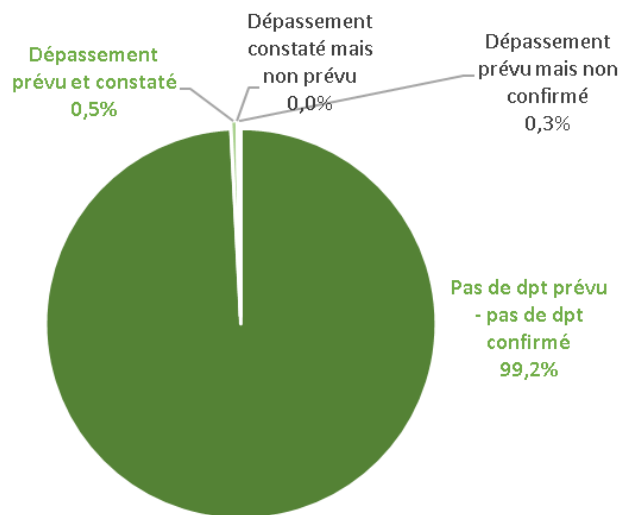
#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



Le département Puy de Dôme constitue un seul bassin d'air. En 2018, deux dépassements ont eu lieu les 5 et 6 août. Ils ont tous les deux été prévus le jour-même, un seul a été anticipé la veille.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)



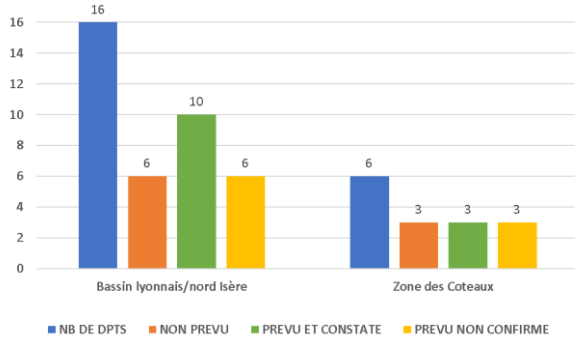
Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
99,7% de prévisions sont correctes.



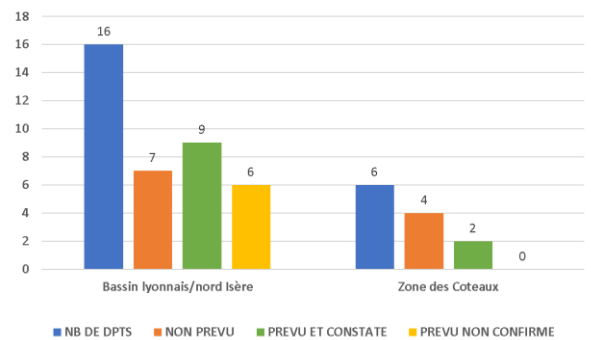
## RHONE

### Prévision des épisodes de pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)

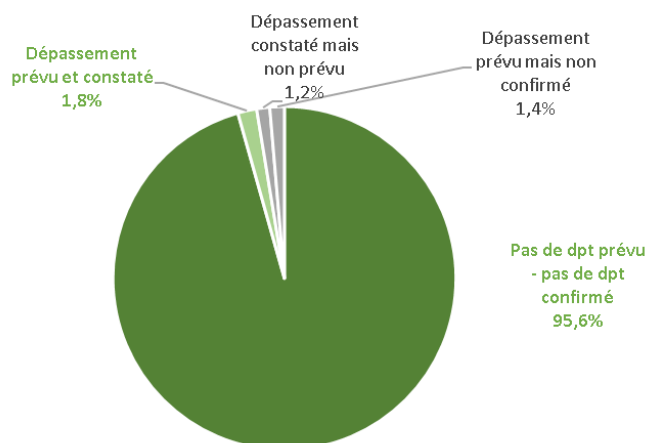


Le bassin lyonnais nord-Isère fut le plus touché avec 16 journées remplissant les critères d'activation. En prévision pour le jour même, le taux de bonnes détections atteint 63% et 56% est anticipé la veille. La qualité de prévision fut donc assez homogène aux deux échéances.

La zone des Coteaux a rempli les critères de vigilance à 6 reprises. Le taux de bonnes détections fut de 50% le jour même et seulement de 33% pour le lendemain.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

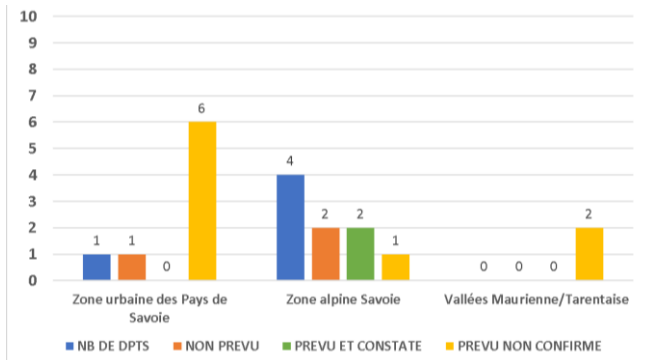


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
97,4 % de prévisions sont correctes.

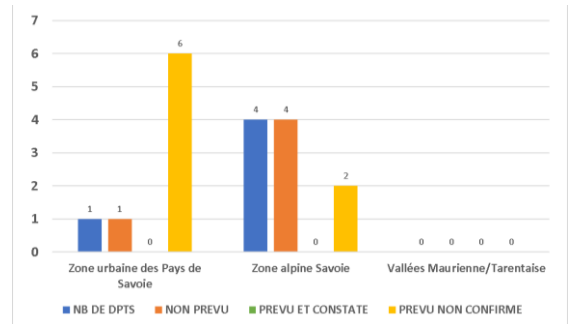
## SAVOIE

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



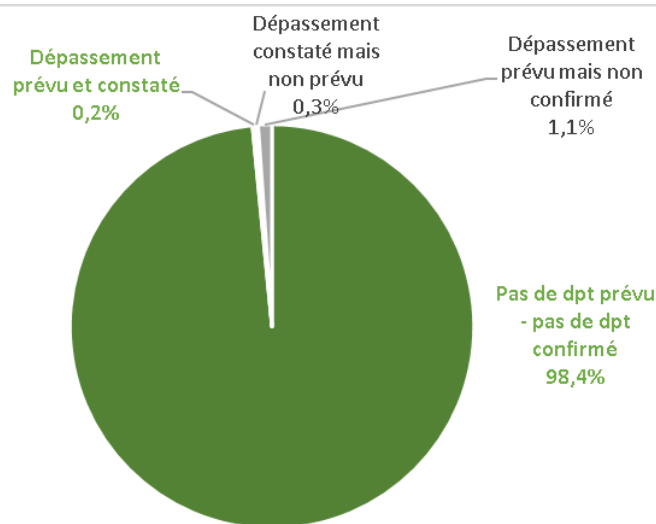
Sur la Zone urbaine des Pays de Savoie, la totalité des dépassements prévus (6) n'ont pas été suivis de constat. Ces journées correspondent principalement à l'épisode caniculaire de fin juillet/début août durant lequel les niveaux avoisinaient régulièrement le seuil de vigilance. En revanche, le dépassement du 28 février n'a pas été anticipé.

En Zone alpine Savoie, le taux de bonnes détections fut de 50% à J0, en revanche l'anticipation dès la veille fut difficile (aucun dépassement correctement prévu à plus de 24h).

La zone des Vallées de Maurienne et Tarentaise n'a pas connu de dépassement en 2018. Deux dépassements avaient été prévus durant le mois de février.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)

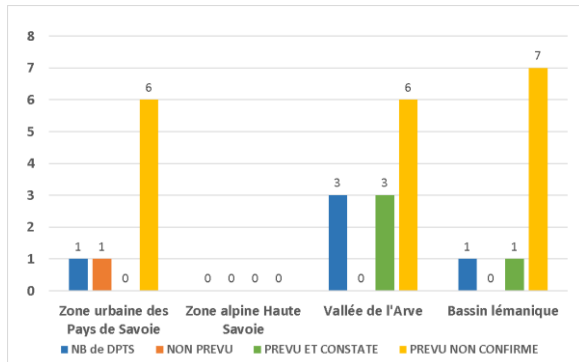


Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
98% de prévisions sont correctes.

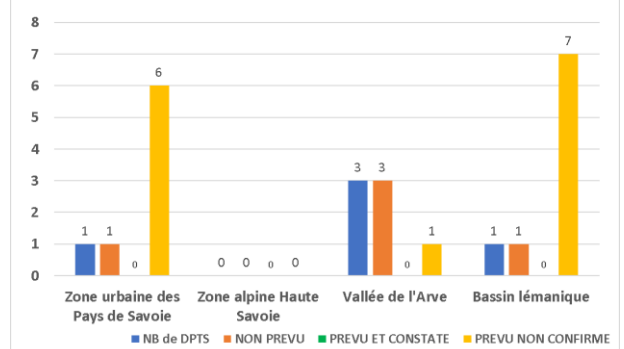
## HAUTE- SAVOIE

### Prévision des épisodes des pollution

#### Prévision du jour pour le jour même (J0)



#### Prévision du jour pour le lendemain (J+1)



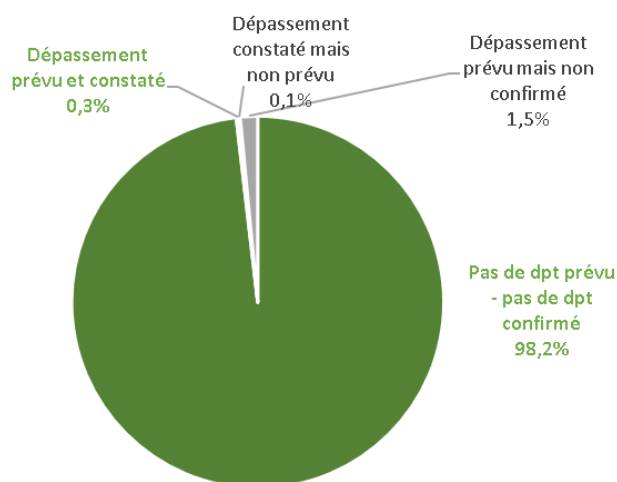
Sur la zone urbaine des Pays de Savoie, la totalité des dépassements prévus (6) n'ont pas été confirmés. Ces journées correspondent principalement à l'épisode caniculaire de fin juillet/début août durant lequel les niveaux avoisinaient régulièrement le seuil de vigilance. En revanche, le dépassement du 28 février n'a pas été anticipé. Pour le bassin lémanique, « beaucoup » de prévisions non confirmées, il s'agit de l'épisode d'ozone du 2 au 7 août- la surface de dépassement est restée inférieure à 25km<sup>2</sup>. Une seule journée a rempli les critères d'activation à l'automne. Celle-ci a été correctement prévue le jour même J0 (mais non anticipée la veille).

Les stations de mesures de la Vallée de l'Arve enregistrent régulièrement des dépassements (en particules principalement). Pour autant, seulement 3 journées ont rempli les conditions de surface pour une vigilance de pollution atmosphérique. Ces 3 journées ont été correctement prévues le jour même (J0), mais non anticipées la veille (J+1).

Le nombre relativement élevé de dépassements « prévu non confirmé » reflète la mise en vigilance par précaution lorsque les niveaux s'approchent des seuils d'activation, ceci afin de limiter le nombre d'évènements non prévus.

### Prévision quotidienne

#### Prévision quotidienne pour le jour même (J0)



Sur toute l'année,  
à l'échelle du département,  
98,5% de prévisions sont correctes.